

PRINCÍPIOS DO *DESIGN FOR* *MANUFACTURE AND ASSEMBLY* (*DfMA*) APLICADOS À HABITAÇÃO MODULAR EVOLUTIVA

ESTUDO COMPARATIVO COM A CONSTRUÇÃO CORRENTE TRADICIONAL

RAFAEL LEITE MOREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Orientador: Professor Doutor Bárbara Rangel Carvalho

MESTRADO EM PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por toda saúde e sabedoria para vencer nos momentos difíceis e aproveitamento das melhores oportunidades me guiando além dos limites.

Agradeço também aos meus pais Evandro e Márcia, por serem sempre os pilares fundamentais na minha caminhada e vida. Nesta jornada de uma conquista de incertezas em um país distante, em que estiveram sempre presentes da maneira que puderam, guiando-me com conselhos, incentivos e apoio incondicional e imensurável. Cada encorajamento, cada gesto de apoio foram fundamentais para que eu seguisse adiante, mesmo nos momentos mais difíceis. Sendo meu porto seguro, minha fonte de força e inspiração. Agradeço-lhes por cada sacrifício feito em prol da minha realização pessoal e acadêmica.

Agradeço ao meu irmão Leonardo, pelos conselhos pessoais e profissionais, por ser o apoio incondicional da busca dos meus sonhos e meu suporte a qualquer momento e hora.

Agradeço aos amigos do Brasil por sempre estarem ao meu lado me apoiando de longe e sempre acompanhando minha trajetória torcendo a cada conquista. E aos novos amigos de Portugal, vocês são a família que escolhi ter ao meu lado nesta jornada, foram imprescindíveis para minha caminhada até aqui. A todos agradeço ao apoio, aos momentos de sabedoria e descontração, pelo incentivo e ânimo nas horas mais insertas da minha trajetória de crescimento e superação.

Agradeço aos meus familiares, queridos tios, tias, primas e aos meus avós, sempre demonstraram um apoio inabalável, mesmo à distância. Mesmo estando longe fisicamente, cada carinho e a torcida fervorosa por meu sucesso fizeram-me manter firme, de cabeça erguida e em frente. Agradeço-vos por cada palavra de incentivo, por cada gesto de afeto e por acreditarem em mim incondicionalmente.

Por fim, agradeço também a orientadora Professora Arquiteta Bárbara Rangel Carvalho pelo aconselhamento e por ter aceitado encarar esta jornada árdua com conhecimentos, oportunidades e direcionamentos necessários a cada momento.

RESUMO

A indústria da construção civil em Portugal tem enfrentado desafios significativos relacionados à escassez de mão-de-obra, especialmente com o contínuo avanço industrial e comercial, que levou muitas pessoas do canteiro de obra para unidades de produção pré-fabricadas em galpões. Nesse contexto, há um crescente anseio por métodos inovadores que possam melhorar a eficiência e a produtividade do setor da construção civil.

Esta dissertação tem como objetivo fomentar e tratar sobre a crescente necessidade de atualização do tradicional modo arraigado de construção atual, com elementos de construção manual in loco, ainda muito vigente na indústria da construção civil. O objetivo principal é explorar a aplicação do DfMA (*Design for Manufacture and Assembly*) como uma abordagem inovadora, suportada pelos conceitos de construção modular e a pré-fabricação juntamente com o design integrado de projeto.

A dissertação dedica-se à apresentação um estudo metodológico que procura explorar os princípios do DfMA como sua conceituação, história e meios de aplicação industrial na construção. Conceitos estes suportados pela construção modular pré-fabricada e promovidos num caso prático de um estudo: um edifício de habitação evolutivo modular em Portugal, projetado na concessão política de Habitação a Custos Controlados (HCC). Através deste, é possível analisar os benefícios e desafios associados à implementação do DfMA, bem como avaliar o seu impacto na eficiência construtiva, qualidade e sustentabilidade do projeto. Com a união entre projetos integrados da multidisciplinaridade da construção civil (como AVAC, térmica, hidráulicas, etc.) com as diversas visões projetuais da arquitetura o estudo de caso é concebido de forma a abranger estes conceitos unidos de funcionalidade, estética e materialidade.

Este trabalho visa criar e disseminar conhecimento sobre esta nova forma de projetar e construir, ao mesmo tempo que estimula um debate mais amplo sobre as práticas tradicionais de construção e a necessidade de atualização. O projeto do estudo de caso serve como uma demonstração concreta dos resultados e benefícios potenciais do DFMA e apoia a adoção de abordagens mais eficientes e sustentáveis na indústria da construção.

Este estudo contribui para a evolução do setor, fornecendo insights valiosos sobre a aplicação do DFMA na construção civil, promovendo a inovação e abrindo caminho para um futuro onde a construção seja mais eficiente, econômica e sustentável

PALAVRAS-CHAVE: Pré-fabricação, construção modular, habitação evolutiva, *Design for Manufacture and Assembly* (DfMA), Projeto Integrado.

ABSTRACT

The construction industry in Portugal has been facing significant challenges related to a shortage of workforce, particularly with the continuous industrial and commercial advancement, which has led many individuals from construction sites to prefabricated production units in warehouses. In this context, there is a growing desire for innovative methods that can enhance efficiency and productivity within the construction sector.

This dissertation aims to foster and address the increasing need to update the entrenched traditional mode of current construction, which heavily relies on on-site manual construction elements, still prevalent in the construction industry. The primary objective is to explore the application of DfMA (Design for Manufacture and Assembly) as an innovative approach, supported by concepts of modular construction and prefabrication, along with integrated project design.

The dissertation is devoted to presenting a methodological study that seeks to delve into the principles of DfMA, including its conceptualization, history, and industrial application in construction. These concepts are supported by prefabricated modular construction and exemplified in a practical case study: an evolutionary modular housing building in Portugal, designed under the political concession of Affordable Housing (HCC). Through this case study, it is possible to analyze the benefits and challenges associated with implementing DfMA and assess its impact on construction efficiency, quality, and project sustainability. By integrating multidisciplinary aspects of construction (such as HVAC, thermal, hydraulic, etc.) with various architectural design perspectives, the case study is conceived to encompass these interwoven concepts of functionality, aesthetics, and materiality.

This work aims to generate and disseminate knowledge about this new approach to designing and constructing while stimulating a broader debate about traditional construction practices and the necessity for modernization. The case study project serves as a concrete demonstration of the results and potential benefits of DFMA, supporting the adoption of more efficient and sustainable approaches in the construction industry.

This study contributes to the evolution of the sector by providing valuable insights into the application of DFMA in civil construction, promoting innovation, and paving the way for a future where construction becomes more efficient, cost-effective, and sustainable.

KEYWORDS: Prefabrication, modular construction, evolutionary housing, Design for Manufacture and Assembly (DfMA), Integrated Project.

RESUMÉ

L'industrie du bâtiment au Portugal fait face à des défis importants liés à la pénurie de main-d'œuvre, en particulier avec l'avancement continu de l'industrie et du commerce, ce qui a conduit de nombreuses personnes des chantiers de construction vers des unités de production préfabriquées dans des entrepôts. Dans ce contexte, il y a un désir croissant de méthodes innovantes pouvant améliorer l'efficacité et la productivité du secteur de la construction.

Cette thèse vise à encourager et à traiter du besoin croissant de mettre à jour le mode traditionnel enraciné de la construction actuelle, avec des éléments de construction manuelle sur place, toujours très répandu dans l'industrie du bâtiment. L'objectif principal est d'explorer l'application du DfMA (Conception pour la Fabrication et l'Assemblage) en tant qu'approche novatrice, soutenue par des concepts de construction modulaire et de préfabrication, ainsi que par une conception de projet intégrée.

La thèse se consacre à présenter une étude méthodologique qui cherche à approfondir les principes du DfMA, y compris sa conceptualisation, son histoire et son application industrielle dans le domaine de la construction. Ces concepts sont soutenus par la construction modulaire préfabriquée et illustrés dans une étude de cas pratique : un bâtiment d'habitation évolutif et modulaire au Portugal, conçu dans le cadre de la concession politique du logement à coûts maîtrisés (HCC). Grâce à cette étude de cas, il est possible d'analyser les avantages et les défis liés à la mise en œuvre du DfMA et d'évaluer son impact sur l'efficacité de la construction, la qualité et la durabilité du projet. En intégrant les aspects multidisciplinaires de la construction (tels que le CVC, le thermique, l'hydraulique, etc.) avec diverses perspectives de conception architecturale, l'étude de cas est conçue pour englober ces concepts interconnectés de fonctionnalité, d'esthétique et de matérialité.

Ce travail vise à générer et à diffuser des connaissances sur cette nouvelle approche de conception et de construction, tout en stimulant un débat plus large sur les pratiques traditionnelles de construction et la nécessité de modernisation. Le projet de l'étude de cas sert de démonstration concrète des résultats et des avantages potentiels du DFMA, soutenant l'adoption d'approches plus efficaces et durables dans l'industrie de la construction.

Cette étude contribue à l'évolution du secteur en fournissant des informations précieuses sur l'application du DfMA dans la construction civile, en favorisant l'innovation et ouvrant la voie à un avenir où la construction sera plus efficace, économique et durable.

MOTS CLÉS : Préfabrication, construction modulaire, logement évolutif, Conception pour la Fabrication et l'Assemblage (DFMA), Projet intégré.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
RESUMÉ	xi
ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE TABELAS	xx
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	xxi

1. INTRODUÇÃO

1

1.1. CONTEXTO	1
1.2. ENQUADRAMENTO INSTITUCIONAL E DE PROJETO	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.4. METODOLOGIA	3

2. ESTADO DA ARTE

5

2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2.1. Construção Modular	5
2.2.2. Pré-fabricação	11
2.2.3. Habitação Modular	13
2.2.4. <i>Design for Manufacture and Assembly</i>	14
2.2.4.1. <i>Design for Manufacture</i> (DfM) e <i>Design for Assembly</i> (DfA)	16
2.2.5. DFMA: perspectivas, inovações, BIM	20
2.2.6. Habitação Evolutiva	22

3. CASO DE ESTUDO

25

3.1. INTRODUÇÃO	25
3.2. ENQUADRAMENTO DO PROJETO	25
3.2.1. MPRINCE	25
3.2.2. O cliente	26
3.2.3. Projeto para Habitação Modular Evolutiva de Habitação a Custos Controlados	27

3.3. PLANO EXPERIMENTAL	27
3.4. APROXIMAÇÃO AO PROJETO	29
3.4.1. Programa Funcional	29
3.4.2. Sistema Construtivo Modular	30
3.4.3. Objetivos	34
3.4.4. Desafios	35
3.5. O PROJETO	36
3.5.1. Abordagem Estratégica	36
3.5.2. Conceção Funcional	37
3.5.3. Evolução da Proposta	42
3.5.4. Conceção Plástica	49
3.5.5. Estrutura - Estabilidade	54
3.5.6. Acústica	56
3.5.7. Infraestruturas Elétricas e Hidrossanitárias	58
3.5.8. Materialidade	60
3.5.9. Estimativas Orçamentais	66
3.6. APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DO DFMA AO PROJETO	67
3.6.1. <i>Design for Manufacture</i> – DfM (Design para Fabricação)	68
3.5.9. <i>Design for Assembly</i> – DfA (Design para Montagem)	70
3.7. COMPARATIVOS ENTRE CONSTRUÇÃO CORRENTE TRADICIONAL X CONSTRUÇÃO HÍBRIDA SISTEMA CREE BUILDINGS	73
3.7.1. Levantamento de dados	73
3.5.9. Análises e Comparações dos Resultados	83
 4. CONCLUSÃO	 89
4.1. CONCLUSÃO GERAL	89
4.2. CONCLUSÃO DE PROJETO	90
4.3. REPERCUSSÕES FUTURAS	90
BIBLIOGRAFIA	92
 5. ANEXOS	 96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 O Cúbito Do Faraó – Fonte: Revista Analytica - Wordpress 2016.....	6
Figura 2 Templo De Antena Em Atenas - Grécia - Fotografia feita por Florian Wehde.	7
Figura 3 Coliseu Em Roma - Foto: Getty Images	7
Figura 4 Le Modulor De Le Corbusier – Fonte: Towards A New Architecture – Le Corbusier 1923.....	8
Figura 5 Edifício Unité d'Habitation em Marselha – Fonte: ArchDaily, foto por Gili Merin.....	9
Figura 6 Planta baixa de unidades do Edifício Unité d'Habitation em Marselha – Fonte: https://pt.wikiarquitectura.com/uhm2-2/	9
Figura 7 Centro Georges Pompidou Em Paris – Renzo Piano – Fonte: RSHP	10
Figura 8 Esquema Dos Módulos Do Centro Georges Pompidou Em Paris – Renzo Piano – Fonte: Randomarchitecturememories	10
Figura 9 Esquema Prefabricação X Fabricação Em Série – Fonte: Autoral	12
Figura 10 A Evolução Do Dfma – Fonte: Machinedesign	14
Figura 11 “Over The Wall” – Fonte: Geoffrey Boothroyd	15
Figura 12 Etapas Típicas Realizadas Em Um Estudo DFMA Usando O DFMA. - Fonte: Boothroyd 1994.....	18
Figura 13 Cadeia Produtiva Dos Materiais Da Construção Civil. Fonte: Gasquez, 2015 Adaptado Pelo Autor.....	19
Figura 14 Comparação Entre Os Modelos De Economia Linear E Economia Circular. – Fonte: Edifícios E Energia	20
Figura 15 Plantas De Apartamentos De Mies Van Der Rohe – Fonte: Bau Und Wohnung, 1927.....	23
Figura 16 Plantas Com os Paineis Móveis Segundo Ludwing Hilberseimer – Fonte: Bau Und Wohnung, 1927.....	24
Figura 17 - Integração Multidisciplinar Com O BIM - Fonte: Adaptado De CREE © 2018	28
Figura 18 - Esquema Estrutural - Fonte: Adaptado De CREE © 2018+ Casais	31
Figura 19 - Sistema De Composição CREE - Fonte: Adaptado De CREE © 2018	31
Figura 20 - Grade Horizontal Da Construção Modular - Fonte: Adaptado De CREE © 2018.....	32
Figura 21 - Limitação Altimétrica - Fonte: Adaptado De CREE © 2018.....	34
Figura 22 - Grade Vertical Da Construção Modular - Fonte: Adaptado De CREE © 2018	33
Figura 23 Exemplificação De Possibilidades - Fonte: Adaptado De CREE © 2018.....	34
Figura 24 Planta Baixa Base Do Módulo – Fonte: Autoral	37
Figura 25 Corte Longitudinal - Fonte: Autoral.....	38
Figura 26 - Planta Tipo - Gride Estrutural Modular – Fonte: Autoral.....	38
Figura 27 Dimensão Standard Escolhida - Fonte: Adaptado De CREE © 2018).....	39

Figura 28 Exemplos De Padronização De Peças – Fonte: Adaptado De CREE © 2018	39
Figura 29 Perspetiva Isométrica Interna Da Planta Base – Fonte: Autoral	40
Figura 30 Esquema De Ligação Plug & Play – Fonte: Autoral.....	40
Figura 31 Quantificação De Módulos De Armário Por Tipologia – Fonte: Autoral	41
Figura 32 Esquema De Tipologias – Fonte: Autoral	41
Figura 33 Planta Base - T2+T3 – Fonte: Autoral	43
Figura 34 Planta Evolutiva - T1+T4 – Fonte: Autoral.....	43
Figura 35 Perspetiva Isométrica Total Da Evolução T2+T3 Em T1+T4 – Fonte: Autoral	45
Figura 36 Adaptação Da Planta Base Em 2 T1+ 1T2 – Fonte: Autoral.....	46
Figura 37 Adaptação Da Planta Base Em T0 + T1+T2 – Fonte: Autoral.....	46
Figura 38 Esquema De Fachada Adaptativa – Fonte: Autoral.....	47
Figura 39 Esqueto Inicial De Estudo De Volumetria – Fonte: Autoral	47
Figura 40 Perspetivas Gerais Dos Alçados Base – Fonte: Autoral.....	48
Figura 41 Perspetiva Geral Do Edifício Base – Fonte: Autoral	48
Figura 42 - Expansão Volumétrica Exterior – Fonte: Autoral.....	49
Figura 43 Esquema De Etapas De Evolução Máxima – Fonte: Autoral	50
Figura 44 Esquema De Implantação Em Regiões Residenciais – Fonte: Autoral	50
Figura 45 Esquema De Implantação Em Regiões Institucionais – Fonte: Autoral.....	51
Figura 46 Esquema De Implantação Em Regiões Adensadas – Fonte: Autoral.....	51
Figura 47 Planta Baixa De Evolução Máxima Do Corpo Do Edifício – Fonte: Autoral.....	52
Figura 48 Tipologias De Evoluções – Fonte: Autoral.....	53
Figura 49 Imagem Interna - Fonte: Adaptado De CREE © 2018	54
Figura 50 - Modelagem Estrutural Do Edifício Proposto No Autodesk Robot Structural Analysis 2023 ©	55
Figura 51 – Deformações (Acima) E DMF (Abaixo) Devido Ao Acréscimo Da Varanda Em Consola No Autodesk Robot ©	56
Figura 52 - Recorte Efetuado Do Documento Normativo.....	57
Figura 53 Armário de Divisa (Módulo 30x60) – Fonte: Autoral	57
Figura 54 Foto Do Modelo Protótipo Casais – Fotografia: Autoral.....	59
Figura 55 Posicionamento De Courettes – Fonte: Autoral.....	59
Figura 56- Componentes De Infraestrutura – Fonte: Casais.....	60
Figura 57 Pormenor De Fachada – Fonte: Autoral.....	61
Figura 58 Conexão Pilar Laje – Fonte: Adaptado De CREE © 2018.....	62
Figura 59- Composição Lajeta Térmica – Fonte: Topeca	62
Figura 60 Pormenor De Rotação Da Fachada Adaptativa – Fonte: Autoral.....	65

Figura 61 Composições De Paredes – Fonte: Autoral	66
Figura 62 Representatividade De Poupanças – Fonte: CREE Buildings + Casais	68
Figura 63 Elementos Estruturais Modulares - Fonte: Adaptado De CREE © 2018	68
Figura 64 Encaixes Estruturais - Fonte: Adaptado De CREE © 2018.....	69
Figura 65 Modularização Do Mobiliário - Fonte: Autoral	69
Figura 66 Esquema De Composição De Fachada - Fonte: Autoral	70
Figura 67 Processo De Montagem - Fonte: Autoral	71
Figura 68 Perspetiva Isométrica De Planos De Fachada - Fonte: Autoral	72
Figura 69 Esquema De Simplificação Da Construção – Fonte: Casais.....	72
Figura 70 Fase De Preparação Do Terreno - Fonte: Cype, Gerador De Preços Portugal	74
Figura 71 Fundações Tipo -Fonte: Portal MEC.....	75
Figura 72 Fechamentos em Alvenaria - Fonte: Proietta	75
Figura 73 Divisórias em Gesso Cartonado - Fonte: Multi Perfil	76
Figura 74 Pannel de Laje Híbrida - Fonte: Casais.....	79
Figura 75 Fachada e Pilares - Fonte: Casais.....	79
Figura 76 Viga Steel Girder - Fonte: Casais	80

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Tabela 1 Programa De Necessidades Base - MPRINCE – FEUP.....	29
Tabela 2 Comparativo Sistema Híbrido X Betão.....	30
Tabela 3 Metragem Por Tipologias.....	42
Tabela 4 Composição Armários.....	67
Tabela 5 Faseamento e Custo - Construção Corrente Tradicional - Fonte Autoral.....	84
Tabela 6 Faseamento e Custo - Construção Híbrida CREE- Fonte Autoral.....	85
Tabela 7 Gráfico de Gantt - Construção Híbrida com Sistema da CREE Buildings.....	86
Tabela 8 Gráfico de Gantt - Construção Corrente Tradicional.....	86
Tabela 9 Custo de Obra Corrente Tradicional - Fonte Autoral.....	87
Tabela 10 Custo de Obra com Sistema CREE - Fonte Autoral.....	88

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BIM - Building Information Modeling (Modelagem da Informação da Construção)

DfA - Design for Assembly (Projeto para Montagem)

DfM - Design for Manufacturing (Projeto para Fabricação)

DfMA - Design for Manufacture and Assembly (Projeto para Fabricação e Montagem)

HCC - Habitação a Custos Controlados

IHRU - Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana

IPD - Integrated Project Delivery (Entrega Integrada de Projeto)

MPRINCE - Mestrado Integrado na Construção de Edifícios

nZEB - Nearly Zero Energy Building (Edifício de Energia Quase Zero)

OSB - Oriented Strand Board (Placa de Aglomerado de Tiras Orientadas)

RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

SCIE - Segurança Contra Incêndio em Edifícios

URSS - União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

XPS - Extruded Polystyrene Foam (Espuma de Poliestireno Extrudido)

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

A Europa assim como todo o mundo sofreu grandes alterações e mudanças significativas na produção da construção habitável, da recuperação do pós-guerras, crises e revolucionando nosso modo de vida, que acabaram por modificar e fomentar alterações no modo de habitar ao longo dos anos. No entanto, a falta de acesso à habitação continua a ser um problema global, quer devido à escassez (mais evidente em países menos desenvolvidos), quer devido à inflação dos valores das rendas, que se tornam inabarcáveis para a classe média nos países mais desenvolvidos. Vários governos de países europeus têm procurado encontrar soluções para minimizar este segundo problema, recorrendo a habitação a custos controlados. O empreendimento é de um único proprietário (municipal a privado) obrigado a garantir rendas acessíveis à classe média. Esta tipologia de habitação está regulamentada, tendo que obedecer a qualidade do edificado, mas que cumpram os requisitos relativos à área bruta, custos de construção e preço de venda estabelecidos na Portaria n.º 65/2019, de 19 de fevereiro, conforme alterada pela Declaração de Retificação n.º 19/2019, de 17 de abril, e pela Portaria n.º 281/2021, de 3 de dezembro. Para alcançar custos controlados, o projeto deve prever uma otimização do processo construtivo, desde a seleção dos materiais até à montagem e manutenção dos edifícios em serviço. Esta proposta pressupõe uma abordagem específica na fase de elaboração do projeto. Garantir essa otimização ao longo do tempo requer que o desenho da tipologia se adapte às variações das necessidades ao longo da vida útil dos edifícios, que se estima ser de, no mínimo, 50 anos (1).

Nesse sentido, estratégias metodológicas de apoio ao desenvolvimento do projeto, como o DfMA (*Design for Manufacture and Assembly*) e a construção modular, tornaram-se fundamentais. Estas abordagens permitem uma maior eficiência no processo construtivo, contribuindo para reduzir custos e prazos de execução, ao mesmo tempo que garantem a qualidade e durabilidade das habitações construídas. Além disso, a utilização de métodos de construção mais sustentáveis, tecnologicamente avançados e mais benéfica para o ambiente (2).

Portugal, vem se recuperando da crise de 2008 mais efetiva no ramo imobiliário. Nos anos antes da pandemia generalizada causada pelo COVID-19 teve um crescimento exponencial no setor habitacional com um aumento de cerca de 6% o que acabou por

impulsionar os investimentos e olhos para a construção residencial assim como em infraestruturas públicas. Porém, a pandemia acabou por gerar impactos negativos novamente neste setor, com uma queda estimada de 10% da produção habitável, que vem tentando se recuperar nos anos seguintes à pandemia (3).

Além destes fatores, novas práticas significativas estão ocorrendo neste setor nos dias atuais, como a adoção de novas tecnologias e práticas sustentáveis, incluindo a utilização de novos materiais mais eficientes energeticamente, adoção de sistemas de automações e técnicas mais eficientes. Este setor carecia de processos e técnicas modernas de construção a alguns anos se comparados com outros países da União Europeia (UE) como França, Alemanha e Bélgica. Estes fatores são somados à escassez por mão-de-obra, sendo suportada maioritariamente por imigrantes não especializados em diversos países da UE.

Este grande crescimento da industrialização alavancou as produções offsite, impulsionado pela escassez de mão-de-obra na construção civil, que fomentou este processo de crescimento (4).

Na tentativa de responder a essas preocupações, abordou-se o tema e a metodologia de design DfMA. Amplamente utilizada no setor industrial, onde busca-se a sua aplicação à construção civil, com o objetivo de criar soluções mais racionais que gerem benefícios económicos, sociais e ambientais. Devido à sua notável eficácia no processo de fabricação, e considerando as crescentes demandas causadas pela escassez habitacional nos dias atuais, o tema tornou-se o foco principal desta dissertação, a ser estudado e aprofundado como a resposta para alcançar os resultados esperados no futuro para supressão deste déficit.

1.2. ENQUADRAMENTO

O *DfMA* na construção civil aprofunda-se nas questões industriais de pré-fabricações, modulações de padronizações se tornando percursor de qualidade operacional e construtiva, seja na obra em si ou até mesmo nos pós ocupação.

Todos os seus processos e conceções são voltadas para a multidisciplinaridade da construção, uma vez que lida com diversas frentes a fim de resultar em menores perdas, racionalizações e ganhos de tempo e custo. Indo totalmente de encontro a filosofia central do Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios (MPRINCE) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Estes, como o próprio nome diz, integração projetual se torna fator crucial a ser estudado e alcançado, o que faz do *DfMA* um conceito base fundamental e uma ferramenta possível para se alcançar estes objetivos integrativos.

Munido de disciplinas do contexto da construção civil projetual e de obra, o MPRINCE tem como união teórico-prático diversas especialidades como higrótérmica, acústica, instalações, incêndios, dentre outras, evidenciando a necessidade crucial de integração interdisciplinar entre eles para alcançar o objetivo principal de uma edificação racional e muito bem planeada. O programa de uma das disciplinas do mestrado orientou o desenvolvimento desta dissertação, chamada Projeto Integrado, mais especificamente o módulo II. Em parceria com a empresa Grupo Casais, o objetivo foi suprimir e

desenvolver uma edificação racional, adaptativa, flexível e evolutiva. Para isso, foi utilizado um sistema estrutural pré-escolhido chamado CREE Buildings, que consiste em uma rede internacional que combina madeira híbrida. Esse sistema visa implementar métodos inovadores e ecologicamente sustentáveis de forma rápida e produtiva.

Unidos a isto, o exercício permitiu desenvolver com a união de arquitetos e engenheiros um modelo mais racional possível, utilizando dos preceitos atuais arquitetônicos modernos, limitações normativas e materialísticas, utilizando de ferramentas digitais para sua concessão, visando uma eficiência elevada do produto final concebido, com a ligação entre a academia e o mercado profissional, gerando uma troca de preceitos teóricos e práticos reais.

1.3. OBJETIVOS

Determinou-se então que o objetivo central desta dissertação seria o estudo para o desenvolvimento do projeto enxuto de uma edificação totalmente standardizada. Com a união metodológica da arquitetura e de engenharia com a otimização processual a fim de proporcionar a criação eficiente de construção, que poderá ser adaptada e recriada em diversos cenários e implantações. Escolheu-se a abordagem *DfMA* como tema foco.

Dessa forma, é de suma importância identificar os objetivos centrais presentes desta dissertação, procurando responder a três questões específicas:

1. Como pode o Projeto Integrado (PI) impulsionar o *DfMA*?
2. Quais os fatores que o desenvolvimento do projeto deve considerar para adotar o *DfMA*?
3. Quais os ganhos para o processo construtivo da construção modular?

Em resumo, ambas questões serão respondidas no decorrer da dissertação, munidos de exemplificações, citações e exemplos. O primeiro inquérito teve sua resposta apresentada no capítulo 2 entendido como estado da arte após uma breve contextualização histórica e conceitual. Já o segundo inquérito, vemos sua resposta diretamente ligada ao estudo de casos, encontrado no capítulo 3 desta, com a proposta de um sistema modular flexível adaptativo pré-fabricado ambicionando os resultados esperados de um projeto base contendor da estrutura lógica do *DfMA*.

1.4. METODOLOGIA

Esta dissertação foi desenvolvida como um estudo metodológico para investigar uma nova morfologia de construção e sua aplicação em um projeto realista para demonstrar suas dificuldades e alcance. Para alcançar esta abordagem de processo, foi necessário dividir a dissertação subcapítulos, que se distinguem em duas direções principais de componentes de macro metodologias específicas:

- A metodologia de pesquisa, aprofundada no processo de revisão de literatura, fornece uma sólida fundamentação teórica e ampla compreensão dos conceitos e princípios relacionados ao Projeto para Manufatura e Montagem (*DfMA*) e Projeto Integrado (IPD).

- Uma metodologia de estudo de caso que resultou na aplicação prática dos princípios DFMA e IPD no projeto de um empreendimento habitacional evolutivo modular em Portugal. Por meio deste estudo de caso, foram identificadas as principais dificuldades, desafios e benefícios da adoção dessas abordagens inovadoras na construção civil.

Esses dois elementos metodológicos se complementam e fornecem uma análise abrangente e aprofundada de *DfMA* e IPD, desde uma visão teórica até a aplicação prática em um contexto do mundo real. A dissertação contribui assim para o conhecimento e compreensão destas metodologias e apoia a adoção de práticas mais eficientes e sustentáveis na indústria da construção civil.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta os instrumentos do Estado da Arte centrais da temática abordada nesta dissertação, organizado em subcapítulos que abordam e discorrem os fatos e as pesquisas abordados sobre o tema central: 2.1. Introdução. 2.2. Temas e Conceitos-Chave. 2.3. Revisão Bibliográfica. O subcapítulo 2.2. será apresentado a base teórica que sustenta a discussão do capítulo, e entender os principais conceitos que serão abordados. O cerne do capítulo será o 2.3, fornecerá uma análise crítica e atualizada da literatura existente sobre o tema em questão. Essa revisão bibliográfica irá permitir compreender o estado atual da discussão sobre os temas e identifique possíveis lacunas e oportunidades de pesquisa, com abordagens específicas e conceituações distintas que se interligam por meio da contextualização histórica, social, econômica e ambiental.

Os tópicos que serão discutidos abrangem os seguintes assuntos:

- 2.2.1. Construção modular
- 2.2.2. Pré-fabricação
- 2.2.3. Habitação Modular
- 2.2.4. Design for Manufacture and Assembly
- 2.2.5. DfMA: perspectivas, inovações, BIM
- 2.2.6. Habitação Evolutiva

2.2.1. CONSTRUÇÃO MODULAR

Construção modular nada mais é que uma forma repetida de concepção, e segundo dicionário Aurélio é “medida adotada para regular as proporções das diversas partes de uma construção” (Construção modular, 2023). Sendo assim, de forma abrangente e resumida, é a repetição de medidas, padrões ou volumes para projetos de criação e construção no meio da arquitetura e da engenharia, assim como também no design, na indústria, se adaptando as necessidades, características e até mesmo a cultura local em que se insere.

Não há informações específicas datadas sobre as primeiras construções que utilizaram de módulos, por esta ser umas das práticas mais antigas presentes desde a antiguidade clássica registrada.

Um dos exemplos antigos mais significativos relatados e presentes até então são dos antigos egípcios, que na construção das monumentais pirâmides até hoje curiosamente indecifráveis sobre as significações e alguns métodos de construção. Para a formalização dessas estruturas, utilizaram-se padrões numéricos e sistemas métricos: *“em documentos fragmentários de desenhos e texto percebe-se a inclusão numérica indicando como a parede do templo deve ser dividida proporcionalmente para que os esquemas de decoração se encaixem adequadamente”* (Quack 2014, 17 – 27). Essas diretrizes, marcando eixos e grades ajudavam os trabalhadores a controlar as proporções de uma escultura (4).

Essa civilização utilizava sistemas corporais, conhecidos como medidas antropométricas, como o braço (cerca de 1 metro aproximadamente), o palmo, e o mais conhecido entre os estudiosos, o cúbito real baseado no braço do faraó, responsável pelas precisões na demarcação e confecção dos blocos de pedras utilizados nestes monumentos como unidade para demarcação das medidas, áreas, volumes, etc. Essas medidas padrões não eram só utilizadas para construção, mas também para o transporte, facilitando o processo de construção no transporte das pedras modulares por exemplo (5). Essa repetição e padronização de um sistema de medidas por exemplo acaba por se tornar o conceito modular abrangente, sua repetição de um *standard*.

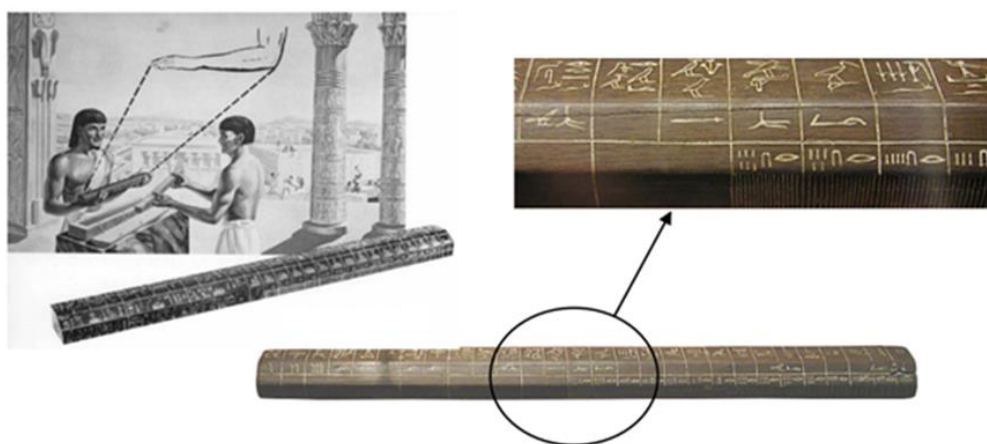


Figura 1 O Cúbito Do Faraó – Fonte: Revista Analytica - Wordpress 2016

Os construtores gregos e romanos, conhecidos por sua excelência na arquitetura e engenharia de grandes templos, acrópoles, praças, onde até hoje, usam também a modulação regida para medidas padrões, como o pé. Na Grécia antiga, para conseguir a simetria modular e regular em suas colunas, capitéis, frontões, nas edificações em total, utilizavam o pé grego para criar um sistema métrico como módulo para construção e proporção (Figura 2) (6). Isso também estava presente na antiga Roma, onde o pé romano era o módulo para construção de edifícios, como também das famosas estradas romanas (Figura 3). Estes resquícios de registros métricos, são vistos até hoje como influência de muitos métodos de medições utilizados, como a própria polegada e os pés utilizados pelos norte americanos e britânicos.



Figura 2 Templo De Atena Em Atenas - Grécia -
Fotografia feita por Florian Wehde.



Figura 3 Coliseu Em Roma - Foto: Getty
Images

Em ambas civilizações, mesmo havendo um distanciamento temporal de anos entre elas, conseguimos perceber e fazer uma análise a respeito de um grande denominador comum marcado, a necessidade de um padrão base para a construção de grandes estruturas como teatros, templos, palácios, estradas, dentre outros. Padrões estes presentes na repetição e padronização das colunas no caso dos gregos no tempo de Atenas e dos arcos romanos no coliseu, são um dos exemplos encontrados. Esse método de construção padronizado serviu de berço para os novos e atuais métodos dessa tipologia construtiva, sendo hoje utilizada na construção de diversas maneiras, seja off site ou in site dependendo da necessidade, material e tecnologia (6).

Desde que a arquitetura se tornou uma profissão significativa na sociedade mostrando sua importância na racionalização, concepção e construção, arquitetos como Marcus Vitruvius Pollio, Andrea Palladio e Le Corbusier, marcaram época (principalmente em modernizações e tecnologias de construções), e procuram estabelecer um padrão nos métodos de design, publicando seus próprios tratados arquitetônicos. Le Corbusier tem ainda a maior influência nos dias atuais, no conceito e o uso de módulos específicos na construção civil moderna seja de medidas padrão ou unidades modulares física como blocos, malhas e eixos. Conhecido como pai da modulação, desenvolveu um sistema de medida conhecido como Modulor no início do século XX (7).

Em meados de 1920 teve a necessidade de criar uma medida padrão baseado nas proporções do corpo humano, nas dimensões e possibilidades de execução de cada função. Definiu vários tipos de modulação como altura de portas, janelas, mesas, cadeiras, dentre diversas outras vertentes, como tamanho de ambientes para que estes espaços fossem mais racionais, funcionais, harmônicos e eficientes, adaptados ao homem moderno personificado no Modulor. Segundo ele, a prioridade era adaptar o espaço ao Homem com base no padrão modular que permitiria uma flexibilidade no projeto de edifícios, servindo o homem e não o contrário. Para isso, usava o estudo antropométrico anteriormente referente, como os egípcios, gregos e romanos, utilizando de proporções áureas, simetrias, princípios de medições matemáticas, etc (7).

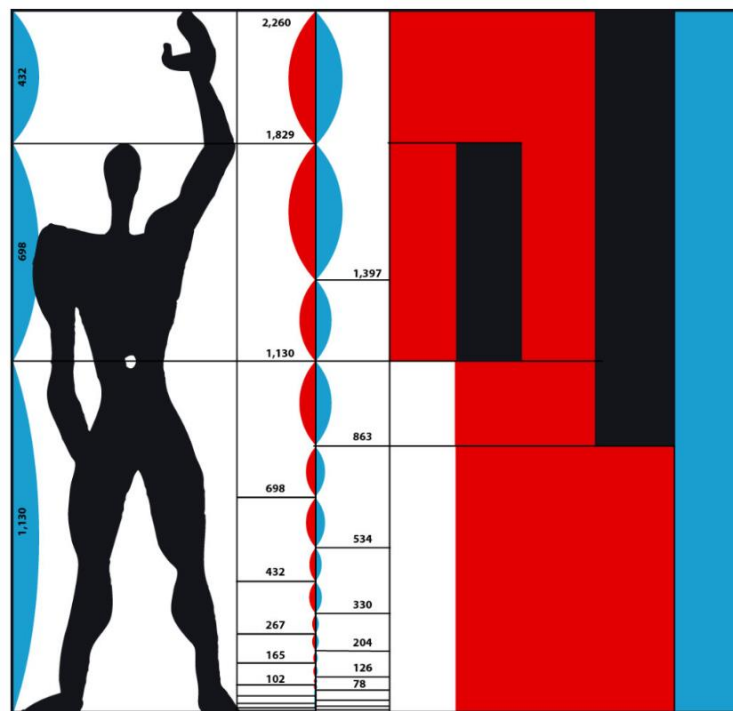


Figura 4 Le Modulor De Le Corbusier – Fonte: Towards A New Architecture – Le Corbusier 1923

O arquiteto resumiu o conceito de construção modular em seu livro "Vers une architecture" (1923), procurando uma arquitetura mais racional e econômica, sem perder a qualidade estética, uma vertente altamente defendida por inúmeros arquitetos de grandes renomes nos dias atuais, como Renzo Piano, Norman Foster e Bjarke Ingels (7,8).

Além de todos preceitos modulares ergonômicos, propôs também o uso de materiais industrializados como o concreto armado, para garantir a criação de edifícios mais altos e mais eficientes, aumentando as possibilidades de vários projetos serem pensados e idealizados e poderem então ser executados de maneira formalmente mais profícua (7,8).

Um exemplo notável de construção modular projetada por Le Corbusier é a Unité d'Habitation em Marselha (1946-1952). Este edifício residencial de grande escala (exequível graças ao poder da união da industrialização e do concreto armado) foi construído a partir de uma modulação padrão de concreto, criando uma estrutura padrão racional que poderia facilmente ser repetida em outros locais. Este edifício residencial conta com onze pavimentos, abrigando unidades de aproximadamente 50 m² (8). Apresenta uma estrutura vertical com apartamentos modulares que podem ser combinados e reorganizados de diferentes maneiras, permitindo a flexibilidade de uso internos. Os apartamentos contam com espaços amplos e eficientes, com layouts funcionais modulares. Cada apartamento tem sua área dividida em duas zonas: zona de estar e zona de serviço. A zona de estar é composta posta sala que se abre para uma varanda, uma área de refeição e para os quartos. Já a zona de serviço inclui uma cozinha, casa de banho e um quarto de serviço (7,8).



Figura 5 Edifício Unité d'Habitation em Marselha – Fonte: ArchDaily, foto por Gili Merin

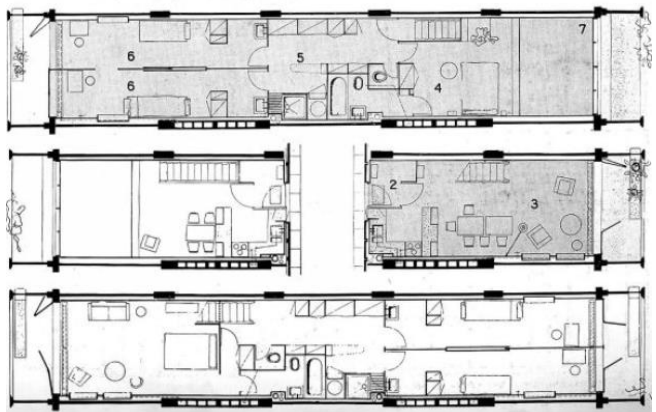


Figura 6 Planta baixa de unidades do Edifício Unité d'Habitation em Marselha – Fonte: <https://pt.wikiarquitectura.com/uhm2-2/>

Seu trabalho continua a inspirar novas ideias, novos usos de materiais e abordagens na arquitetura e design até hoje, deixando assim um legado duradouro na arquitetura moderna contemporânea. Como podemos ver em diversos projetos de arquitetos como o italiano Renzo Piano anteriormente citado, conhecido por projetos como o Centro Pompidou em Paris e o The Shard em Londres. Ele é um notável defensor da funcionalidade e eficiência na arquitetura amplamente abordadas por Le Corbusier, e diversos dos seus projetos adotaram esta abordagem modular semelhante àquela pelo arquiteto proposta somados com o uso de novas tecnologias industriais.



Figura 7 Centro Georges Pompidou Em Paris – Renzo Piano – Fonte: RSHP

Neste projeto em questão do Centro Pompidou, o arquiteto inverte o corpo do edifício, mostrando com funciona, deixando exposto todas as infraestruturas, criando espaços maiores e amplos no interior para que seja mais funcional em seu uso. Com a utilização de uma métrica de eixos modulares, o edifício foi concebido a partir de módulo pré-fabricados que pudessem ser adaptáveis caso houvesse necessidade de expansão futura. Cada módulo é feito como uma caixa de aço, uma série de dutos para serviços como eletricidade, água e ar condicionado são posicionados para flexibilizar este espaço, permitindo assim uma rápida construção e uma grande adaptação. Estes módulos em aço foram pré-fabricados nas indústrias e montados no local da construção, permitindo uma repetição do mesmo com a criação de novos espaços (9).

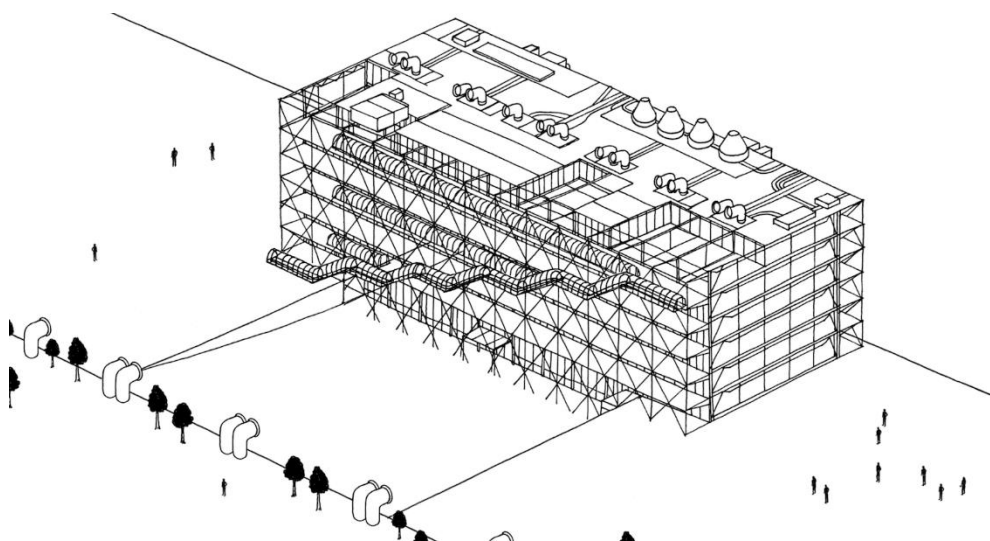


Figura 8 Esquema Dos Módulos Do Centro Georges Pompidou Em Paris – Renzo Piano – Fonte: Randomarchitecturememories

2.2.2. PRÉ FABRICAÇÃO

No conceito definido pelo Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, pré-fabricação é:

“ato ou efeito de fabricar com antecedência, sendo ele um fabrico prévio, sendo um sistema de conjunto com elementos standardizados fabricados antecipadamente e reunidos segundo um plano pré-estabelecido”. (Pré-Fabricação, 2023).

Em resumo, este conceito diz respeito a algo construído fora e montado dentro, seja do estaleiro de obra em si, seja de algum sítio específico, popularmente conhecido pela denominação *offsite*. Este termo refere-se a uma abordagem mais generalizada, onde inclui não só o fabrico de elementos como tijolos, materiais compostos como o próprio concreto e componentes como janelas, portas, mobiliários, mas também a montagem de elementos estruturais mais complexos. Existem quatro estágios de evolução, de acordo com o grau de intervenção da mecanização (10). Estes estágios discorrem das produções tradicionais totalmente manuais, produção industrial de elementos que necessitam de auxílio manual posterior e os dois últimos grupos, em que se destacam uma utilização massiva de mecanização, na produção e colocação em obra de elementos bidimensionais ou tridimensionais por meios mecânicos (10).

Falar de construção modular é inevitável remeter para o tema da pré-fabricação. A prefabricação sempre esteve presente no mundo, por diversas culturas até os dias atuais, na utilização de blocos de pedras cortadas, tijolos de barro feitos pelos Egípcios na construção de seus edifícios entre outros. O método tem sido cada vez mais utilizado nos dias atuais devido a suas potenciais vantagens, tais como maior eficiência, qualidade controlada e certificada, redução do tempo de construção e possibilidade de reutilização dos módulos em diferentes projetos. Pode, além disso, oferece maior flexibilidade (9).

Há ainda algumas limitações de design uma vez que os módulos pré-fabricados precisam ser projetados de forma a permitir sua fabricação e transporte eficientes. Estes módulos muitas vezes precisam ser transportados do local de fabricação até o local de construção, o que pode restringir em termos de tamanho, peso e acessibilidade. Essas restrições limitam a capacidade de construir estruturas maiores ou em locais remotos. Problemas de logística podem levar a atrasos e interrupções na construção (9).

Trazendo um pouco para o meio da arquitetura especificamente, sempre ligado à industrialização seja ela da produção, ou obra, o termo pré-fabricação propriamente dita vem sendo uma parcela importante da indústria da construção, porém, há uma grande diferença entre pré-fabricação da construção e o fabrico em série da indústria:

A pré-fabricação tem como princípio a construção enxuta, especializada e destinada ao local específico. Muitas vezes, são necessárias intervenções e modificações para atender às características próprias do sítio em questão. Ao contrário, a segunda expressão é comercial, impessoal e baseada em produção em série, com manufaturas repetitivas em larga escala e mecanização (11). Este termo é muito visto na indústria, onde há uma grande necessidade de repetição pela grande demanda de materiais, bens e produtos, tendendo a ser padronizada e limitada, com uma grande falta de diversidade e envolvimento dos usuários em suas concepções (11).

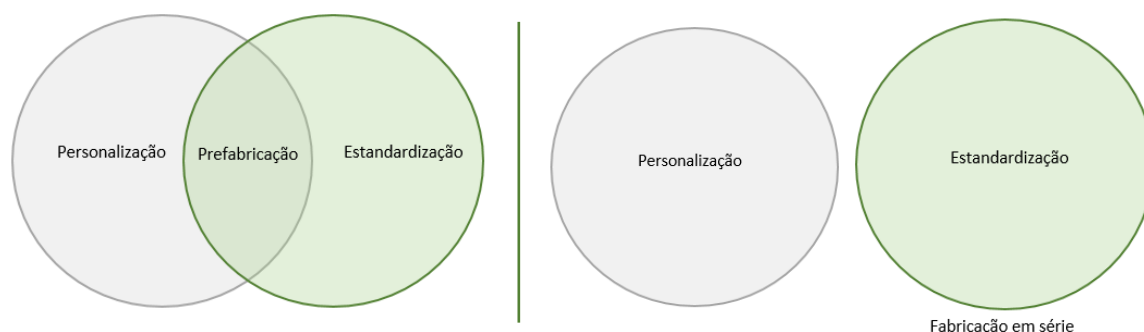


Figura 9 Esquema Prefabricação X Fabricação Em Série – Fonte: Autoral

Desde o pós Segunda Guerra, a crescente tecnologia gerada principalmente na Grã-Bretanha e no leste europeu como Alemanha, URSS (países onde a guerra foi incidente), conceitos industriais vem ganhando força em varias áreas do conhecimento, como na própria indústria bélica, comercial, arquitetura, engenharia e até mesmo na medicina, onde um mesmo conceito possui varias significações em decorrer de sua especialidade em detrimento de sua área. A destruição causada pelas guerras gerou uma enorme demanda por habitações para o crescente número de pessoas desabrigadas pelo conflito. Para conter essa demanda, as autoridades de vários locais incentivaram a adoção de novos métodos de construção. Estes fomentaram a pré-fabricação por permitir uma construção rápida e eficiente de moradias em grande escala para suprir este déficit, com a criação novas tecnologias industriais de replicações e materiais mais versáteis como o metal (12).

A construção civil pré-fabricada vem ganhando forças justamente também pelo declínio gradativo da construção tradicional, por sua alta necessidade e escassez de mão-de-obra profissional manual em vários países como Espanha, Portugal, França. A construção tradicional demanda além de vários homens na construção de grandes edifícios, um alto gasto de tempo de obra, de estaleiro, potencializando os erros e reparos durante a construção e consequentemente, se tornando mais dificultosa e custosa. Outra necessidade que veio a suprir esta desfasagem da construção tradicional foi no uso da mecanização para transporte, armazenagem dos elementos, onde se começa a ver uma repetitiva instalação e uso de elementos sejam estruturais, sejam envoltórios em toda edificação (10).

A indústria da construção vem trazendo novas metodologias para aumentar a utilização de tecnologias externas tais como mecanizações de transporte, produção em série, dentre outras, focando-se cada vez mais numa maior utilização do fabrico industrial. Conseguir assim lidar com a falta de oferta e a baixa qualidade de construção das habitações causadas pelas dificuldades das mãos de obra, dadas as exigências e a falta de qualificação e treinamento dos trabalhadores do sistema tradicional. A maioria destes não possui as habilidades técnicas necessárias para trabalhar com as novas tecnologias de construção, o que limita a sua capacidade de se adaptar às mudanças na indústria da construção civil, além do maior fator que vem a ser a baixa qualidade do trabalho físico em obra, sujeitos às más condições do clima local, horários inflexíveis e esforços

constantes. Todos esses fatores se tornam percursos desta migração do estaleiro de obra para o interior das indústrias, onde o controle e condições de trabalho são melhores e regulamentados, produzindo condições muito favoráveis para essa mudança.

2.2.3. HABITAÇÃO MODULAR

Desde a Revolução Industrial, até os dias de hoje, o número e a distribuição de habitação continuam a ser extremamente desigual em algumas regiões e países densamente populosos e em centros urbanos (1). Justamente por conta desta migração excessiva nas cidades e para a vida industrial urbana, principalmente os países em desenvolvimento que não conseguem suprir as necessidades habitacionais. Depois da Segunda Grande Guerra houve uma necessidade da reconstrução das cidades. Com uma urgência na criação de moradias temporárias e de baixo custo para as pessoas afetadas pela guerra, o que fez com que as práticas modulares viessem a ser adotadas. Nos Estados Unidos, por volta da década de 1950 foram criadas habitações modulares para atender esta demanda dos veteranos de guerra tirando proveito da indústria de armamento. Na Europa e na Ásia percebeu-se também que esta seria uma forma eficaz de reconstruir as cidades dizimadas (13,14). A rápida urbanização, impõe prazos curtos, exigências de qualidade, pondo em causa os métodos tradicionais, crescendo as opções *offsite* e pré-fabricação e com isso, a construção modular. Somados a isto, também a criação de várias políticas habitacionais, impondo padrões mínimos de higiene e segurança nestas habitações como ventilações adequadas, saneamento básico, uma boa iluminação, proteções contra incêndios, riscos estruturais e pragas exigindo maior qualidade e rigor na construção (1,15).

Esta urgência de supressão e melhorias habitacionais, foram somados às grandes vantagens da industrialização pré-fabricada. Vantagens essas como a economia de tempo com a velocidade de produção padronizada personalizável, redução de custos, sustentabilidade de materiais muitas vezes circulares e pelo controle de qualidade vem cada vez mais ganhando enfoque e percepções de vários autores e estudiosos para melhoria cada vez mais deste conceito de construção.

O fornecimento de moradias acessíveis e econômicas desempenhou um papel significativo nos outros países do leste europeu. Essas nações modificaram as técnicas e materiais de construção para atender às suas necessidades específicas de cada sítio, mas o conceito geral de produção em massa de casas pré-fabricadas permaneceu o mesmo (13,14).

Nos últimos anos, dada a escassez de mão-de-obra e o custo dos materiais, tem vindo crescer a utilização de habitações prefabricadas modulares se vê notória em países onde essa demanda de habitações sustentáveis e acessíveis ainda é crescente. Uma vez que estes módulos se tornam mais sustentáveis do que em uma construção tradicional, pelo seu custo mais baixo, maior flexibilidade de design e configuração espacial (13,14).

Habitação modular baseia-se assim no conceito de construção modular. Os módulos pré-fabricados são transportados para o local de montagem, onde podem ser conectados para formar a estrutura final ou virem em compostos prontos, podendo assim haver módulos individuais 2D, como planos de paredes, lajes, revestimentos ou

módulos mais completos incluindo paredes, pisos, tetos e sistemas elétricos e hidráulicos incorporados em si, denominado sistema 3DConcebidos para se interligarem harmoniosamente e estarem conectados de forma a possibilitar a formação de diversas configurações e dimensões habitacionais (9,13).

2.2.4. DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY

Logo após a revolução industrial, em meados do século XIX, a indústria se viu inundada por baixas produtividades, lentas absorções de tecnologias e dificuldades de execuções, tendo então como saída a aproximação da industrialização manufatureira. Tornando-se uma vantagem significativa para atender a essas demandas em termos de custos, materiais e tempo, o DfMA vislumbra um potencial significativo devido à crescente influência da industrialização (2).

Surgiu então a ideia da utilização de uma metodologia de apoio às equipes de projeto à produção utilizada em larga escala na indústria, o *Design For Manufacture and Assembly*, conhecido pela sigla DfMA (16).

O DfMA surge para aproximar as equipes de projeto à produção, como estratégias para acelerar a produção fabril e reduzir assim os custos da produção. Foi utilizando de metodologias e diretrizes da indústria para otimizar o processo de produção de bens e produtos diversos, tendo assim, uma maior eficiência e otimização. Disto o DfMA além de procurar reduzir custos, tem como ideia a redução do tempo em que o produto é lançado no mercado (2).

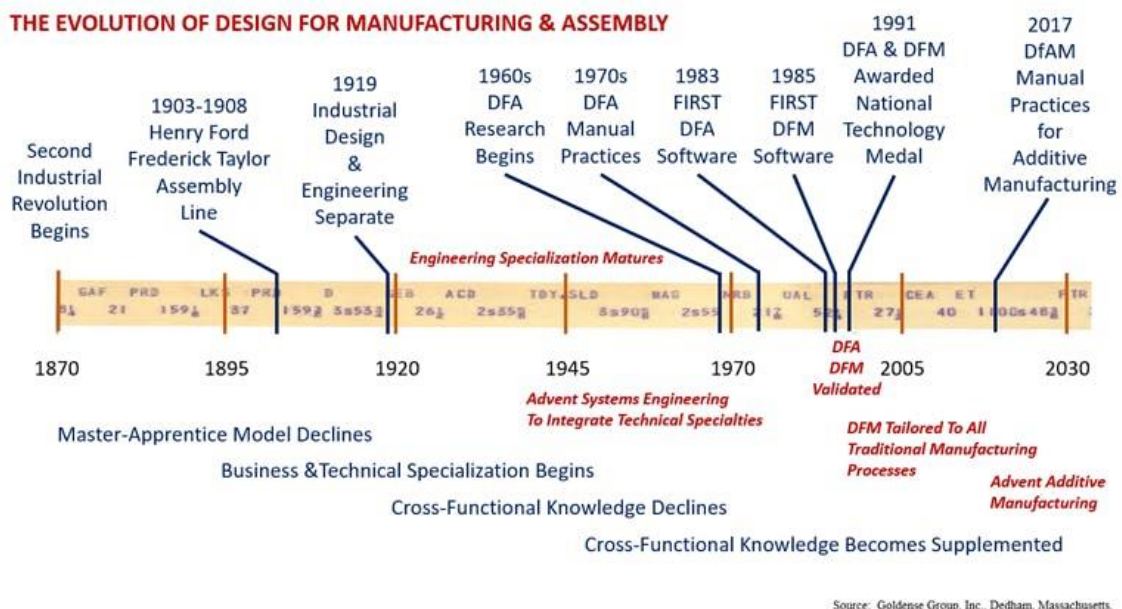


Figura 10 A Evolução Do Dfma – Fonte: Machinedesign

Durante a Segunda Grande Guerra (entre 1939 e 1945), este método foi utilizado por Ford e Chrysler, que o aplicaram na produção de armas de maneira mais eficiente, rápida e barata (17). A metodologia então foi aperfeiçoada durante anos, sendo muito utilizado pela indústria automobilística por onde se utilizou de diversas técnicas de produção em massa na fabricação mais rápidas de carros (17). Depois deste

acontecimento, o conceito acabou influenciando outras indústrias como a construção civil devido ao aumento das forças da industrialização, na implementação e descoberta de novas tecnologias.

O DfMA se tornou uma ferramenta indispensável na produção na construção pré-fabricada, tendo como objetivo:

“identificar e obter informações de produção relevantes para informar as decisões de projeto (muitas vezes olhando para o trabalho existente sobre construtibilidade), desenvolvendo metodologias para aplicar o conhecimento de produção no processo de projeto e investigando técnicas de otimização.” (Ivana Kuzmanovska),

As diretrizes de projeto combinadas com métodos de avaliação e otimização da produção (agora até mesmo em forma de software como o Revit, uma das ferramentas BIM mais utilizadas nos dias atuais) melhoraram o processo de fabricação do produto (2). Desta forma, as aplicações dessas técnicas acabam por permitir que possam ser feitas melhorias e replicações em um projeto, tornando-o mais fácil em fabricação e montagem posterior pela simplificação das interligações dos processos de fabricação, construção e montagem (2).

Para que tudo corra de maneira objetiva, há uma necessidade de otimizar e interligar os processos referentes às várias áreas do conhecimento para sua produção rumo a um projeto integrado, para que as várias áreas disciplinares compactuem com novas informações relevantes para realização do trabalho. A construção modular difere da construção tradicional por não seguir o modelo "we design it, you build it" defendido por Geoffrey Boothroyd, em que não há interconexão entre o projetista e o construtor o que pode ser observado na figura abaixo. O que torna mais difícil a resolução de problemas. (16).

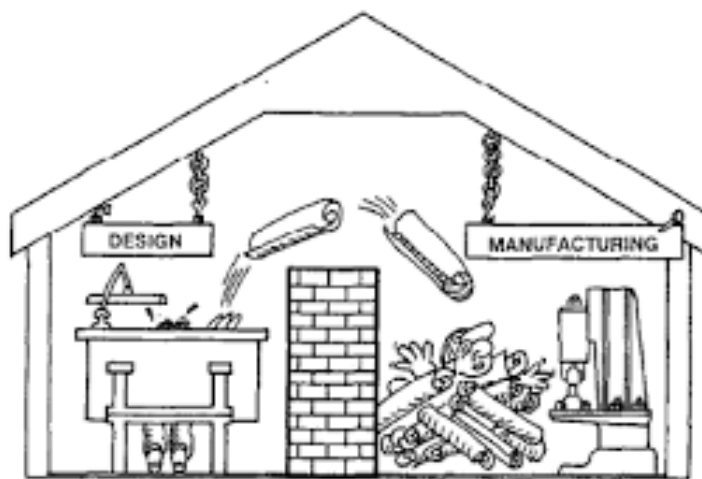


Figura 11 “Over The Wall” – Fonte: Geoffrey Boothroyd

Já na construção modular, a ligação direta e constante entre as partes envolvidas é fundamental para garantir uma relação construtiva eficiente, sem barreiras. É de suma importância que o projetista esteja envolvido no processo desde o início, trabalhando em colaboração com o construtor/instalador (o que se difere do método tradicional

caracterizado na figura 11 acima exposta). Essa colaboração permite que o projetista compreenda as possibilidades da construção modular e entenda suas restrições, contribuindo para um projeto mais adequado e otimizado. A ligação estreita entre o projetista e a construção modular possibilita que o construtor/instalador tenha uma participação ativa no decorrer do processo de projeto. Ao receber informações organizadas e estruturadas, o construtor/instalador pode contribuir com seu conhecimento prático muitas vezes efetivo, identificando possíveis desafios de construção e propondo soluções eficientes (18).

Portanto, a importância da ligação entre o projetista e a construção modular reside na oportunidade de integrar o conhecimento técnico do projetista com o prático do construtor/instalador no processo de projeto. Essa ligação colaborativa contribui para um resultado final de maior qualidade, atendendo tanto às necessidades estéticas e funcionais do projeto quanto às exigências construtivas da construção modular (18).

2.2.4.1. DESIGN FOR MANUFACTURE (DFM) E DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA)

O termo *Manufacture*, fabricação em português, é utilizado na indústria como fabricação de partes de componentes individuais. *Design for Manufacture* (DfM) por si só tem uma abordagem mais específica, que significa projeto para facilidade de fabricação do conjunto de peças que futuramente, se tornarão o produto final como objetivo de otimizar os processos para produção deste produto (16).

Nesta ideia, necessidades importantes como escolha de materiais, formas, simplificação de montagens são evidentes, onde o objetivo centralizador é projetar algo que possa ser adequado à fabricação, e que acabe gerando um custo baixo em menor tempo, reduzindo assim os processos desnecessários durante a produção. Os componentes de construção fabricados por DfM incluem desde elementos estruturais, como pilares e vigas, até elementos não-estruturais, como janelas, portas e painéis de fachada (16).

A chave para o sucesso deste processo é a produção em fábrica, onde é possível controlar os processos garantindo o máximo de qualidade dos componentes. Neste estágio detetam-se os problemas de fabricação acabam sendo retornados ao projeto, gerando mudanças e alterações que se forma em obra gerariam os maiores atrasos (16).

Na construção o DfM tem sido amplamente utilizado especialmente em projetos de grande escala, como hospitais, escolas e edifícios comerciais, onde se vê a necessidade de uma padronização na construção, mas ganha cada vez mais espaço em construções habitacionais. O uso do DfM pode melhorar significativamente a eficiência da construção e reduzir o impacto ambiental com a diminuição do desperdício de materiais durante a construção (17).

Já o *Design for Assembly* (DfA), na tradução literal da expressão temos o projeto para montagem, que significa nada mais nada menos que adição, união de peças para formar um produto completo, se encaixando perfeitamente em várias vertentes e conceitos.

Boothroyd foi um dos pioneiros do estudo desta vertente, e defende que esta metodologia simplifica os processos do projeto. Simplificar os processos de montagem,

o número de peças necessárias. Reduz não só o custo, mas também o tempo de montagem e suas melhorias de qualidade, resumindo, produtos de rápida montagem, pouco número de peças e redução dos processos desnecessários (16).

O DfA na construção civil se torna uma abordagem que se concentra em projetar componentes de construção fáceis e rápidos de montar no local da construção. A ideia central do DfA então é projetar os componentes de construção com a montagem em mente, já pensada antes da execução, considerando os processos de montagem desde as primeiras etapas do projeto.

Os dois termos, tanto o DfM quanto o DfA, mesmo sendo abordagens distintas e específicas, são complementares no processo de otimização da produção final, seja ela de manufatura, automobilística ou no caso em questão, da construção civil. Essa abordagem é especialmente relevante na construção de edifícios, que demandam uma maior integração entre os processos de projeto e produção mais completos. Unindo-se então nos preceitos e ideais do denominado DfMA, onde esses componentes ou montagens podem ser para um único projeto ou, geralmente com personalização em massa, muitos projetos diferentes (16).

No ato do projeto para DfM e DfA, os arquitetos e engenheiros devem considerar a utilização de peças modulares, o uso de encaixes e fixações simples para montagem e desmontagem, a minimização da necessidade de cortes e ajustes no local da construção para simplificação e a escolha de materiais leves e fáceis de manusear. Isso pode resultar em componentes que são mais fáceis e rápidos de montar no local da construção, reduzindo assim o tempo e o custo da construção (19).

Tendo como princípios fundamentais segundo Boothroyd:

- 1) Simplificação do projeto, projetando produtos com peças mais simples, reduzindo a quantidade de peças e a complexidade das mesmas.
- 2) Padronização e modularização, onde se deve utilizar peças e componentes padronizados e modulares, para facilitar a montagem e a substituição.
- 3) Uso de encaixes e fixações simples, evitando o uso de parafusos, rebites e outros elementos de fixação complexos e de difícil acesso, preferindo encaixes simples e rápidos.
- 4) Facilidade de acesso e manutenção com produtos com fácil acesso a todas as peças e componentes, para facilitar a montagem e a manutenção.
- 5) Redução de peças e componentes diminuindo o tempo de montagem e facilitando a produção e a logística.
- 6) Seleção de materiais leves e resistentes, que possam ser facilmente manipulados e montados.
- 7) Projeto para desmontagem de forma que as peças possam ser facilmente desmontadas e recicladas ou reutilizadas.

Boothroyd criou então em um de seus estudos uma metodologia de ciclos de etapas (Figura 12) para seguimento de aplicação para o DfMA, fragmentando-o em diferentes fases. Estes esquemas de ciclos vão desde a utilização do DfA, até o DfM, seguindo uma cronologia típica podendo existir requisitos específicos que exijam reajustes para alcance desta otimização seja em um novo projeto, seja em uma proposta já idealizada (16).



Figura 12 Etapas Típicas Realizadas Em Um Estudo DFMA Usando O DFMA. -
Fonte: Boothroyd 1994

Cada etapa (Figura 12) visa um objetivo específico, partindo das definições, objetivos e requisitos do projeto em si, incluindo características relevantes como custo, tempo de produção, quantificações, dentre outros. Estes esquemas são seguidos pela seleção do projeto de montagem definido anteriormente como o DfA, onde a seleção do processo de montagem irá ser usada para produção do produto, incluindo definições de materiais, técnicas de montagens para simplificação e padronizações dos processos, e outros fatores. Segue-se DfM, onde o projeto do produto específico é ajustado para facilitar o processo de fabricação, como por exemplo a simplificação e redução no número de componentes e peças, resultando em um produto mais eficiente e otimizado, pronto para ser testado e validado com protótipos fiéis ao programa. Isto garante sua qualidade e após validação, segue na sequência de produção massiva em larga escala (16).

Estes protótipos pré-fabricados tornam-se mais rápidos de serem produzidos e replicados de maneira segura e sustentável. Podendo muitas vezes serem partes modulares que se unem em diversos objetivos como na criação de módulos de um edifício, mobiliários ou especialidades por exemplo (16).

Conclui-se positivamente que existe uma independência entre essas etapas, de modo a viabilizar e garantir a funcionalidade eficiente do processo. É essencial que essas etapas prossigam de forma conjunta e se complementem, oferecendo suporte para melhorias constantes com o objetivo de alcançar o produto final desejado de maneira mais eficiente. Não se pode projetar algo sem pensar em seus materiais nem como

serão concebidos, instalados e utilizados posteriori, tendo uma visão integrada entre os processos de construção e de projeto. Com isso, o DfMA pode ser aplicado a diversos tipos de construção, seja ela residencial, comercial e até obras de grande porte como estradas, pontes e estruturas maiores, tendo assim uma maior eficiência na utilização dos recursos. Para que isso ocorra, estas etapas necessitam de serem muito bem pensadas e analisadas antecipadamente (16).

O DfMA surge como uma das principais metodologias norteadoras para traçar benefícios locais e sustentáveis para uma produção em massa padronizada na construção civil (20). Considerando que a indústria da construção civil ocupa uma posição de destaque na geração de resíduos, abrangendo uma vasta gama de materiais como entulhos, madeiras, plásticos, metais e outros recursos, torna-se crucial priorizar a adoção de práticas mais sustentáveis. A Comissão Europeia, em seu Protocolo de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição da UE (setembro de 2019), enfatiza a importância dessa mudança para promover maior sustentabilidade no setor. Devido a estes diversos fatores, o DfMA se torna ainda mais significativo, diminuindo os custos de transporte pela fragmentação controlada das partes, fazendo uso de menores e mais eficientes energeticamente, com menos gastos energéticos e de recursos naturais como a água no local de obra ou fabricação (20). Além desta vertente, o DfMA acaba criando uma iniciativa da arquitetura e economia circular, chamada de DfMAD – Design for Manufacture, Assembly and Disassembly (Design de Fabricação, montagem e desmontagem), onde a grande quantidade de componentes produzidos, após não se fazerem mais necessários localmente, podem ser adaptados e reintegrados em outros locais, projetos e usos (20). Esta economia ajuda no prognóstico do uso de carbono e acaba transformando a padronização elementar em diversificação de componentes de um único projeto, sendo utilizado em outros através da desmontagem e remontagem, explícitos esquematicamente na Figura 13 abaixo.



Figura 13 Cadeia Produtiva Dos Materiais Da Construção Civil. Fonte: Gasquez, 2015 Adaptado Pelo Autor

Este processo de montagem e desmontagem fomenta a economia circular uma vez que se dá um uso aos elementos ditos dispensáveis momentaneamente em um propósito inicial onde já haviam cumprido seu papel e não se fazem mais necessários neste sítio (20). Esta é uma abordagem de projeto em que visa identificar e estudar de maneira global o ciclo de vida do edifício por exemplo, desde sua construção até sua

manutenção. Em um edifício, seus materiais tendem a possuir diversidades de ciclos de vida, o que faz ter ainda mais importância uma relação integrada de fabrico, montagem, manutenção e a desmontagem de elementos (no caso do DfMAD) para que possa seguir fazendo parte de outros novos ciclos e assim por diante (20). Seja ele na reutilização por completa, ou da própria reciclagem futura, se transformando em novos elementos e produtos, conforme expressa a Figura 14 abaixo.

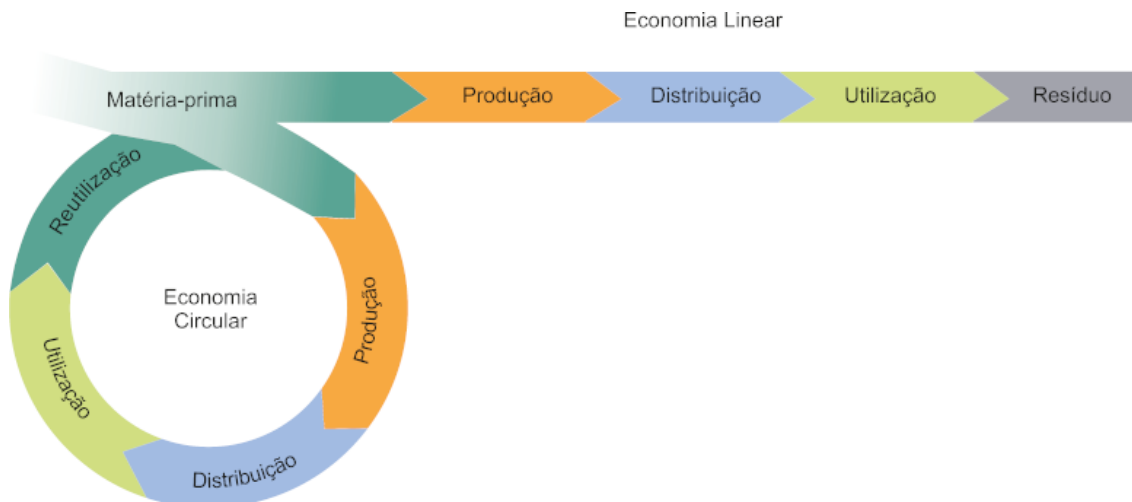


Figura 14 Comparação Entre Os Modelos De Economia Linear E Economia Circular. –
Fonte: Edifícios E Energia

O modelo de economia circular em si busca maximizar essa utilização finita dos recursos, no caso de obras, por meio dos 3 “r”: reutilização, reciclagem e recuperação, que unidos ao DfMA, acabam por projetar edifícios e estruturas de maneira a facilitar sua recuperação, seja ela no desmonte total das peças, ou na recuperação dos materiais utilizados, reduzindo o consumo de matérias-primas e recursos naturais, contribuindo para um aumento no desenvolvimento económico sustentável.

2.2.5.DFMA E O IPD: PERSPETIVAS, INOVAÇÕES, BIM.

O DfMA fomenta diversas questões relacionadas ao mercado, custos, ambiente, transporte e poderá crescer cada vez mais dependendo de sua escala de utilização, através de novos modelos de negócios com esta integração multidisciplinar e interdisciplinar no Projeto Integrado (IPD - *Integrated Project Delivery*) que evidenciam sua importância. Por ser um modelo colaborativo, o IPD faz a gestão de projetos e equipas desde o início de um projeto específico até a conclusão do mesmo, através do compartilhamento de informações e das tomadas de decisões conjuntos. A estratégia base do IPD é então permitir que todas as partes colaborem, compartilhando informações, recursos e riscos para que possam alcançar objetivos e aumentar a eficácia do projeto.

Somados à multidisciplinaridade do IPD, as abordagens DfMA visam a simplificação de processos de construção, fabricação. Este tem o dever e o poder de regulamentar várias questões em causa, implementando políticas de incentivo à formações e ate mesmo a própria academia, que qualifica e cria novos gestores, alem também dos próprios usuários, pela colaboração efetiva de uso da edificação por exemplo (21). Além disso,

com o crescimento da indústria, a visão progressista e mitigadora do DfMA se torna cada vez mais palpável e alcançável, pela maior gama de possibilidades e recursos a serem utilizados (21).

A criação recorrente de novos recursos para auxílio na construção como o próprio BIM (*Building Information Modeling*) que é uma ferramenta de modelagem que permite a criação minuciosa e pormenorizada de modelos digitais que incluem todas as informações necessárias para fabrico, construção e até mesmo simulações realistas, na representação detalhada de um projeto, incluindo informações diversas sobre materiais, componentes e sistemas, utilizando de análises de interações entre componentes permitindo que o projetista possa ver como o componente se comporta em detrimento aos várias ligações simultâneas, ajudando assim na identificação de potenciais e oportunidades diretamente ligados ao DfMA (22).

Além disto, o BIM é utilizado na colaboração de equipas, podendo ser compartilhado entre diversas áreas envolvidas na construção, permitindo um acesso global entre especialidades e setores.

O uso do BIM pode ajudar na aplicação da metodologia DfMA, melhorando a eficiência, reduzindo custos, minimizando erros e aumentando a qualidade da construção, utilizando do uso padronizado de elementos e na redução de trabalho de construção desnecessários, uma vez que o mesmo pode ser utilizado para identificar e resolver conflitos antes mesmo da obra começar minimizando as alterações projetuais recorrentes, reduzindo tempo (22).

Em conjunto, o IPD e o BIM tornam o DfMA mais eficaz, melhorando o acesso a informações, aumentando a qualidade e a eficiência do processo de construção.

A economia (em termos numéricos) também acaba por se tornar mais promissora devido à necessidade constante de novas atualizações, capacitações e qualificações de pessoas e equipamentos pelo modelo tradicional evolutivo. Isso inclui colaborações diversas das equipas de projeto, fabrico e obra, sejam elas profissionais e académicas, no desenvolvimento e pesquisas de novas habilidades de construção, produção e execução. Outro aspeto relevante é o conceito atual emergente do net zero (zero emissões líquidas de carbono em uma tradução mais literal). Ele se destina a edifícios que reduzem significativamente o impacto ambiental, sendo construídos e operados para terem um impacto líquido zero. Esses edifícios são altamente eficientes energeticamente, com seu consumo energético e de materiais convergindo ao zero. Além disso, há uma atenção especial para o gerenciamento dos resíduos gerados resultantes de mitigações (23).

Esses conceitos podem se tornar cada vez mais palpáveis com as transformações digitais já presentes nos dias atuais como o uso de ferramentas dinâmicas como o BIM (*Building Information Modeling*) na criação de famílias e ferramentas interoperáveis e integrativas com o uso de dispositivos interativos e colaborativos incluindo inteligência artificial e o impulsionamento da assim automação robótica, no desenvolvimento mais automatizado para montagem e fabricação de peças de diversas escalas (23).

Uma vez que a integração entre áreas torna cada vez mais rica em possibilidades de sucesso, por diversas áreas em colaboração, abordam diversos fatores e setores que visam o bem comum da redução custo, material, mão-de-obra e tempo, pois o DfMA

tem o potencial de melhorar significativamente a eficiência, qualidade e sustentabilidade das construções, com o potencial de análises de dados, identificação de viabilidades e eficiência dos processos, criando assim projetos mais bem pensados e planejados para suprir as necessidades do indivíduo, como expressado por Le Corbusier, onde a arquitetura deve estar servindo o homem e não o contrário.

2.2.6. HABITAÇÃO EVOLUTIVA

Depois dos pós Segunda Grande Guerra especificamente a Europa passou por diversas modificações, uma vez que inúmeras cidades foram devastadas por conflitos armados. Isso gerou uma grande necessidade de reconstruções para acomodar a população desalojada que crescia e imigrava exponencialmente, principalmente nos centros mais economicamente favoráveis como as capitais, gerando cidades superlotadas e insalubres nas áreas mais precárias economicamente. Foi então que a partir do ano de 1950 que os governos começaram a ter políticas habitacionais efetivas dependendo de cada país, para enfrentar as más condições de vida nas cidades (24). Além disso, muitas pessoas podem ser forçadas a se deslocar devido à guerra, o que pode levar a uma maior urbanização e densificação das áreas urbanas (25). Essa reconstrução muitas vezes ocorre com a utilização de materiais mais simples e técnicas de construção mais rápidas e eficientes, o que pode influenciar o design e a estética das novas habitações (25).

Dentre essas políticas, vários conceitos urbanos surgiram, que incluíam políticas públicas de habitação, incentivo à construção privada e o desenvolvimento de incentivos para arrendamento direcionados à população de baixa renda que não possuíam moradias adequadas, através de normas e leis que regiam e implementavam os ideais de cada governo, moldadas pela economia, cultura e política regional. A criação da União Europeia teve um papel importante, uma vez que faz a gestão e coordena estas políticas de modo igualitário em todo continente, influenciando na construção, planejamento de cidades e construções de todos os tipos (26).

Essas mudanças são observadas também nos dias atuais, com uma mudança significativa no estilo de vida e na habitação das pessoas. Cada vez mais, a população opta por moradias menores e mais eficientes, em grande parte devido ao aumento do custo de vida em áreas urbanas. Além disso, a pandemia de COVID-19 teve um grande impacto na forma como as pessoas trabalham e vivem, levando muitas a reavaliar suas prioridades de habitação e a buscar soluções que permitam mais espaço ao ar livre e mais flexibilidade em suas rotinas (25). Isso resulta em novos desafios para os planejadores urbanos e arquitetos, que precisam encontrar maneiras de acomodar uma população de grande crescimento em espaços geralmente limitados.

Todos estes ideários de massificação e densificação das cidades, convergem para os valores e conceitos de uma demanda de produção mais rápida e eficiente para uma arquitetura habitacional de qualidade que supra estas novas adaptações e busquem cumprir requisitos mínimos de uma habitação digna. Também somados a isso, que acabe por fomentar uma economia circular, redutora de custos e resíduos, satisfazendo não só questões sociais e econômicas, mas principalmente ambientais.

Mais especificamente desde meados do século XX, arquitetos questionam estes padrões de vida sociais e ambientais, buscando sempre novas tecnologias e métodos para suportar a crescente mutação e evolução do modo de vida, da família e até mesmo pessoal. Como por exemplo, o famoso arquiteto detentor da expressão “menos e mais” Mies van der Rohe que trabalhou durante anos no desenvolvimento de edifícios adaptativos e flexíveis. O projeto Weissenhofsiedlung, permitia que os próprios moradores modificassem as instalações internas de suas unidades a fim de satisfazer sua necessidade, desde o próprio mobiliário até as paredes, reorganizando os ambientes em prol de seu estilo de vida. Mies van der Rohe padronizou também diversos elementos da construção como painéis de vidros e até paredes de tijolos, que facilitaram sua execução e sua adaptação, se tornando precursora na ideia de uma habitação que satisfaça o deficit habitacional e traga qualidade (27,28).

O projeto Weissenhofsiedlung um dos precursores de uma arquitetura modular adaptativa flexível, que explorou novas formas de vida em comunidade e influenciou o desenvolvimento da arquitetura moderna no século XX (29).

Na imagem abaixo, é possível observar esta mutação funcional. Na planta à esquerda existe um traçado formal com um maior número de painéis, que apresentam um layout mais segmentado. Por outro lado, na planta à direita, o layout revela-se mais fluido, flexível e aberto, evidenciando o uso diferenciado dos painéis de divisórias por parte do arquiteto.

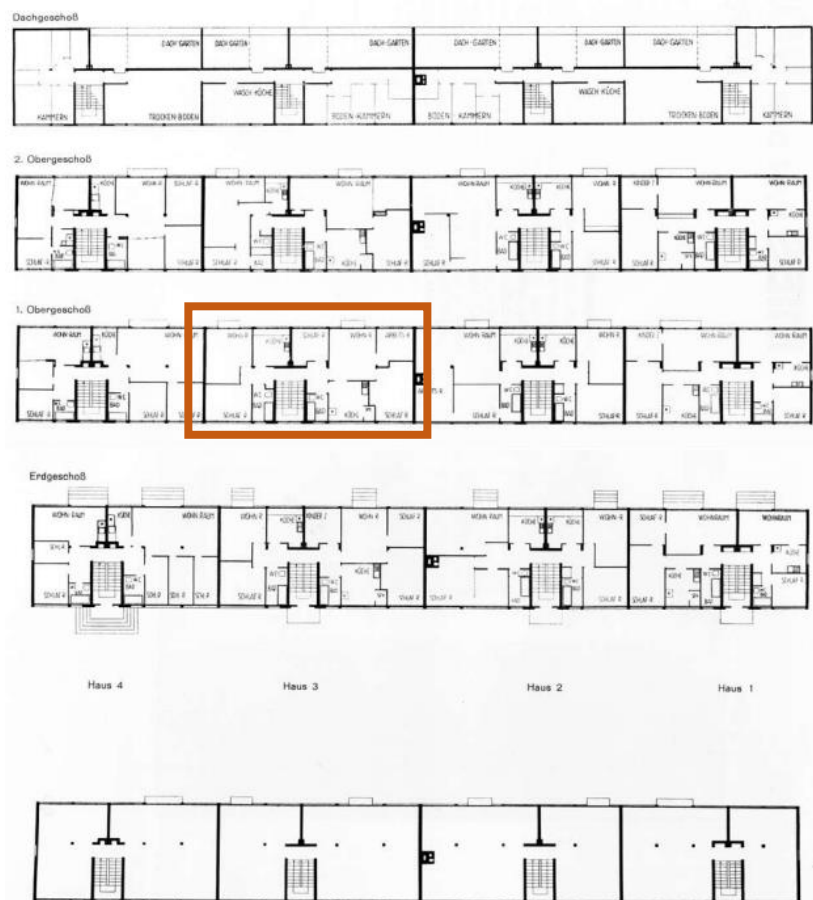


Figura 15 Plantas De Apartamentos De Mies Van Der Rohe – Fonte: Bau Und Wohnung, 1927.

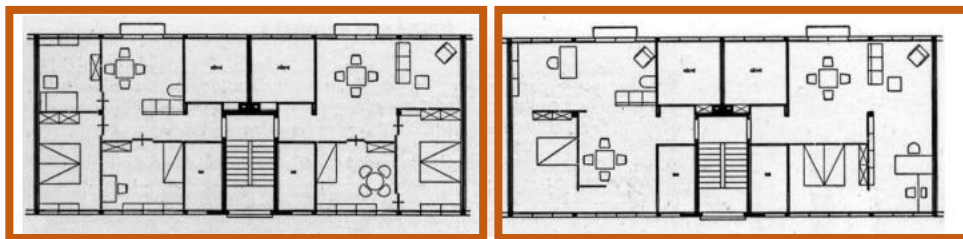


Figura 16 Plantas Com os Paineis Móveis Segundo Ludwig Hilberseimer – Fonte: Bau Und Wohnung, 1927.

Este projeto é um exemplo perfeito de habitação evolutiva, onde, por meio de mudanças pontuais específicas, o próprio utilizador pode adaptar as disposições internas de um espaço (neste caso, de um apartamento) para satisfazer as suas novas necessidades. Estas necessidades podem incluir a criação de um novo quarto para acomodar um filho, uma sala maior, novas disposições de cozinha, entre outras. Ao permitir essa evolução interna, o apartamento não fica limitado, possibilitando a adaptação sem alterar a sua estrutura morfológica externa. Isso é possível devido à modulação interna dos painéis móveis, por exemplo. A sua modularidade permite que o rearranjo seja feito sem grandes perdas ou obras necessárias para essa adaptação, sendo apenas necessário reorganizar os painéis.

Com essa crescente idealização conceitual modular, industrial evolutiva, exemplificado pelo projeto acima, as buscas por conceitos flexíveis se tornam cada vez mais atraentes em detrimento de suas reduções significativas de recursos e resíduos pelo aproveitamento e adaptação de técnicas e materiais. Este conceito está ligado diretamente à ideologia modernista de pré-fabricação pela busca constante de novos mecanismos de habitação, uma vez que a automação, os avanços tecnológicos permitem uma maior flexibilização e adaptabilidade de uma habitação (28). Avanços estes diretamente ligados e potencializados pelo DfMA, tendo a principal envolvente a simplificação dos produtos projetados pela redução dos componentes, muitas vezes padronizados para que sejam de rápida produção. Essa modularidade permite que o projeto seja produzido em série, como no caso acima dos painéis de divisórias internas.

Estas se adaptam às necessidades não só da sociedade com os conceitos de supressão da necessidade habitacional, mas também numa escala bem menor e mais pessoal. Com adaptabilidade dos novos modos e estilos de vida hoje presentes em sociedade cada vez mais diversificada e evolutiva. Desde aumentos no número de integrantes de uma família com o nascimento de filhos e agregados familiares, necessitando de crescimento da habitação como também na redução do mesmo na mudança e envelhecimento dos integrantes (criação de novos ambientes) (28).

3

CASO DE ESTUDO

3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo o desenvolvimento experimental da dissertação é apresentado. A escolha veio a partir de um projeto desenvolvido no Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios (MPRINCE).

O projeto baseia-se na construção de habitações multifamiliares de custos controlados em território nacional português podendo ser adaptado a outras realidades de localização e implantações diversas.

O presente capítulo trata de sua aplicação ao caso de estudo. O projeto foi pensado de maneira a se adaptar não só ao solicitado, mas também ir além das necessidades visando novos alcances futuros de estudos de adaptabilidade de edifícios e novas disposições internas existentes. Contando com uma linguagem contemporânea de arquitetura adaptativa, o projeto modular visa a eficiência projetual a longo prazo, desde sua fabricação, construção e circulação, que serão mais abordados afundo.

3.2. ENQUADRAMENTO DO PROJETO

3.2.1. MPRINCE

O projeto em questão desta dissertação, utilizado neste capítulo sobre caso de estudo, foi desenvolvido em conjunto a disciplina Projeto Integrado II. Esta disciplina promove o desenvolvimento de projeto com diversas áreas do conhecimento e da construção e desenvolva soluções projetuais complexas e inovadores para o tema requerido. Com isso, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em parceria com a empresa Grupo Casais e TopBIM, propuseram o desafio de um projeto que se adaptasse as necessidades realísticas do dia a dia atuais mais precisamente em Portugal.

O tema base desta disciplina foi um projeto modular habitacional que suprisse os anseios da política de Habitação de Custos Controlados a fim de minimizar os efeitos da densificação das cidades bem como as especulações imobiliárias, fomentando assim ainda mais a forma real do projeto em questões técnicas e formalísticas. Esta disciplina possibilitou a aplicação conjunta de metodologias projetuais e especialidades de diversas áreas, resultando na otimização e formalização do produto final, por meio de

uma abordagem contemporânea e sustentável, pressupondo estabelecer uma aproximação ao ambiente profissional de gabinete de projeto, no qual cada equipe terá contato direto com o cliente/empresa TOPBIM e Grupo CASAIS o qual possui o sistema construtivo pré-definido utilizado no projeto. Sistema este híbrido desenvolvido em conjunto com a empresa CREE Building e que será exposto nesta dissertação.

Para execução deste estudo, as equipas de Projeto Integrado II foram divididas em dois grandes grupos entre arquitetos e engenheiros civis com o intuito de uma elaboração de diferentes perspetivas habitacionais para que ambos se auxiliem em diferentes questões disciplinares de suas áreas.

Dessa forma, o grupo responsável pelo projeto apresentado a seguir consiste de minha própria autoria, como arquiteto e urbanista e outros três integrantes, sendo eles: Daiane Chantre (arquiteta e urbanista), Guilherme Mendonça (engenheiro civil) e Jéssica Kulik (arquiteta e urbanista), orientados pelos Arq. Bárbara Rangel e Eng. Jorge Moreira da Costa. Para elaboração do projeto, houve divisões internas temáticas projetuais, de conceção, cálculos e orçamentos, desenvolvido no segundo semestre de 2022 (3º semestre do mestrado MPRINCE).

3.2.2. O CLIENTE

O Grupo Casais é uma empresa fundada em Portugal e opera em diversos outros países como Espanha, Reino Unido Moçambique e Angola. Sua atuação de enfoque é no setor da construção e imobiliário que tem uma forte presença tanto em Portugal quanto nestes outros mercados internacionais. A empresa tem mais de 60 anos de experiência em projetos de construção, emprega milhares de pessoas e é conhecida por sua qualidade de construção e abordagem sustentável. A TopBIM é uma empresa também portuguesa, especializada em serviços de modelagem e gestão de informações de construção (BIM). Fundada em 2012, a empresa tem como objetivo fornecer soluções inovadoras de BIM que atendam às necessidades de seus clientes em projetos de construção de grande escala.

Estas duas empresas tiveram como objetivo solicitar o exercício e criação de novas habitações que satisfaçam a política de Custos Controlados, que determinaram a criação de um projeto que utilizem de tecnologias e inovações, conceitos presentes em ambas empresas de excelência, espelhados no projeto a fim de satisfazer não só os anseios das empresas, mas também da necessidade habitacional atual.

Esta iniciativa fomentou estudos aprofundados sobre diversos temas como a pré-fabricação, modularização e adaptabilidade para rápida exequibilidade, demanda acelerada e sustentabilidade, visando a melhoria na qualidade de vida dos novos utentes, permitindo explorar as metodologias do Projeto Integrado II, desde o diagnóstico à especificação e estudo dos materiais.

3.2.3. PROJETO PARA HABITAÇÃO MODULAR EVOLUTIVA DE HABITAÇÃO A CUSTOS CONTROLADOS

A política de habitação de custos controlados especificamente em Portugal é uma iniciativa governamental visando fornecer habitações a preços acessíveis para famílias com renda média e baixa. O programa é gerido pelo Instituto de Habitação e Reabilitação Urbana (IHRU) e consiste em duas vertentes pública e privada. Na linha pública, o IHRU constrói ou reabilita habitações que são posteriormente vendidas ou alugadas a preços mais acessíveis. Na linha privada, o IHRU subsidia parte dos custos de construção para incentivar os promotores imobiliários a construir habitações a preços controlados, sendo este último, o âmbito adotado.

Adotando a linha privada, teve-se como objetivo central a criação de unidades habitacionais que se enquadrassem de maneira modular para que sua expansão, adaptação e flexibilidade fossem garantidos, suprimindo os vários nichos habitacionais de diversas famílias, sejam elas grandes ou com número reduzidos de integrantes.

Dessa forma, o presente estudo é concebido como uma metodologia inovadora. Tendo consigo um propósito de abordar e avaliar as possibilidades decorrentes da união das metodologias da disciplina de Projeto Integrado II (PI) e Design for Manufacture and Assembly (DfMA), visando testar os potenciais construíveis. Somados com a multidisciplinaridade presente em Projeto Integrado e a interação entre as áreas de engenharia, arquitetura e urbanismo da equipa. O projeto teve como ferramenta principal de concepção projetual o BIM, que auxiliou na criação das modulações, da interação interdisciplinar. A troca de aptidões e conhecimentos foram facilitados por este denominador comum do BIM e implementados de maneira mais eficaz no projeto, otimizando os processos permitindo o desenvolvimento final. Uma vez que para que fossem integrativos e compatíveis aos conceitos do DfMA, necessitariam de uma mesma linguagem universal entre as partes.

3.3. PLANO EXPERIMENTAL

O estudo de caso vigente neste capítulo tem como abordagem principal e norteadora o uso da industrialização na construção civil com os preceitos do DfMA. Com esta abordagem, o estudo se baseia em uma forma integrativa de projeto, onde a presença da multidisciplinaridade toma importância geral do processo. Todas as partes, fases e especialidades são tratadas em simultâneo para que haja uma articulação conjunta e um objeto de projeto enxuto. São tratadas várias vertentes em conjunto, de maneira a encontrar problemas de construção antes mesmo da definição das espacialidades do projeto, a fim de minimizar os custos e auxiliar nos processos de fabricação e montagem.

Unidos com a metodologia da disciplina de Projeto Integrado II, essa multidisciplinaridade do grupo ocorre uma vez que os projetos de construção envolvem várias disciplinas e profissões, desde arquitetura e engenharia até gerenciamento de projetos, meio ambiente, segurança do trabalho. Ajudando no compartilhamento de informações e conhecimentos de cada nicho profissional que serão envolvidos e estudados para que possam avaliar os impactos e as interdependências entre essas diversas disciplinas no projeto.

Para uma integração bem-sucedida da equipe e colaboração multidisciplinar, a coordenação centralizada do projeto é assim vital. A equipa deve-se gerenciar e supervisionar as atividades de cada parte, garantindo uma comunicação e colaboração eficazes entre eles. Um fluxo ininterrupto de informações e dados entre as equipes é igualmente importante para o sucesso do projeto, permitindo que cada membro da equipe tenha acesso a todas as informações relevantes e permitindo que eles façam contribuições valiosas. Para que haja uma linguagem universal, o uso da ferramenta Building Information Modeling (BIM) permite essa troca de informações de maneira facilitada como explicito na imagem abaixo.

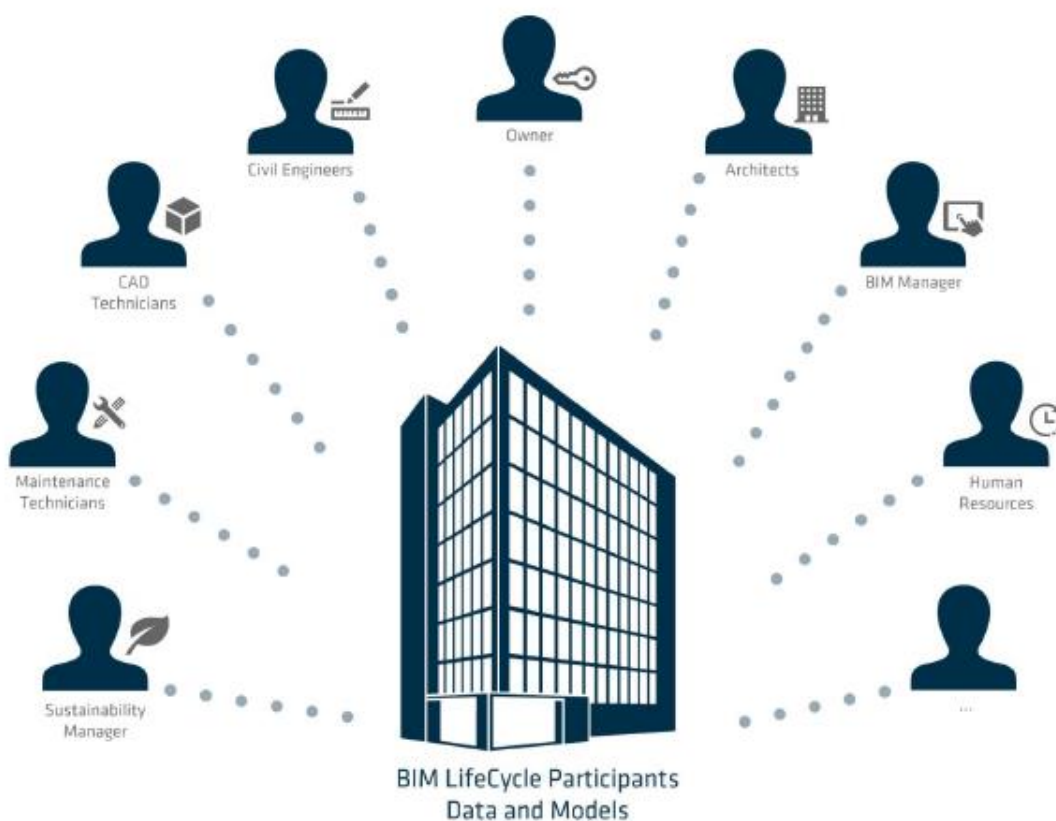


Figura 17 - Integração Multidisciplinar Com O BIM – Fonte: Adaptado De CREE © 2018

Argumenta-se neste estudo que a qualidade de um projeto está diretamente relacionada à facilidade com que ele atinge todos os seus objetivos. Para atingir esse objetivo em comum, é adotada a metodologia de gerenciamento integrado de projetos, a qual possibilita uma comunicação mais eficaz entre todas as disciplinas envolvidas. Esse enfoque é abordado e concretizado no âmbito da disciplina de PI 2. O emprego dessa abordagem integrada proporciona um caminho mais eficiente para atingir os resultados desejados, otimizando o processo e garantindo a coordenação efetiva entre as diferentes etapas e recursos do projeto.

Este estudo pôde ser desenvolvido graças as metodologias do Projeto Integrado (PI) e aprofundados a posteriori nos conceitos do *Design for Manufacture and Assembly* (DfMA) abordados anteriormente nos embasamentos teóricos apresentados e estudados nesta dissertação.

A aplicação do DfMA neste estudo foi de extrema relevância desde seus primeiros traços, a fim de suprir as necessidades das demais áreas para que o projeto fosse desenvolvido pensando em todo seu ciclo de vida. Desde sua concepção fabrico até sua reutilização futura foi pensada de forma integrativa, permitindo explorar diversas possibilidades contrariando as visões tradicionalistas sequencial de projeto. Marcado por diversos retrocessos, adaptações e reestruturações, o projeto foi concebido de maneira a sanar as deficiências e anseios de cada área.

3.4 APROXIMAÇÃO AO PROJETO

3.4.1. PROGRAMA FUNCIONAL

Determinou-se então através das premissas previamente estabelecidas que o objetivo comum da equipa seria a concepção “Tendo como referência os edifícios nZEB e as estratégias da arquitetura SOLAR PASSIVA, será desenvolvido um projeto para um HABITAÇÃO MODULAR A CUSTOS CONTROLADOS com a tecnologia adotada pela empresa”. Estas soluções estruturais que serão abordadas no decorrer do próximo subtema.

Abaixo encontra-se a descrição minuciosa do programa a ser cumprido

Tabela 1 Programa De Necessidades Base - MPRINCE - FEUP

Fases de evolução	Espaços funcionais	Áreas úteis (m ²)
NÚCLEO BASE	Sala	20
	Cozinha	6
	Instalações sanitárias	4
	Quarto 1	15
ÉTAPA 1	Quarto 2	9-12
ÉTAPA 2	Quarto 3	9-12
ÉTAPA 3	Quarto 4	9-12
	Instalações sanitárias	3
Requisitos	Reaproveitamento da água da chuva Casa energeticamente autónoma Utilização de materiais com impacto ambiental reduzido Sistema de aquecimento passivo ou com baixo consumo energético Sistema construtivo evolutivo com base em soluções prefabricadas Preço por m ² – 492€ baseado em Portaria n.º 289/2020, de 17 de dezembro	

O programa além de estabelecido, foi revisto e também adaptado ao sistema estrutural apresentado, desenvolvido e estudado em conjunto com as empresas. Assim, pretendeu-se de forma abrangente que o projeto suprisse às necessidades locais e pudesse ser adaptado a outras realidades, ou seja, o programa deste equipamento foi trabalhado além do necessário, atendendo a diversas demandas.

O estudo focou em maximizar o aproveitamento dos espaços disponíveis e possibilitar a expansão das unidades habitacionais de acordo com as necessidades dos moradores,

mantendo sempre o foco na eficiência, sustentabilidade e inovação, apresentando ideias inovadoras e apontando alternativas que podem vir a ser implementadas.

3.4.2. SISTEMA CONSTRUTIVO MODULAR

Para além da necessidade da adaptação ao programa nacional de Habitação a Custos Controlados e os anseios da disciplina, o projeto teve outro norteador importante que foi demandado pelas duas empresas, seu sistema estrutural híbrido da CREE Buildings.

CREE Buildings é “um grupo colaborativo de empresas que se uniram para promover e acelerar a inovação em edifícios sustentáveis e oferecer aos usuários uma experiência mais rápida, econômica e de maior qualidade.”(30)

Esse grupo criou o modelo estrutural utilizado neste projeto, uma solução híbrida entre madeira e betão. A leveza da madeira estrutural se torna vantajosa em termos de peso total da superestrutura, o que torna as fundações menores aumentando assim o desempenho em terremotos, adaptável a vários sítios.

Tabela 2 Comparativo Sistema Híbrido X Betão

Comparativo	Híbrido Madeira-Betão	Betão Armado
Volume de Betão	0.1 m ³ /m ²	0.3 m ³ /m ²
Volume de Madeira	0.1 m ³ /m ²	0
Peso Estrutura	300kg/m ²	750kg/m ²
Emissões CO ₂	0.15ton/m ²	0.75ton/m ²
Velocidade de Construção	500m ² /dia	50m ² /dia
Estimativa e Controlo de Custos	Alta	Baixa
Controlo de Qualidade	Alta	Baixa
Custo m ² (Incluindo tempo poupado)	1500€/m ²	Sem diferença

O Sistema Modular Híbrido Madeira-Betão constitui uma técnica inovadora que combina a construção modular com a construção convencional, revelando-se uma abordagem de extrema relevância na arquitetura contemporânea. Esta técnica oferece uma maior flexibilidade e adaptabilidade ao projeto, permitindo a combinação dos módulos de formas variadas, resultando em espaços personalizados e ajustados às necessidades específicas dos ocupantes. Ademais, destaca-se que a construção modular híbrida apresenta-se como uma solução mais económica e de execução mais célere em comparação com a construção convencional, o que implica benefícios significativos em termos de custo e tempo de construção.

Este sistema pode ser implementado para vários usos diferentes, incluindo residencial, comercial, industrial, ciência, cultura, saúde dentre outros. Além disto o sistema conta com uma grande qualidade regulamentar por ser fabricado fora do local, possuindo controles e certificações necessárias que garantem esta qualidade.

Dispondo de um sistema modular, a estrutura conta com um componente único integrado entre viga em madeira e laje em betão, além da modulação de encaixe dos pilares em madeira, um núcleo de reforço (escadas ou elevadores) ou painéis de parede em betão e vigas intermediárias de aço ou concreto.

ESTRUTURA

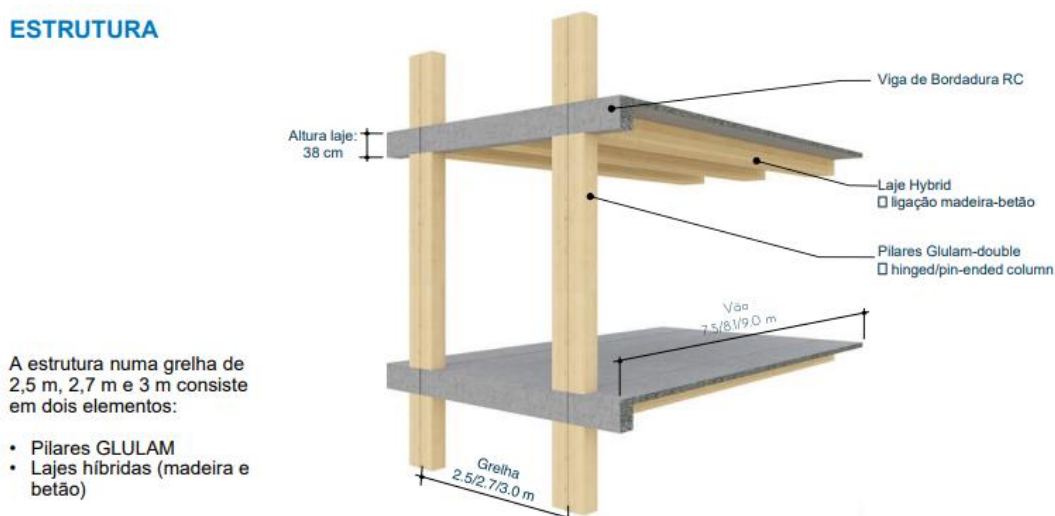


Figura 198 - Esquema Estrutural – Fonte: Adaptado De CREE © 2018 + Casais

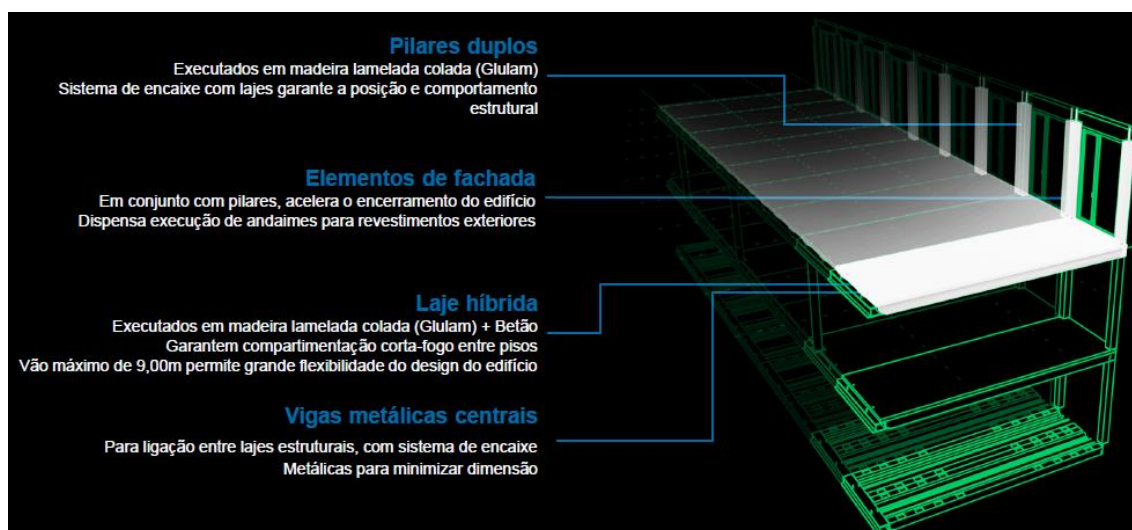


Figura 189 - Sistema De Composição CREE – Fonte: Adaptado De CREE © 2018

Esta é a morfologia básica volumétrica da estrutura principal do edifício.

Para que seja garantido a modularização, o sistema conta com uma grade de eixos, sendo esta baseada e direcionada pela geometria dos elementos da laje híbrida.

Existem três grades básicas disponíveis para adoção,

- Grelha básica 2,50 m (grelha de adaptação 1,25 m)
- Grelha básica 2,70 m (grelha de adaptação 1,35 m)
- Grelha básica 3,00 m (grelha de adaptação 1,50 m)

Para obtenção dos requisitos, a grade tem de ser seguida a risco para uma conceção fiel à modulação de todos os componentes. Essas limitações dimensionais favorece a percepção das dimensões mínimas e máximas de cada ambiente, o que auxilia na concessão formal.

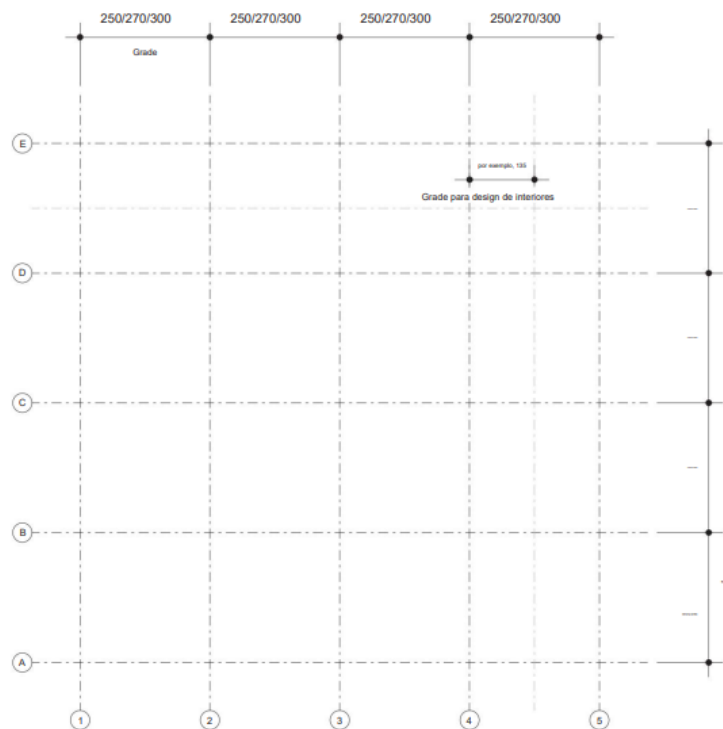


Figura 20 Grade Horizontal Da Construção Modular – Fonte: Adaptado De CREE © 2018

Além das limitações horizontais da grade básica, todas as partes modulares do sistema também são limitadas em um plano vertical. As alturas do piso são marcadas em múltiplos de 17,5 cm (altura de um degrau) devido também as alturas preestabelecidas dos pilares disponíveis mostrados também a seguir.

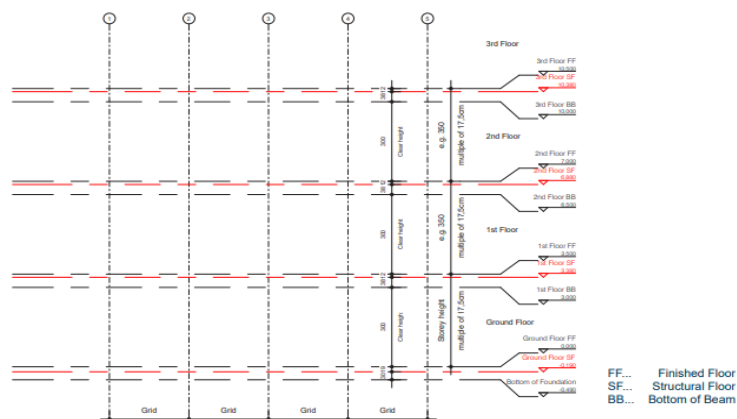


Figura 21 Limitação Altimétrica - Fonte: Adaptado De CREE © 2018

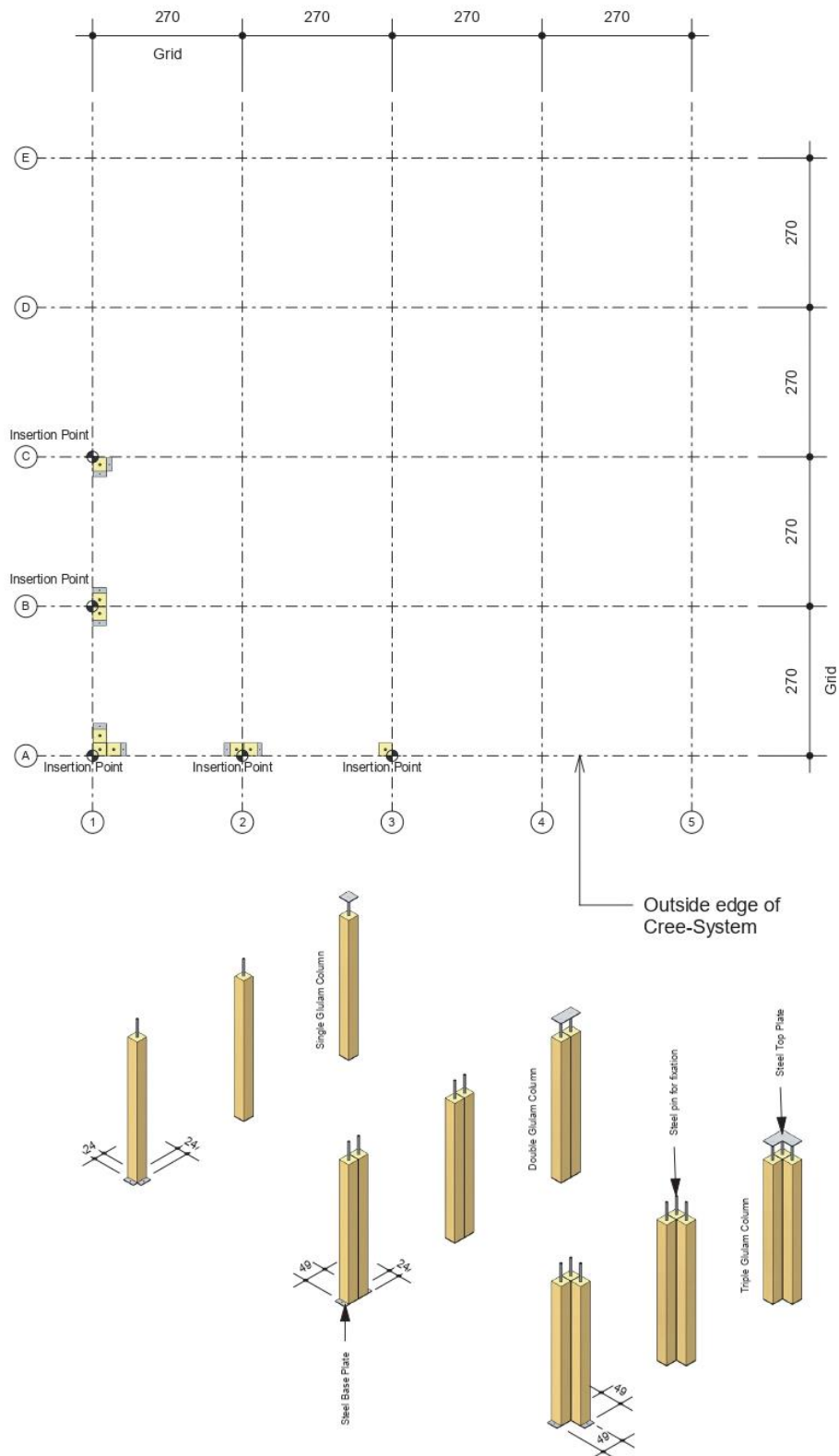


Figura 22 - Grade Vertical Da Construção Modular - Fonte: Adaptado De CREE © 2018

Destas modularizações, para efeito de suporte de cargas e travamento da edificação, devem ser propostos núcleos e paredes em betão que ajudam a suportar cargas de compressão assim como as torções da estrutura corporal do edifício, alguns exemplos são apresentados pela empresa como estes:

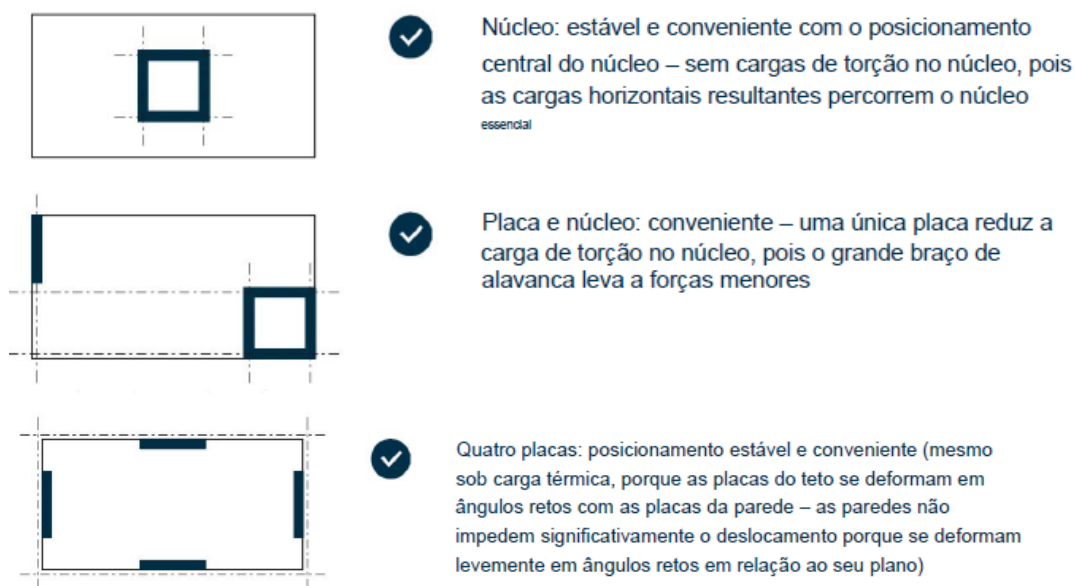


Figura 23 Exemplificação De Possibilidades - Fonte: Adaptado De CREE © 2018

Com isso, há uma separação entre a estrutura e a fachada, podendo haver então sobreposição por meio de montagem posteriores, exceto em casos em que reforços são necessários como palas e varandas.

Esse método de fachada permite além de proteção externo-interno, variações no design de acordo com as condições locais, requisitos físicos do edifício e preferências individuais de cada arquiteto além de manter a sustentabilidade do material, com uma economia circular por onde possam ocorrer desmonte da fachada em suas partes componentes e remontadas em outras partes.(31) As dimensões destes elementos individuais da fachada devem estar de acordo com as condições locais de transporte e o número de juntas entre esses elementos deve ser reduzido ao mínimo possível.(31). Este sistema por possuir um design de fachada flexível, tem sua planta “livre” de fechamentos e limitações internas, uma vez que os pilares são dispostos em seu perímetro externos, liberando as paredes divisórias internas por não possuírem características estruturais.

3.4.3. OBJETIVOS

Este caso de estudo visa uma adoção de visão inovadora de arquitetura e engenharia, a fim de atingir os objetivos pré-definidos da disciplina PI assim como ultrapassar suas possibilidades não se limitando ao requerido.

Foi adotado um plano de estudo com etapas antecipadamente estabelecidas: etapas de viabilidade, estudo de entorno e pesquisas de mercados atuais, para que pudessem ser abordados diversos conceitos e experimentos ao longo da concessão, traçando um objetivo base: multiplicar as possibilidades habitacionais, evoluindo-as interno e externamente e que fossem capazes de se adaptar. O projeto começou a ser pensando e suas possibilidades exploradas desde o primeiro traço pensando na adaptabilidade que pudesse ser utilizada em diferentes contextos, regiões e culturas.

Com essas alterações nas configurações de áreas seria capaz de alcançar por uma edificação mutável internamente e externamente. Assim sendo, as particularidades morfológicas do programa e das necessidades atuais foram a razão para estas escolhas.

Para que a edificação fosse ainda mais adaptativa e flexível, além de suas recomposições internas, teve a preocupação de objetivar a expansão de sua área de atuação, ultrapassando as fronteiras geográficas de Portugal, podendo ser implantado em diversos países. Para atingir estes objetivos de adaptabilidade e flexibilidade, um estudo minucioso de decretos e leis forçou o grupo na procura de soluções que fossem adaptativas ao meio para que conseguíssemos atender às nossas expectativas. Importa acentuar que foram estabelecidas novas abordagens programáticas de áreas, uma vez que o objetivo era uma edificação com evoluções e novas disposições internas, ampliando sua visão e influência em detrimento do enquadramento ao plano central ao de Habitação de Custos Controlados.

Outro objetivo deste estudo foi analisar o potencial da construção modular evolutiva em um edifício residencial multifamiliar, desenvolvido em parceria com a Casais e o Sistema CREE, como uma solução para a construção de habitações a custos controlados. O estudo avaliou as técnicas e metodologias mais adequadas para a construção de habitações evolutivas modulares em um contexto de edifício residencial multifamiliar, bem como formas para a implantação do projeto.

Por fim, é importante salientar que o projeto desenvolvido na disciplina de PI 2 e aprofundado nesta dissertação tomou como base o conceito do DfMA - Design for Manufacturing and Assembly, aliando à aplicação de módulos evolutivos em um edifício nZEB (near Zero Energy Building), o que implica em um desempenho energético quase nulo. Desta forma, um dos objetivos primordiais desse empreendimento consisti na coleta dos requisitos necessários para alcançar as metas estabelecidas pelo nZEB, bem como desenvolvimento de uma estratégia de otimização energética que atenda a estas tais exigências.

3.4.4. DESAFIOS

Os desafios surgem inerentemente da complexidade em efetivar as metas estabelecidas em detrimento do enquadramento ao plano central ao de Habitação de Custos Controlados (HCC) e a estrutura modular pré-estabelecida e as normativas vigentes das especialidades como incêndio, elétrica e hidráulica.

Com base numa base arquitetónica corrente fornecida pela Casais, foram realizadas simulações para verificar a viabilidade financeira do projeto e as suas possíveis

aplicações práticas. Uma vez que as técnicas construtivas envolvidas no estudo já se encontravam consolidadas pela Casais, a validação por cálculos (estruturais, higrotérmicos e demais especialidades) não foi o foco deste trabalho. O estudo centrou-se em maximizar o aproveitamento dos espaços disponíveis e possibilitar a expansão das unidades habitacionais de acordo com as necessidades dos moradores, mantendo sempre o foco na eficiência, sustentabilidade e inovação, apresentando ideias inovadoras e apontando alternativas que poderiam vir a ser implementadas.

A nível modular estrutural impôs-se uma solução que permitisse a movimentação, tendeu-se a estudar a fundo as necessidades e distribuições funcionais internas dos apartamentos, de modo a não configurar os apartamentos como unidades autónomas fisicamente, mas sim, unidades fluidas capazes de se adaptar e evoluir. O principal desafio foi encontrar uma distribuição funcional flexível entre fogos, que satisfizesse as exigências normativas, as áreas mínimas do programa a custos controlados, mas que também fossem passíveis de alterações adaptativas flexíveis. Estas distribuições necessitaram de uma estrutura de divisórias que articulasse os espaços.

Já a nível de infraestruturas das especialidades como hidráulica, elétrica e AVAC, o projeto teve de ser pensado também funcionalmente em distribuições. Ou seja, tentou-se reunir o máximo de áreas fixas que requeriam infraestruturas específicas imutáveis, como áreas molhadas (cozinhas e casas de banho), com ligações de redes e tubos de quedas, para que o restante do apartamento pudesse ficar "livre" e se reposicionar caso necessário.

3.5 O PROJETO

3.5.1. ABORDAGEM ESTRATÉGICA

Para atingir os objetivos, um estudo minucioso de regiões, decretos e leis forçou o grupo na procura de soluções que fossem adaptativas ao meio para que conseguisse atender às expectativas.

Importa salientar que foram estabelecidas novas abordagens programáticas de áreas além do programa pré-estabelecido. Uma vez que o objetivo era uma edificação com evoluções e novas disposições internas, ampliando sua visão e influencia em detrimento do enquadramento ao plano central ao de Habitação de Custos Controlados.

No que concerne às exigências mínimas de espaço conforme as normas para diferentes tipos de apartamentos, podemos salientar as seguintes necessidades:

- T1 (um quarto): o espaço mínimo deve ser de 30m², com um quarto de área mínima de 9m², uma casa de banho de área mínima de 3m², sala e cozinha integradas com área mínima de 14m² e área de serviço com no mínimo 2m².
- T2 (dois quartos): o espaço mínimo deve ser de 45m², com dois quartos de área mínima de 9m² cada, uma casa de banho de área mínima de 3m², sala e cozinha integradas com área mínima de 18m² e área de serviço com no mínimo 2m².
- T3 (três quartos): o espaço mínimo deve ser de 60m², com três quartos de área mínima de 9m² cada, duas casas de banho, sendo uma com área mínima de 3m² e outra com

área mínima de 2,5m², sala e cozinha integradas com área mínima de 20m² e área de serviço com no mínimo 2m².

- T4 (quatro quartos): o espaço mínimo deve ser de 80m², com quatro quartos de área mínima de 9m² cada, duas casas de banho com área mínima de 3m² cada, sala e cozinha integradas com área mínima de 24m² e área de serviço com no mínimo 2m².

3.5.2. CONCEÇÃO FUNCIONAL

O edifício foi projetado e concebido de acordo com esses padrões mínimos descritos, porém buscando o conforto de espaçamentos entre corredores, elevadores, escadas, normas SCIE (Segurança Contra Incêndio em Edifícios), aberturas nos apartamentos para o exterior, questões de circulação e ventilação do ar, courettes voltadas ao corredor externo para facilitar a manutenção e averiguações, também fachadas ensolaradas. Foram também desenvolvidos elementos arquitetônicos modulares das portas e janelas, onde visualmente uma porta invertida vira janela, dentro dos princípios modulares e padronização da produção que serão expostos mais a frente.

Assim, com base nestas premissas a planta base foi desenvolvida segundo uma grelha modular com sete módulos operacionais internos de apartamento e um módulo prefabricado de circulação vertical.

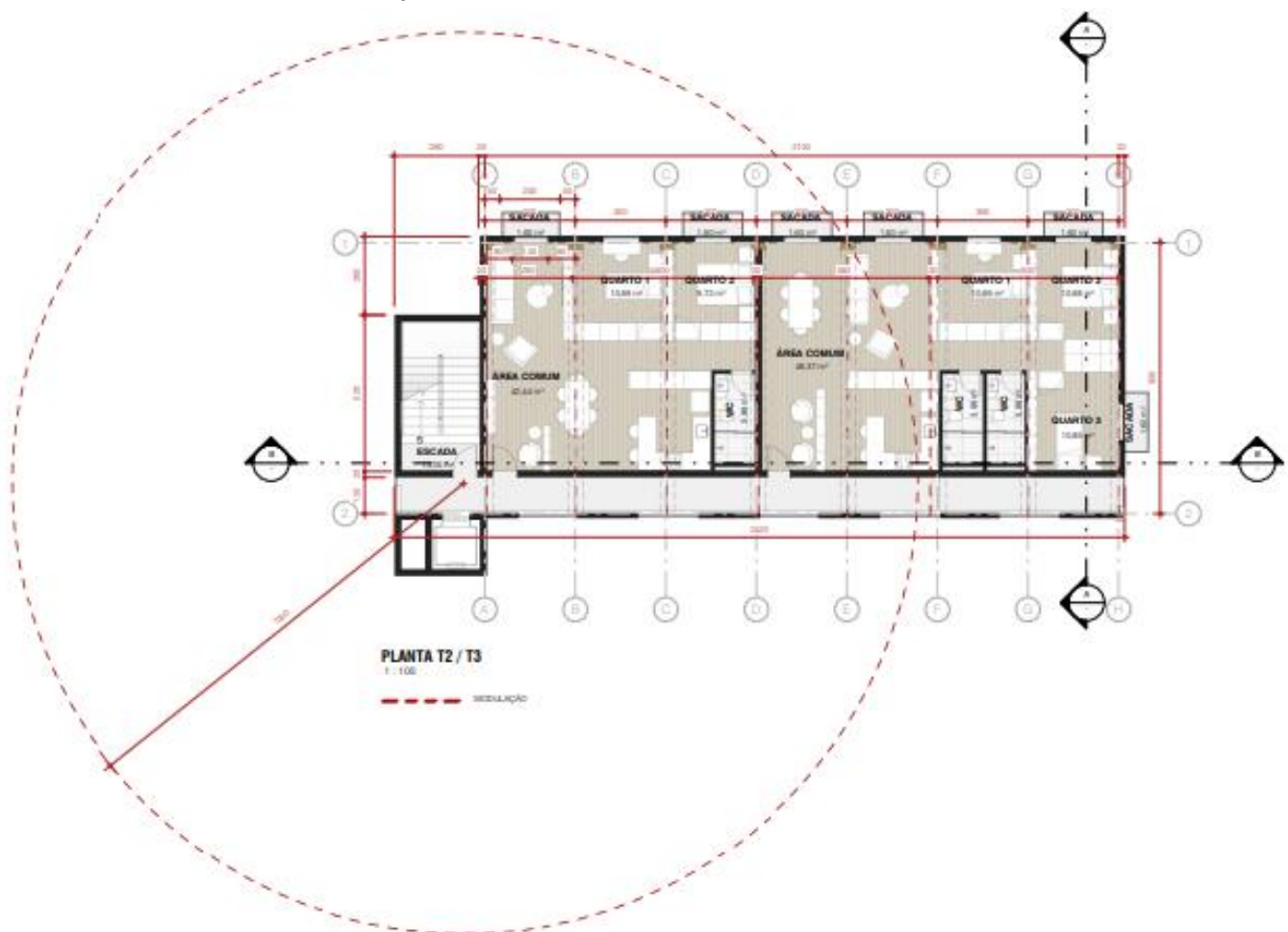


Figura 24 Planta Baixa Base Do Módulo – Fonte: Autoral

A planta apresentada foi a base para as possíveis modificações internas para alteração de tipologias de T0 ao T4. Os módulos são organizados de acordo com a grade, respeitando as vigas superiores em madeira para locação das paredes e melhor composição espacial interna.

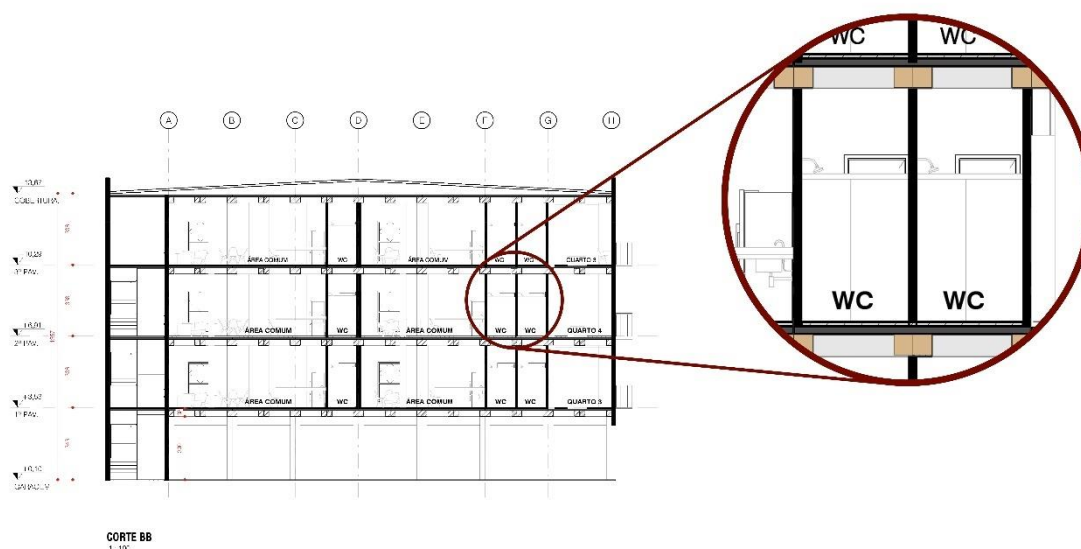
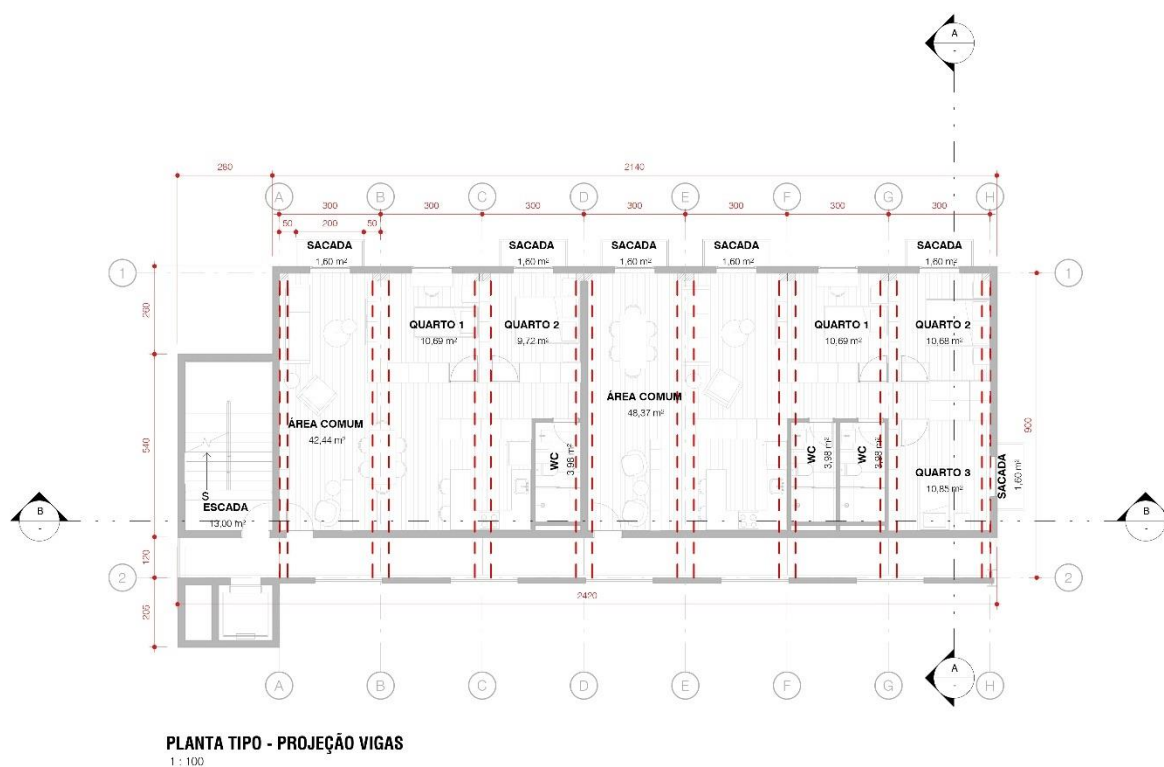


Figura 25 Corte Longitudinal – Fonte: Autoral

O módulo base utilizado de acordo com o sistema CREE foi de 900mm X 300mm, por se adaptar melhor as exigências e confortos ergonômicos funcionais das unidades.



PLANTA TIPO - PROJEÇÃO VIGAS
1:100

Figura 26 - Planta Tipo - Grade Estrutural Modular – Fonte: Autoral

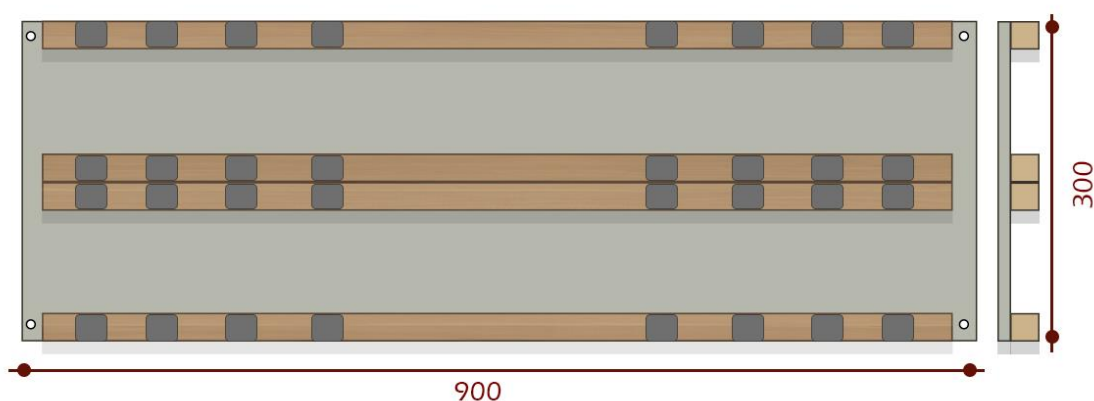


Figura 27 Dimensão Standard Escolhida - Fonte: Adaptado De CREE © 2018

As tipologias contam com as exigências mínimas de espaços conforme abrangidos anteriormente, com quartos, salas, casas de banho e cozinhas de acordo com a tipologia mestre acima mostrada.

Para acender ao princípio de unidades adaptativas, utiliza-se de divisórias entre fogos em módulos de paredes opacos e paredes internas das unidades em mobiliários. Entretanto, é relevante salientar que, ao utilizar móveis como divisórias internas, é necessário ter atenção com a acústica do espaço, assegurando que os sons não sejam espalhados de forma exagerada entre as áreas.

O uso destes mobiliários adaptativos divisores em dimensões modulares padronizadas apresenta diversas vantagens em um projeto arquitetónico. Primeiramente, eles permitem que os espaços possam ser adaptados com maior facilidade, sem a necessidade de grandes reformas ou alterações na estrutura do edifício.

Adicionalmente essa uniformização padronizada da planta, possibilita a fabricação em grande escala, diminuindo despesas e aumentando a efetividade do processo construtivo, além de fomentar a economia circular sustentável.

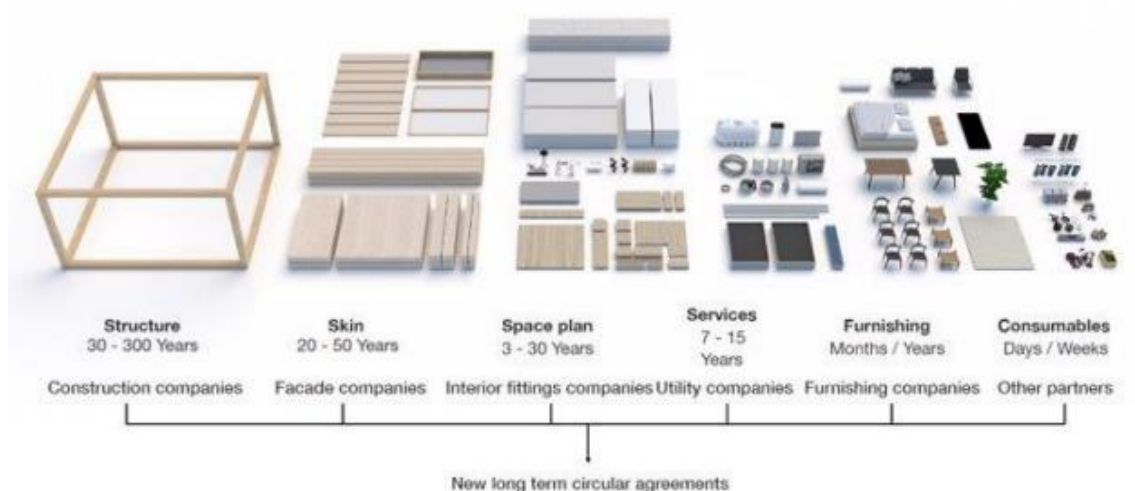


Figura 28 Exemplos De Padronização De Peças – Fonte: Adaptado De CREE © 2018

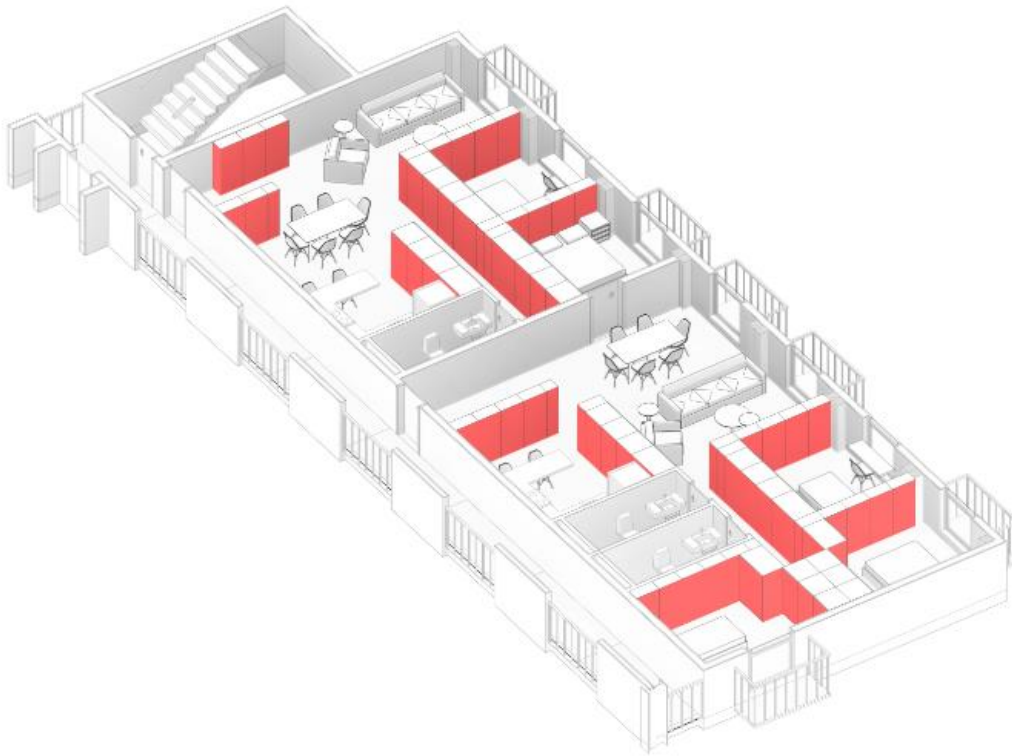


Figura 29 Perspetiva Isométrica Interna Da Planta Base – Font: Autoral

As mobílias adaptativas foram idealizadas de modo que viessem de encontro com a solução do plug & play para a fiação elétrica, sendo esta uma resposta ativa e efetiva da questão de divisórias de ambientes, podendo levar a rede elétrica para diversos pontos do apartamento.

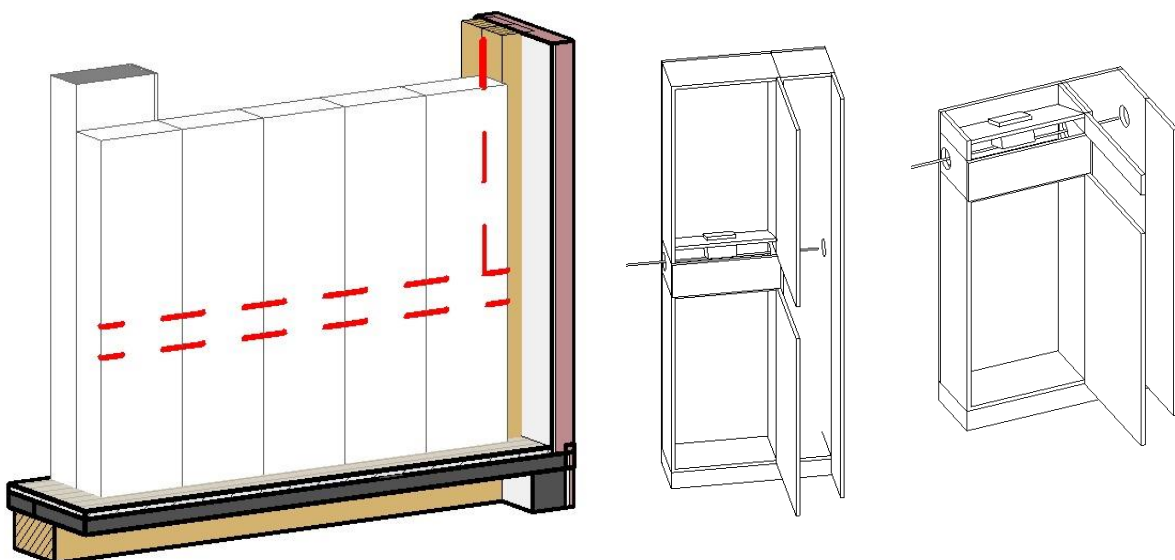


Figura 30 Esquema De Ligação Plug & Play – Fonte: Autoral

No âmbito da solução apresentada através da utilização de móveis como divisórias interiores, foram concebidas três medidas distintas de móveis para serem utilizadas, com dimensões de 30x30cm, 30x60cm e 80x80cm, e as necessidades de móveis para as diferentes tipologias propostas estão descritas na figura abaixo.

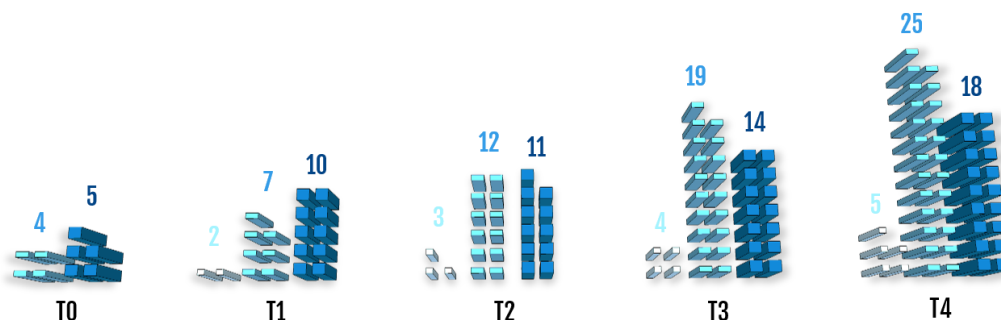


Figura 31 Quantificação De Módulos De Armário Por Tipologia – Fonte: Autoral

Desta forma, cada unidade é dotada de um número mínimo pré-definido de mobiliário para sua conceção, que pode ser modificado de acordo com a necessidade individual.

Com isso, surgem diversas opções e oportunidades de combinação de unidades, o que torna o sistema mais flexível em relação às demandas circunstanciais. Em determinadas circunstâncias, pode haver uma maior procura por certas unidades em detrimento de outras, o que viabiliza a reorganização do projeto.

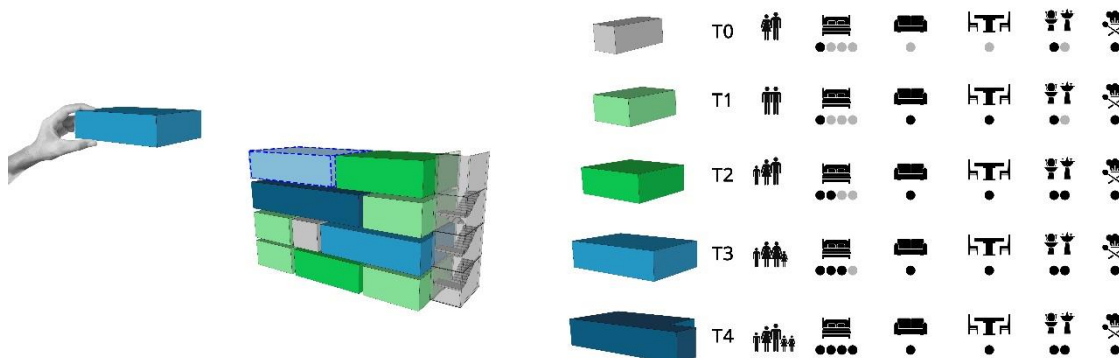


Figura 32 Esquema De Tipologias – Fonte: Autoral

3.5.3. EVOLUÇÃO DA PROPOSTA

As plantas arquitetônicas desenvolvidas para o edifício residencial multifamiliar foram concebidas com o intuito de satisfazer as diversas necessidades dos potenciais habitantes. Assim tendo como base o crescimento exponencial e a redução gradativa do número de integrantes no decorrer do tempo, no nascimento de filhos ou mudança dos mesmos a posteriori.

Com base na estratégia de intervenção integrada, foram criadas quatro tipologias de apartamentos - T1, T2, T3 e T4 - versáteis e adaptáveis, adequadas as diferentes dimensões familiares e estilos de vida. Cada tipologia apresenta um layout funcional que privilegia a iluminação natural, a ventilação cruzada e o conforto térmico, respeitando todas as normas e exigências legais aplicáveis. Com vista a otimizar o processo construtivo e minimizar o desperdício de materiais, as plantas foram desenvolvidas de acordo com as dimensões modulares dos módulos construtivos, o que garante uma maior eficiência e economia no processo de produção.

Tabela 3 Metragem Por Tipologias

Tipologia	m ²
T0	34,36
T1	44,25 a 57,92
T2	66,75 a 67,64
T3	78,07 a 90,44
T4	100,81

Com base na informação anteriormente referida, verifica-se que a planta base mantém-se na configuração abaixo, onde se podem observar duas unidades habitacionais por piso, nomeadamente um T2 e um T3.



Figura 33 Planta Base - T2+T3 – Fonte: Autoral

As evoluções desta unidade ocorrem em apenas uma alteração de um módulo opaco de parede divisória de fogos (assinalado em vermelho na planta abaixo) para um módulo de porta, acrescentando assim no T3 um quarto a mais e transformando o T2 em T1.

Esta possibilidade de alteração evidencia o preceito evolutivo do projeto. Contando com grandes alterações espaciais sem grandes alterações estruturais, formalísticas da unidade, sem reformas de demolições ou grandes acertos.

Possibilitando que o morador, empreendedor ou gerenciador do edifício possa adaptá-lo. Assim, a planta baixa base original é adaptada de forma eficiente e econômica para atender às demandas dos moradores ou das exigências do mercado imobiliário. Dessa forma, a capacidade de se adaptar rapidamente um edifício consolidado às demandas do mercado imobiliário vigente é uma vantagem competitiva valiosa para qualquer empreendimento.

A questão evolutiva tendeu-se a ter um limite físico, pelo simples fato de minimizar e evitar assim o mau uso desta opção construtiva por parte de seus futuros utilizadores. Assim, o aumento das áreas internas das unidades ocorreu de forma imperceptível no exterior, graças à utilização de fachadas compostas adaptativas modulares. Essa abordagem permitiu a liberdade de autodeterminação interna, possibilitando que cada habitante adaptasse a sua unidade habitacional de acordo com as suas necessidades e possibilidades.



Figura 34 Planta Evolutiva - T1+T4 – Fonte: Autoral

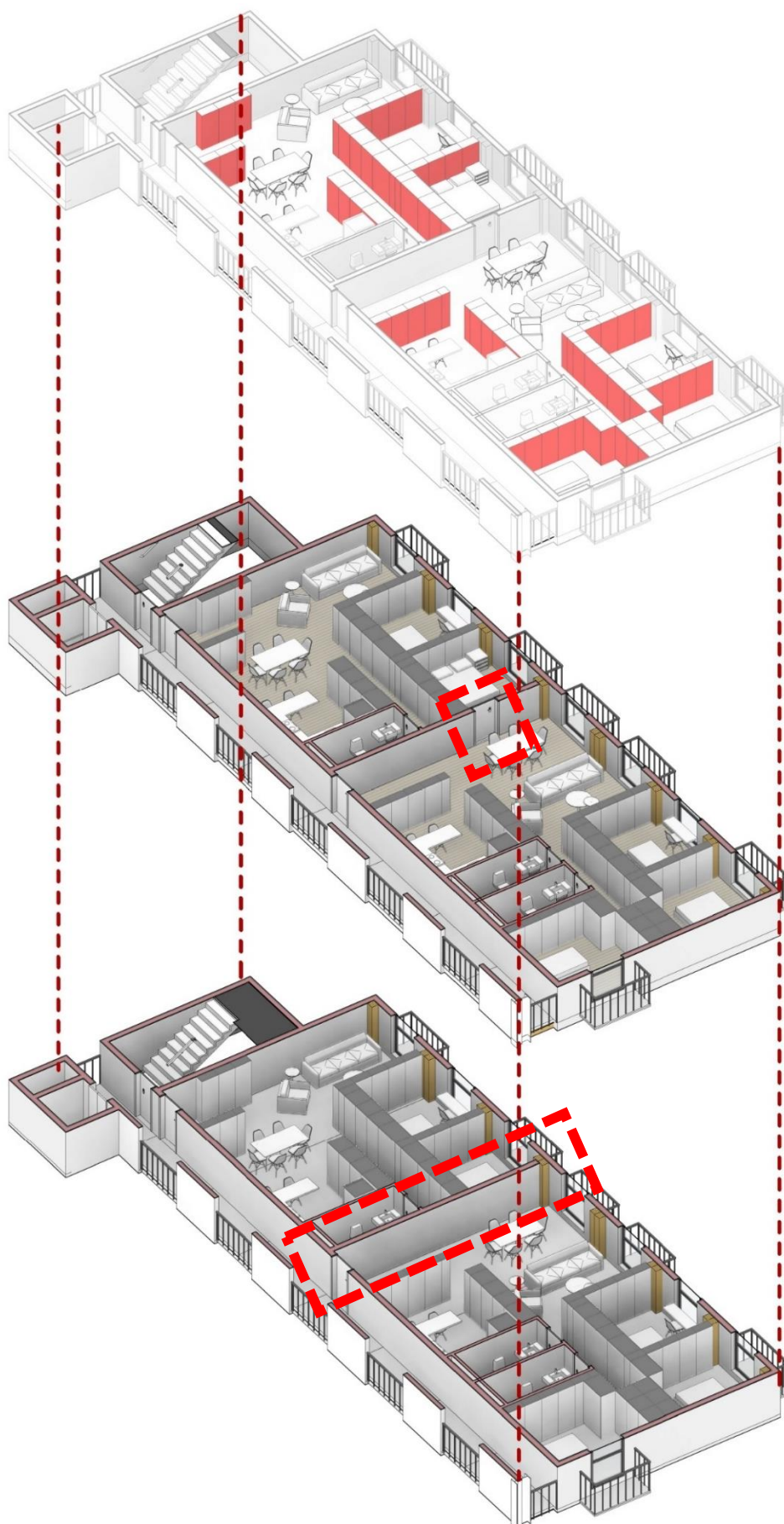


Figura 35 Perspetiva Isométrica Total Da Evolução T2+T3 Em T1+T4 – Fonte: Autoral

Outras possibilidades de layouts evolutivos são as unidades de T1 e T2 da planta seguinte, sendo esta a possibilidade maior de unidades por piso de um único edifício modelo.

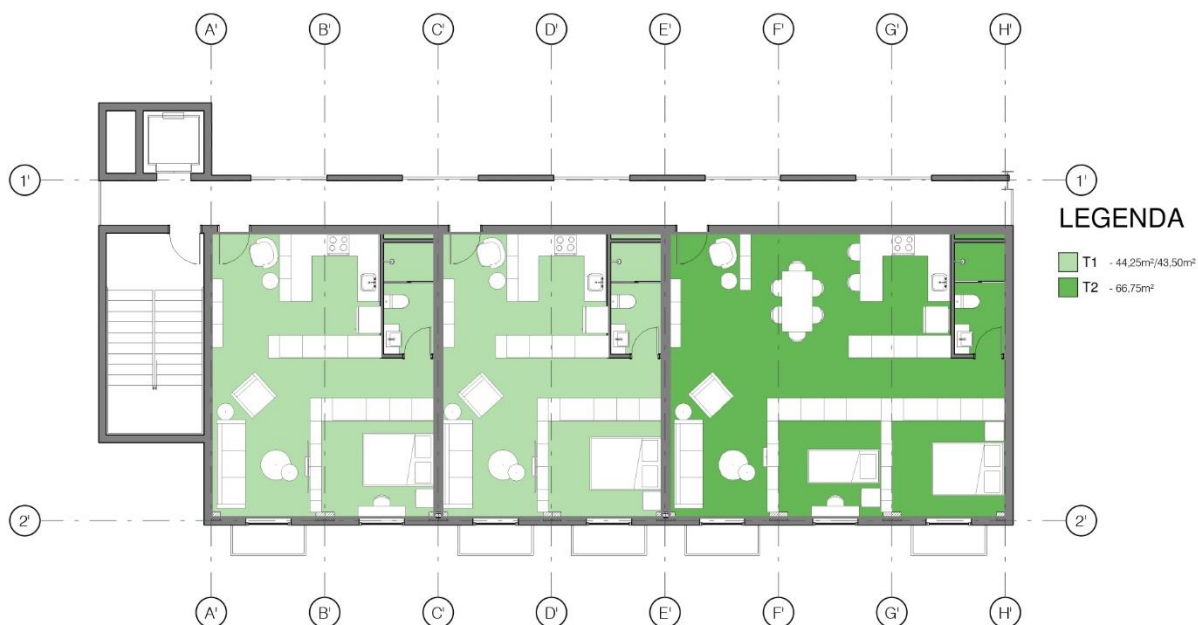


Figura 36 Adaptação Da Planta Base Em 2 T1+ 1T2 – Fonte: Autoral

Para além desta possibilidade, a planta pode evoluir a partir de um mesmo módulo opaco entre habitações T1 e T2, resultando na criação de três novas unidades habitacionais distintas, nomeadamente um T0, um T1 e agora um T3.

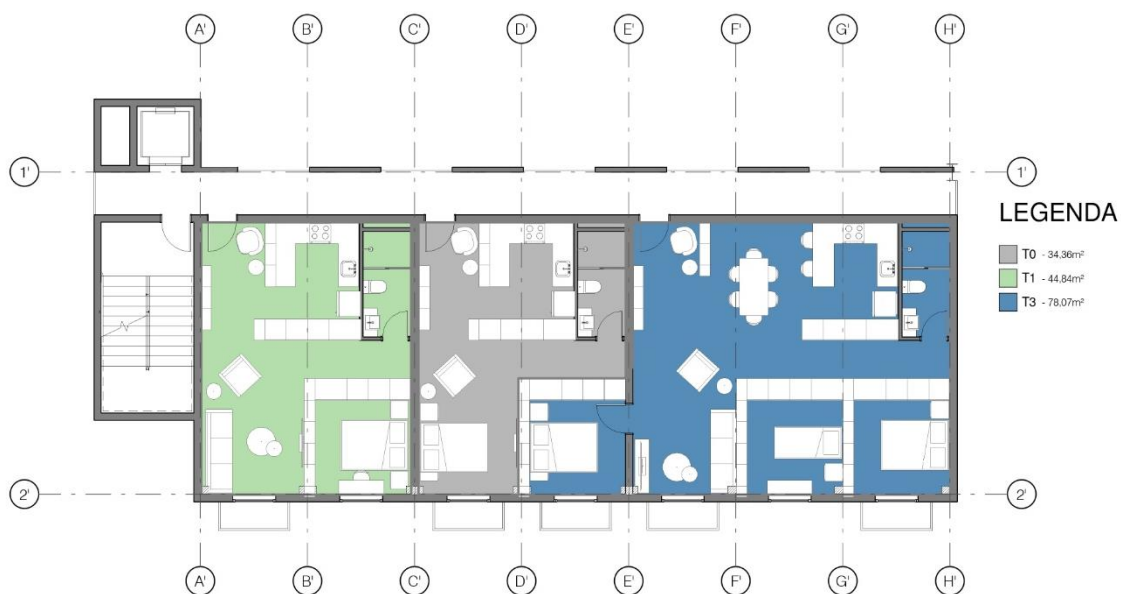


Figura 37 Adaptação Da Planta Base Em T0 + T1+T2 – Fonte: Autoral

Na relação pele do edifício, nesta mesma abordagem modular conceberam-se os módulos de fachada com o objetivo de racionalizar a produção e manter a heterogeneidade de cada projeto. Foi, portanto, desenvolvida uma fachada rotativa que articula a sua posição em função das necessidades, transformando-se ora numa porta, ora numa janela. Os elementos podem ser combinados de diferentes maneiras a fim de criar diferentes composições nos alçados, proporcionando uma maior estética, eficiência, economia e flexibilidade nos âmbitos modulares sustentáveis.

Tendo em consideração esse propósito, concebeu-se a solução de um elemento para porta/janela a ser utilizado no edifício em questão.

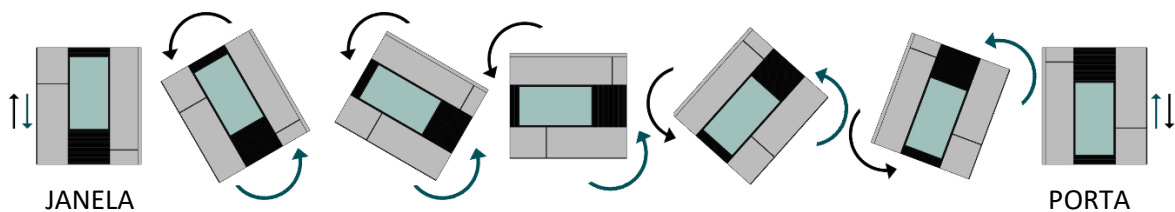


Figura 38 Esquema De Fachada Adaptativa – Fonte: Autoral

Portanto, um mesmo painel possibilita duas funções distintas de fechamento e proteção da edificação. Desta forma, a plástica formal do edifício se consolida em conjunto com todas as diretrizes descritas e alcançadas. A arquitetura final da forma se torna fluida, dinâmica e precisa, indo de encontro aos preceitos de modularização evolutiva de todo o processo anterior, tendo em si a formalização abaixo:



Figura 39 Esboço Inicial De Estudo De Volumetria – Fonte: Autoral



Figura 41 Perspectiva Geral Do Edifício Base – Fonte: Autoral



Figura 40 Perspectivas Gerais Dos Alçados Base – Fonte: Autoral

3.5.4. CONCEÇÃO PLÁSTICA

Ainda no âmbito do processo de estudo volumétrico da arquitetura conceptual foi crucial e considerado o volume do espaço como um todo, ou seja, a sua capacidade tridimensional. Isso requereu a análise da relação entre os diferentes planos do espaço (paredes, pisos e tetos), bem como a relação entre os diferentes ambientes que constituem o projeto. É, portanto, essencial conceber soluções que permitam otimizar o uso do espaço disponível, garantindo conforto e funcionalidade aos utilizadores. Ademais, o estudo volumétrico implicou também a análise das proporções, escalas e dimensões dos espaços, de forma a assegurar a harmonia visual e espacial entre as diferentes partes do projeto.

Com o uso desta gama de possibilidades funcionais proporcionadas pela planta evolutiva desenvolvida, o volume como um todo se torna também modular e além do mais, evolutivo.

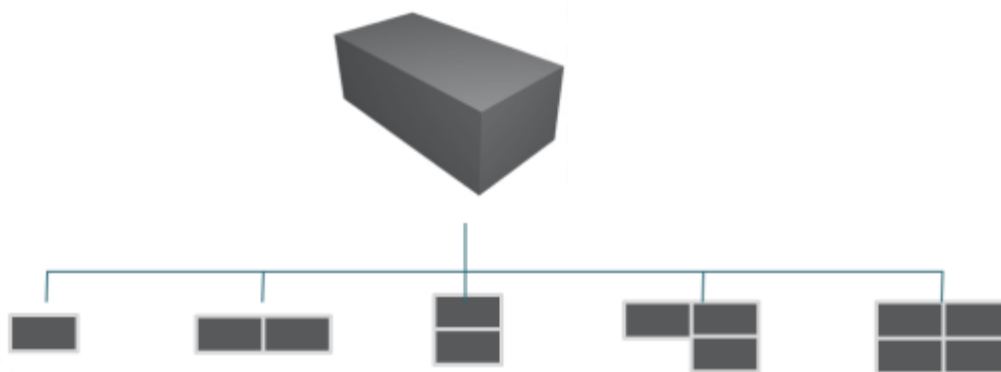


Figura 42 - Expansão Volumétrica Exterior – Fonte: Autoral

Foi viável e incisivo conceber um edifício evolutivo modular com a vantagem de se ajustar a diversas condições e terrenos, possibilitando modificações em sua volumetria para atender às necessidades específicas de cada projeto, região, cliente ou instituição. Se o terreno possuir maior largura e menor profundidade, por exemplo, é possível ampliar o número de módulos na sua extensão, a fim de garantir uma distribuição adequada dos espaços internos, sem prejudicar a qualidade de vida dos moradores. Desta forma, o projeto se torna abrangente em diversas localidades, culturas e climas.

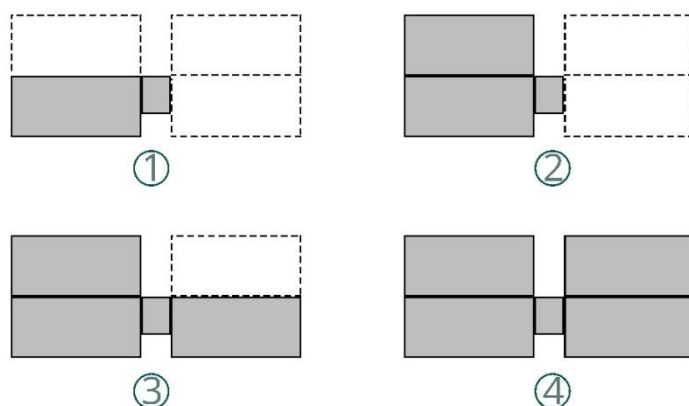


Figura 43 Esquema De Etapas De Evolução Máxima – Fonte: Autoral

Esta é a maior das abordagens com que o módulo do edifício consegue chegar, passando por 4 fases até chegar em seu produto final, o maior volume com o maior número de unidades.

Através da adoção de módulos normalizados, preconcebidos em conjunto com a planta modular, torna-se viável assegurar a homogeneidade e a padronização do plano, sem prescindir da maleabilidade e da personalização do edifício modular evolutivo, se adaptando às necessidades da região circundante como os exemplos abaixo retratam

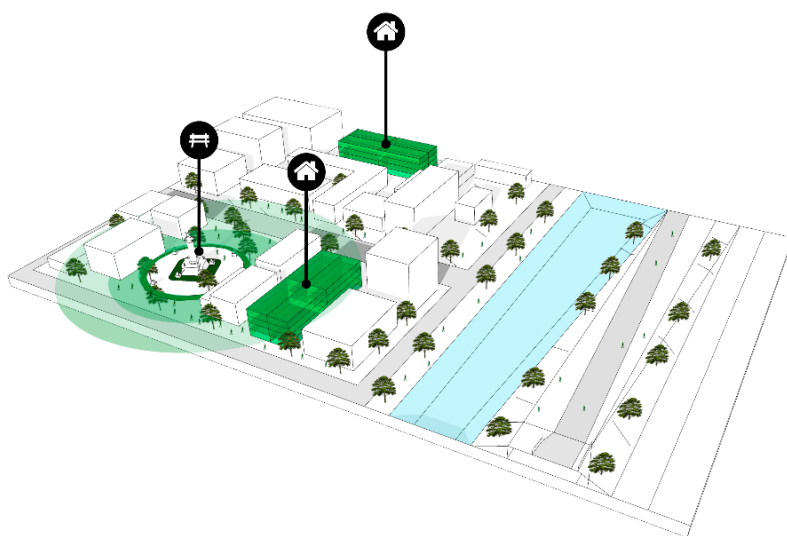


Figura 44 Esquema De Implantação Em Regiões Residenciais – Fonte: Autoral

Nesta situação acima, o próprio edifício pode se adaptar ao entorno imediato de locais públicos como praças e parques. Estes locais mais suscetíveis à zonas residenciais da malha urbana, podendo se utilizar de um edifício cujas unidades internas mais propícias seriam T3 e T4 que comportam um número maior de integrantes de uma família e um corpo de edifício que abrange a máxima expansão externa de quatro unidades no terreno.

Já nesta outra situação em que há um grande adensamento territorial como centros urbanos consolidados, o edifício de adapta a terrenos menores limitados de grandes dimensões, uma vez que estas zonas já possuem sua morfologia territorial bem definida.

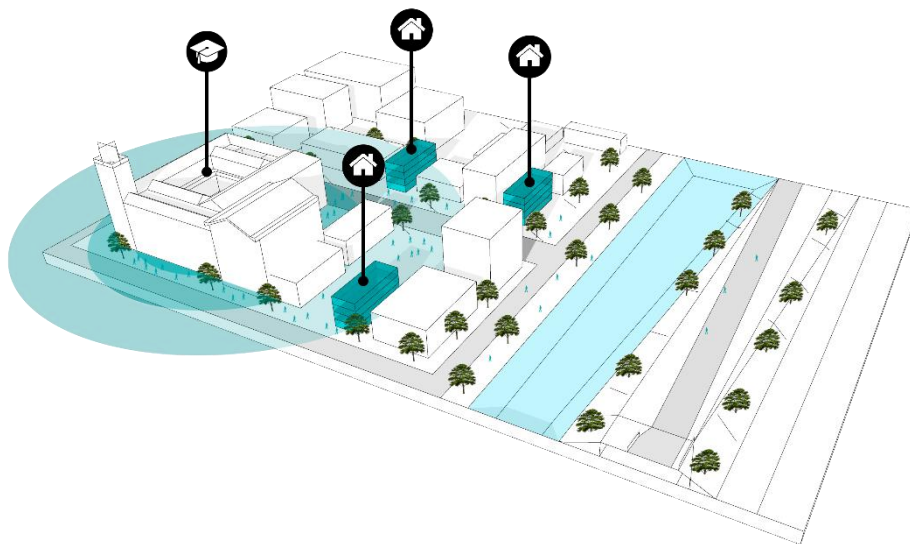


Figura 45 Esquema De Implantação Em Regiões Institucionais - Fonte: Autoral

Em zonas com presença de instituições de ensino como escolas e polos universitários, pode-se haver a necessidade de pequenos suportes pontualmente instalados com unidades menores para estes estudantes. Unidades estas T0 ou T1 serão as mais procuradas pelos estudantes em busca de suportes nas proximidades.

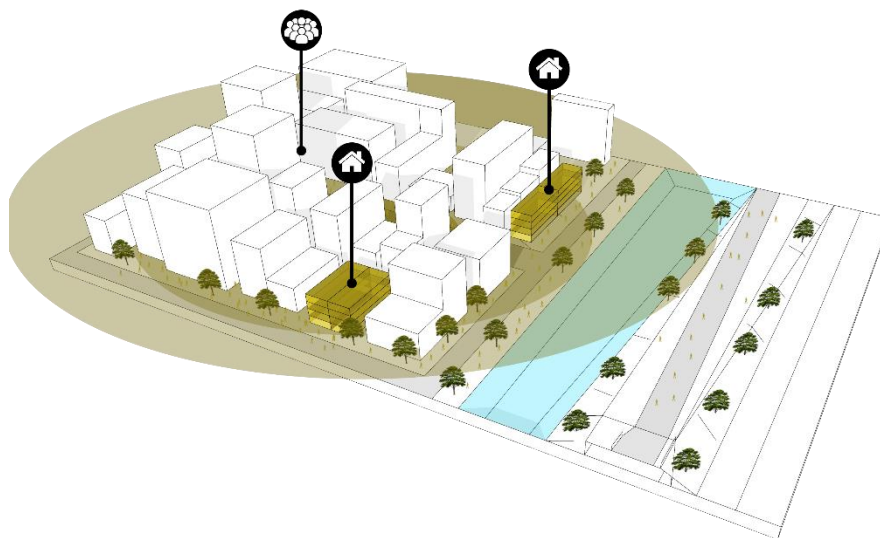


Figura 46 Esquema De Implantação Em Regiões Adensadas – Fonte: Autoral

Das diversas opções apresentadas anteriormente para um único edifício, o projeto inclui também uma evolução volumétrica totalista. Para além das possibilidades de construção em “pequenas” frações independentes, o edifício tem capacidade de expansão até uma evolução máxima composta por quatro frações. Conforme marcado

abaixo, o edifício pode se espelhar tanto nos eixos A e B fazendo uso de somente uma circulação vertical composta por escada e elevador. Estes espelhamentos são responsáveis pelas adaptações descritas inicialmente para qualquer terreno ou localização desejada.

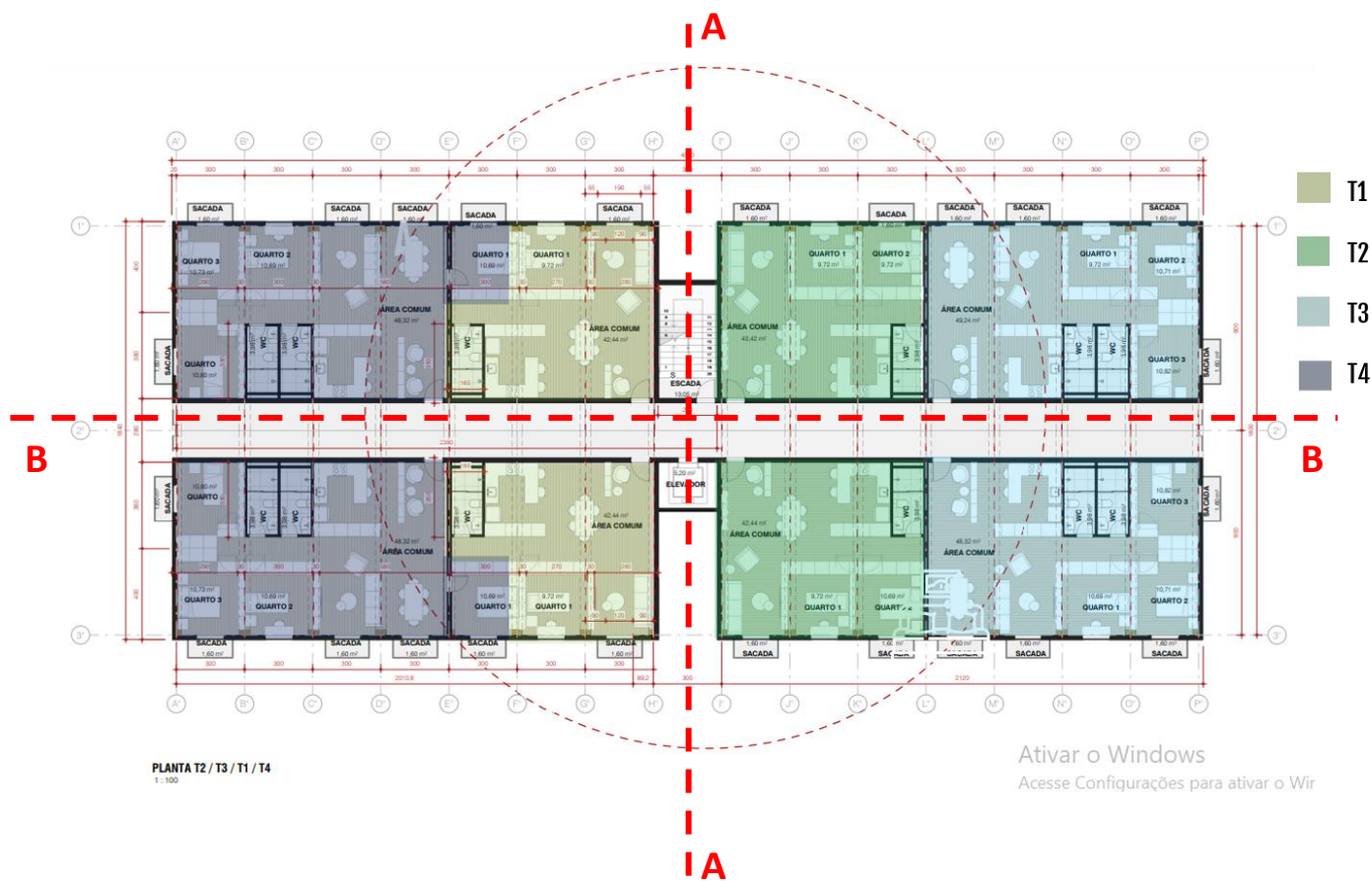


Figura 47 Planta Baixa De Evolução Máxima Do Corpo Do Edifício – Fonte: Autoral

Através deste estudo organizacional foi possível chegar a uma solução de planta evolutiva “máxima” atendendo a 2 xT2, 2 xT3, 2 x T1 e 2 xT4 simultaneamente.

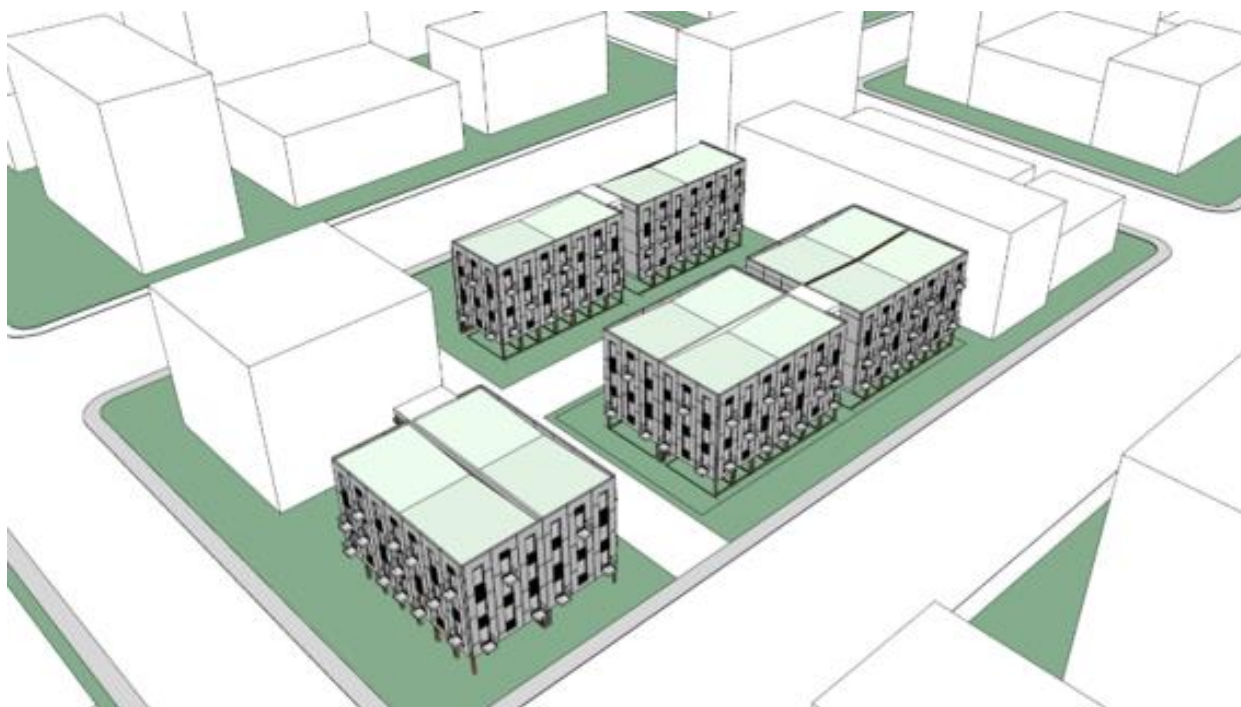


Figura 48 Tipologias De Evoluções – Fonte: Autoral

3.5.5. ESTRUTURA – ESTABILIDADE

Para que estas questões modulares se desenvolvam, o edifício multifamiliar utiliza do sistema construtivo composto por uma estrutura mista de madeira laminada colada (CREE) e betão armado. A seleção da madeira como material principal baseou-se nas suas qualidades estruturais e ambientais, as quais proporcionam maior eficiência energética e menor impacto ambiental em comparação com outros materiais de construção. Além disso, a utilização de madeira laminada colada (Glulam) possibilita a produção de elementos de grande dimensão e alta resistência, garantindo a estabilidade da estrutura do corpo do edifício.

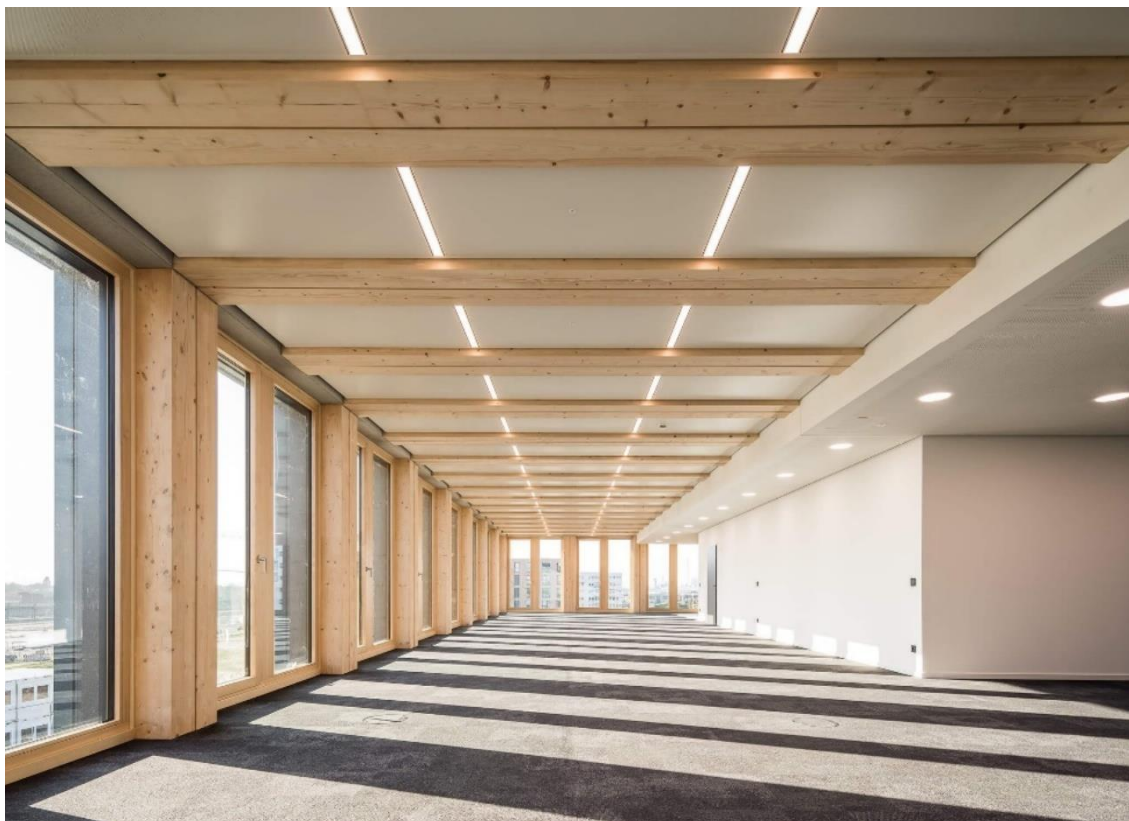


Figura 49 Imagem Interna – Fonte: Adaptado De CREE © 2018

A escolha e a definição deste sistema construtivo foram realizadas por meio da atividade de exercício de Projeto Integrado, o que possibilitou reduzir o tempo de construção e minimizar os resíduos gerados durante a obra uma vez que as peças são produzidas fora do local de construção e montadas in loco.

Ademais, a utilização de elementos modulares e padronizados tanto na caixa de escada, lajes quanto na fachada reduziram o desperdício dos processos industriais e economizou recursos. Em suma, o sistema construtivo adotado para este edifício multifamiliar foi pensado para garantir a estabilidade e segurança do edifício, além de proporcionar eficiência energética e menor impacto ambiental.

A combinação de madeira laminada colada com betão armado permitiu a produção de uma estrutura resistente e durável, enquanto a utilização de elementos modulares e padronizados na fachada reduziu o desperdício dos processos industriais e economizou recursos. Para validar o sistema construtivo empregado no edifício multifamiliar, foi

realizada uma modelagem estrutural no software Robot Structural Analysis 2023 © na disciplina de PI 2. Tal modelagem permitiu simular as condições de carga e verificar as deformações e tensões em cada elemento da estrutura, garantindo, assim, a segurança e estabilidade do edifício. Com essa análise, foram possíveis identificações de possíveis falhas e ajustes necessários para garantir a segurança estrutural do edifício, bem como sua durabilidade e vida útil.

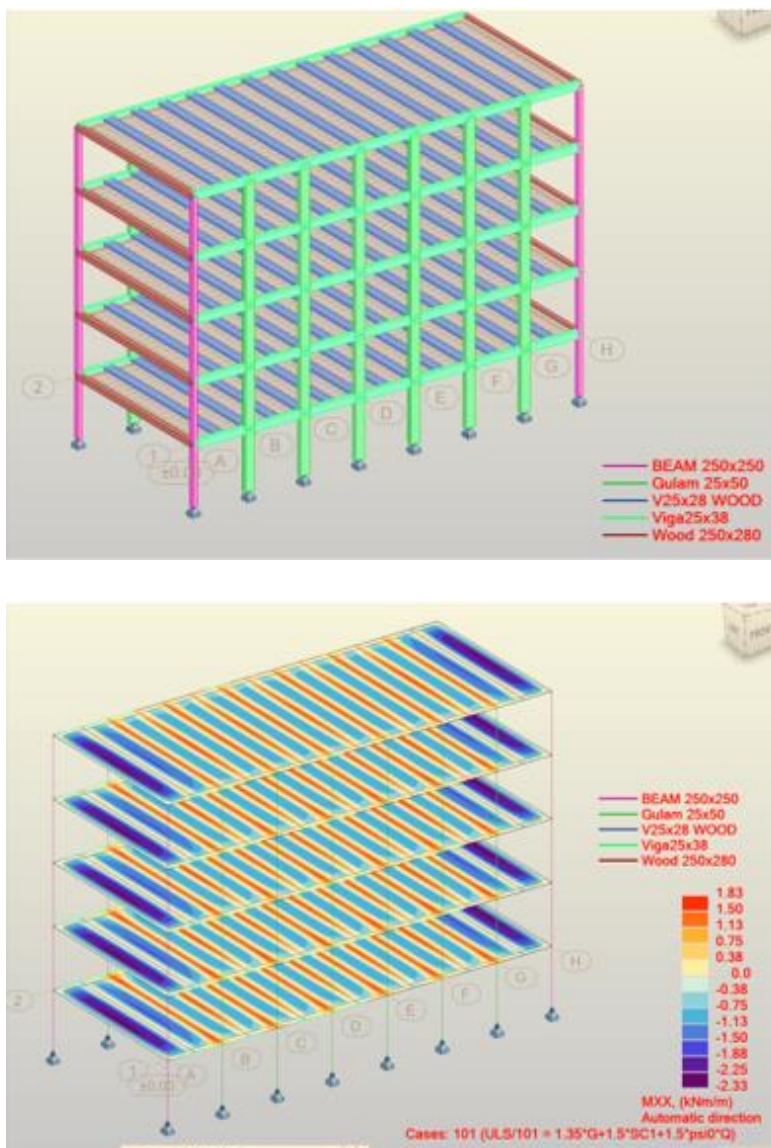


Figura 50 - Modelagem Estrutural Do Edifício Proposto No Autodesk Robot Structural Analysis 2023 ©

A modelação no software Robot Autodesk constituiu uma ferramenta importante para validar e otimizar o sistema construtivo aplicado. Com esta ferramenta, tornou-se possível analisar os esforços que atuam na estrutura, com os Diagramas de Momentos Fletores, os esforços de corte, o punçoamento, as análises modais para o sismo, e as deformações dos elementos estruturais para diferentes combinações, tanto no estado limite último como no estado de serviço.

Como o intuito deste trabalho foi de validar a viabilidade das soluções propostas, não se aprofundou muito na questão da validação dos sistemas já consolidados, as análises visaram apenas vislumbrar os impactos que as propostas arquitetônicas desenvolvidas teriam na estrutura, como as varandas suspensas, que verificou passível de ser executada sem apresentar grandes deformações a estrutura CREE existente, conforme verificado nas figuras abaixo.

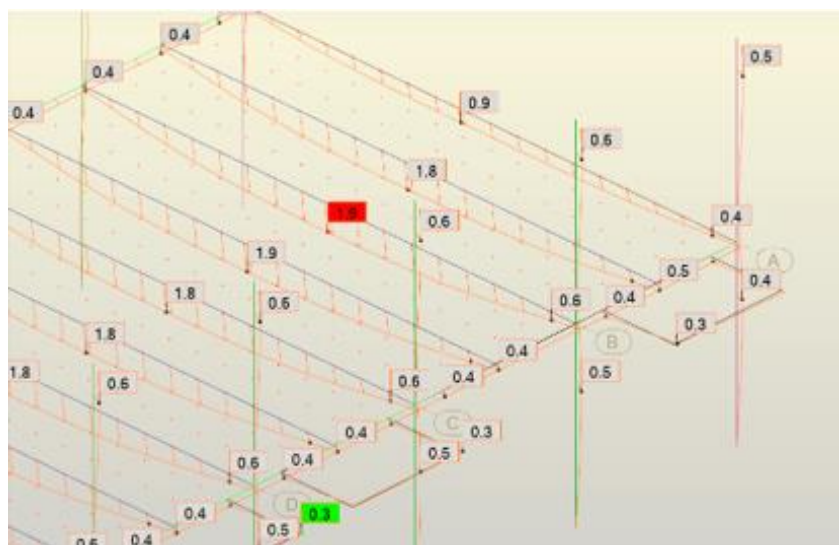
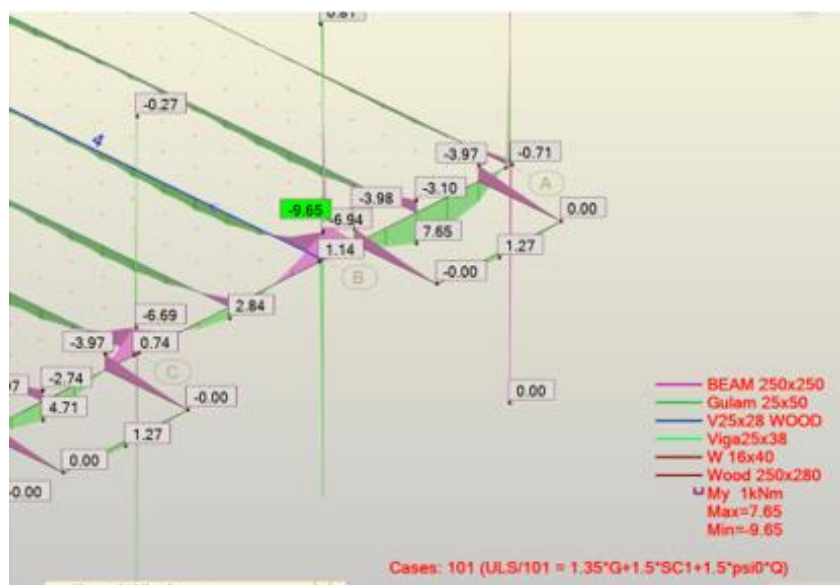


Figura 51 – Deformações (Acima) E DMF (Abaixo) Devido Ao Acréscimo Da Varanda Em Consola No Autodesk Robot ©

3.5.6. ACÚSTICA

Nas relações acústicas de um edifício multifamiliar, seu propósito deve conduzir ao máximo conforto. Foram conduzidos estudos com o intuito de garantir a eficácia do isolamento acústico do mobiliário adaptável, um dos maiores desafios encontrados no projeto. Desafio este por questões de largura dos mobiliários assim como sua espessura e composição.

Composto por materiais como madeira densa, OSB, caixa-de-ar e uma camada isolante de manta acústica de 20mm, os estudos foram baseados nestes requisitos e materiais. Para a situação analisada, estabeleceu-se um limite que é descrito da seguinte forma:

b) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{n,w}$, entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção) num edifício deverá satisfazer (...)

$$D_{n,w} \geq 50 \text{ dB}$$

Este é o valor global (valor global) a adoptar para o isolamento sonoro dos elementos de separação entre fogos.

Figura 52 - Recorte Efetuado Do Documento Normativo.

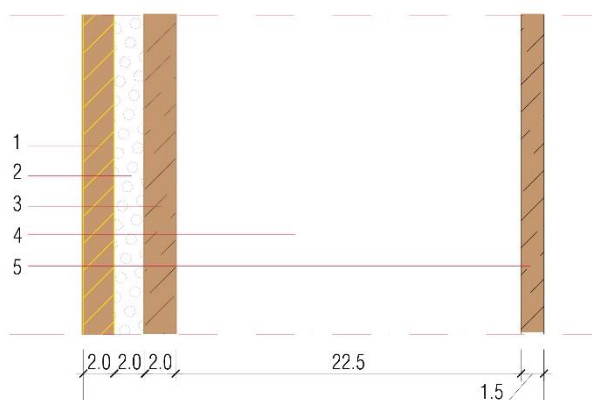


Figura 53 Armário de Divisa (Módulo 30x60)
– Fonte: Autoral

Armário de Divisa (Módulo 30x60)

1. Madeira Densa: 2cm
2. Manta Acústica: 2cm
3. Painel OSB: 2cm
4. Caixa-de-ar não ventilada: 225mm
5. Painel OSB (Porta): 15mm

Massa superficial (total): 36,78kg/m²

Espessura Total: 300mm

Isolamento Acústico: 50,4dB

Com base na simulação realizada pelo RRAE 2008, verificou-se que a parede da mobília adaptável apresentou um resultado satisfatório de isolamento acústico de 50,4 dBa. Este valor é suficiente para cumprir com a norma que exige um índice de isolamento sonoro de 50dB, no que se refere a sons transmitidos por via aérea, entre compartimentos de uma habitação e quartos ou zonas de estar., estado assim de acordo com a normativa vigente.

Este resultado comprova a eficácia do sistema construtivo adotado no projeto, garantindo o conforto acústico dos utilizadores do edifício. As especificações consideradas neste estudo estão disponíveis nas tabelas seguintes para averiguação dos resultados:

Tabela 1 Especificação Do Material Acústico – Fonte: Plakamat

Manta Acústica 20mm

 **plakamat**
Importação e Exportação de Materiais de Construção, S.A.

ESPECIFICAÇÕES

Apresentação	ROLO
Largura	1,20m
Comprimento	15m
Espessura	20mm
Área do rolo	18 m ²
Condutibilidade térmica, λ	0,042 W/(mK)
Redução acústica (ruidos aéreos)	$\Delta L_w=25$ dB
Redução acústica (ruidos impacto)	$\Delta L_w=28$ dB
Peso	1800grs./m ²
Temperatura de utilização	-25° a +85°
Compressão máxima	2000kg/m ²
Compressão máxima / 10% deformação)	1000kg/m ²

Tabela 2 Composição E Especificações De Cada Material

Elemento	Massa Volúmica (Kg/m ³) - ITE50	Madeira	Peso Vol. (kg/m ³)
Madeira densa	800	Acer	650
Madeira semi densa	700	Sapeli	650 a 700
MDF	400	Carvalho	750
OSB	650	Pinho	500
PUR	35	Eucalipto	600 a 750
Fibrocimento	1300	Castanho	600
Tijolo Ceramico 7cm	904.2		
Bloco de betao 10cm	1210		
XPS	40		

3.5.7. INFRAESTRUTURAS ELÉTRICAS E HIDROSSANITÁRIAS

Por ser um o objeto de estudo com enfoque arquitetónico, este não abrange o dimensionamento do projeto hidráulico. No entanto, todas as condições padrões (como courettes, pontos de instalação de contadores, equipamentos hidrossanitários, etc.) foram considerados, a fim de não só atender às demandas de fornecimento de água e saneamento de um edifício multifamiliar, mas tornar o campo de investigação de estudo mais próximo da realidade. Além disso, foi pensado na viabilidade de implementação sistemas de captação de águas pluviais para reutilização em descargas sanitárias e irrigação de jardins uma vez que todas as courettes mantem o mesmo alinhamento desde o piso de cobertura ate o piso de estacionamento. Estas contemplam passagens de todas as especialidades como gás, AVAC, águas, elétrica, dentre outros.



Figura 55 Posicionamento De Courettes – Fonte: Autoral



Figura 54 Foto Do Modelo Protótipo Casais -
Fotografia Autoral

No que diz respeito ao conceito "plug and play", o projeto ganha força e mais-valia, por onde foram previstos pontos hidráulicos modulares nas unidades habitacionais, possibilitando a adaptação de diferentes arranjos de casas de banho e cozinhas sem a necessidade de alterações estruturais. Isso assegura a flexibilidade e a facilidade de adaptação às necessidades dos futuros residentes, além de minimizar os custos e o tempo de obras em eventuais reformas. Todas as soluções hidráulicas adotadas no projeto foram estudadas minuciosamente para garantir a eficiência energética e a sustentabilidade do edifício, atendendo aos requisitos de conforto e segurança para os futuros moradores.

Além disso, o sistema CREE estrutural permite que as tubagens, fiações e condutas sejam embebidas e a integração dos ambientes possa ocorrer de maneira fluida sem que as infraestruturas fiquem aparentes e tenham fácil manutenção.

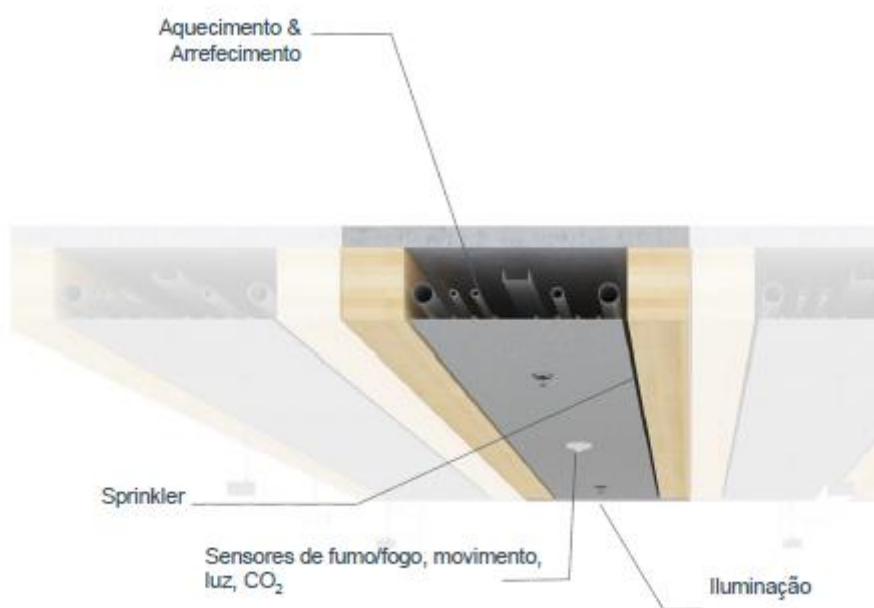


Figura 56- Componentes De Infraestrutura – Fonte: Casais

3.5.8. MATERIALIDADE

Para nortear o projeto, o sistema construtivo teve de ser seguido à risca, com medidas previamente definidas com encaixes, módulos de fácil execução e aplicabilidade.

Foram definidos materiais de fácil aplicabilidade, replicação e sustentáveis, além de rentavelmente acessíveis, uma vez em que o projeto tende a adequar-se ao programa de Habitação A Custos Controlados.

Para isso diversos estudos foram realizados e levantamento de dados para chegar as melhores composições. A adaptação evolutiva modular foi levada em consideração

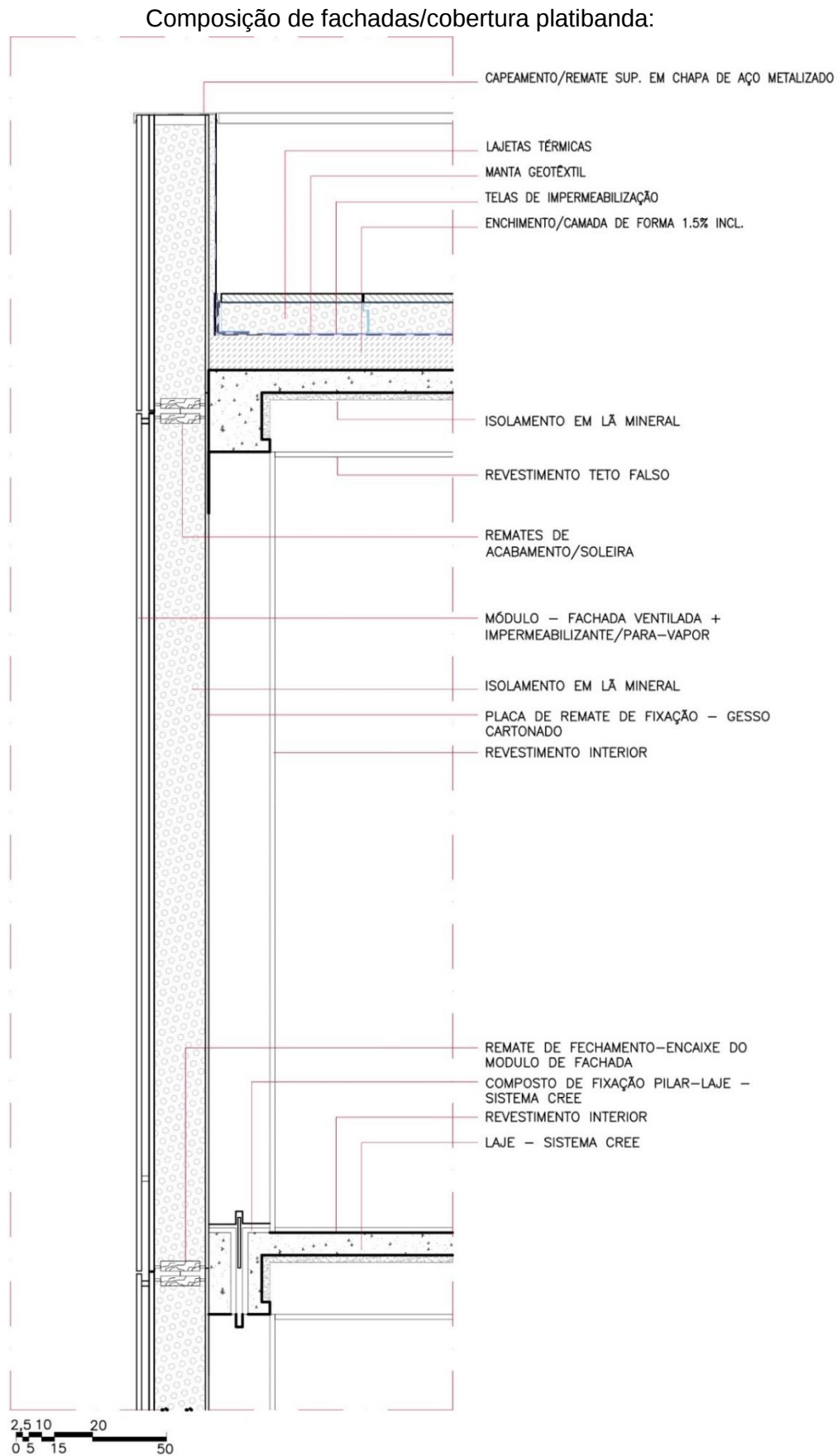


Figura 57 Pormenor De Fachada – Fonte: Autoral

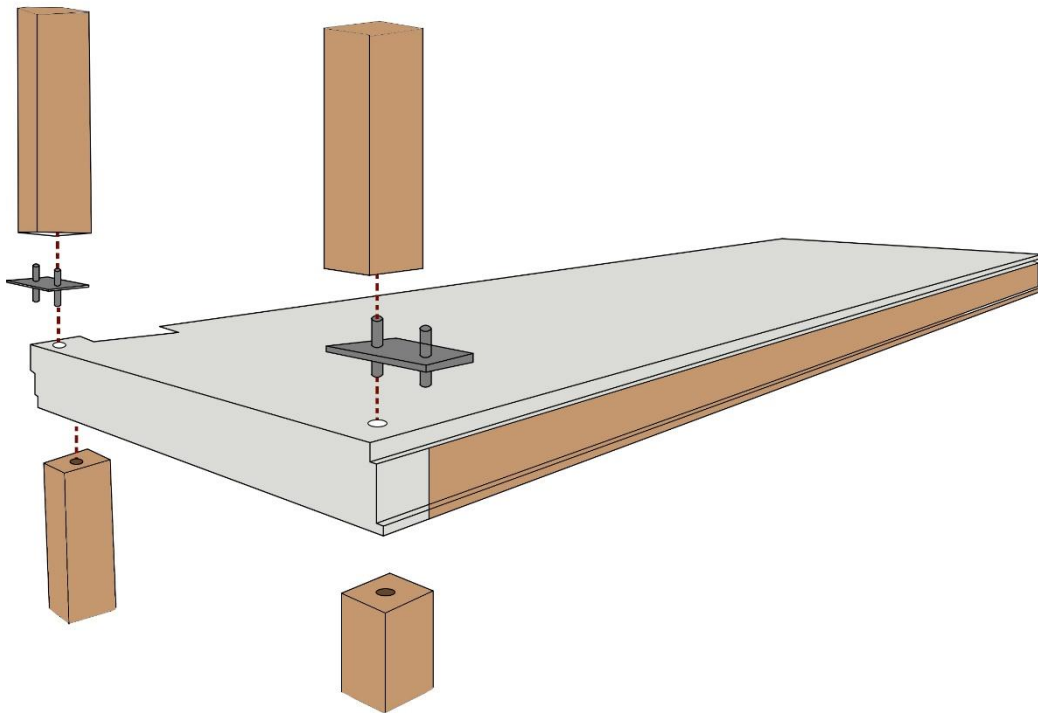


Figura 58 Conexão Pilar Laje – Fonte: Adaptado De CREE © 2018

Composição da cobertura e platibanda

Começando pela cobertura, é concebida uma camada de lajetas térmicas, também modulares, com dimensões de 60x60, de forma a cobrir toda a área da cobertura sem a necessidade de cortes e desperdícios. Esta solução, além de mais rápida, possui

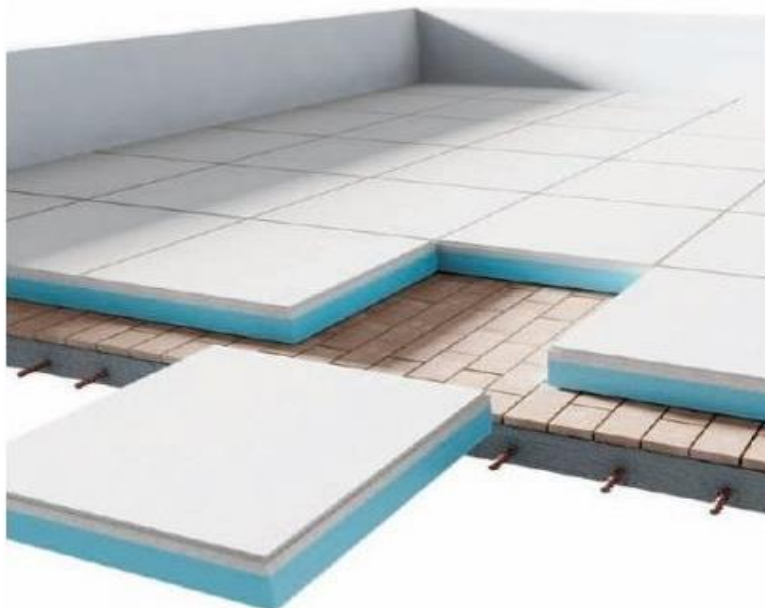


Figura 59- Composição Lajeta Térmica – Fonte: Topeca

excelentes propriedades térmicas para coberturas, sendo uma ótima opção de isolamento composto.

Em suma, as placas térmicas com XPS desempenham um papel fundamental na proteção da cobertura contra os efeitos adversos das condições climáticas existentes em cada região, como calor excessivo, frio intenso e flutuações de temperatura. As placas térmicas com XPS, com a sua grande capacidade de isolamento térmico, ajudam a manter uma temperatura estável e evitam a passagem indesejada de calor ou frio no interior do edifício de maneira indesejada. O XPS, por ser impermeável, suporta o contato direto com a água sem danos, além da sobreposição de uma camada de argamassa que suporta choques mecânicos e serve de contrapeso ao XPS.

Após isso, a manta geotêxtil desempenha um papel vital na proteção das camadas inferiores da cobertura. Atua como uma barreira protetora que impede a penetração de resíduos, partículas e raízes orgânicas nas camadas mais sensíveis do sistema. Ao prevenir danos e entupimentos, a manta geotêxtil contribui para a longevidade e integridade da cobertura.

As telas de impermeabilização asfáltica geram um papel fundamental na prevenção de infiltrações de água. Elas, projetadas para criar uma barreira à prova d'água, protege a estrutura da umidade indesejada. As telas de impermeabilização asfáltica garantem a estanqueidade e durabilidade da cobertura mesmo em condições climáticas adversas com a sua extraordinária resistência.

Com uma inclinação mínima de 1,5%, os preenchimentos garantem que a água seja direcionada para os sistemas de drenagem, evitando poças e possíveis danos ao telhado. Esses são projetados para manter a integridade da inclinação ao longo do tempo, permitir uma drenagem eficiente e evitar problemas relacionados à estagnação da água, que causa mal cheiros e adversos patológicos.

Após essas camadas protetoras, o sistema estrutural CREE fornece suporte e estabilidade para a camada como um todo. Com construção avançada e materiais de alta qualidade, o sistema CREE fornece a resistência estrutural necessária para suportar cargas, ventos fortes e outras condições climáticas adversas. Ao garantir a robustez do sistema, o CREE contribui para a longevidade da cobertura e minimiza a necessidade de manutenção mecânica ao longo do tempo.

Em resumo, pode-se concluir que a combinação de painéis térmicos com XPS, manta geotêxtil, telas impermeabilizantes asfálticas e o sistema estrutural CREE proporciona uma cobertura altamente eficiente e durável, resistente às influências climáticas e com reduzidas demandas de manutenção mecânica. Esta solução contribui para a resistência, sustentabilidade e poupança energética dos edifícios e garante um ambiente seguro e confortável para os seus ocupantes.

Composição da fachada

O sistema de fachada consiste em uma construção modular. Além da modularidade 300x338mm, é composto por uma camada ventilada que permite a circulação do ar entre o exterior e a estrutura do edifício. Isso cria uma barreira térmica, reduzindo a penetração de calor e frio no interior, o que resulta em uma melhoria significativa no conforto térmico e na eficiência energética do edifício.

A camada de barreira de vapor desempenha um papel fundamental na proteção da estrutura contra a umidade e a penetração do vapor de água do ambiente externo. Evita a condensação e o acúmulo de umidade no interior da fachada, evitando assim danos e deterioração ao longo do tempo. Esta camada, adicionada à base cimentícia, protege a lã mineral, cuja propriedade não permite o contacto com a água. Isso é usado para garantir alto desempenho térmico e acústico da fachada, sendo altamente eficaz na redução da transferência de calor, mantendo uma temperatura interna estável e minimizando a necessidade de aquecimento e resfriamento. Além disso, a lã mineral também contribui para o isolamento acústico, reduzindo a transmissão de ruídos externos para o interior da edificação.

O gesso cartonado, colocado como camada final da fachada, oferece uma superfície lisa e durável, pronta para tratamentos e revestimentos adicionais, como tinta ou papel de parede. Esta placa proporciona um tratamento estético de alta qualidade e confere à fachada um aspeto final elegante e harmonioso.

Em resumo, pode-se afirmar que uma fachada composta por módulos de fachada em sistema de fachada ventilada, camada impermeabilizante para vapor, isolamento de lã mineral e gesso cartonado oferece vantagens significativas para além de estética atrativa, como melhores propriedades térmicas e acústicas, proteção contra umidade e vapor. Esta combinação de camadas oferece uma solução completa e eficaz para fachadas de edifícios, contribuindo para o conforto, sustentabilidade e resistência do edifício. Esta fachada, para que seja modular, evolutiva e adaptativa (sistema rotativo porta janela) foi modularizada de maneira a garantir estanquidade interno-externo conforme pormenor a seguir:

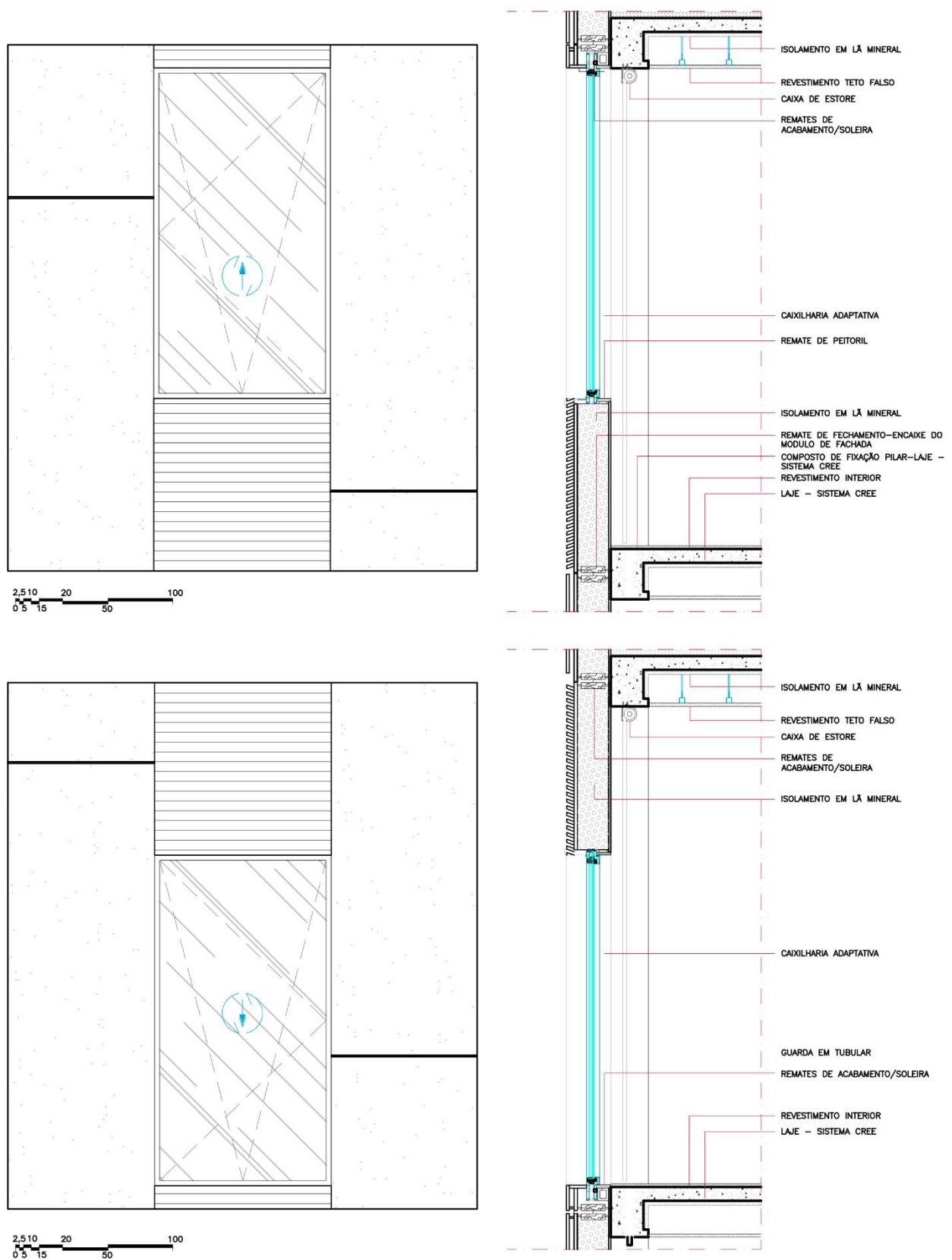


Figura 60 Pormenor De Rotação Da Fachada Adaptativa – Fonte: Autoral

3.5.9. ESTIMATIVAS ORÇAMENTAIS

Uma das vantagens do estudo realizado reside no facto de que, apesar de o mobiliário adaptativo apresentar um custo relativamente mais elevado em comparação com uma parede convencional, o valor do mobiliário já está integrado na divisória, tornando o investimento ainda mais vantajoso a longo prazo. Além disso, esta solução permite poupar ao eliminar a necessidade de ter uma parede e um mobiliário separados, otimizando o espaço e reduzindo o custo total da obra.

Desta forma, a utilização de mobiliário adaptativo pode trazer benefícios não apenas em termos de conforto acústico, mas também em termos económicos e de aproveitamento do espaço.

Principais pontos a considerar em conjunto com a estimativa orçamental:

1. Maior liberdade de projeto
2. Preço do mobiliário "incluído" na parede
3. Custo do armário (30 cm de espessura/por m² ≈ € 186,30)

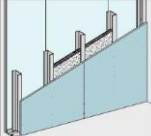
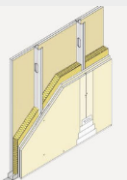
Soluções Alvenaria Não estrutural:	Isolamento	Un.	Preço
	Pano interior de fachada dupla, de alvenaria de tijolo cerâmico para revestir, com isolamento integrado.	Poliestireno expandido incorporado 4cm	m ² 26,60
	Parede gesso acartonado Sistema "KNAUF"	ita acústica de dilatação "KNAUF" de 50 mm de largura.	m ² € 32.45
	Parede gesso acartonado Sistema "PLADUR"	painel semi-rígido de lã mineral, espessura 45 mm	m ² € 41.50
PREÇO ESTIMADO PARA ARMÁRIO/MOBÍLIA DIVISÓRIA			
	Armário/Divisa Interna em Madeira + Manta Acústica	Manta acústica 20mm	m ² € 91.83

Figura 61 Composições De Paredes – Fonte: Autoral

A solução proposta para o mobiliário adaptativo traz consigo a evolução da tipologia, permitindo a abertura de portas internas de forma simples, sem qualquer impacto na infraestrutura existente. Isto significa que a adição de novos espaços, quartos ou funções pode ser realizada de maneira rápida e eficiente, sem a necessidade de grandes intervenções na estrutura do edifício. Além disso, esta abordagem proporciona uma significativa economia de custos, uma vez que o valor do mobiliário está

incorporado à divisória, dispensando a necessidade de paredes e móveis separados. Em suma, o uso de mobiliário adaptativo não só oferece flexibilidade e personalização ao utilizador, mas também representa uma solução prática e económica para a evolução do edifício ao longo do tempo.

Tabela 4 Composição Armários

Porta interior cega, de uma folha de 203x82,5x3,5 cm, de painel de fibras acabamento em melamina de cor branca, com alma alveolar de papel kraft; aro de madeira maciça; guarnição do mesmo material e acabamento que a folha; com ferragens de

Unitário	Ud	Descrição	Rend.	Preço unitário	Importância
mt22aap012a	Ud	Aro de madeira maciça, para porta de uma folha, com elementos de fixação.	1.000	24.80	24.80
mt22pxh025aa	Ud	Porta interior cega oca, de painel de fibras acabamento em melamina de cor branca, com alma alveolar de papel kraft, de 203x82,5x3,5 cm.	1.000	45.67	45.67
mt22ata015ab	m	Guarnição de MDF, com acabamento em melamina, de cor branca, 70x10 mm.	10.400	1.36	14.14
mt23ibl010p	Ud	Dobradiça de 100x58 mm, com remate, em latão preto brilho, para porta interior.	3.000	0.74	2.22
mt23ppb031	Ud	Parafuso de latão 21/35 mm.	18.000	0.06	1.08
mt23ppb200	Ud	Fechadura de embutir, frente, acessórios e parafusos de fixação, para porta interior, segundo EN 12209.	1.000	11.29	11.29
mt23hbl010aa	Ud	Jogo de puxador par e espelho rectangular de latão preto brilho, série básica, para porta interior.	1.000	8.12	8.12
mo016	h	Oficial de 1ª carpinteiro.	0.909	17.16	15.60
mo056	h	Ajudante de carpinteiro.	0.909	16.57	15.06
	%	Meios auxiliares	2.000	137.98	2.76
	%	Custos indirectos	3.000	140.74	4.22
Custo de manutenção decenal: 15,95€ nos primeiros 10 anos.				Total:	144.96

3.6. APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DO DFMA AO PROJETO

O projeto deste estudo de caso é um exemplo inspirador de como o DfMA (Design for Manufacture and Assembly) pode ser aplicado com sucesso em habitações modulares, proporcionando benefícios tanto para os moradores quanto para o meio ambiente.

Os módulos foram pensados de forma flexível e adaptável, o que permitiu a ampliação e adaptação da habitação de acordo com as necessidades individuais dos moradores. Os princípios do DFMA foram aplicados e adaptados mais a fundo no projeto da disciplina por meio desta dissertação. Componentes internos, como elétricos e hidráulicos, foram adaptados o que tornam sua instalação simples e rápida. Isso faz uma redução significativa no tempo de montagem e permite uma maior flexibilidade na configuração dos alçados do edifício. O que envolve a aplicação de princípios do DfMA que buscam maximizar a eficiência, reduzir custos e melhorar a qualidade durante todo o ciclo de vida do projeto.

A combinação da modularidade com os o DfMA resultou em um projeto de habitação evolutivo altamente eficiente e sustentável. A rapidez de produção e montagem dos módulos, aliada à possibilidade de ampliação e customização, conferem aos moradores um alto grau de flexibilidade. Além disso, a abordagem da produção em larga escala reduziu os custos de produção e minimizou o desperdício de material.



Figura 62 Representatividade De Poupanças – Fonte: CREE Buildings + Casais

3.6.1 DESIGN FOR MANUFACTURE – DfM (DESIGN PARA FABRICAÇÃO)

A abordagem da DfM foi fundamental para o sucesso do projeto, pois permite que os módulos sejam fabricados em larga escala, reduzindo custos e tempo de produção.

No caso deste projeto, a aplicação do DfM veio desde sua conceção inicial, garantindo que estes módulos habitacionais fossem projetados na consideração de metodologias de fabricação mais eficiente. Na otimização de geometria dos módulos, simplificação estrutural e minimização da quantificação de peças e componentes. Isso tudo, facilita ainda mais sua implementação e montagem no local.

A utilização de padrões de medidas como das lajes/pilares/vigas simplificou a fase estrutural, assim como o mobiliário versátil, que contribuiu na padronização interna



Figura 63 Elementos Estruturais Modulares – Fonte: Adaptado De CREE © 2018

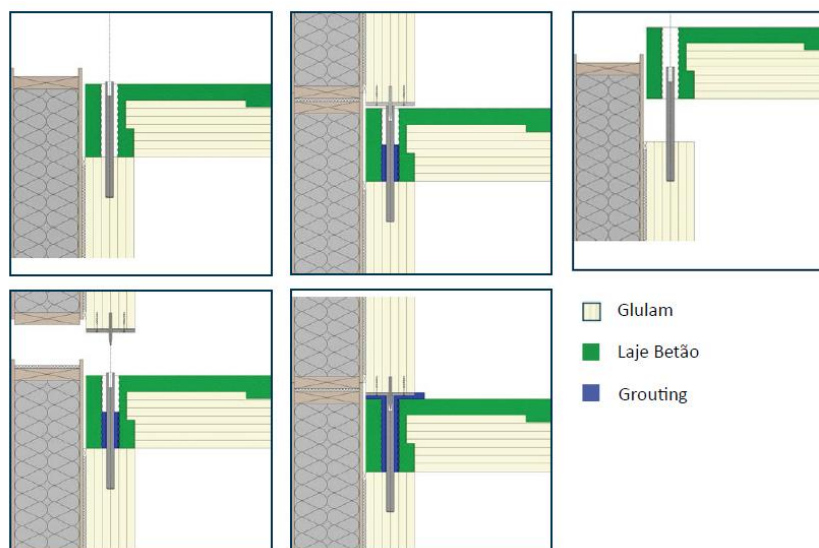


Figura 64 Encaixes Estruturais – Fonte: Adaptado De CREE © 2018

No interior do edifício, onde não há paredes maciças de alvenaria, o DfM foi altamente aplicado para a fabricação dos elementos divisores de espaços. Esses elementos foram projetados de forma modular, permitindo uma montagem rápida e eficiente. Além disso, as paredes feitas com armários no interior das frações foram projetadas de maneira a maximizar o uso dos materiais e facilitar a sua montagem, além do rearranjo interior e a possível compra de novos módulos ou troca entre ambientes para formalizar uma nova função espacial. Os módulos não variam de tamanho, possuindo as três opções e que configuram os ambientes de forma como um quebra-cabeças.

A utilização do gride base modular 900 x 300 da laje, foi o precursor da definição da modularização do mobiliário, que resultou na redução do número de componentes das paredes, que foram substituídos pela proposta do mobiliário versátil, levando a uma redução geral no número total de peças do projeto.

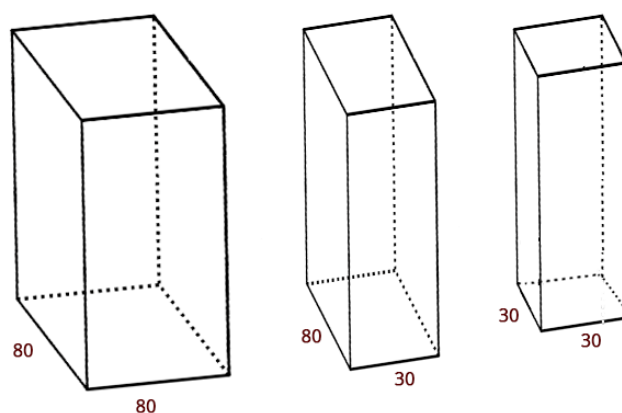


Figura 65 Modularização Do Mobiliário – Fonte: Autoral

Já na conceituação de fachada, o projeto consta somente um módulo de janela adaptativa, o que facilita e agiliza o processo fabril. Uma modulação respeitando o gride estrutural e os encaixes necessários pela estrutura.

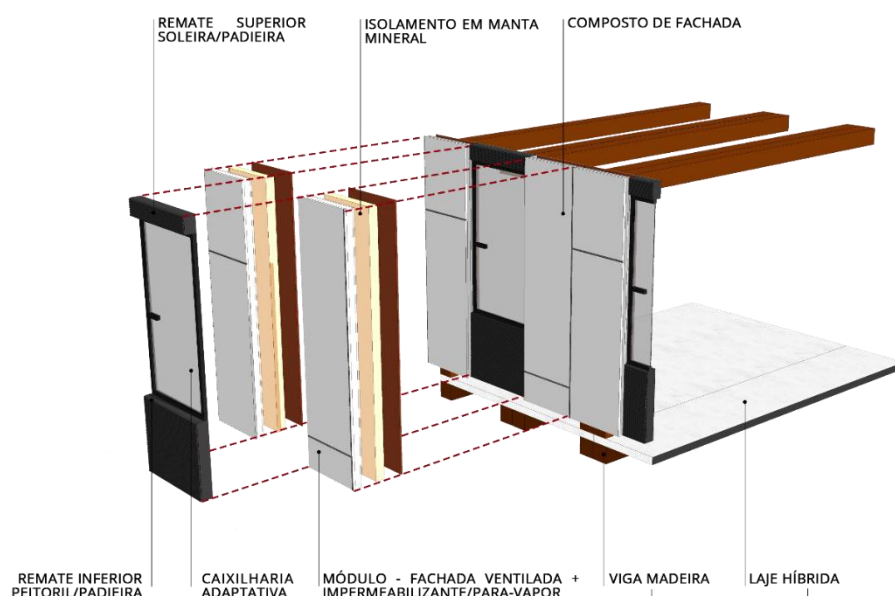


Figura 66 Esquema De Composição De Fachada – Fonte: Autoral

3.6.2 DESIGN FOR ASSEMBLY- DFA (DESIGN PARA MONTAGEM)

Da mesma maneira que o Design para Fabricação, o DfA, neste projeto foi aplicado desde o estágio inicial, para que alcançasse as características almejadas. Concentra-se então em simplificar e otimizar os processos de montagem, levando em suma consideração a facilidade e a eficiência da montagem. O objetivo foi garantir a montagem rápida, eficiente e com os mínimos de recursos e esforços necessários.

Ao considerar o DfA, a equipe de projeto considerou cuidadosamente a interação entre os vários elementos modulares, como paredes, piso e teto. Projetando juntas e conexões que permitem uma montagem fácil e segura, reduzindo a necessidade de ferramentas complexas ou habilidades especializadas.

Além disso, o DfA também influenciou as decisões relacionadas aos materiais utilizados. A equipe projetista procurou utilizar materiais leves como isolamento em lã mineral, as demais camadas externas de proteção das fachadas únicas assim como o sistema de cobertura, leves, porém resistentes, que facilitassem o manuseio e a montagem. Isso ajudou a reduzir o tempo necessário para a montagem, bem como os riscos associados a erros ou danos durante o processo.

O método construtivo modular do módulo fachada única pilar-laje no sistema híbrido pode ser dividido em quatro etapas:

1. Fabricação;
2. Transporte;
3. Instalação;
4. Montagem.

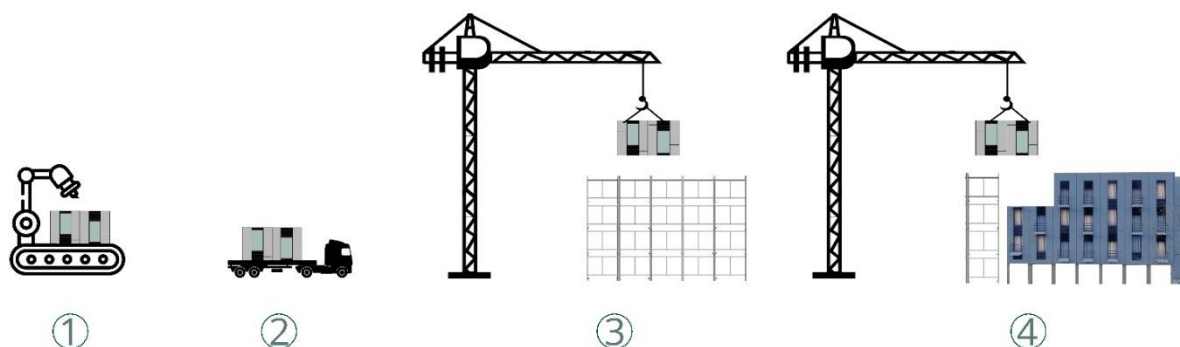


Figura 67 Processo De Montagem – Fonte: Autoral

Essas etapas são críticas para a implementação eficiente e precisa de sistemas modulares, proporcionando benefícios como redução de prazos, maior controle de qualidade e redução de custos. A primeira etapa, fabricação, ocorre em fábricas especializadas. Neste ambiente controlado, os módulos de fachada de colunas e módulos de piso são produzidos usando tecnologia avançada e materiais de alta qualidade. Elementos estruturais como pilares e vigas são fabricados e preparados com precisão, enquanto as lajes são fabricadas de acordo com as especificações do projeto. Nesta fase, elementos pré-fabricados como isolamentos térmicos, revestimentos e detalhes estéticos já são implementados para garantir a customização e funcionalidade do sistema.

Após a conclusão da fabricação, os módulos estão prontos para serem enviados ao local. Dependendo do tamanho e peso, pode ser usado um caminhão ou outro meio de transporte adequado para a região dependendo dos acessos existentes, por isso, a fragmentação da peça de fachada é garantida. Nesta fase, é importante garantir que os módulos estejam adequadamente protegidos para evitar danos durante o transporte. Após os preparos específicos de cada terreno, com geotecnia, movimentos de terras, preparação das fundações o projeto pode começar a ser transportado. Durante a fase de instalação, os módulos são transportados para o canteiro de obras. Ocorre o descarregamento e posicionamento dos módulos de acordo com o projeto e em sequência pré-definida com auxílio de guindaste ou equipamento similar. Nesta etapa, os módulos de fachada são encaixados nas lajes já instaladas, formando a estrutura modular desejada. A integração entre cada módulo é realizada com precisão, o que garante a estabilidade e segurança geral do sistema.

Por fim, na fase de montagem, acontecem os ajustes finais e finalização do sistema modular. Os elementos estruturais são então devidamente conectados e protegidos, e os acabamentos finais, como revestimento e detalhes arquitetônicos, são arrematados. Nesta fase, são instalados sistemas auxiliares elétricos e hidráulicos para atender as necessidades específicas do projeto. Em suma, o método de construção modular do módulo de fachada pilar-laje-módulo no sistema misto passou por quatro etapas de fabricação, transporte, instalação e montagem. Esse processo permite uma construção eficiente, controlável e de alta qualidade, com vantagens como redução do prazo de construção, maior controle de qualidade e economia de custos. Além disso, a utilização de elementos pré-fabricados oferece maior flexibilidade, customização e sustentabilidade aos projetos arquitetônicos.

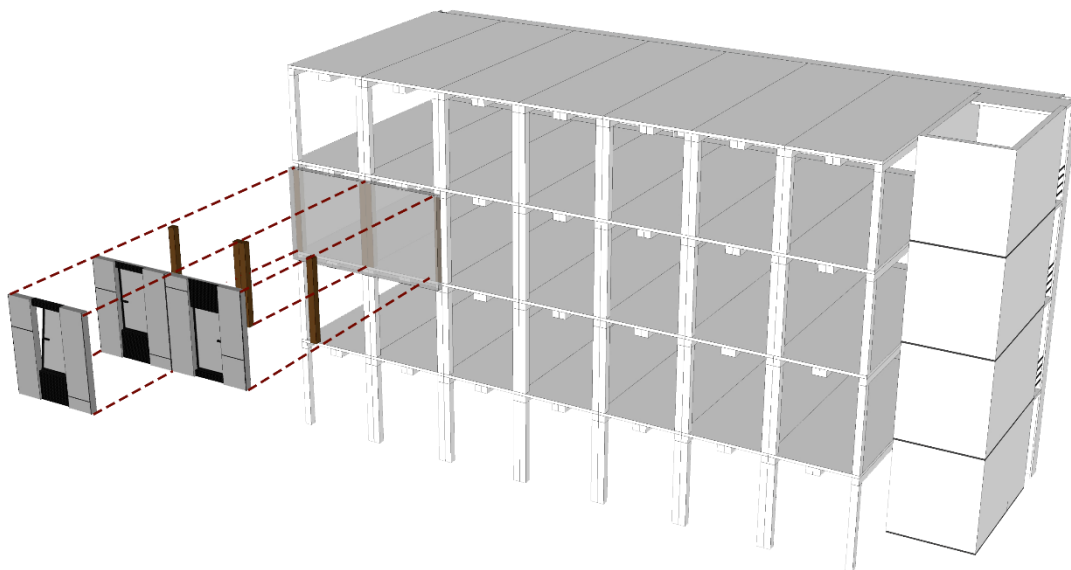


Figura 68 Perspetiva Isométrica De Planos De Fachada – Fonte: Autoral

A consideração cuidadosa da interação entre todos estes componentes, o design de conexões mais eficientes e o uso de materiais adequados ao sistema estrutural foram alguns dos aspetos-chave que contribuem para uma montagem rápida, eficiente e de qualidade, com os menores número de desperdícios e resíduos na construção.

A abordagem conceitual do edifício reflete, em última instância, uma análise crítica de todos os requisitos da encomenda. Esta abordagem visa alcançar uma solução que seja programaticamente rigorosa, mas que também seja sensível à paisagem, com o intuito de preservá-la e potencializá-la.

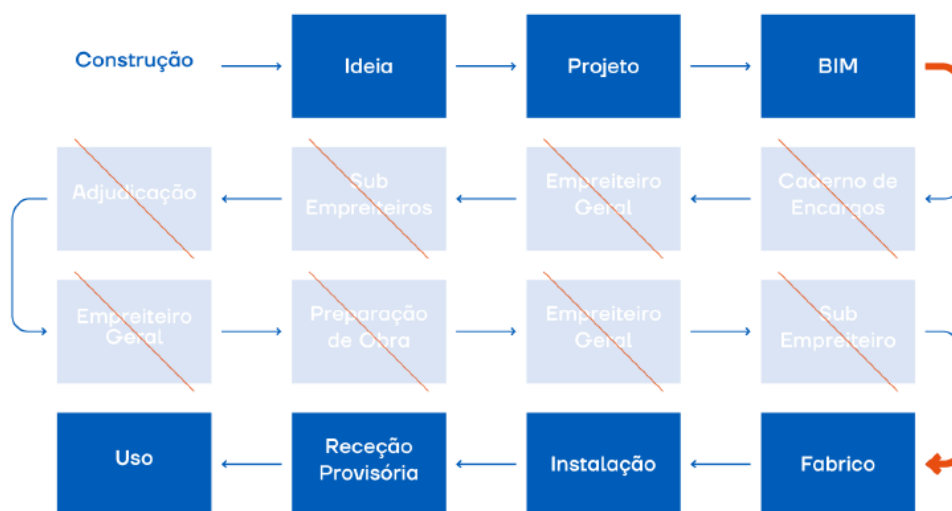


Figura 69 Esquema De Simplificação Da Construção – Fonte: Casais

3.7. COMPARATIVOS ENTRE CONSTRUÇÃO CORRENTE TRADICIONAL X CONSTRUÇÃO HÍBRIDA SISTEMA CREE BUILDINGS

3.7.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Com o objetivo de exemplificar e comparar o sistema utilizado neste estudo, realizou-se uma comparação com outro sistema estrutural levando em conta os faseamentos e tempos de execução médios. Este comparativo foi realizado entre uma construção de mesmo porte e características formais. A primeira sendo um sistema tradicional convencional em betão armado com fechamentos externos em alvenaria devidamente acabada (isolada, rebocada e pintada) e divisórias em gesso cartonado. Estes resultados foram retirados e reestruturados com base em estudos, análises de artigos como “Gestão Integrada do Tempo e do Custo Uma Contribuição para a Gestão de Projectos de Construção em Portugal” de José Antonio Paulo (32), livros como Organização e Gestão de Obras - Otimizar Resultados” de Joaquim Castelo e Veiga Ribeiro (33), Gerador de preços para construção civil. Portugal. CYPE Ingenieros, S.A. além de experiência própria em obras nacionais. Esta comparação foi feita com abordagem de construção híbrida do sistema CREE Buildings, utilizando dados fornecidos pelo Grupo Casais provenientes de estudos, análises de protótipos e projetos desenvolvidos e implementados por eles.

Deve-se considerar que dados obtidos (transformados em meses para melhor clarificação dos dados) variam consoante a complexidade do terreno e a disponibilidade dos profissionais envolvidos em cada região. Foram utilizados como base para a realização deste estudo médias encontradas e registradas nas referências bibliográficas, ainda que de forma simplificada e generalizada. O propósito é compreender e explorar as diferentes fases de construção, assim como comparar as suas complexidades, números e o tempo necessário para a execução. O estudo concentra-se sobretudo na categorização das relações das etapas de cada sistema, com o objetivo de compará-las e compreendê-las.

Por motivos de não relevância neste caso de estudo específico, não foi considerado tempos de projeto, questões de arrendamentos e tempo de estaleiro e pessoal. Para formalização deste estudo, focou-se nas etapas de obra para conclusão das ideias.

Para melhor se adaptar aos dados fornecidos pelo Grupo Casais e tornar o estudo mais efetivo, foi considerando um edifício tipo com 6 pisos (R/C + 5) e cerca de 3.500m² de área de piso e 1.800m² de área de fachada (5 pisos). Considera-se também as fundações, 1 piso de cave e núcleo rígido construídos in situ (no caso do sistema CREE Buildings).

Construção Corrente Tradicional

1. Fase de Preparação:



Figura 70 Fase De Preparação Do Terreno - Fonte: Cype, Gerador De Preços Portugal

1.1 Preparação do Terreno com Levantamento Topográfico:

O levantamento topográfico, que envolve a análise do terreno e a marcação dos limites e características do local, pode levar 0,5 mês.

Custo médio: 10.000,00€

1.2 Fundações e Escavação das Sapatas:

A fase de escavação e construção das sapatas para as fundações é uma etapa crucial da obra. Em média, essa etapa pode levar 1,5 mês, dependendo das características do solo e das condições do local. É importante considerar também a necessidade de cumprir as normas e regulamentos locais para a construção das fundações.

Custo médio: 150.000,00€

1.3 Execução das Infraestruturas Básicas (Elétrica, Hidráulica e Drenagem):

Essa etapa envolve a instalação dos sistemas elétricos, hidráulicos e de drenagem no edifício. O tempo necessário para a execução dessas infraestruturas pode variar, mas em média pode levar 2 meses.

Custo médio: 75.000,00€

2. Fase de Construção da Estrutura:

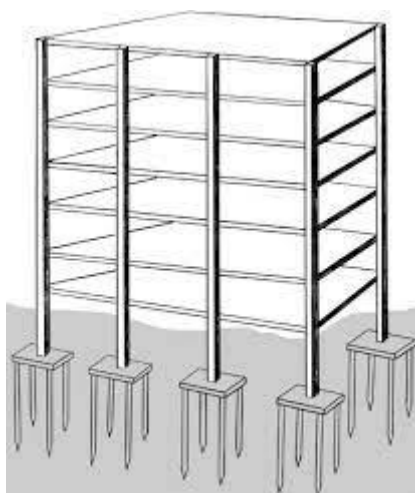


Figura 71 Fundações Tipo -Fonte: Portal MEC

2.1 Execução da Estrutura Principal em Betão Armado:

A execução da estrutura principal em betão armado, que envolve a construção de pilares, vigas e lajes, é uma etapa crítica e geralmente realizada por equipas especializadas em betão armado. O tempo necessário para essa fase pode variar, mas em média pode levar 2 meses.

Custo médio: 800.000,00€



Figura 72 Fechamentos em Alvenaria - Fonte: Projetta

3. Fase de Alvenaria:

3.1 Construção das Paredes em Alvenaria:

A construção das paredes externas e internas em alvenaria, utilizando tijolos ou blocos cerâmicos, é uma etapa importante da obra pois ajuda na estanqueidade interna para que outras especialidades possam entrar em obra. O tempo necessário para essa fase

depende em suma da disponibilidade de mão-de-obra. Em média, essa etapa pode levar 1,5 mês.

Custo médio: 150.000,00€

3.2 Aplicação de Reboco nas Paredes Externas:

Após a construção das paredes externas, é comum aplicar o reboco para regularizar e impermeabilizar a superfície. O tempo necessário para essa etapa depende da área total de paredes externas que precisam ser rebocadas. Em média, essa fase pode levar 1 mês.

Custo médio: 40.000,00€

4. Fase das Divisórias em Gesso Cartonado:



Figura 73 Divisórias em Gesso Cartonado - Fonte: Multi Perfil

4.1 Instalação dos Perfis Metálicos Estruturais:

A instalação dos perfis metálicos estruturais, que são fixados nas paredes e no teto, é a primeira etapa dessa fase. O tempo necessário para essa instalação em média pode levar 0,5 mês.

Custo médio: 20.000,00€

4.2 Montagem das Placas de Gesso Cartonado:

Após a instalação dos perfis metálicos, as placas de gesso cartonado (drywall) são montadas nos perfis para formar as divisórias internas. O tempo necessário para essa montagem varia de acordo com a quantidade de divisórias e tipologias de paredes, mas em média pode levar cerca de 1 mês.

Custo médio: 30.000,00€

4.3 Fixação das Placas de Gesso Cartonado e Tratamento das Juntas:

Após a montagem das placas, elas são fixadas nos perfis com parafusos. Em seguida, as juntas entre as placas são tratadas. O tempo em média pode levar 1 mês.

Custo médio: 40.000,00€

4.4 Acabamento das Divisórias:

O acabamento das divisórias inclui lixamento, aplicação de selador e pintura. O tempo necessário em média pode levar 0,5 mês.

Custo médio: 20.000,00€

5. Fase das Instalações:

5.1 Instalação do Sistema Elétrico:

A instalação do sistema elétrico envolve a passagem dos cabos, a fixação das caixas de luz, a ligação dos interruptores e tomadas, entre outros elementos especificados pela especialidade. O tempo necessário para essa fase pode variar dependendo da complexidade do sistema elétrico, mas em média pode levar 1,5 mês.

Custo médio: 50.000,00€

5.2 Instalação do Sistema Hidráulico:

A instalação do sistema hidráulico inclui a distribuição de água quente e fria, a fixação das tubulações e a instalação das louças sanitárias. O tempo necessário para essa fase também pode variar dependendo da complexidade do sistema hidráulico, mas em média pode levar de 1,5 mês.

Custo médio: 80.000,00€

5.2 Instalação do Sistema de Elevadores:

A instalação do sistema dos elevadores inclui a distribuição de guias, motores, portas de patamar e montagens. O tempo necessário para essa fase também pode variar dependendo do modelo e da complexidade do sistema, tendo em média 1,5 mês.

Custo médio: 150.000,00€

6. Fase de Acabamentos:

6.1 Instalação de portas, janelas e caixilharias:

A instalação de portas, janelas e esquadrias, incluindo a colocação de pré-aros, guarnições e fechaduras, pode levar em média 1 mês.

Custo médio: 100.000,00€

6.2 Aplicação de revestimentos nos pisos e paredes:

A aplicação de revestimentos nos pisos e paredes, como cerâmica, vinil, laminado ou pintura, pode variar em tempo dependendo dos materiais escolhidos. Em média, essa etapa pode levar 2 meses.

Custo médio: 150.000,00€

6.3 Instalação de rodapés:

A instalação de rodapés é geralmente realizada após a aplicação dos revestimentos nos pisos. O tempo necessário para essa etapa pode variar, mas em média pode levar 0,5 mês, dependendo da quantidade de rodapés e da área total a ser coberta.

Custo médio: 10.000,00€

6.4 Pintura final de todas as superfícies internas:

A pintura final de todas as superfícies internas é uma etapa importante para o acabamento estético do edifício. O tempo necessário para essa fase pode variar dependendo do número de divisões e da complexidade do projeto. Em média, essa etapa pode levar 1 mês.

Custo médio: 50.000,00€

7. Fase de Conclusão:

7.1 Verificação e Ajustes Finais das Instalações:

Nesta etapa, todas as instalações do edifício, como elétrica, hidráulica, drenagem e sistemas de climatização, são verificadas e ajustadas conforme necessário. Isso pode envolver testes de funcionamento, verificação de conexões, ajustes de pressão, entre outros. Em média, essa fase pode levar 1 mês dependendo da complexidade das instalações conforme especificado.

Custo médio: 10.000,00€

7.2 Limpeza e Preparação para a Entrega do Edifício:

Após a conclusão dos ajustes finais, o edifício passa por uma limpeza completa para remoção de resíduos e detritos da construção. Além disso, são realizados os acabamentos finais, como pintura, limpeza dos pisos e preparação das áreas comuns e em áreas que necessitem de reparos. Essa etapa pode levar de 0,5 mês, dependendo da extensão dos acabamentos.

Custo médio: 5.000,00€

Construção Híbrida com Sistema da CREE Buildings

1. Fase de Preparação:

Nesta etapa, acontece a fabricação dos elementos estruturais de madeira, como vigas, pilares e painéis, em ambiente controlado.

1.1 Lajes Híbridas:

Painel de Laje Híbrida



Figura 74 Painel de Laje Híbrida - Fonte: Casais

Composição = laje betão 12cm + vigas glulam 24x28 (embebidas durante a modulação da laje) Em média, este sistema leva cerca de 3 meses para execução.

Custo médio: 160€/m² (área de lajes CREE) x 3.500m² = 560.00,00€

1.2 Fachadas em Madeira:

Fachada e Pilares

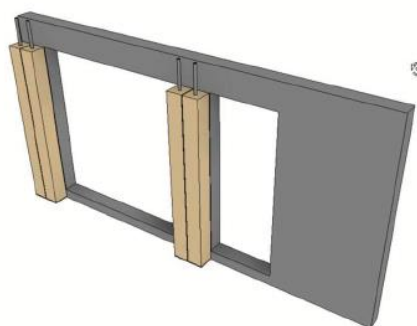


Figura 75 Fachada e Pilares - Fonte: Casais

Composição = estrutura em barrotes de madeira + isolamento + revestimento exterior em Hydropanel e revestimento interior em OSB + Pilares Glulam 24x28cm – Não inclui o revestimento da fachada exterior, pois a escolha da solução e do tipo de revestimento fica ao critério do cliente. Demorando cerca de 2 meses para execução.

Custo médio: $190\text{€/m}^2 \times 1.800\text{m}^2 = 342.00,00\text{€}$ (esse preço não inclui janelas embora estas sejam também incorporadas no sistema de fachada)

1.2 Estrutura Metálica:

Steel Girder

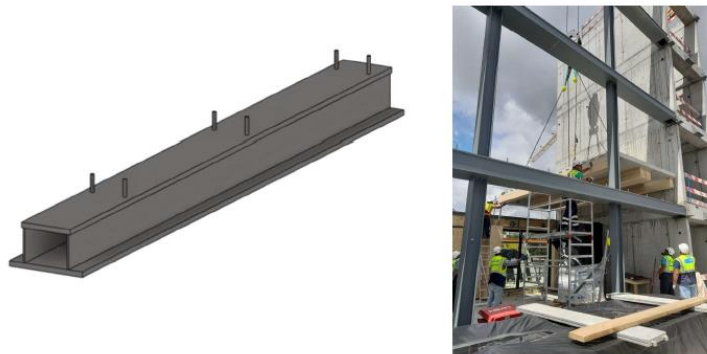


Figura 76 Viga Steel Girder - Fonte: Casais

Composição = Estrutura metálica (steel girder) incluindo vigas PRS, pilares HEA200, chapas, acessórios. Em média, essa etapa pode levar 1 mês.

Custo médio: 35€/m^2 (área de lajes CREE) $\times 3.500\text{m}^2 = 122.500,00\text{€}$

Com o objetivo de estudo, considerou-se o preço idêntico para janelas destinadas a um sistema convencional; no entanto, a sua execução é mais célere, dado que a montagem é realizada em ambiente fabril e não no local da obra. O custo de montagem será reduzido, pois dispensa a necessidade de utilizar equipamentos de elevação durante a instalação em obra.

2. Fase de Preparação do Terreno:

2.1 Preparação do terreno com levantamento topográfico: considerado semelhante ao sistema tradicional.

A instalação de portas, janelas e esquadrias, incluindo a colocação de pré-aros, guarnições e fechaduras, pode levar em média 1 mês.

Custo médio: 10.000,00€

2.2 Fundações e Escavação das Sapatas:

Considerado semelhante ao sistema tradicional, porém, devido a solução do sistema CREE ser mais leve que da construção tradicional, pode haver otimização das fundações com redução de custos de 5 a 10%. Estimativa de 3 meses para escavações, fundações e núcleo.

Custo médio: 150.000,00€

2.3 Execução das Infraestruturas Básicas (Elétrica, Hidráulica e Drenagem): considerado semelhante ao sistema tradicional.

Custo médio: 75.000,00€

3. Fase de Montagem:

3.1 Núcleo Rígido pré-fabricado

Para execução de núcleo de elevadores (aproximadamente 6m²) e escada (aproximadamente 15,5m²) ambos pré-fabricados, tem-se o custo médio de 1000€/m². O custo desta fase é estimado em 1000€/m² x 8 pisos x 15,5 + 6 = 172.000,00€

3.2 Transporte:

O custo e tempo desta fase de transporte dos elementos pré-fabricados para o local da obra estão incluídos no porto 1 Fase de Fabricação.

3.3 Montagem dos elementos estruturais de madeira:

O custo e tempo destes elementos incluindo pilares e vigas, respeitando o alinhamento e a fixação adequada estão incluídos nos pontos 1 Fase de Fabricação.

3.4 Instalação das lajes pré-moldadas em betão sobre a estrutura de madeira:

A execução das lajes híbridas, fachadas e estrutura metálica inicia paralelamente com as operações de fundações in situ. Desta forma é assim possível trabalhar em 4 operações distintas simultaneamente.

Composição= a montagem do sistema CREE é feita após conclusão das fundações e núcleo. Envolve a sincronização da montagem de lajes híbridas, fachadas e estrutura metálica. A montagem prevê equipa e meios de elevações próprios. Para o edifício tipo em estudo, a estimativa de tempo vem a ser 10 dias úteis.

3.4 Fixação das divisórias internas

Instalação de pladur proporcionando a compartimentação dos espaços internos não está integrado no sistema CREE, foi considerado tempos e custos semelhantes a construção convencional.

Custo médio: 110.000,00€

4. Fase de Acabamentos:

4.1 Instalação de portas, janelas e outros elementos de carpintaria

Ajustados às divisórias internas em gesso cartonado, não integrado no sistema CREE, considerando tempos e custos semelhantes a construção convencional. O sistema CREE prevê a colocação das janelas em fábrica, poupando dessa forma tempo e custos com a montagem em obra e permitindo antecipar todos os trabalhos de acabamentos interiores.

Custo médio: 100.000,00€

4.2 Colocação de pavimentos e revestimentos de pisos e paredes:

De acordo com as especificações do projeto, esta etapa não integrada no sistema CREE, considerar tempos e custos semelhantes a construção convencional. Considerar ainda que o sistema CREE dispensa betonilhas. O pavimento pode ser colocado diretamente sobre a laje CREE. Em média, essa etapa pode levar 1,5 mês.

Custo médio: 100.000,00€

4.3 Instalação de rodapés:

A instalação de rodapés é geralmente realizada após a aplicação dos revestimentos nos pisos. O tempo necessário para essa etapa pode variar, mas em média pode levar 0,5 mês, dependendo da quantidade de rodapés e da área total a ser coberta.

Custo médio: 10.000,00€

4.4 Pintura e acabamentos finais

Proporcionando um aspeto estético e funcional ao edifício. Não integrado no sistema CREE, considerar tempos e custos semelhantes a construção convencional. Considerar ainda que o sistema CREE pode incluir o revestimento da fachada aplicado em fábrica poupando dessa forma tempo e custos com a montagem em obra pois pode dispensar utilização e andaimes em obra. Reduzindo assim, 30% total do tempo de obra desta fase. Em média, essa etapa pode levar 2 meses para os pavimentos e 1 mês para as pinturas, totalizando 3 meses.

Custo médio: 50.000,00€

5. Fase de Conclusão:

Esta etapa, por ser uma fase de conclusão, seus procedimentos se assemelham aos da construção tradicional, mantendo os mesmos processos de ajustes e preparações. Seus valores em prol do estudo comparativo de tempo foram considerados os mesmos.

5.1 Verificação e Ajustes Finais das Instalações:

Em média, essa fase pode levar 1 mês dependendo da complexidade das instalações conforme especificado.

Custo médio: 10.000,00€

5.2 Limpeza e Preparação para a Entrega do Edifício:

Essa etapa pode levar de 0,5 mês, dependendo da extensão dos acabamentos.

Custo médio: 5.000,00€

3.7.1 ANÁLISES E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores encontrados anteriormente foram subscritos em tabelas respeitando o faseamento de obra de cada sistema. Nesta tabela, foi discriminado relações de tempo, custo, característica e ordem construtiva.

Após a apresentação dos resultados, foi desenvolvido uma análise comparativa utilizando comparações gráficas. Desenvolvido desta forma para melhor observação e compreensão do faseamento e distribuição das etapas das obras durante o tempo, com tabelas e gráficos abaixo para dissertação das possíveis conclusões.

Deve-se ater que foi considerado para cunho formal que as tarefas só se iniciam após a conclusão completa da etapa anterior, para fins de análise igualitária entre os sistemas.

Com isso, a estimativa a cerca destes valores apresentados em tabelas com suas respectivas fases anteriormente descritas foram organizadas para uma melhor clarificação do que será analisado.

Tabela 5 Faseamento e Custo - Construção Corrente Tradicional – Fonte: Autoral

Construção Corrente Tradicional				
1	Fase de Preparação	meses	4	235.000,00 €
1.1	Preparação do Terreno com Levantamento Topográfico	meses	0,5	10.000,00 €
1.2	Fundações e Escavação das Sapatas	meses	1,5	150.000,00 €
1.3	Execução das Infraestruturas Básicas (Elétrica, Hidráulica e Drenagem)	meses	2	75.000,00 €
2	Fase de Construção da Estrutura	meses	3	800.000,00 €
2.1	Execução da Estrutura Principal em Betão Armado	meses	3	800.000,00 €
3	Fase de Alvenaria	meses	3	190.000,00 €
3.1	Construção das Paredes em Alvenaria	meses	2	150.000,00 €
3.2	Aplicação de Reboco nas Paredes Externas	meses	1	40.000,00 €
4	Fase das Divisórias em Gesso Cartonado	meses	3	110.000,00 €
4.1	Instalação dos Perfis Metálicos Estruturais	meses	0,5	20.000,00 €
4.2	Montagem das Placas de Gesso Cartonado	meses	1	30.000,00 €
4.3	Fixação das Placas de Gesso Cartonado e Tratamento das Juntas	meses	1	40.000,00 €
4.4	Acabamento das Divisórias	meses	0,5	20.000,00 €
5	Fase das Instalações	meses	4,5	280.000,00 €
5.1	Instalação do Sistema Elétrico	meses	1,5	50.000,00 €
5.2	Instalação do Sistema Hidráulico	meses	1,5	80.000,00 €
5.3	Instalação do Sistema de Elevadores	meses	1,5	150.000,00 €
6	Fase de Acabamentos	meses	6	310.000,00 €
6.1	Instalação de portas, janelas e caixilharias	meses	1,5	100.000,00 €
6.2	Aplicação de revestimentos nos pisos e paredes	meses	2,5	150.000,00 €
6.3	Instalação de rodapés	meses	0,5	10.000,00 €
6.4	Pintura final de todas as superfícies internas	meses	1,5	50.000,00 €
7	Fase de Conclusão	meses	1,5	15.000,00 €
7.1	Verificação e Ajustes Finais das Instalações	meses	1	10.000,00 €
7.2	Limpeza e Preparação para a Entrega do Edifício	meses	0,5	5.000,00 €
Total		mês	25	1.940.000,00 €

Tabela 6 Faseamento e Custo - Construção Híbrida CREE- Fonte: Autoral

Construção Híbrida com Sistema da CREE Buildings				
1	Fase de Preparação	meses	6	1.024.500,00 €
1.1	Lajes Híbridas:	meses	3	560.000,00 €
1.2	Fachadas em Madeira	meses	2	342.000,00 €
1.3	Estrutura Metálica	meses	1	122.500,00 €
2	Fase de Preparação do Terreno	meses	4	235.000,00 €
2.1	Preparação do Terreno com Levantamento Topográfico	meses	0,5	10.000,00 €
2.1	Fundações e Escavação das Sapatas	meses	1,5	150.000,00 €
2.3	Execução das Infraestruturas Básicas (Elétrica, Hidráulica e Drenagem)	meses	2	75.000,00 €
3	Fase de Montagem	meses	4,84	282.000,00 €
3.1	Núcleo Rígido pre-fabricado	meses	1,5	172.000,00 €
3.2	Transporte	meses	0	- €
3.3	Montagem dos elementos estruturais de madeira	meses	0	- €
3.4	Instalação das lajes pré-moldadas em betão sobre a estrutura de madeira	meses	0,34	- €
3.5	Fixação das divisórias internas	meses	3	110.000,00 €
4	Fase de Acabamentos	meses	5	310.000,00 €
4.1	Instalação de portas, janelas e outros elementos de carpintaria	meses	0	100.000,00 €
4.2	Colocação de pavimentos e revestimentos de pisos e paredes	meses	1,5	150.000,00 €
4.3	Instalação de rodapés	meses	0,5	10.000,00 €
4.4	Pintura e acabamentos finais	meses	3	50.000,00 €
5	Fase de Conclusão	meses	1,5	15.000,00 €
5.1	Verificação e Ajustes Finais das Instalações	meses	1	10.000,00 €
5.2	Limpeza e Preparação para a Entrega do Edifício	meses	0,5	5.000,00 €
Total		mês	21,34	1.866.500,00 €

Nesse cenário, observa-se que leva um tempo maior para concluir a construção do edifício com estrutura tradicional. O período mais longo pode levar a um atraso no retorno do investimento, caso o edifício seja destinado a fins comerciais ou de locação. Além disso, o prolongamento do cronograma pode estar sujeito a mudanças nas condições do mercado ou requisitos regulatórios, o que pode afetar a viabilidade do projeto em longo prazo.

Já com relação à construção do sistema CREE Buildings, o tempo de construção é ligeiramente menor, permitindo um retorno mais rápido sobre o investimento. O tempo reduzido pode ser vantajoso, especialmente em mercados competitivos ou em situações em que há uma demanda urgente por espaço habitacional ou comercial. Além disso, o menor período de construção também pode significar menor exposição a riscos econômicos e flutuações de mercado.

Em suma, é possível concluir que o sistema híbrido de madeira e betão da CREE Buildings, devido à sua capacidade de permitir a montagem fora do local de obra, revela-se mais rápido em comparação com métodos tradicionais. Esta maior eficiência deve-se à pré-fabricação dos componentes em fábrica e à utilização de tecnologias avançadas de montagem no próprio local. Como resultado, o tempo total necessário para concluir a construção é geralmente reduzido em comparação com a construção tradicional em betão e alvenaria.

Tabela 10 Gráfico de Gantt - Construção Corrente Tradicional

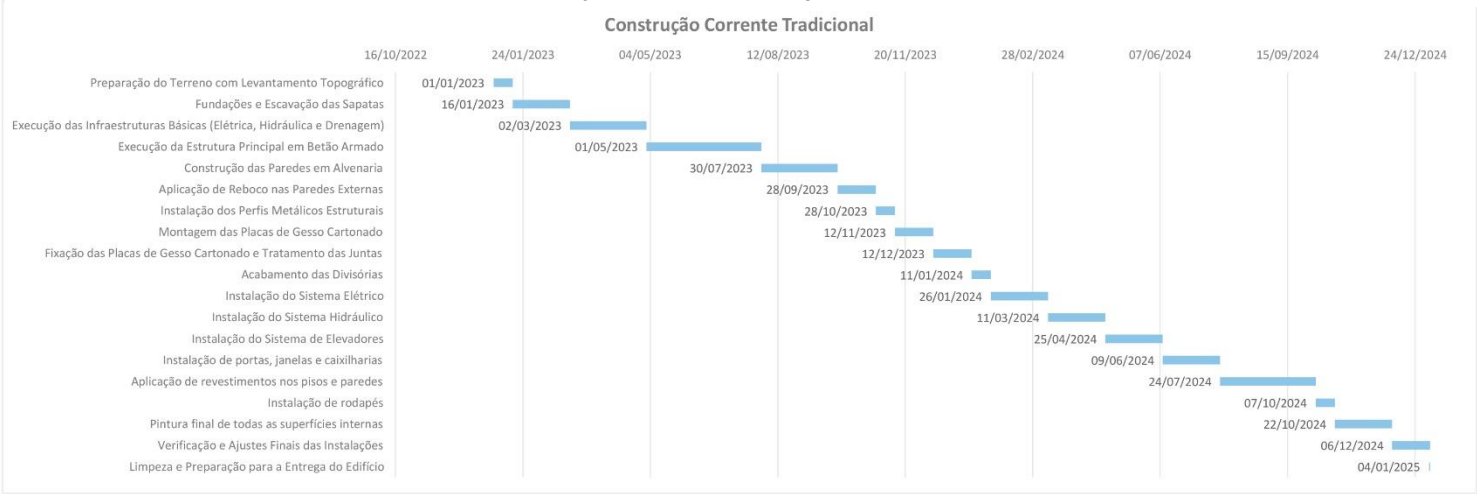


Tabela 7 Gráfico de Gantt - Construção Híbrida com Sistema da CREE Buildings



No entanto, o custo inicial da construção corrente tradicional é menor em comparação com a construção híbrida com sistema CREE Buildings. Isso pode ser atrativo para investidores ou empreendedores com orçamentos mais limitados inicialmente. É importante considerar os custos operacionais a longo prazo e a manutenção, pois a construção tradicional pode não ser tão eficiente em termos de sustentabilidade energética e manutenção.

Já na construção CREE, o custo inicial é um pouco maior, mas é importante considerar os possíveis benefícios em termos de economia de energia e eficiência operacional ao longo do tempo. Os edifícios construídos com o sistema CREE geralmente possuem características sustentáveis e tecnológicas, como eficiência energética, sistemas de automação e materiais mais ecológicos, o que pode resultar em economias significativas de custos operacionais e de manutenção a longo prazo.

Em síntese, por possuir elementos fabricados em locais externos com uma maior precisão e uma maior regularização, o pico inicial de investimento para construção deste sistema CREE Buildings se torna maior em comparação com a construção tradicional. Porém, devemos levar em consideração a redução no tempo de obra, que fazem com que o aluguel de máquinas, mão-de-obra, estaleiro, segurança, profissionais, dentre outras é ligeiramente reduzido, o que acaba sendo mais vantajoso em relação ao sistema corrente tradicional.

O maior desafio deste sistema pré-fabricado é o capital inicial investido em um período de tempo reduzido.

Tabela 12 Custo de Obra Corrente Tradicional – Fonte: Autoral

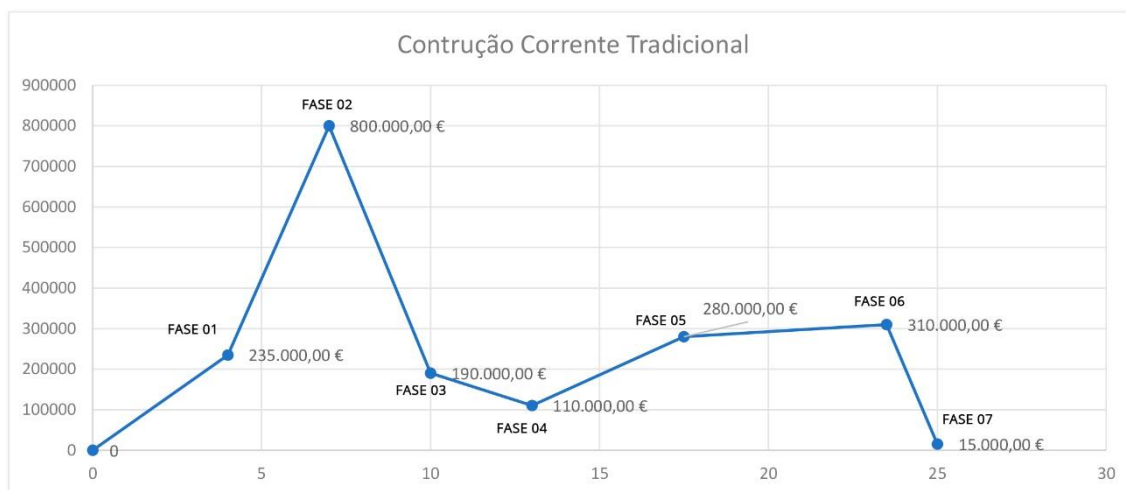
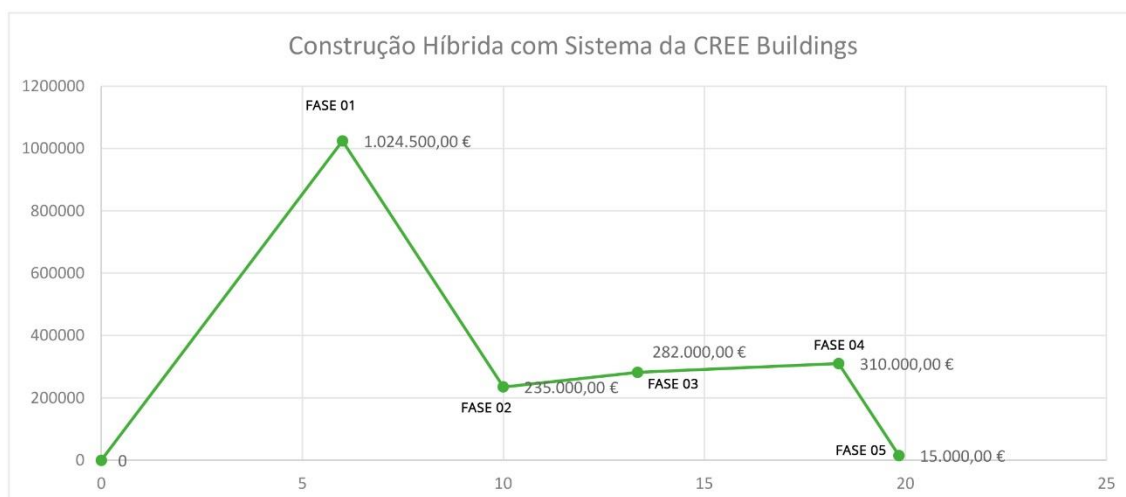


Tabela 13 Custo de Obra com Sistema CREE – Fonte: Autoral



Outro fator que deve ser levado em consideração é o de garantia de qualidade, uma vez que os elementos fabricados em locais controlados passam por diversas certificações criteriosas. Por possuírem dimensões e características standards sua qualidade se torna superior, uma vez que sua fabricação é mecanizada. Este fator eleva seu valor final estético e funcional, elevando o ciclo de vida do material. Tendo isso, a pré-fabricação dos componentes permite um alto nível de precisão e qualidade controlada e certificada. Acabando por reduzir no tempo necessário para a montagem no local como também aumenta a segurança dos componentes. O sistema híbrido incorpora conexões eficientes e sistemas de encaixe que aceleram o processo de construção e uma possível desconstrução. Isso tudo resulta em uma montagem mais rápida e simplificada em comparação com uma construção tradicional.

Já em termos sustentáveis, a utilização de madeira como componente principal na estrutura oferece benefícios ambientais significativos. A madeira é um recurso renovável e possui uma pegada de carbono menor em comparação com o betão. Ao optar pelo sistema híbrido de madeira e betão, ajuda na redução das emissões de carbono e promove práticas construtivas mais sustentáveis.

4

CONCLUSÃO

4.1. CONCLUSÃO GERAL

A construção industrial possui na atualidade diversos fatores que precisam de ações efetivas de investigações, implementações de medidas de melhorias e incorporações de sistemas e profissionais integrativos. Com isso, a dissertação assim como a proposta de projeto de Habitação Evolutiva Modular em questão demonstra uma busca árdua pela perfeita adequação aos princípios do Design for Manufacture and Assembly (DfMA). Este evidente desde as definições iniciais de gride, modularização interna e externa assim como a simplificação dos processos integrados de montagem in loco.

Com o objetivo de compreender os conteúdos teóricos relacionados à concretização do conceito do DfMA e que incorporam programas residenciais no contexto urbano atual e sua capacidade de adaptação às constantes evoluções da cidade, sociedade e suas exigências funcionais e espaciais, esta pesquisa teve como foco o desenvolvimento deste projeto de edifício com estrutura híbrida. O programa residencial do edifício foi concebido de acordo com a política de Habitação a Custos Controlados (HCC), adaptando-se às demandas do mercado atual.

Embora hoje o mercado atual nacional português ainda apresente desafios significativos para a implementação generalizadas deste sistema de construção, podemos ver um aquecimento e busca por inovações. Inovações estas materialísticas como também de conceções projetuais como vimos no estudo de caso desta dissertação. Este projeto apresentado se torna uma ferramenta fundamental para a demonstração de uma abordagem inovadora, essencial para o reconhecimento do projeto como catalisador e buscador de mudanças. Ao promover uma abordagem colaborativa e holística no desenvolvimento do projeto e envolver todas as partes interessadas desde as fases iniciais do projeto, o PI permitiu que o DfMA fosse incorporado de forma mais efetiva. O design do projeto é elaborado tendo em mente a facilidade de fabricação e montagem, buscando maximizar a eficiência do processo produtivo e reduzir custos.

Sua abordagem inovadora instiga investigações mais aprofundadas e promove discussões sobre as vantagens e os obstáculos associados à adoção do DfMA na indústria da construção. A necessidade de superar os desafios intrínsecos do mercado atual na resistência de superar as dificuldades tradicionalistas arraigadas torna-se evidente. Dando ao projeto um papel importante na demonstração de novas abordagens

e benefícios de uma modernização, mecanização e industrialização de processos, estimulando a indústria a buscar novos métodos e soluções de inovação. Simplificando a fabricação e montagem dos componentes (como no estudo de caso o componente de fachada rotativa), na redução de custos, prazos, no aumento da qualidade, eficiência e viabilidade da produção em massa e a facilidade de transporte e montagem no local.

Ao adotar esta vertente pré-fabricada modular, os ganhos para o processo construtivo da construção incluem a aceleração do cronograma, pois a fabricação pode ocorrer simultaneamente à preparação do local, maior previsibilidade de custos e qualidade, redução de desperdícios, menor necessidade de mão-de-obra no local de construção e a possibilidade de reutilização e reciclagem de componentes em futuros projetos.

4.2. CONCLUSÃO DE PROJETO

No geral, o projeto modular apresentado é um exemplo de como o DfMA e a disciplina de Projeto Integrado podem se unir para impulsionar mudanças significativas no setor de construção. Sua contribuição é essencial para estimular a transformação e o progresso na indústria e apoiar uma abordagem mais eficiente, sustentável e integrada para o desenvolvimento de projetos habitacionais. Essa coordenação de especialidades com o projeto de arquitetura torna ainda mais importante o Projeto Integrado, pois desempenha uma interação eficaz entre todas as disciplinas envolvidas em prol do projeto. É importante e crucial que haja uma estimulação mais integrada dos processos construtivos assim como dos ciclos iniciais e finais de vida do edifício a fim de potencializar sua concessão e reintegração.

No âmbito do projeto arquitetônico, é fundamental reconhecer a importância de um processo contínuo de transformação social. Compreendo que uma obra arquitetônica está constantemente sujeita a mudanças e adaptações, especialmente em projetos habitacionais. Ao observar a evolução dos métodos construtivos, é evidente que as habitações adaptáveis desempenham um papel cada vez mais relevante na abordagem dos desafios habitacionais.

Neste sentido, foram aprofundados os conhecimentos relativos à contextualização arquitetônica e histórica da concessão de fabricação controlada, a sua evolução/transformação desde os primeiros protótipos e visões anteriores de modulação e prefabricação.

4.3. REPERCUSSÕES FUTURAS

Em suma, a dissertação somada ao projeto modular apresentado transcende os limites convencionais da construção, combinando as melhores práticas do DfMA com a sinergia colaborativa do Projeto Integrado. Sua contribuição é capaz de estimular uma revisão da indústria da construção, impulsionando mudanças de magnitude significativa. Ao promover uma abordagem que mescla eficiência, sustentabilidade e integração, esse projeto transcende o mero âmbito habitacional, transformando-se em um farol para o progresso. Sua essência interior reside no poder e na tentativa de transformar a realidade habitacional em diversas partes do mundo, ao enfrentar o desafio crítico do

déficit habitacional, promovendo uma nova era de eficiência construtiva, oferecendo uma resposta multifacetada e pluridisciplinar.

Sua influência reverbera além dos limites do setor da construção ao buscar impulsionar uma mentalidade coletiva de soluções inovadoras, que desafiam as convenções tradicionais. Buscando não só uma resposta técnica, mas também funcional, económica, materialística e social para a sociedade atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

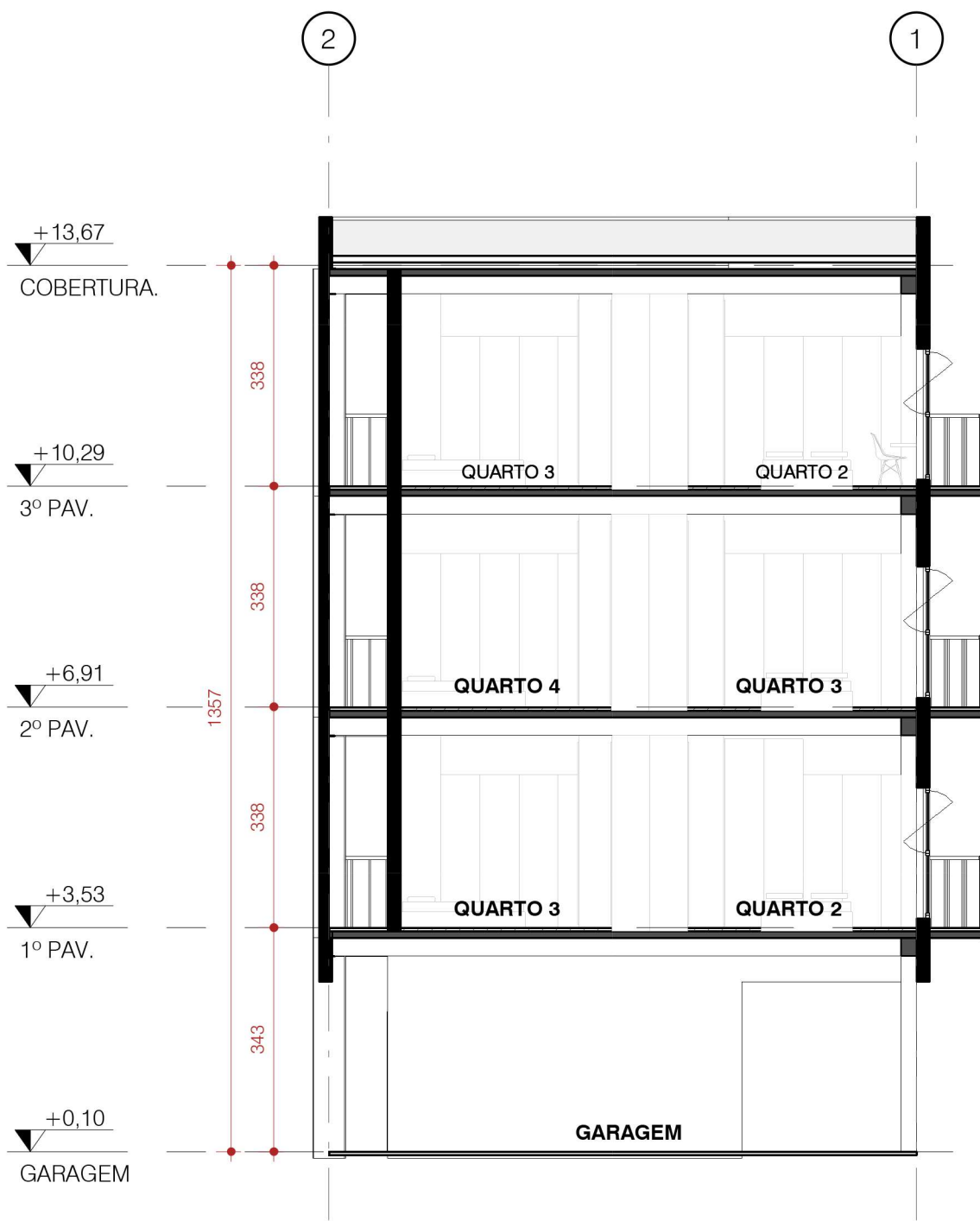
1. Pan W, Gibb AGF, Dainty ARJ. Leading UK housebuilders' utilisation of offsite modern methods of construction. Building Research and Information [Internet]. 1 de Janeiro de 2008 [citado 1 de Março de 2023];36(1):56–67. Disponível em: [/articles/journal_contribution/Leading_UK_housebuilders_utilisation_of_offsite_modern_methods_of_construction/9438728/1](#)
2. Kuzmanovska I, Aitchison M. DfMA in Building Design and Construction: Uses and Abuses.
3. Rodrigues PMM. O mercado imobiliário em Portugal.
4. ON THE MODULE SYSTEM OF THE ANCIENT MEDITERRANEAN CIVILIZATION. [citado 1 de Março de 2023]; Disponível em: <http://doi.org/10.3130/aija.83.2015>
5. Ace your math and measuring science project : great science fair ideas : Gardner, Robert, 1929- : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive [Internet]. [citado 1 de Março de 2023]. Disponível em: <https://archive.org/details/aceyourmathmeasu0000gard>
6. Stiros SC. Doric Foot and Metrological Implications of the Ancient Theatre of Makyneia, Western Greece. Metrology. 19 de Agosto de 2022;2(3):387–94.
7. Le Corbusier. Modulor 2. Zurich: Les Editions d'Architecture Artemis. 1955.
8. Modern architecture since 1900 : Curtis, William J. R : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive [Internet]. [citado 1 de Março de 2023]. Disponível em: <https://archive.org/details/modernarchitectu0000curt>
9. Greven HA, Baldauf ASFollmann. Introdução à coordenação modular da construção no Brasil : uma abordagem atualizada. ANTAC; 2007.
10. Nuno Costa. Industrialização da Construção-Política Habitacional. 2001;
11. Habraken NJ, Valkenburg B, Teicher J. Supports : an alternative to mass housing [Internet]. Urban International Press; 1999 [citado 1 de Março de 2023]. 124 p. Disponível em: <https://research.tue.nl/en/publications/supports-an-alternative-to-mass-housing>
12. Vilkova LWW. The Afterlife of Socialist Architecture: The Revival of Buildings in Eastern Europe. Palgrave Macmillan. 2017.
13. Lawson RM, Grubb MisP. Modular Construction using Light Steel Framing: An Architect's Guide SCI PUBLICATION P272. 1999;
14. Zarecor KE, Uk A. Architecture Publications Architecture CORE View metadata, citation and similar papers at core. 2008 [citado 16 de Março de 2023]; Disponível em: http://lib.dr.iastate.edu/arch_pubs

15. Hendriks B, Zevenbergen J, Bennett R, Antonio D. Pro-poor land administration: Towards practical, coordinated, and scalable recording systems for all. *Land use policy*. Fevereiro de 2019;81:21–38.
16. Boothroyd G, Dewhurst P e Knight W. *Product design for manufacture and assembly*. Marcel Dekker. 1994.
17. Lu W, Tan T, Xu J, Wang J, Chen K, Gao S, et al. Design for manufacture and assembly (DfMA) in construction: the old and the new. *Architectural Engineering and Design Management*. 2021;17(1–2):77–91.
18. Kuzmanovska I. BUILDING DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY Reframing the Design-Production Relationship in Industrialised Construction.
19. Vyas NSA. Design for Manufacture and Assembly in the Construction Industry. *Journal of Architectural Engineering*. 2015;21.
20. Bogue R. Design for disassembly: a critical twenty-first century discipline. *Assembly Automation*. 2 de Outubro de 2007;27(4):285–9.
21. Souza JCA; GLH. PD - Projeto Integrado: Uma Nova Abordagem para a Gestão de Projetos. *Revista de Gestão e Projetos*. 2016;7(1):15–34.
22. Yin X, Liu H, Chen Y, Al-Hussein M. Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. Vol. 101, *Automation in Construction*. Elsevier B.V.; 2019. p. 72–91.
23. RIBA Plan of Work DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work MAINSTREAMING DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY IN CONSTRUCTION. 2021.
24. Clark P. *The European City: A Historical Perspective*. Oxford, UK.: Oxford University Press.; 2009.
25. Francesch-Huidobro M, Dabrowski M, Tai Y, Chan F, Stead D. Governance challenges of flood-prone delta cities: Integrating flood risk management and climate change in spatial planning. *Prog Plann*. Maio de 2017;114:1–27.
26. Clapham D. *Remaking Housing Policy : An International Study*. *Remaking Housing Policy* [Internet]. 6 de Agosto de 2018 [citado 1 de Março de 2023]; Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781315639086/remaking-housing-policy-david-clapham>
27. Schneider T e JT. *Flexible Housing: Opportunities and Limits*. Nova Iorque: Routledge; 2016.
28. Schneider T, Till J. Flexible housing: Opportunities and limits. *Architectural Research Quarterly* [Internet]. 2005 [citado 1 de Março de 2023];9(2):157–66. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228348236_Flexible_housing_Opportunities_and_limits
29. Petit E. The Weissenhof Estate and its Lessons for Modernity. *Journal of Architecture*. 2014;19:1–24.
30. Cree_Welcome Brochure_2019.

31. Planning Manual LCT System.
32. António Paulo J. UNIVERSIDADE ABERTA Mestrado em Gestão de Projectos Gestão Integrada do Tempo e do Custo Uma Contribuição para a Gestão de Projectos de Construção em Portugal.
33. Castelo JC, Ribeiro V. Organização e Gestão de Obras - Otimizar Resultados. 2.^a ed. ENGEBOOK, editor. Lisboa; 2019. 178 p.

5

ANEXOS



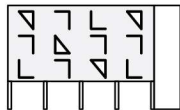
CORTE AA
1 : 100



CORTE BB
1 : 100

Revisão	Designação	Data	Desenhado	Projetado
---------	------------	------	-----------	-----------

UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO,
PORTO, PORTUGAL



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP
Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE

Desenhado Verificado Aprovado
Rafael Moreira

CORTES LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

Projeto Nº 0001 Nº Codificado PREPARAÇÃO Nº Registo 001 Revisão 00

Substitui desenho nº
SUBSTITUI_DES_Nº
Anexo à nossa Proposta Refº
FASE-PROJETO

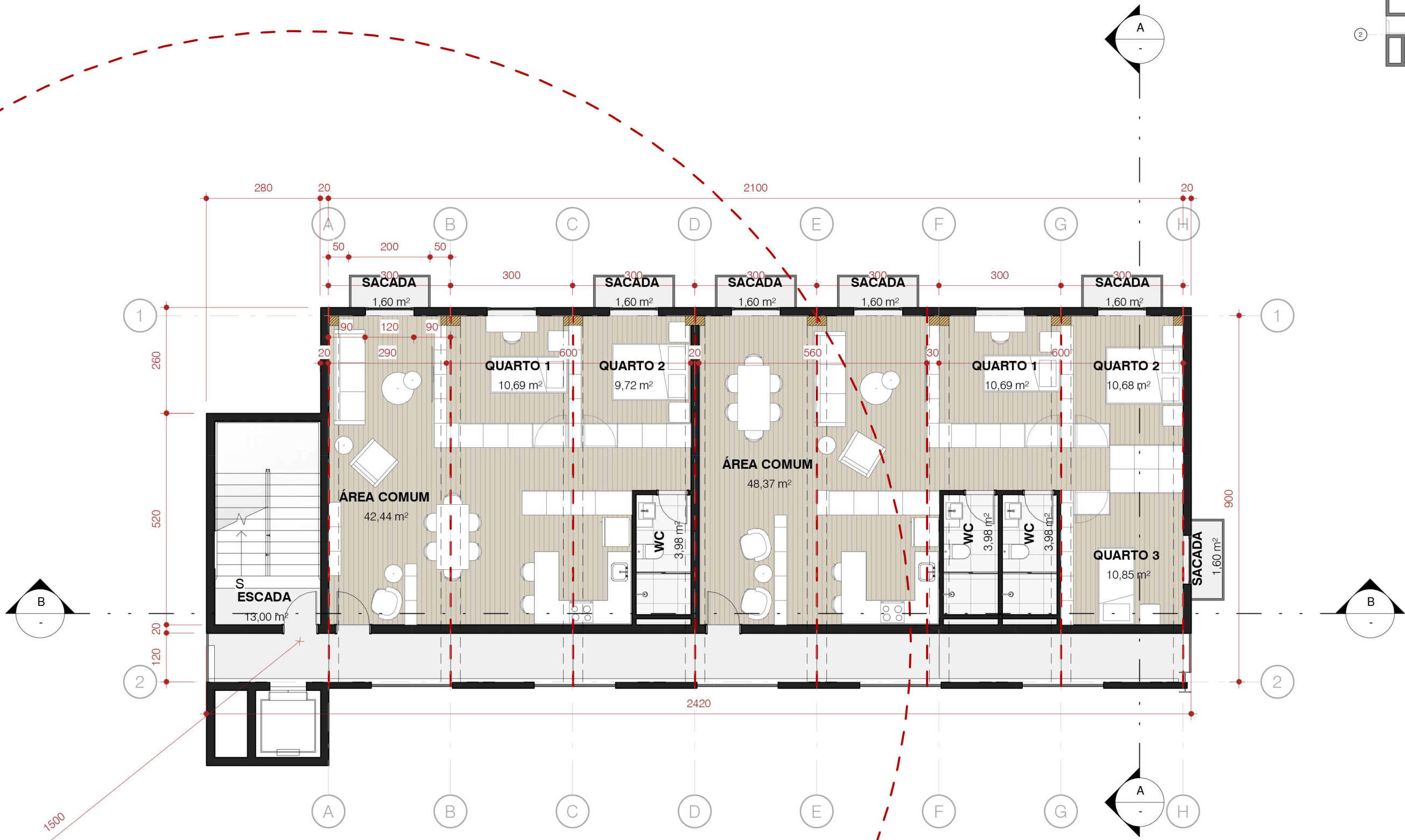
Data 2023/07/31 Escalas S/ESC

Projetista
Rafael Leite Moreira



LEGENDA

- T2 - 67,64m²
T3 - 90,44m²



PLANTA T2 / T3
1 : 100

MODULAÇÃO

Revisão	Designação	Data		Desenhado	Projetado
UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO, PORTO, PORTUGAL					
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE		Desenhado		Verificado	Aprovado
		Rafael Moreira			
PLANTA BAIXA T2-T3		Projeto Nº 0001	Nº Codificado PREPARAÇÃO	Nº Registo 002	Revisão 00
		Substitui desenho nº SUBSTITUI_DES_Nº			
		Anexo à nossa Proposta Refº FASE-PROJETO			
Data 2023/07/31	Escalas S/ESC	Projetista Rafael Leite Moreira			



PLANTA TIPO T1 / T4
1 : 100

MODULAÇÃO



LEGENDA

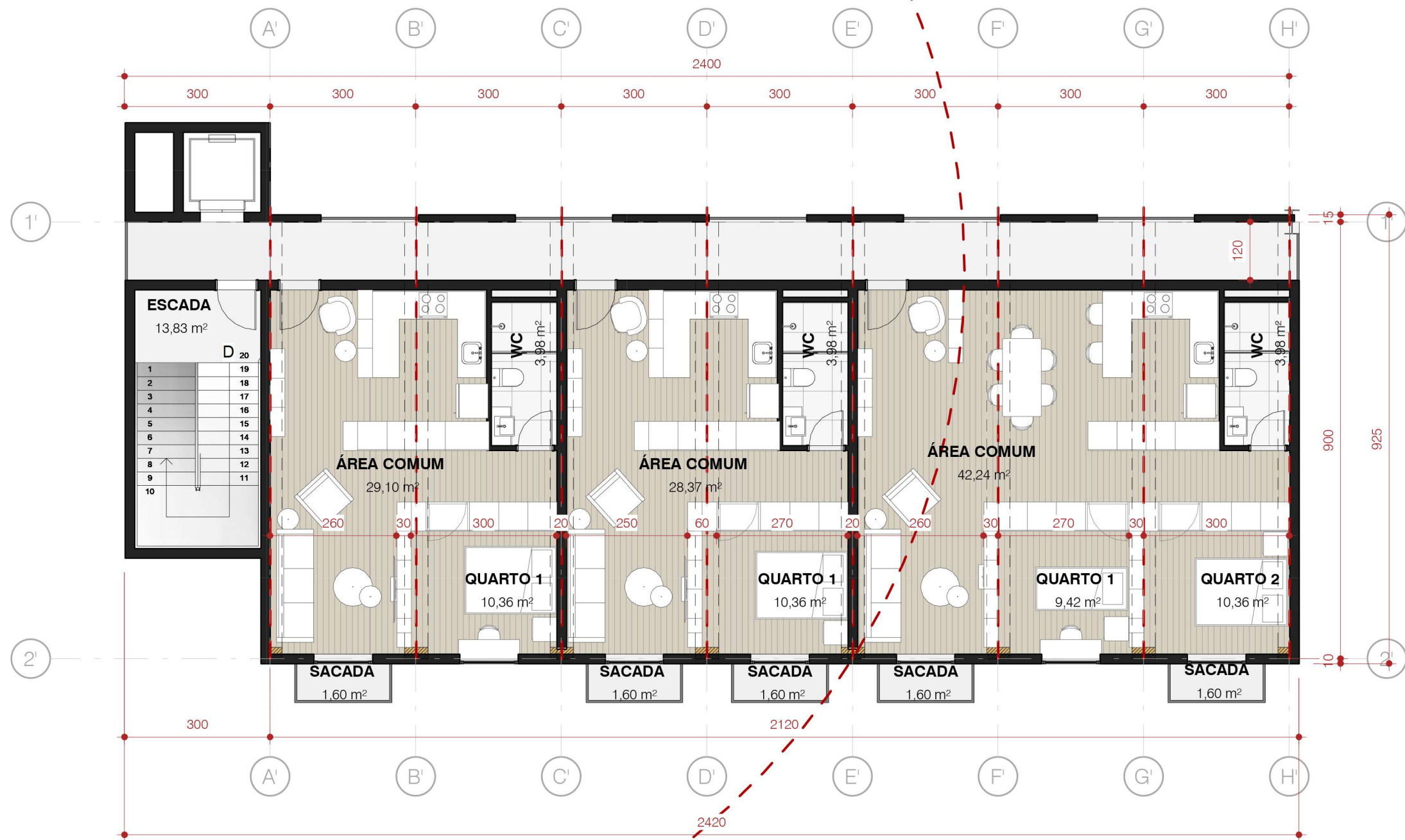
T1 - 57,92m²
T4 - 100,81m²

Revisão	Designação	Data	Desenhado	Projetado
UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO, PORTO, PORTUGAL				
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE		Desenhado	Verificado	Aprovado
		Rafael Moreira		
PLANTA BAIXA T1-T4		Projeto Nº	Nº Codificado	Nº Registo
		0001	PREPARAÇÃO	003
		Revisão		
		00		
		Substitui desenho nº SUBSTITUI_DES_Nº Anexo à nossa Proposta Refº FASE-PROJETO		
Data		Escala		Projeta
2023/07/31		S/ESC		Rafael Leite Moreira



LEGENDA

- T1 - 44,25m²/43,50m²
- T2 - 66,75m²

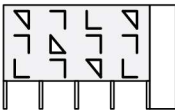


PLANTA TIPO T1 / T1 / T2
1 : 100

MODULAÇÃO

Revisão	Designação	Data	Desenhado	Projetado
---------	------------	------	-----------	-----------

UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO,
PORTO, PORTUGAL



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP
Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE

Desenhado Verificado Aprovado
Rafael Moreira

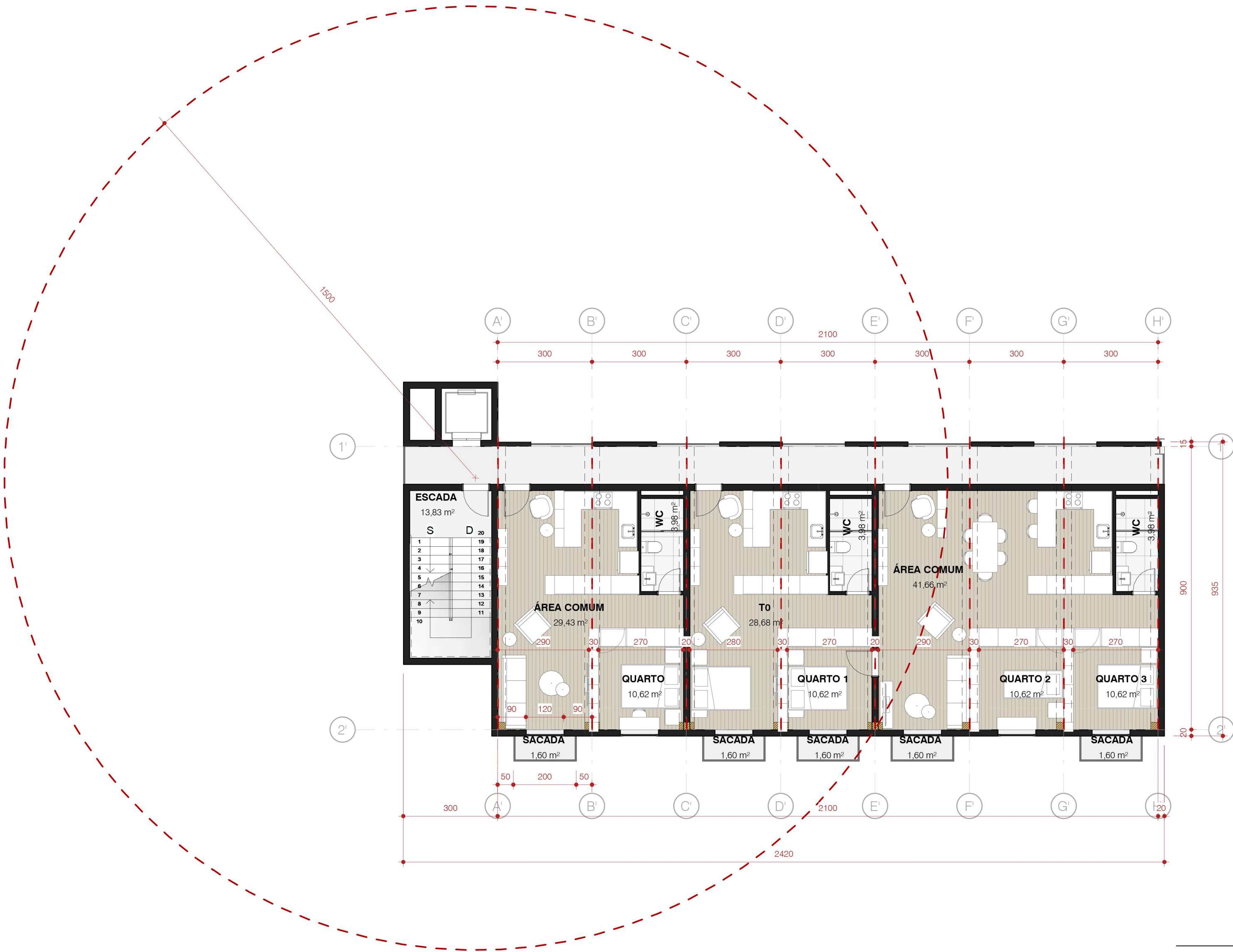
PLANTA BAIXA T1-T1-T2

Projeto Nº N.º Codificado N.º Registo Revisão
0001 PREPARAÇÃO 004 00

Substitui desenho nº
SUBSTITUI_DES_Nº
Anexo à nossa Proposta Refº
FASE-PROJETO

Data Escalas
2023/07/31 S/ESC

Projetista
Rafael Leite Moreira



LEGENDA

- T0 - 34,36m²
- T1 - 44,84m²
- T3 - 78,07m²

PLANTA TIPO T1 / T0 / T3

1 : 100

MODULAÇÃO

Revisão	Designação	Data	Desenhado	Projetado
---------	------------	------	-----------	-----------

UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO,
PORTO, PORTUGAL



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP
Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE

Desenhado Verificado Aprovado
Rafael Moreira

PLANTA BAIXA T1-T0-T3

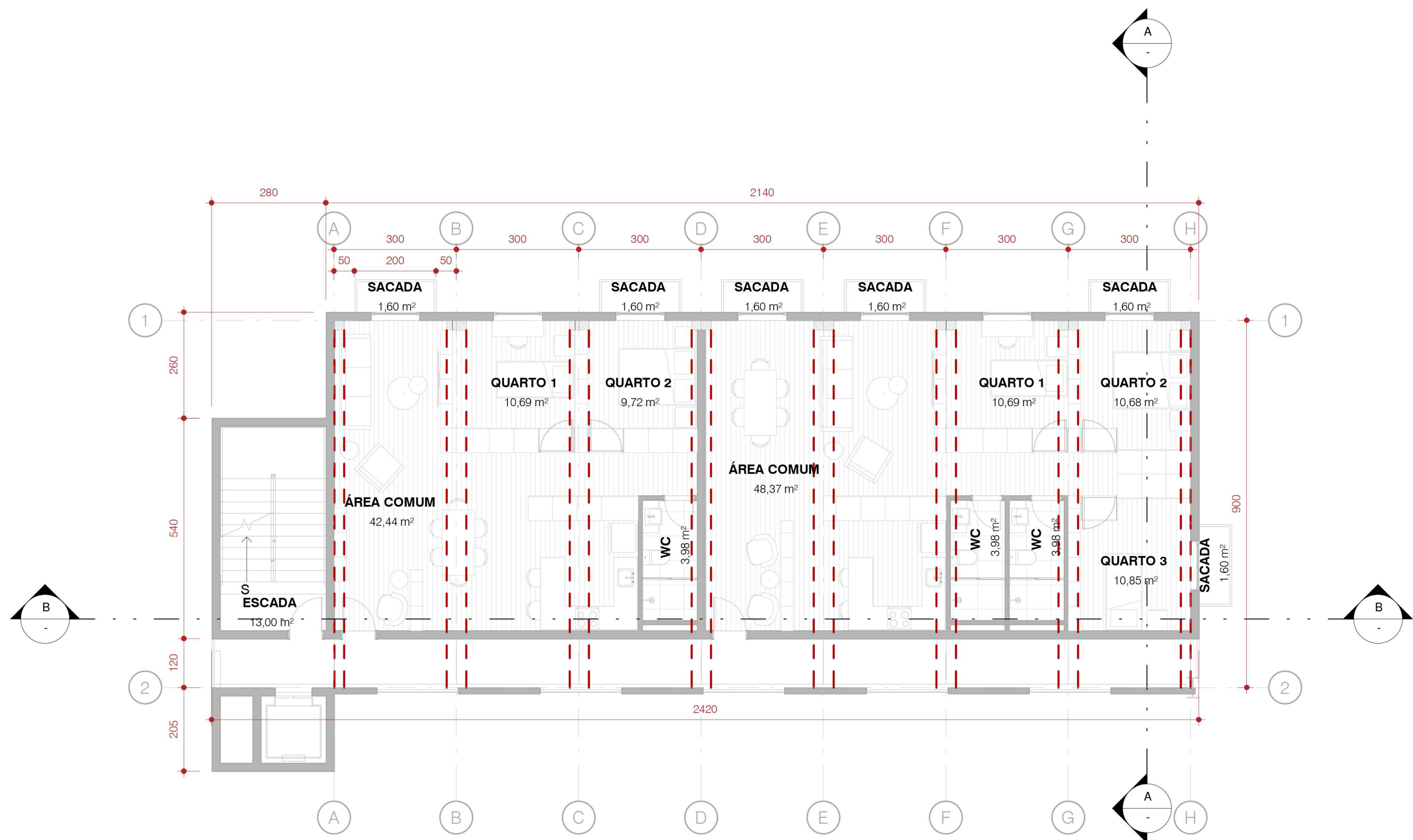
Projeto Nº	Nº Codificado	Nº Registo	Revisão
0001	PREPARAÇÃO	005	00

Substitui desenho nº
SUBSTITUI_DES_Nº
Anexo à nossa Proposta Refº
FASE-PROJETO

Data
2023/07/31

Escala
S/ESC

Projetista
Rafael Leite Moreira



PLANTA TIPO - PROJEÇÃO VIGAS
1 : 100

Revisão	Designação	Data	Desenhado	Projetado
---------	------------	------	-----------	-----------

UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO,
PORTO, PORTUGAL



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP
Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE

Desenhado
Verificado
Aprovado
Rafael Moreira

PLANTA BAIXA PROJEÇÃO DE VIGAS

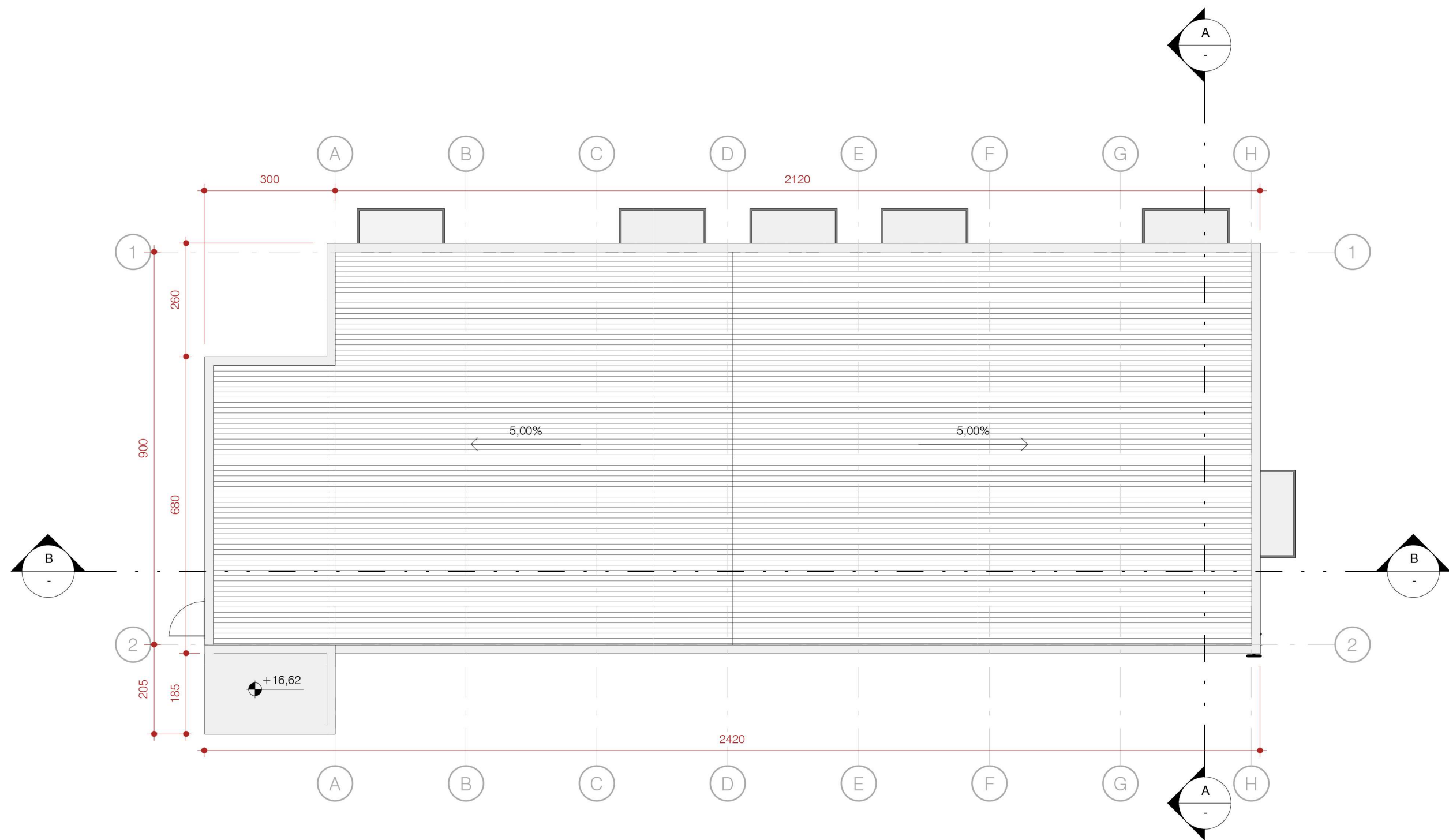
Projeto Nº	Nº Codificado	Nº Registo	Revisão
0001	PREPARAÇÃO	006	00

Substitui desenho nº
SUBSTITUI_DES_Nº
Anexo à nossa Proposta Refº
FASE-PROJETO

Data
2023/07/31

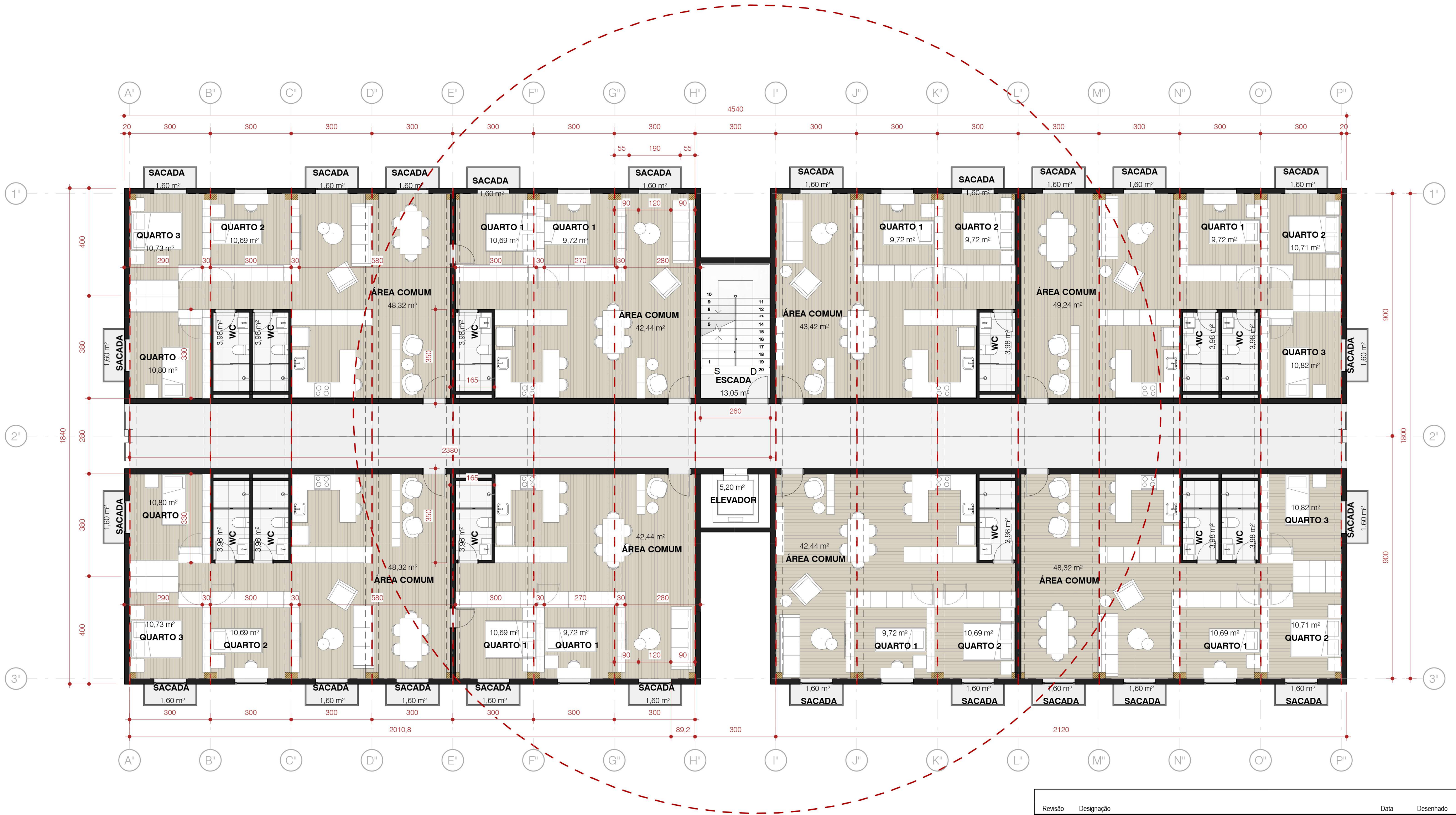
Escala
S/ESC

Projetista
Rafael Leite Moreira



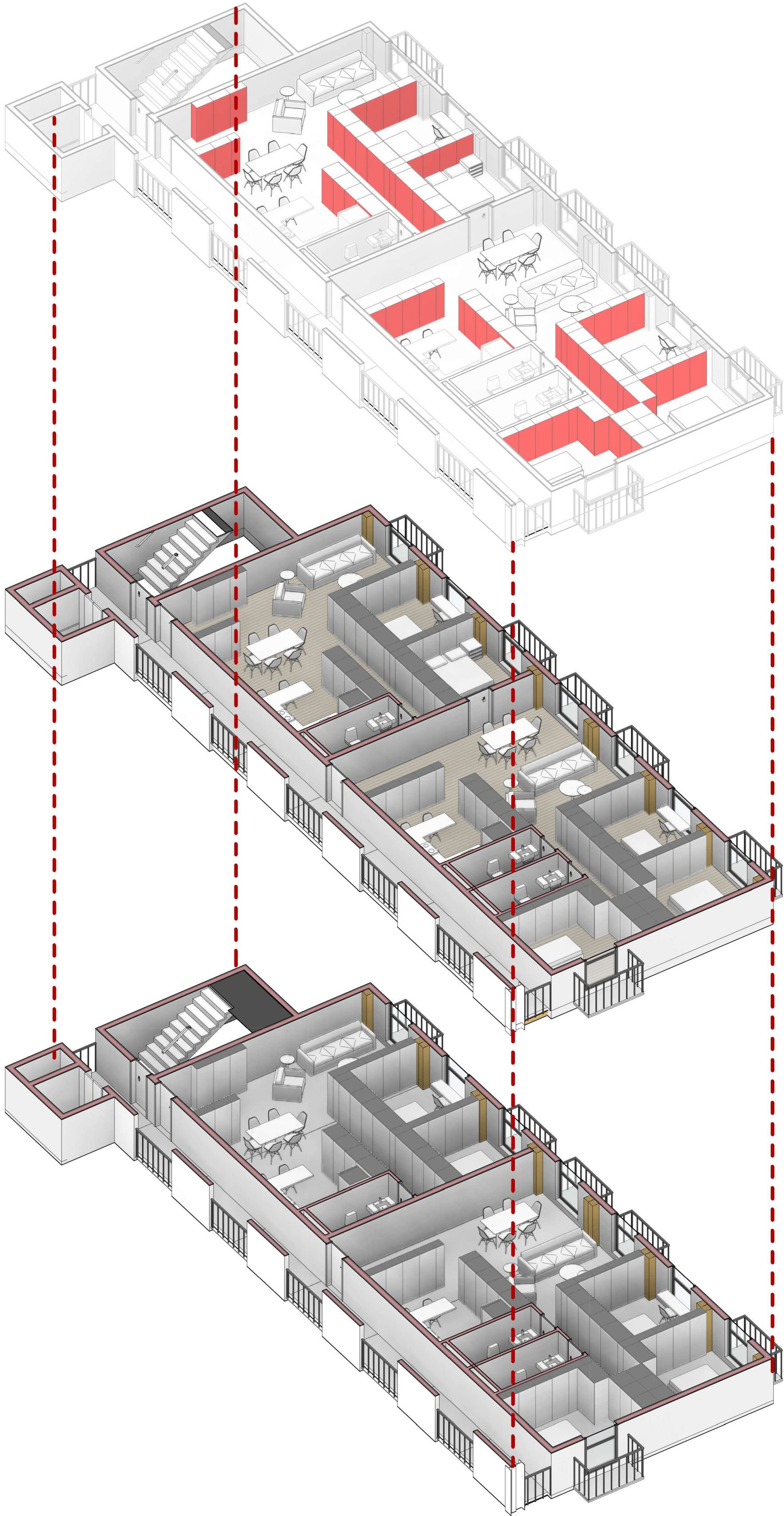
COBERTURA
1 : 100

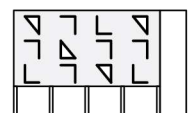
Revisão	Designação	Data		Desenhado	Projetado
UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO, PORTO, PORTUGAL		FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO		Desenhado Verificado Aprovado	
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE		Rafael Moreira			
PLANTA BAIXA COBERTURA		Projeto Nº 0001	Nº Codificado PREPARAÇÃO	Nº Registo 007	Revisão 00
		Substitui desenho nº SUBSTITUI_DES_Nº			
		Anexo à nossa Proposta Refº FASE-PROJETO			
Data 2023/07/31		Escala S/ESC		Projetista Rafael Leite Moreira	

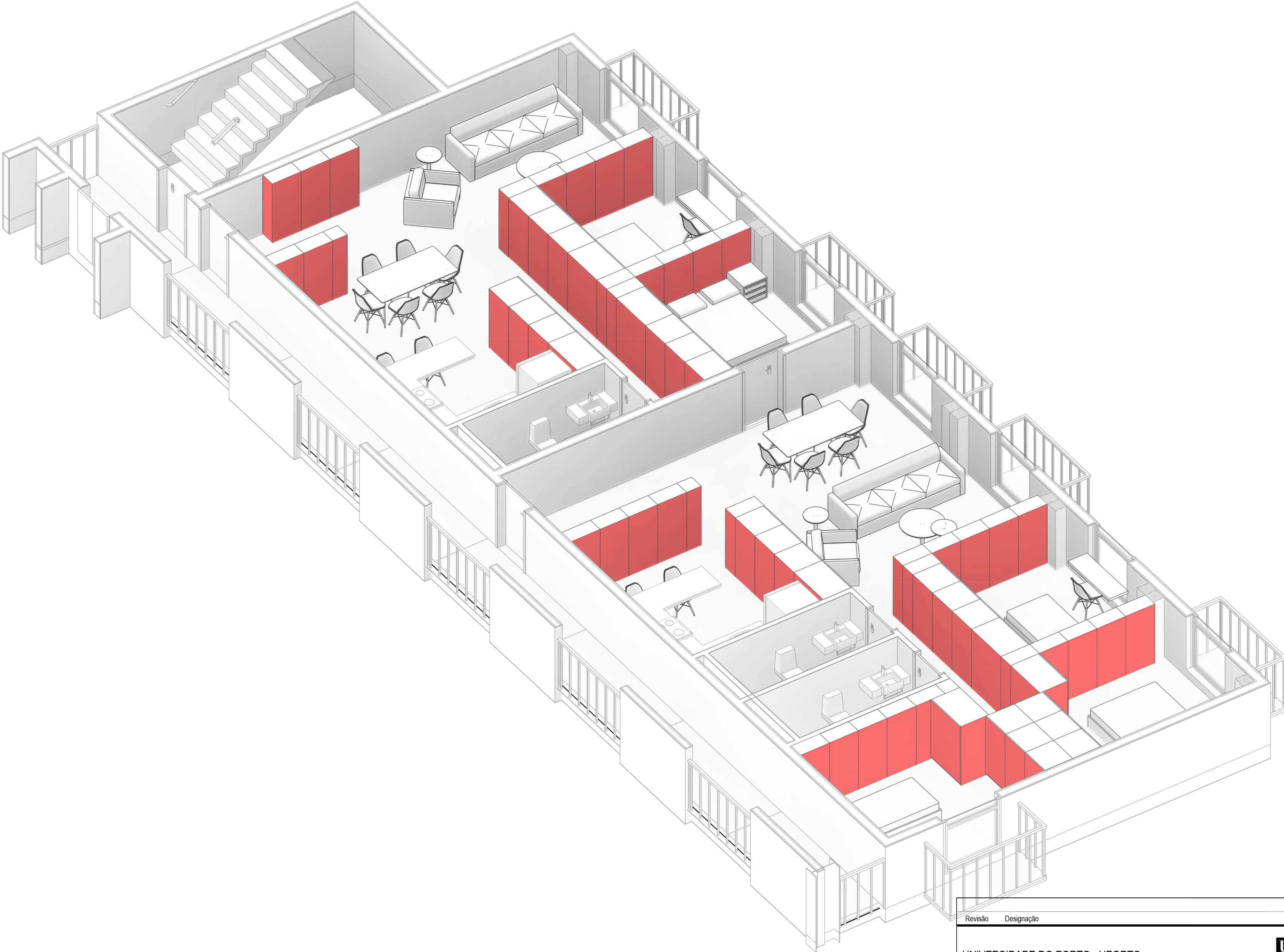


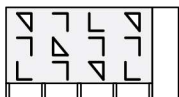
PLANTA T2 / T3 / T1 / T4
1 : 100

Revisão	Designação	Data	Desenhado	Projetado
UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO, PORTO, PORTUGAL FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO				
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE			Desenhado Rafael Moreira	Verificado Aprovado
PLANTA BAIXA EVOLUÇÃO MÁXIMA		Projeto Nº 0001	Nº Codificado PREPARAÇÃO	Nº Registo 008
Substitui desenho nº SUBSTITUI_DES_Nº Anexo à nossa Proposta Refº FASE-PROJETO		Revisão 00		
Data 2023/07/31		Escala S/ESC		Projetista Rafael Leite Moreira



Revisão		Designação		Data		Desenhado		Projetado			
UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO, PORTO, PORTUGAL											
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE				Desenhado		Verificado		Aprovado			
				Rafael Moreira							
PERSPECTIVA ISOMÉTRICA				Projeto Nº	Nº Codificado	Nº Registo		Revisão			
				0001	PREPARAÇÃO	009		00			
				Substitui desenho nº							
				SUBSTITUI_DES_Nº							
				Anexo à nossa Proposta Refº							
				FASE-PROJETO							
Data		Escala		Projelista							
2023/07/31		S/ESC		Rafael Leite Moreira							



Revisão	Designação	Data		Desenhado	Verificado	Aprovado	Projetado
UNIVERSIDADE DO PORTO - UPORTO, PORTO, PORTUGAL							
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios - MPRINCE				Rafael Moreira			
PERSPECTIVA ISOMÉTRICA - MOBILIÁRIO		Projeto Nº	Nº Codificado	Nº Registo	Revisão		
		0001	PREPARAÇÃO	010	00		
		Substitui desenho nº SUBSTITUI_DES_Nº Anexo à nossa Proposta Refº FASE-PROJETO					
Data	Escala	Projelista					
2023/07/31	S/ESC	Rafael Leite Moreira					

