



**Pedro Manuel Alves  
Bastos**

**Desenvolvimento de uma solução de construção modular  
para um módulo habitacional**



**Pedro Manuel Alves  
Bastos**

**Desenvolvimento de uma solução de construção modular  
para um módulo habitacional**

Relatório de projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica de Carlos Alberto Moura Relvas, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica e de António Manuel de Amaral Monteiro Ramos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

## **O júri / The jury**

Presidente / President

**Doutora Isabel Maria Alexandrino Duarte**  
Investigadora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

**Prof. Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues**  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Carlos Alberto Moura Relvas**  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

## **Agradecimentos**

Gostaria de começar por agradecer ao meu orientador, Doutor Carlos Relvas, e ao meu coorientador, Doutor António Ramos, por toda a ajuda e compreensão durante todo este percurso de dissertação.

Aos meus pais, família e amigos por todo o apoio prestado durante este percurso.

À Inês, um muito obrigado!

## Palavras-chave

Habitação; Modularidade; Inovação; Solidworks; Fusion 360

## Resumo

Este trabalho teve por objetivo o projeto e o desenvolvimento de uma proposta para a construção de um edifício modular, caracterizado pela utilização de componentes inovadores.

O estudo iniciou-se com a revisão bibliográfica e apresentação da situação atual da construção modular, com realce para as soluções mais inovadoras atualmente existentes, a partir das quais foram estabelecidos os requisitos de cliente.

A fase do desenvolvimento de produto iniciou-se com a conceção, onde as preferências do cliente foram tidas em consideração para o desenvolvimento de um conceito inicial, às quais seguiu-se o projeto de sistemas e respetiva análise funcional. O projeto 3D (*Computer-Aided Design*) foi efetuado no *software* Solidworks (DASSAULT).

Após a conclusão do projeto 3D, foi realizada uma análise estrutural ao mesmo, de modo a validar o seu comportamento. A análise foi realizada no módulo de simulação do *software* Fusion 360 (AUTODESK), onde se realizaram as análises numéricas utilizando o método de elementos finitos. Os ensaios foram efetuados através de simulações de diferentes situações de carga aplicados ao modelo estrutural do edifício, com o objetivo de identificar zonas estruturais críticas que possam comprometer o comportamento mecânico do produto final. O resultado final deste trabalho apresenta uma solução potencialmente viável em termos de proposta para a construção modular de um edifício habitacional.

**Keywords**

Housing; Modularity; Innovation, Solidworks; Fusion 360

**Abstract**

The present document aimed to design and develop a proposal for the scope of modular building construction, characterized by the implementation of innovative components.

The study began with a literature review, the state of art, and presentation of the current situation of modular construction, with emphasis on the most innovative solutions currently available, from which customer's requirements were established.

The product development phase began with the product conception, where customer's preferences were taken into account for the development of an initial concept, followed by systems design and its functional analysis. The 3D design (Computer-Aided Design) was done in Solidworks (DASSAULT) software.

After the completion of the 3D project, a structural analysis was performed in order to validate its behaviour. The analysis was performed in the simulation module of the Fusion 360 (AUTODESK), where numerical analysis was developed using the finite element method.

The trials were executed through simulations of different load situations applied to the structural model of the building, in order to identify critical structural areas that may compromise the mechanical efficiency of the final product.

The final result of this work presents a potentially feasible solution in terms of a proposal for the modular construction of a residential building.

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Contextualização .....	1
1.2	Objetivo do Trabalho.....	2
1.3	Revisão Bibliográfica .....	2
1.3.1	O Módulo.....	2
1.3.2	Projeto Modular .....	3
1.3.3	Design Modular .....	4
1.3.4	Construção Modular.....	6
1.3.5	Construção Pré-Fabricada .....	8
1.3.6	Construções Modulares .....	9
1.3.7	Fundações .....	10
1.3.8	Identificação das Soluções Modulares .....	12
1.3.9	<i>Softwares</i> .....	16
1.4	Contributo .....	17
1.5	Estrutura do Documento.....	17
<b>2</b>	<b>Desenvolvimento do Produto .....</b>	<b>19</b>
2.1	Metodologia .....	19
2.2	Recolha de informação e Projeto Informativo.....	20
2.2.1	Modelo de Kano .....	21
2.2.2	Matriz da Qualidade .....	25
2.2.3	Matriz do Produto .....	28
2.3	Projeto Preliminar e Conceito .....	29
2.3.1	Análise Funcional e de Sistemas.....	29

2.3.2	Geração de Conceitos.....	30
2.3.3	Proposta .....	30
2.3.4	Análise do modo de falha – FMEA .....	43
<b>3</b>	<b>Projeto de Sistemas .....</b>	<b>45</b>
3.1	<i>Design for Assembly</i> .....	45
<b>4</b>	<b>Simulação e análise estrutural .....</b>	<b>55</b>
4.1	Materiais .....	55
4.1.1	Liga de alumínio .....	55
4.2	Estudo Estrutural.....	56
4.2.1	Parâmetros .....	56
4.2.2	Ensaios.....	58
4.2.3	Constrangimentos .....	59
4.2.4	Resultados .....	59
<b>5</b>	<b>Proposta Final .....</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>63</b>
6.1	Sugestões e Trabalhos Futuros .....	64
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>65</b>
	<b>Apêndice A – Análise do QFD .....</b>	<b>67</b>
	<b>Apêndice B – Componentes .....</b>	<b>71</b>



# Índice de Figuras

Figura 1.1 - Conjugação modular através de uma grelha. ....	3
Figura 1.2 – As 4 fases do Desenvolvimento do Produto Modular.....	5
Figura 1.3 - O contentor modular. ....	6
Figura 1.4 - Esquema das várias etapas associadas à aquisição de uma habitação modular.....	7
Figura 1.5 - <i>Manning Portable Colonial Cottage</i> .....	8
Figura 1.6 - Moradia T1 da Betonit. ....	13
Figura 1.7 - Moradia T2 da Betonit. ....	13
Figura 1.8 - Moradia T3 da Betonit. ....	13
Figura 2.1 - Tarefas a realizar ao longo do desenvolvimento do produto.....	19
Figura 2.2 - Quatro matrizes de qualidade.....	20
Figura 2.3 - Matriz da Qualidade e do Produto.....	20
Figura 2.4 - Diagrama de Kano. ....	22
Figura 2.5 - Pirâmide ilustrativa ao grau de importância de cada tipo de requisito.....	23
Figura 2.6 - Clientes e análise inicial dos respetivos requisitos ((O) Básicos/Obrigatórios; (U) Unidimensionais; (A) Atrativos)/(1 - Requisito com menor prioridade a 13 - Requisito com maior prioridade).....	24
Figura 2.7 - Gráfico da priorização dos requisitos dos clientes.....	26
Figura 2.8 - Gráfico da hierarquização das especificações técnicas do produto, antes e após <i>Benchmark</i> (Série 1 – Priorização Inicial; Série 2 – Priorização Final).....	27
Figura 2.9 - Grupos e subgrupos das componentes que formam o produto final, a habitação modular.....	28

Figura 2.10 - Gráfico de priorização das componentes.....	29
Figura 2.11 – Diagrama de Sistemas (Edifício Modular). ....	30
Figura 2.12 - Estudo de forma para o bloco modular de fachada.....	31
Figura 2.13 – Análise das possíveis configurações e disposições do bloco modular de fachada. ...	31
Figura 2.14 - Geração do conceito - Esboços Iniciais. ....	32
Figura 2.15 - Primeira proposta do bloco modular - Vista explodida. ....	33
Figura 2.16 - Geração do conceito das ligações entre componentes. ....	34
Figura 2.17 - Configuração de barras para a criação de parede. ....	35
Figura 2.18 - Sistema de ligação barra - peça interior do bloco.....	36
Figura 2.19 - Fixação através de <i>Snap-Fits</i> . ....	37
Figura 2.20 - Componente de ligação entre as peças exteriores do bloco - parede básica.....	38
Figura 2.21 - Geração do conceito de ligação entre paredes - primeira abordagem à viga.....	38
Figura 2.22 - A viga. ....	39
Figura 2.23 - Configuração entre paredes com ligação de 90º. ....	39
Figura 2.24 - Geração do conceito de ligação à base estrutural. ....	40
Figura 2.25 - Proposta de planta da habitação. ....	41
Figura 2.26 - Sistema de ligação dos componentes de elo da base.....	41
Figura 2.27 - Geração do conceito para a cobertura/telhado .....	42
Figura 2.28 – Elemento exclusivo de ligação à cobertura.....	43
Figura 3.2 - Fundação de betão com reentrâncias para a Ligação Suporte Base. ....	46
Figura 3.1 - Organização das primeiras vigas e montagem das barras de suporte do chão.....	47

Figura 3.3 - Assentamento da vedação do chão e sequência de ligação da peça interior do bloco modular.....	47
Figura 3.4 – Fase final da montagem do chão.....	48
Figura 3.5 – Dinâmica de ligação topo das vigas e implementação das barras da estrutura interna de parede.....	49
Figura 3.6 - Ligação das vigas de topo.....	49
Figura 3.7 - Finalização da vedação e montagem das paredes.....	50
Figura 3.8 - Conclusão da terceira sequência, assim como dos elementos da parede.....	50
Figura 3.9 - Montagem das vigas sem pilares de apoio e montagem da peça de apoio à cobertura.....	51
Figura 3.10 - Conclusão na montagem do teto interior e colocação das vigas de apoio à cobertura.....	51
Figura 3.11 - Montagem da pala de sombreamento.....	52
Figura 3.12 - Montagem de vigas inclinadas de suporte à estrutura da cobertura.....	52
Figura 3.13 - Montagem da "crista" central de suporte à cobertura.....	53
Figura 3.14 - Preenchimento da cobertura.....	53
Figura 3.15 – Preenchimento das laterais e conclusão estrutural da habitação.....	54
Figura 4.1 - Modelo de análise estrutural.....	57
Figura 4.2 - Ensaio de compressão segundo uma carga mínima (esquerda) e máxima (direita) no topo da estrutura.....	58
Figura 4.3 - Ensaio de flexão de corte segundo uma carga mínima (esquerda) e máxima (direita) na extremidade da estrutura.....	58
Figura 4.4 - Ensaio de bala segundo uma carga mínima (esquerda) e máxima (direita) na zona frontal da estrutura.....	59

Figura 5.1 - Apresentação do produto final - A casa modular (vista de frente).....	61
Figura 5.2 - Apresentação do produto final - A casa modular (vista de trás) .....	62
Figura 5.3 - Apresentação do produto final - Cenário 1.....	62
Figura 5.4 - Apresentação do produto final - Cenário 2.....	62

# Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - FMEA aplicado ao produto final - Habitação modular. ....	44
Tabela 4.1 - Valores definidos para o alumínio 7075 - T6 no Solidworks. ....	56

# Lista de Acrónimos

**AVAC** – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

**CAD** – *Computer-Aided Design*

**DFA** – *Design for Assembly*

**FMEA** - *Failure Mode Effects Analysis*

**LSF** – *Light Steel Framing*

**QFD** – *Quality Function Deployment*

**OSB** – *Oriented Strand Board*

**VOC** – *Voice of Customer*

**XPS** – Poliestireno Extrudido

# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

Com o decorrer dos anos, a construção modular tem vindo a assumir particular relevância no contexto habitacional. Cada vez mais a população opta por assegurar um papel ativo em todas as fases de construção de uma habitação. Apesar do conceito ainda não representar uma substituição perfeita face os resultados obtidos e à metodologia aplicada na construção tradicional, as soluções que esta apresenta garantem, também, condições habitacionais para a mesma finalidade, constituir um espaço quotidiano privado para uma família. Contudo, ainda é um conceito relativamente recente, cujas soluções apresentam pontos de encontro com a construção pré-fabricada, tornando estes dois conceitos vistos como um todo por parte dos clientes.

Porém, a construção modular ainda não é um método considerado isolado, isto é, comumente à construção pré-fabricada, esta estratégia habitacional baseia-se em metodologias ligadas à pré-fabricação, sendo que, o parâmetro de distinção entre ambas ocorre na dinâmica aplicada no local da montagem. Ainda assim, estes métodos apoiam-se na ideologia de estrutura base da construção tradicional, uma habitação constituída por uma base de apoio estrutural (fundação), por uma fase de preenchimento da envolvente, formada por arranjos de paredes básicas, e por fim um sistema de fecho, suprajacente à estrutura ao envolvente, mais conhecido por cobertura.

Considerando que se trata de um tema que abrange domínios como: processos de fabrico; metodologias ligadas à construção mecânica; conhecimento na área de tipos de materiais e modelação CAD (*Computer Aided Design*), é de considerar que se trata de um desafio para a área da Engenharia Mecânica, mais precisamente no âmbito do Desenvolvimento do Produto. Uma vez que o tópico global está inserido no desenvolvimento da construção modular, faz sentido a utilização de ferramentas que suportem metodologicamente as etapas alcançadas ao longo do processo, de modo a fundamentar o conceito desejado em forma de proposta final. Proposta esta capaz de responder, essencialmente, aos requisitos dos clientes e que seja, acima de tudo, um contributo benéfico para o tema.

Com isto, este projeto de dissertação surge como continuação da tese de mestrado da Eng.<sup>a</sup> Mafalda Varela e como alternativa à tese de mestrado do Eng.<sup>o</sup> Nuno Silva, dando um novo contributo e oferecendo uma nova perspetiva, de modo a proporcionar uma solução habitacional segundo uma abordagem singular.

## **1.2 Objetivo do Trabalho**

O objetivo deste trabalho é conceber e desenvolver um módulo habitacional de arquitetura de construção modular. Este processo passará pela concepção de vários componentes estruturais que, quando configurados, sejam capazes de formar um edifício modular que garanta requisitos obrigatórios habitacionais. Após o seu desenvolvimento, este será sujeito a uma análise estrutural onde será estudado o comportamento de diversos sistemas, quando sujeitos a determinados tipos de carga.

Assim, com a realização deste trabalho pretende-se apresentar um produto dotado com novas soluções habitacionais que, não só evidenciem características inovadoras, mas que também garanta a satisfação do cliente.

## **1.3 Revisão Bibliográfica**

### **1.3.1 O Módulo**

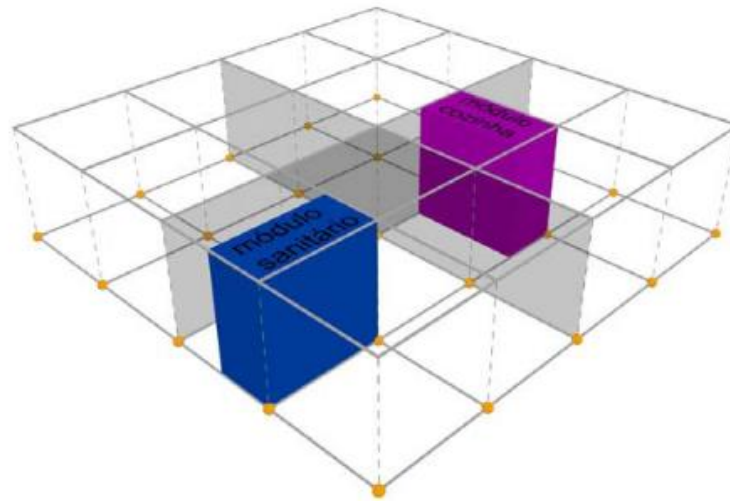
A utilização do módulo como um recurso na área da arquitetura remonta a antiguidade. Desde a cultura Egípcia, ao povo Grego e aos Romanos que a utilização do módulo foi adotada como unidade padrão. Mais recentemente, desde o início do século XX, diversos arquitetos, como Le Corbusier e Frenartu, estudaram cientificamente a aplicação das dimensões padrão na construção e na arquitetura moderna (1). Assim, quando criaram o termo “módulo base”, para um sistema, este deveria ser tridimensional de modo a facilitar a sua visualização e manipulação (2).

A formulação, do considerado “módulo tipo”, apresenta a possibilidade de conjugação com outros módulos, permitindo inúmeras soluções arquitetónicas e variadas opções em termos de funcionalidade. As suas dimensões, não só atendem às necessidades de conforto e utilização a nível habitacional, mas também procuram a facilidade no transporte e implementação (3).

Deste modo, permitirá, ao utilizador final, criar modelos que traduzam o desejo, a seu gosto, através da execução de plantas modulares geradas mediante a utilização de uma grelha, Figura 1.1, podendo inclusive implantar os espaços infraestruturados onde pretender, uma vez que o sistema tem a possibilidade intrínseca de proporcionar variadas alternativas à conjugação de todos os seus módulos constituintes (2).



A modularidade expressa na arquitetura de um produto é equivalente ao grau de independência funcional dos elementos que o constituem, tal como o nível de configurações possíveis da interface entre o mesmo sistema. Por conseguinte, a arquitetura do produto é considerada mais completa, quantas mais funções forem solucionadas segundo um determinado número de componentes (4).



*Figura 1.1 - Conjugação modular através de uma grelha (2).*

O grau de independência funcional de um sistema é um requisito bastante importante para o fabricante pois, quanto mais independente, mais vantagens este dispõe, por exemplo, menor taxa de erros de produção e diminuição da variedade de elementos produzidos. Contudo, um sistema deve ser composto por componentes que garantam a montagem em diferentes configurações, como por exemplo, ligações bidirecionais, para não ser visto, apenas, como um elemento exclusivo, mas sim, multifuncional (4).

### **1.3.2 Projeto Modular**

Ao desenvolver produtos de concepção modular, é possível prolongar o ciclo de vida destes e de lhes atribuir um carácter personalizado. Esta adaptação tem como objetivo melhorar certos requisitos como: ergonomia, a funcionalidade ou a estética do produto (alguns dos fatores que estão na origem da substituição dos produtos por outros) através da possibilidade que o produto ou sistema modular dá de transformação, adaptação, ampliação, substituição ou reutilização dos seus componentes modulares. Por outro lado, o conceito modular permite os meios necessários às empresas para projetarem produtos que podem responder rapidamente às necessidades dos

consumidores/utilizadores. O conceito modular pode ser aplicado no processo de design para construir produtos modulares e processos industriais modulares (4).

Outra característica importante do produto modular relaciona-se com o facto de os componentes modulares poderem ser produzidos independentemente uns dos outros. Devido a esta independência, fazer inovações no produto pode ser facilitado com a introdução de um novo módulo que permite, por exemplo, novas soluções funcionais.

### 1.3.3 Design Modular

O design traduz os aspetos funcionais e visuais de um produto, de forma a criar sensações de conforto e satisfação aos consumidores. No âmbito do design modular, este está correlacionado com a temática da engenharia, desempenhando um papel fundamental no que é a definição de formas geométricas que, representam a base do desenvolvimento concetual de novos produtos (5).

O desenvolvimento de novos componentes modulares visa responder a alguns paradigmas relacionados com a customização, como por exemplo, proporcionar aos consumidores uma variedade mais abrangente de ofertas e soluções de produto (5).

Num contexto empresarial, inicialmente, é realizada uma definição/divisão de módulos dentro do departamento de engenharia, onde são analisados os possíveis benefícios que o produto permitirá fornecer nas respetivas fases da vida. Por vezes, o facto de haver múltiplas implicações, requer a integração de diversos departamentos, por isso, dentro de uma empresa é seguido um método abrangente e amigável, que permite implementar a modularização de arquiteturas de produtos segundo quatro fases.

Segundo os autores Jana e Thorsten, a construção modular pode ser dividida em quatro fases, Figura 1.2 (6):

- Primeira Fase: Definição de metas e identificação dos objetivos individuais na procura da modulação, onde os conhecimentos e as técnicas de produção ligadas à engenharia são aplicados em conformidade com os requisitos do produto.
- Segunda Fase: Criar uma estrutura funcional do produto com objetivo de determinar uma lista de funções e subfunções necessárias. Organizar a estrutura do produto como uma composição hierárquica dos componentes físicos do produto. Juntar a estrutura funcional e a estrutura morfológica para formar a arquitetura do produto.

- Terceira Fase: Do termo “Design to X”, definir possíveis módulos. Identificar critérios de avaliação e comparar as alternativas de modularização.
- Quarta Fase: Implementar arquitetura modular do produto.

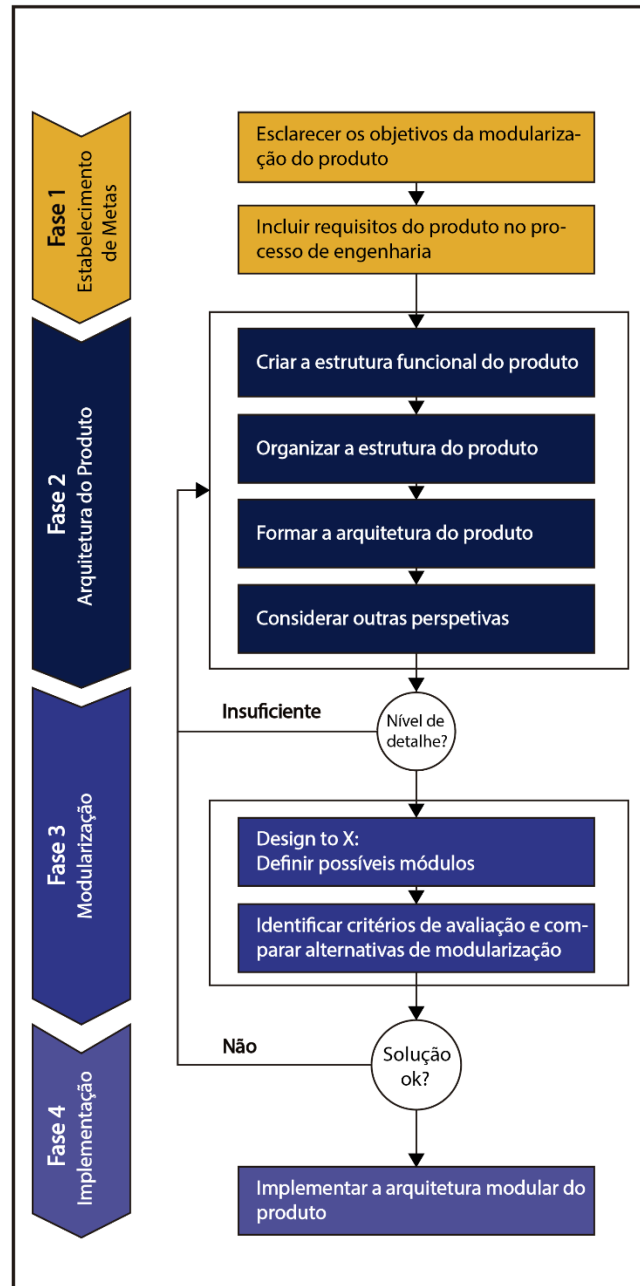


Figura 1.2 – As 4 fases do Desenvolvimento do Produto Modular (Adaptado de (6)).

### 1.3.4 Construção Modular

#### Na perspectiva da sociedade:

Após a realização de uma breve pesquisa sobre a construção modular, constata-se que existe uma relação próxima com a temática da construção pré-fabricada. Apesar de ambos os temas se complementarem e partilharem bases construtivas, têm propósitos e características distintas, que importam ser abordados de forma separada. É, então, um conceito não muito rigoroso, mas que tem sido utilizado desde o século XX e poderá vir a ser uma ideia que em muito se adequa à atualidade (3).

Contudo, segundo Laura Oliveira, aos olhos da sociedade, este conceito não é ainda interpretado com a maior importância, acabando, até, por ser desvalorizado (7):

*“(...) Esta ideia é frequentemente aceite pela sociedade através de uma definição corrente: um tipo de construção feita através de “caixas” ou “contentores” modulares, mas produzidos em fábricas e prontos a ser usados, isto é, são transportados até ao local de implementação, colocados no solo de acordo com o projecto desenhado e, após a sua montagem, ficam prontos a ser habitados.”*

Esta ideia de edifício, maioritariamente, caracterizado como “contentor” (Figura 1.3), ficou bastante conhecido devido ao uso frequente na construção civil, não só, como um espaço de escritório, mas também, e principalmente como estruturas sanitárias temporárias.



Figura 1.3 - O contentor modular (8).

Na perspetiva do engenheiro:

Na verdade, os métodos de construção modular podem ser identificados nos mais variados tipos de construções, como por exemplo, módulos habitacionais portáteis (roulottes), módulos desmontáveis (tendas) e módulos recolocáveis (quiosques, contentores) (9).

Apesar de ser um método bastante utilizado, de facto, é maioritariamente conhecido pelas estruturas rápidas e eretas. Devido a este processo de fabrico rápido é possível obter maior velocidade de produção e um algoritmo mais simples de montagem de componentes (10).

Na opinião de João Castelo, o conceito de construção modular pode ser ainda entendido como um método padronizado e organizado (2):

*“(…) é uma metodologia, que visa criar uma dimensão padrão, que racionalize a concepção e a construção de edifícios, o que permite elevar o grau de industrialização da construção, mantendo no entanto, a liberdade de concepção arquitectónica dentro de valores aceitáveis.”*

Este conceito é também denominado por diversos autores como “coordenação modular”, “coordenação dimensional modular” ou simplesmente por “construção modular” (1).

A construção modular apesar de ser um processo com menos fases de desenvolvimento, em comparação à construção tradicional, é alvo de um processo menos demorado, mas também definido desde o contacto por parte do cliente até à montagem e conclusão do produto. A Figura 1.4, representa um esquema rápido que demonstra as várias etapas.

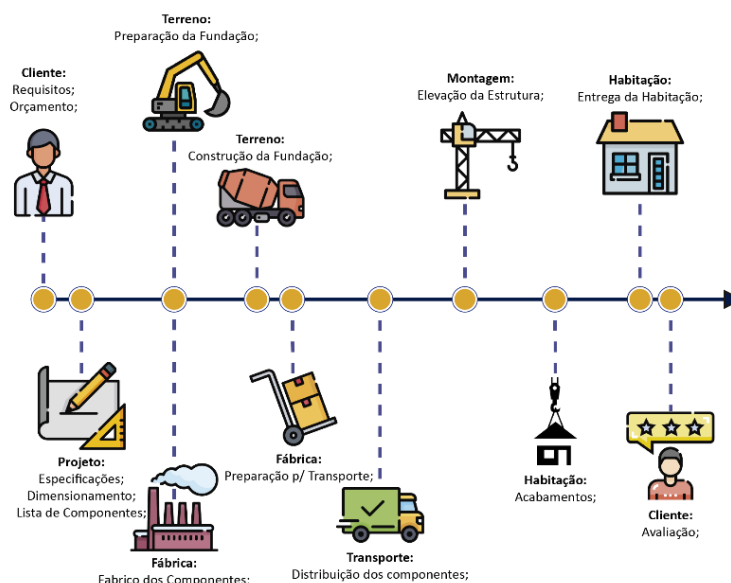


Figura 1.4 - Esquema das várias etapas associadas à aquisição de uma habitação modular (11).

### 1.3.5 Construção Pré-Fabricada

A construção pré-fabricada surgiu no século XIX, na época da colonização da América do Norte e na Austrália, quando o carpinteiro Henry Manning idealizou uma estrutura que permitisse abrigar os ingleses durante um tempo indefinido. Foi mais precisamente no ano de 1833, em Londres, que Henry Manning projetou e construiu a primeira construção modular denominada de *Manning Portable Colonial Cottage*, Figura 1.5 (12).

Este conceito, ainda muito recente, apenas se destinava a conceitos temporários a nível de estadia, contudo, foi durante a 2ª Guerra Mundial que este conceito foi considerado útil, onde mais uma vez o objetivo era albergar grande número de militares e mais tarde, já após a guerra, quando os soldados americanos regressavam a casa e pretendiam obter uma habitação a baixo custo. Mais tarde, no final da década de 1950, um grupo de investigadores dos EUA visionaram esta ideia e aplicaram o conceito de construções modulares a escolas, empresas e instalações médicas (12).

Após isso, e nos tempos que correm, começou e emergir o uso comercial deste tipo de construções (12).

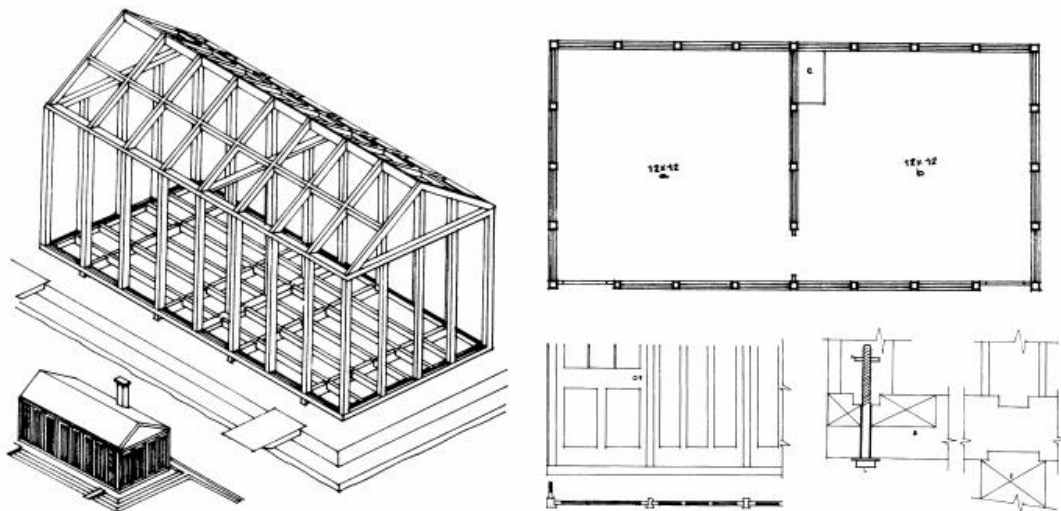


Figura 1.5 - Manning Portable Colonial Cottage (12).

Segundo Mafalda Varela, considerou os tipos de pré-fabricados em quatro tipos de Construções Pré-Fabricados (13):

- Estruturas Modulares:

Componentes que estão na forma volumétrica e que formam uma parte de um edifício concluído (ou um edifício completo em si), e que, tipicamente, possuem superfícies interiores e exteriores acabadas.

- Estruturas Paineis:

Componentes que são compostos por uma série de elementos pré-fabricados (janelas, portas, painéis) mas que não encerram espaço útil em si. Tipicamente exigem mais trabalho no local de fabrico, mas será mais barato para enviar para o local de montagem de forma compacta.

- Componentes Pré-Fabricados:

Refere-se a qualquer conjunto único fabricado na fábrica, geralmente porque não pode ser contruído no local de montagem ou pode ser usado para ajudar a velocidade ou a qualidade de construção.

- Materiais Processados:

Elementos de construção fabricados fora do local de montagem e enviados para o local de construção constituem a maioria dos materiais usados na construção de hoje, permitindo vãos maiores e acabamentos personalizados.

A modularidade e a pré-fabricação estão a tornar-se uma escolha natural, como solução de custo e de economia de energia, apesar da tendência persistente para a adesão a materiais e técnicas tradicionais. A facilidade de construção e a sua diversidade estilística permitem um produto final que consegue ser indistinguível daquele construído pelos métodos tradicionais. Para tal, é cada vez mais importante que as técnicas modulares sejam integradas desde início no processo de conceção (13).

### **1.3.6 Construções Modulares**

Segundo a perspetiva do autor Robert Kronenburg, a construção modular pode-se dividir em diferentes categorias, sendo estas diferenciadas pelas seguintes características (14):

- Recolocáveis:

Os módulos são divididos em partes e posteriormente transportados para o local onde, mais tarde, é efetuada a sua montagem. A montagem no local normalmente é feita de forma instintiva, devido à simplicidade do processo. Este é normalmente o método utilizado, sendo que por vezes algumas das peças também podem ter o sistema de transporte incorporado em si mesmas. A grande vantagem dos módulos que se enquadram nesta categoria é mesmo a facilidade no transporte, uma vez que, se o tamanho que ocupam é reduzido, não tem qualquer restrição no que toca às empresas que efetuam estes tipos de transporte, sendo ainda mais barata a sua deslocação.

- Desmontáveis:

Módulos que são desmontados em várias peças, permitindo que sejam transportados de uma forma muito compacta. Uma vez que estas construções são decompostas em várias peças e, dependendo do tamanho, do sistema construtivo e da sua complexidade, normalmente a sua montagem demora bem mais que no caso anterior.

- Portáteis:

De acordo com o autor, estas construções têm como principal característica o facto de serem transportadas e prontas a habitar após a sua montagem. Após uma breve pesquisa sobre modelos deste tipo de construção, é de notar que muitos deles têm o método para o seu transporte incluído na própria estrutura, sendo os mais tradicionais o gancho e as rodas. Os edifícios com estes métodos podem-se dizer que são rebocados, havendo depois os que têm de ser carregados num reboque, sendo que neste caso se considera que são transportados.

### **1.3.7 Fundações**

Comummente à construção tradicional, também certos tipos de construção modular requerem estruturas de base, denominadas por fundações. Neste tipo de estruturas, normalmente, são utilizadas matérias como betão, aço ou madeira, que apresentam características necessárias para promover requisitos como rigidez estrutural.

Na construção das fundações para este tipo de casas, é preciso ter especial atenção ao posicionamento dos apoios criados para suportar a estrutura, enquanto que na construção tradicional, se existir um desvio de um apoio, é possível ajustar de modo a colmatar esse desvio



para fases seguintes. Na construção de casas modulares, uma vez que os módulos são construídos antes ou durante a preparação do terreno e construção dos alicerces, os ajustes implicarão atrasos e custos acrescidos à obra, pelo que são altamente desaconselháveis. Em seguida são apresentadas algumas soluções para fundações, que podem ser usadas em construções modulares ou tradicionais (11).

Esta estrutura é habitualmente feita por uma equipa especializada, sendo que, é considerado um processo extra que se agrega à construção modular. Pode-se, então, categorizar em diferentes tipos (11):

- Com Cave:

Este tipo de estrutura permite que a habitação possa ser agregada a uma divisão extra, separada do edifício modular, mas que, após a sua montagem, interligam-se. O facto de possuir uma caixa de ar representa vantagens a nível de instalação dos diferentes sistemas necessários para o funcionamento, mas tem um preço acrescido devido à dimensão desta.

- Sem Cave:

É um processo idêntico ao anterior, mas apenas apresenta uma base sólida de betão. Na construção modular, devido à peculiaridade de esta ser constituída por componentes pré-fabricados, dificilmente são acondicionados sistemas como, tubagens de água, sistemas elétricos, sistemas AVAC.

- Perímetro de Betão:

Muito semelhante à estrutura com cave, mas apresenta paredes de betão de pequenas dimensões, destinando-se apenas à criação de uma pequena caixa de ar e apoio estrutural.

- Apoios de Betão:

Outra hipótese é a utilização de pilares de betão que suportem uma estrutura de metal ou madeira que serve de chassis para a casa modular. Isto reduz em muito o material utilizado, principalmente a quantidade de betão. Para além disso, de modo a manter a rigidez estrutural em casos extremos, são utilizados elemento de contraventamento, que impedem o movimento lateral do chassis.

### **1.3.8 Identificação das Soluções Modulares**

A evolução da construção leva a que o sistema construtivo modular possa ser executado através de diferentes soluções e com diferentes materiais, tendo sempre o mesmo objetivo e princípio: uma construção rápida, fácil de executar e, na sua maioria, realizada em fábrica, sendo em muitos casos apenas necessário o transporte dos módulos para o local de implantação. Existem também casos em que apenas os elementos estruturais são construídos em fábrica como é o exemplo do LSF (*Light Steel Framing*) e de algumas construções em madeira (15).

De seguida, são apresentadas várias configurações construtivas existentes, sendo que o critério de composição da mesma tem em conta os materiais utilizados, a inovação no método construtivo e, sempre que possível, envolvimento de produtos revolucionários.

#### **1.3.8.1 Betonit**

A Betonit é uma de muitas empresas ligada à construção e reabilitação de edifícios. De acordo com a informação disponível, esta, afirma distinguir-se no mercado devido às características competitivas presentes nas soluções desenvolvidas. Um dos tópicos que esta empresa mais se orgulha direciona-se para a Construção Modular Ecológica, tema este que vem de encontro do âmbito desta dissertação (16).

Os sistemas de construção modular que apresenta, garantem grande parte dos mesmos processos que outras empresas, igualmente, seguem: fabrico dos componentes; transporte destas até ao local destinado; montagem na própria obra. Contudo, indicam singularidade na abordagem de soluções sustentáveis, não só no uso de matérias primas de carácter ecológico, mas também nos métodos de construção e montagem, denominado por construção “seca” (16):

*“(...) utiliza materiais ecológicos como OSB e o gesso cartonado, garantindo uma melhor eficiência energética do sistema construtivo, um ótimo desempenho térmico e acústico, a redução do desperdício de materiais, uma menor produção de resíduos de construção (...)”*

A Betonit executa construções modulares em perfis de aço leve (LSF – *Light Steel Framing*) ou então em madeira, visto que garantem rapidez e economia no desenvolvimento de projetos considerados de elevada qualidade construtiva, o que lhes permite garantir requisitos como, desempenho térmico e acústico. As Figuras 1.6, 1.7 e 1.8 mostram algumas soluções que esta empresa tem vindo a desenvolver, segundo este tipo de construção (16):

- Moradia T1:

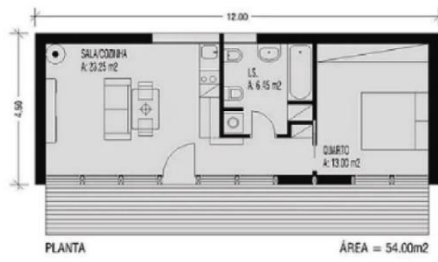


Figura 1.6 - Moradia T1 da Betonit (16).

- Moradia T2:



Figura 1.7 - Moradia T2 da Betonit (16).

- Moradia T3:



Figura 1.8 - Moradia T3 da Betonit (16).

Numa abordagem mais comercial, a empresa Betonit afirma que os seus sistemas construtivos, representados nas figuras anteriores, apresentam as seguintes vantagens (16):

- a) Sendo o requisito máximo a satisfação do cliente, garante um elevado nível de personalização em cada tipo de edifício;
- b) Capacidade de abranger, não só, tipos de construção modular, mas também tipos de habitação com necessidades de reabilitação;
- c) Possibilidade da acoplagem de anexos extras tais como, garagens ou caves;  
Garantir resultados de qualidade a preços reduzidos.

#### **1.3.8.2 Estruturas Metálicas**

Tal como o exemplo anterior, são muitas as empresas que desenvolvem estruturas com base em elementos perfilados em aço. Segundo isto, foram analisadas três, reconhecidas nacionalmente, para que na fase do desenvolvimento do conceito fossem alvo de comparação e até mesmo ponto de partida para certas soluções:

- **Téketo**

A Téketo, entre muitas, é uma empresa que trabalha, a frio, elementos de perfil em aço galvanizado em soluções modulares. Estes elementos apresentam propriedades uniformes e multifuncionais, permitindo-lhes conjugações com outros componentes sem recorrer a processos de união localizada, como por exemplo soldadura (17).

Teve início da sua atividade no âmbito da construção modular através dos sistemas modulares em aço Modiko®. Estes sistemas, reconhecidos pelo seu alto índice de padronização, visam responder a qualquer projeto, desde a fase da criação da fundação até à entrega da obra ao respetivo cliente (17).

Segundo a plataforma online da Modiko® é possível perceber todas as fases constituintes desde o fabrico até ao acabamento estrutural (18).

Processo construtivo:

Em fábrica – No chão de fábrica são fabricados os componentes referentes à estrutura do projeto em vigor, sejam eles pilares, vigas ou elementos auxiliares de ligação. São, ainda, produzidas algumas painéis relativas às paredes exteriores.

No local de obra – Esta fase passa pela preparação do terreno a fim de criar uma fundação relativa ao projeto. O método utilizado passa pela criação de uma tela de impermeabilização, seguida de uma manta geotêxtil e posteriormente uma camada de isolamento térmico em poliestireno extrudido (XPS). Posteriormente, é colocada a camada em betão.

Após isto, é iniciada a montagem dos elementos estruturais, sendo maioritariamente fixos segundo ligações aparafusadas. Quando concluída, são fixas placas de *Oriented Strand Board* (OSB), sobrepostas a estas, são ainda, aplicadas placas de XPS, para o isolamento térmico.

De seguida, é implementado o sistema de vedação, iniciado com a fixação das placas exteriores, platibandas, padiais e peitoris. Para a obtenção de uma superfície homogénea, estas são, posteriormente, revestidas por uma camada uniforme de argamassa. As paredes interiores são formadas por uma estrutura metálica e preenchidas de modo a criar isolamento acústico, finalizando com gesso cartonado.

De forma a criar a cobertura inclinada em painel *sandwich*, são aplicadas estruturas de apoios às madres nas placas de XPS, consecutivamente são colocadas caleiras e à posteriori os painéis *sandwich*. Segundo isto, é possível efetuar os acabamentos finais, não só na cobertura, mas também nas paredes exteriores.

- **Concept X**

Tal como a anterior, a Concept X é uma empresa que tem como base sistemas construtivos segundo estruturas em aço galvanizado enformado a frio. Apesar de ser mais recente, esta firma foi pioneira neste tipo de construções na zona sul de Portugal, mais precisamente no Algarve (19).

A Concept X apresenta princípios e processos idênticos à Tédeko, contudo, esta afirma que existem limitações na criação de modelos, pois estão restringidos ao que atualmente produzem, sendo apenas possível a execução de ligeiras alterações (19).

Segundo a plataforma online é possível perceber todas as fases constituintes desde o fabrico até ao acabamento estrutural (19):

Processo Construtivo:

Em fábrica – Segundo o projeto escolhido pelo cliente, são produzidos os painéis em OSB e todos os elementos em aço galvanizado, necessários para estruturação do edifício modular.

No local da obra – Realiza-se previamente a preparação da fundação para a montagem posterior da estrutura em aço enformado a frio. Comumente ao anterior, a elevação das paredes exteriores passa pela montagem de painéis OSB ou contraplacado através de ligações autorroscantes. Em seguida é aplicado um revestimento constituído por esferovite, rede de fibra e cola de reboco especial com mistura de cimento, concluindo esta etapa através da aplicação de tinta acrílica texturada. As paredes são preenchidas com lã mineral e as placas de gesso cartonado são também ligadas com parafusos autorroscantes. Todos os tipos de sistemas de águas e eletricidade são, também, montados no interior destas.

A fase da montagem da cobertura é realizada consoante a escolha do cliente, podendo esta ser plana ou inclinada.

- **KITUR**

A KITUR é mais uma de muitas empresas nacionais conhecida por apresentar soluções modernas, tradicionais e funcionais nos modelos habitacionais que desenvolve. Estas soluções, também realizadas com base em materiais como aço leve e poliuretano, são construídas exclusivamente em fábrica sobre chassis autoportantes, posteriormente transportadas até ao local de obra onde decorre a respetiva fixação (20).

### **1.3.9 Softwares**

Durante a realização deste trabalho foram utilizados diversos *softwares*, onde se destacam pela sua influência na concretização do projeto, os seguintes:

Solidworks – é um *software* de CAD 3D (Computer-Aided Design) não só usado em ambiente empresarial, mas também em regime académico, como é o caso nesta dissertação. É usado na criação de formas tridimensionais, a partir de *sketchs* 2D, e, posteriormente, realizar análises através da sua função de simulação.

Fusion 360 – tal como o Solidworks, é um *software* de CAD 3D que visa criar figuras em três dimensões. Apresenta funcionalidades quase idênticas ao anterior, mas dispõe de métodos diferentes no cálculo de alguns pré-requisitos na função de simulação, como é o caso da criação de malhas.

#### **1.4 Contributo**

No âmbito da construção modular, esta dissertação pretende contribuir com uma nova proposta de edifício modular. É um projeto que tem como base a conceção e desenvolvimento de vários elementos de carácter estrutural e a criação de um envolvente composto por blocos modulares. Estes elementos terão como característica principal o facto de serem multifuncionais, permitindo a utilização independente e repetida para diferentes ligações e sistemas de montagem, assim como a interação do bloco modular.

Com o objetivo de estudar o comportamento do produto final, é ainda realizada uma análise estrutural com diferentes casos de estudo de modo a simular o seu desempenho em situações aproximadas à realidade

#### **1.5 Estrutura do Documento**

Este documento encontra-se dividido em 6 capítulos, referências bibliográficas e 2 apêndices. No primeiro capítulo é apresentada uma pequena contextualização do tema desta dissertação, assim como o objetivo da mesma. É, ainda, apresentada uma breve revisão bibliográfica bem como o contributo do trabalho.

No segundo capítulo é abordado o processo de desenvolvimento de produto. É apresentada a metodologia escolhida para a sua concretização e recolha de informação necessária para a conceção. Posteriormente, numa fase mais prática, é demonstrada a linha de pensamento segundo a idealização do conceito.

No terceiro capítulo é realizada uma análise de sistemas e validação do conceito anteriormente apresentado. Considerando os fundamentos de montagem através do *Design for Assembly*.

No quarto capítulo são executadas simulações computacionais, de modo a validar o conceito de edifício desenvolvido no capítulo anterior. Foi escolhido um sistema referente ao produto final, tendo sido escolhidos os materiais anteriormente analisados e, posteriormente, realizados vários ensaios de carga.

No quinto capítulo é apresentada a proposta final, assim como várias *imagens* do produto final. Consecutivamente, no sexto e último capítulo, são expostas as conclusões e apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.





## 2 Desenvolvimento do Produto

Este capítulo contextualiza o principal objetivo desta dissertação, que tem como base a idealização de uma solução modular para um edifício de habitação. Parte-se do princípio que está associado o desenvolvimento estrutural de vários elementos de construção, formalizando, assim, um sistema modular específico capaz de oferecer maior diversidade aos olhos do cliente e facilidade de produção por parte das empresas.

Pretende-se, então, apresentar elementos de construção fundamentais capazes de albergar elementos funcionais básicos, como por exemplo, Sanitários, Cozinhas, Lavandaria, Quartos, Sala, Garagem. Para isto, a ideologia passa pela aplicação de processos produtivos coordenados, repetidos e racionalizados. Estas normas permanecerão implícitas durante as fases do desenvolvimento do conceito, desde o QFD (*Quality Function Deployment*) até à apresentação da proposta final.

Para uma melhor organização, é apresentada um esquema alusivo ao raciocínio, Figura 2.1.

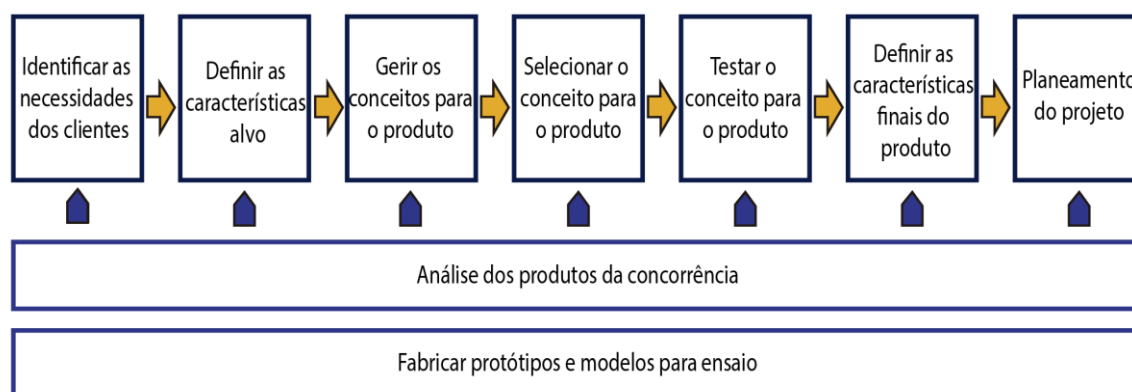


Figura 2.1 - Tarefas a realizar ao longo do desenvolvimento do produto (Adaptado de (5)).

### 2.1 Metodologia

Numa primeira fase, é escolhida a metodologia capaz de abranger todas as fases do desenvolvimento do produto – desenvolvimento, produção e venda. A ferramenta utilizada que permite relacionar estas diferentes fases é a matriz de Desdobramento da Função Qualidade (QFD, *Quality Function Deployment*). O QFD permite que sejam feitas, nesta fase inicial, as alterações necessárias relativas ao projeto, dando a vantagem de que, já na fase da produção, todos os componentes e respetivas funções tenham sido analisadas e retificadas.

Por norma, o processo da formulação do QFD passa pela estruturação de “quatro matrizes”. Estas matrizes relacionam os vários aspetos do processo de desenvolvimento e fabrico de um produto, desde o design e requisitos do cliente (*Voice of the Customer – VOC*) até à fase de produção, Figura 2.2.

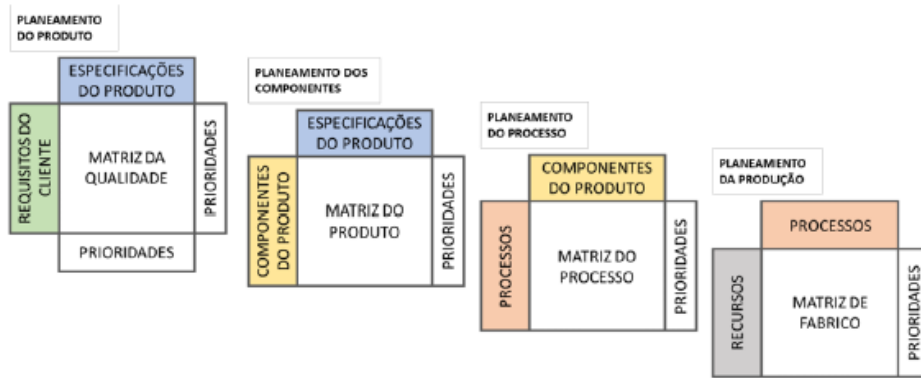


Figura 2.2 - Quatro matrizes de qualidade (5).

## 2.2 Recolha de informação e Projeto Informativo

Este estudo começa, assim, com a análise da primeira das quatro matrizes, a que analisa a “Voz do Cliente”. Também denominada como Matriz da Qualidade, esta matriz converte os requisitos dos clientes em especificações de produto. Segundo os resultados desta, é analisada a Matriz do Produto, onde a “Voz do Engenheiro” tem o papel principal no que diz respeito à definição das características do produto, sem quaisquer especificações de soluções. No contexto desta dissertação apenas são analisadas as duas anteriormente mencionadas, suficientes para a organização inicial do projeto, Figura 2.3.

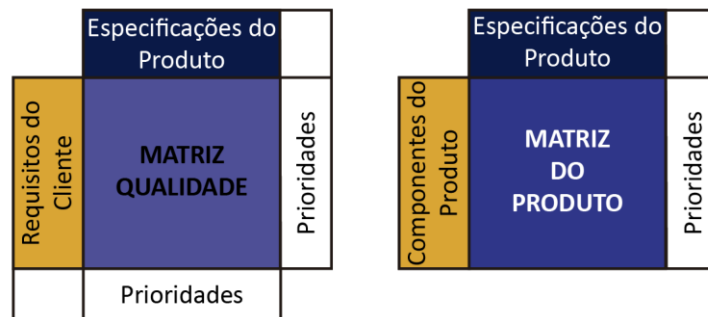


Figura 2.3 - Matriz da Qualidade e do Produto (Adaptado de (5)).

A Matriz da Qualidade é constituída, maioritariamente, por áreas de *Inputs* e *Outputs*. O primeiro *Input* passa por definir quem são os clientes-alvo e assim saber quais são os requisitos que desejam ser cumpridos, tendo em conta os objetivos do projeto. De seguida, é necessário compreender as necessidades do(s) cliente(s), é aqui, onde o engenheiro terá que, pela primeira vez, tomar decisões essenciais na conversão destas necessidades em parâmetros de avaliação, por isso, deve possuir uma visão imprescindível no campo. Após isto, cabe, mais uma vez, ao engenheiro ordenar os requisitos de modo a dar prioridade àqueles que, na opinião deste, são vistos pelo cliente como uma “mais valia”, tendo a oportunidade de diferenciar da concorrência.

Na questão da categorização dos requisitos, apesar do conhecimento e do bom senso por parte do engenheiro ser o método mais direto, há outras formas, tais como, questionários e demonstrações ao público que vêm complementar a linha de raciocínio deste. Uma opinião por parte do cliente é um benefício imprescindível que deve ser tido em conta pois, é informação adicional que torna o modelo de gestão de qualidade do produto (Modelo de Kano) mais completo.

### **2.2.1 Modelo de Kano**

O modelo de Kano tem como principal objetivo a melhoria da qualidade de um produto, orientando o desenvolvimento do produto segundo as necessidades do cliente. Foi o engenheiro Noriaki Kano que, por volta dos anos 80 estabeleceu um modelo de ligação entre as características do produto e a influência destas nas expectativas do cliente, este modelo ficou conhecido como Diagrama de Kano, Figura 2.4.

Quando Noriaki decidiu “dar voz ao cliente”, questões minimalistas começaram a desempenhar um fator importante para a priorização de requisitos, tais como – Que melhoria o cliente gostaria de ver num determinado produto? Até que ponto uma alteração provocará satisfação? Como alcançar esse balanço entre satisfação e desempenho? Acima de tudo, o produto deve ser capaz de exceder as expectativas do cliente, mas acresce o compromisso de este ser capaz de expressar o seu interesse (*Voice of the Customer*).

#### **2.2.1.1 Voice of the Customer – VOC**

O VOC é um termo que exprime o *feedback* do cliente acerca das suas experiências e expectativas em relação a um determinado produto ou serviço. Este foca-se essencialmente nas necessidades, expectativas e possíveis melhorias do produto.

Traduzido para a temática da engenharia do produto, o engenheiro não só tem de ser capaz de pegar na informação e conceder um nível de importância a cada segmento identificado pelo cliente, como, também, de ser audaz e conseguir integrar características inovadoras expostas pelo mesmo. Outras questões, como por exemplo, o preço que este estaria de acordo em investir num produto inovador é igualmente importante, mas nesta dissertação não é tido em conta.

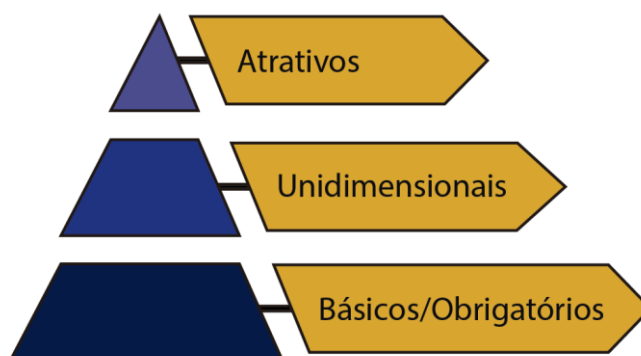
Depois de tratada, toda a informação é comprimida em requisitos. Estes são importados para o modelo de Kano onde são analisados de acordo com o nível de importância que lhe for atribuído, isto é, estes podem ser considerados: (O) Básicos/Obrigatórios; (U) Unidimensionais; (A) Atrativos; Figura 2.4:

- Básicos/Obrigatórios – Os requisitos possuem características consideradas *standard*, isto é, não são sequer postas em causa o facto de estas existirem. Por sua vez, o facto de haver ausência destas, causa enorme insatisfação;
- Unidimensionais – São aqueles cuja satisfação varia linearmente consoante o seu desempenho, isto é, quanto maior for a sua adaptação funcional maior será o grau de satisfação por parte do cliente;
- Atrativos – É um requisito considerado positivamente inesperado, isto é, são atributos que causam euforia por parte do cliente. No entanto, a sua ausência não gera qualquer insatisfação, é apenas visto como um extra;



Figura 2.4 - Diagrama de Kano (Adaptado de (5)).

Fazendo uma pequena analogia à estrutura de uma pirâmide, também os requisitos do cliente se interligam para criar um conceito robusto. A primeira a ser implementada é a base (requisitos básicos/obrigatórios), considerado o apoio principal. Posteriormente é colocada a estrutura intermédia (Uniformes), suportada pela base. A pirâmide fica então concluída quando aplicada a parte superior, e final (Atrativos). É neste seguimento que a caracterização dos requisitos se baseia, tal como a construção de uma pirâmide é feita segundo uma linha de prioridades, também as atribuições dos requisitos devem ser feitas segundo o grau de satisfação do cliente, Figura 2.5.



*Figura 2.5 - Pirâmide ilustrativa ao grau de importância de cada tipo de requisito.*

Segundo um olhar mais crítico, é de notar que o investimento num requisito inovador (atrativo), não só trará um valor acrescentado ao produto, como também maior grau de satisfação aos olhos do cliente. Por sua vez, um investimento num requisito básico comum, seja ele pequeno ou grande, não criará qualquer entusiasmo ao cliente. Requisitos do tipo unidimensionais, como por exemplo, o custo, aumentam proporcionalmente a satisfação do cliente com o decréscimo do mesmo.

Normalmente, quando se realiza uma análise aos requisitos dos clientes, apenas é considerado como objetivo principal o grau de satisfação do cliente final, que é aquele que recebe em mãos o produto final, mas, existe um “cliente intermédio” responsável por toda a conceção deste, o Fabricante. O Fabricante é, então, considerado um cliente extra necessário para o estudo tipológico do produto, possuindo igualmente requisitos em relação ao produto.

Como mostra o esquema da Figura 2.6, começou-se por dividir os diferentes requisitos em individuais e comuns. De seguida foram analisados de acordo com o nível de importância, segundo o modelo de Kano, concluindo esta etapa com uma priorização inicial dos mesmos.

		Kano		
		Prioridade Inicial		
Fabricante	Topologia	6	U	
	Seguro/Normas	13	O	
	Fácil Manutenção	3	U	
Comuns	Durabilidade/Fiabilidade	9	O	
	Modularidade	12	U	
	Poucos Componentes	7	U	
Cliente Final	Fácil Transporte	10	A	
	Eficiência Energética	8	U	
	Fácil Montagem	11	A	
	Reutilização	2	A	
	Multifuncional	5	A	
	Luminiosidade	1	U	
	Design	4	U	

Figura 2.6 - Clientes e análise inicial dos respectivos requisitos ((O) Básicos/Obrigatórios; (U) Unidimensionais; (A) Atrativos)/(1 - Requisito com menor prioridade a 13 - Requisito com maior prioridade).

Durante a priorização foram tidos em conta três fatores: o nível de importância, o conceito do produto e os fatores de melhoria. Por isso, apenas é considerada como uma proposta inicial e não como modelo final, servindo apenas de comparação com a hierarquização que, mais tarde, será calculada através dos parâmetros impostos na matriz da qualidade.

### 2.2.2 Matriz da Qualidade

Uma vez analisados e priorizados os requisitos do cliente, segue-se a definição das especificações técnicas do produto. As especificações técnicas são, tal como o nome indica, características que o produto deve possuir que melhor traduzam as necessidades do cliente. No caso desta dissertação, estas estão inseridas no âmbito da construção modular, mais precisamente, associado a um módulo habitacional.

Estas especificações são, então, alvo de um balanço com o intuito de determinar a direção da respetiva melhoria, podendo este ser: positivo ( $\blacktriangle$ ); neutro ( $\diamond$ ); negativo ( $\blacktriangledown$ ), isto é, o engenheiro exprime quais as características em que este está disposto a investir, manter ou simplesmente limitar-se ao básico. Terá, também, de formular uma estratégia de forma a elevar o grau de satisfação do cliente, correlacionando os requisitos do cliente e as especificações técnicas do produto usando os seguintes segmentos: 9 (forte); 3 (moderado); 1 (fraco).

Após a priorização dos requisitos dos clientes e da hierarquização das especificações técnicas do produto é feita uma análise competitiva baseada no desempenho de algumas soluções já existentes, neste caso, com os concorrentes Modiko® e KITUR, referenciados no capítulo anterior. Esta análise passa, mais uma vez, por uma avaliação crítica por parte do engenheiro, onde este classifica a concorrência em relação aos requisitos e especificações, antes apresentados, com os seguintes indicadores: acima da concorrência/fácil (0,5), igual à concorrência/moderado (1,0); abaixo da concorrência/difícil (1,5); muito abaixo da concorrência/muito difícil (2,0). Além disso, é necessário fazer uma estimativa da dificuldade de execução, também com os parâmetros anteriormente indicados.

Resumindo, a Matriz da Qualidade é uma ferramenta que, tendo por base os *Inputs* inseridos na fase de priorização dos requisitos, inicialmente arbitrada, reorganiza-os segundo os pesos implementados na análise e a estabelece a priorização final dos mesmos, traduzindo o grau de satisfação dos clientes sobre o produto final (Figura 2.7). O mesmo acontece com as especificações técnicas do produto, onde inicialmente é obtida uma primeira série de prioridades, segundo a idealização de melhoria por parte do engenheiro e dificuldades técnicas de atuação, e posteriormente uma segunda série, onde fatores como concorrência são contabilizados (Figura 2.8).

Uma vez obtida a Matriz da Qualidade (Anexo A.1), e é de notar a priorização inicial dos requisitos (Figura 2.6) sofreu ligeiras alterações, não só devido aos parâmetros inseridos nas relações com as especificações, mas também pela influência dos valores avaliados no *Benchmark*.

Esta nova reorganização tem como base os valores obtidos da coluna dos Atributos de Qualidade Corrigidos, onde foram colocados ordenadamente como mostra o gráfico representado na Figura 2.7.

É de notar que certos requisitos, como por exemplo Fácil Montagem e Modularidade, situavam-se inicialmente no patamar de maior prioridade, contudo, após a priorização passaram a caracterizados como requisitos de prioridade média.

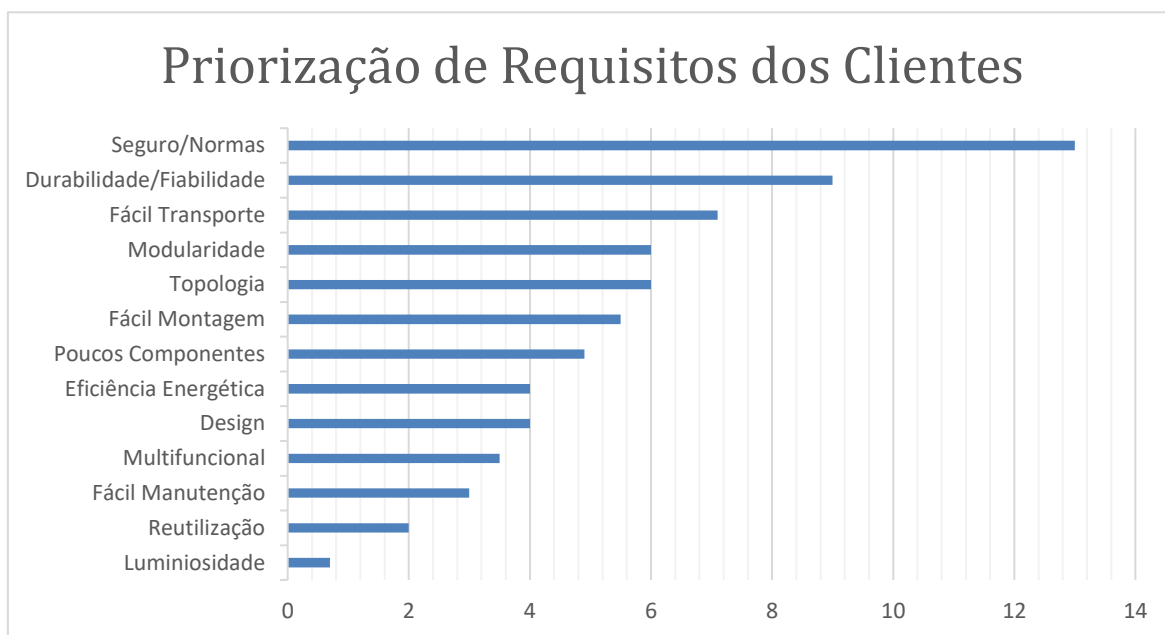
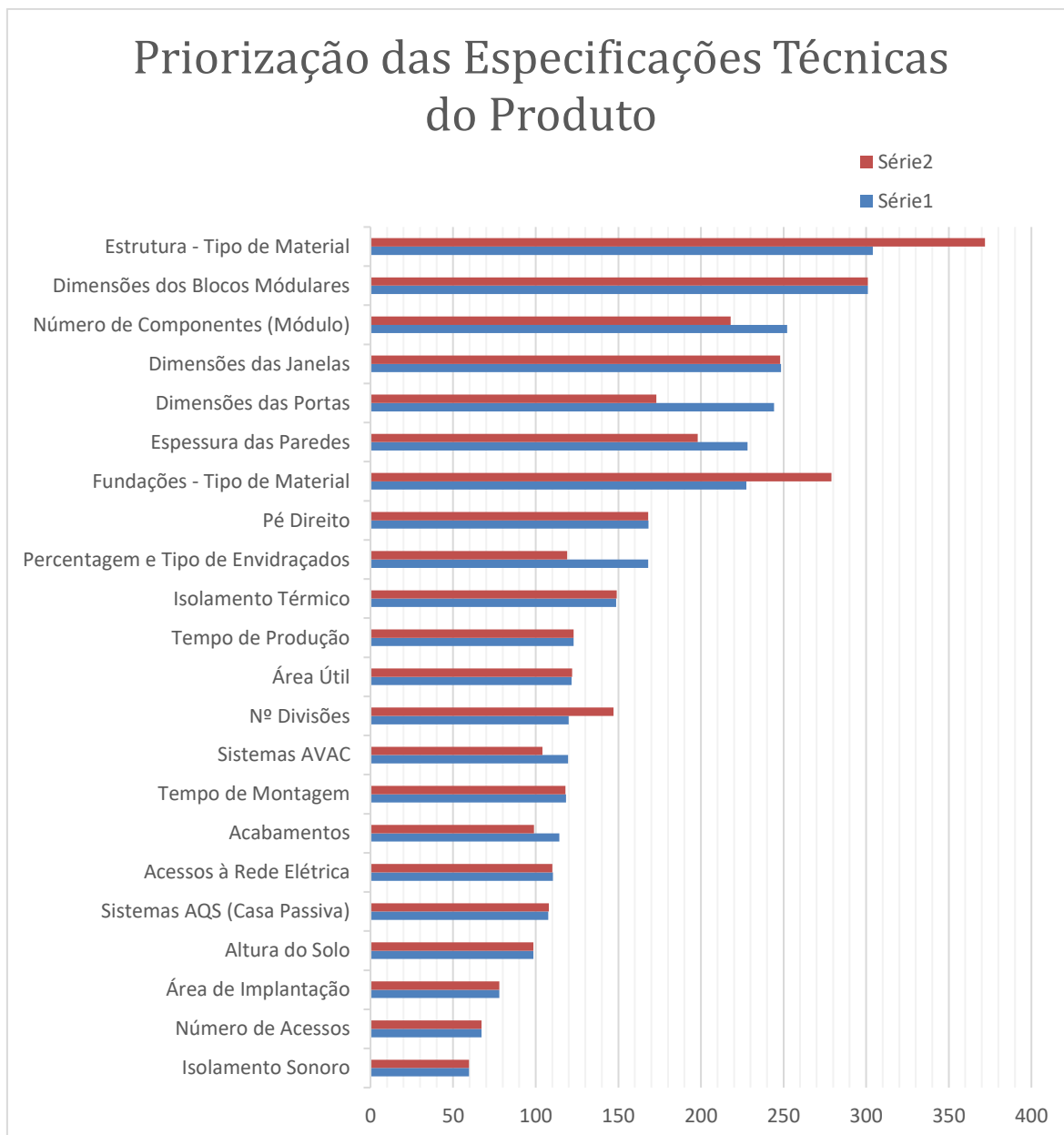


Figura 2.7 - Gráfico da priorização dos requisitos dos clientes.

Fazendo uma pequena análise ao gráfico, pode-se constatar que os requisitos obrigatórios são os que apresentam maior impacto no grau de satisfação do cliente, como era de prever. Isto é, características como a segurança e a durabilidade têm de ser asseguradas pelo engenheiro, mesmo que a presença destas não produza impacto no cliente da mesma forma que um requisito atrativo.

O mesmo acontece com a hierarquização das Especificações Técnicas do Produto, em que esta é alvo de um rearranjo quando sujeita a uma análise de dificuldades técnicas de atuação, bem como uma avaliação competitiva. O gráfico representado na Figura 2.8 contrasta as duas séries de valores, sendo a série 1 relativa à priorização inicial e a série 2 à priorização final, que traduz as variações de prioridade que cada um dos parâmetros avaliados sofreu.





*Figura 2.8 - Gráfico da hierarquização das especificações técnicas do produto, antes e após Benchmark (Série 1 – Priorização Inicial; Série 2 – Priorização Final).*

Os valores apresentados no gráfico, Figura 2.8, indicam quais as especificações que requerem mais atenção na fase da idealização do conceito, ou seja, o engenheiro neste momento dispõe de uma base sólida para selecionar a melhor estratégia no desenvolvimento do conceito para o produto. Segundo o resultado desta análise, este terá de se debruçar nos parâmetros que mais se destacam, maioritariamente na escolha adequada de materiais e na flexibilidade dimensional de componentes.

### 2.2.3 Matriz do Produto

Concluída a Matriz da Qualidade, passa-se à definição da Matriz do Produto. Esta matriz relaciona as especificações técnicas do produto e os componentes que irão constituir o produto final, obtendo assim, o *output* final do estudo do QFD, correspondente à priorização das partes.

Os componentes, para uma melhor perceção, são inicialmente divididos em três categorias: Estruturas, Vedação (envolvente opaca) e Acessibilidades. Dentro destes, encontram-se subcategorias capazes de abranger, de forma completa, todos os elementos que constituem o produto.

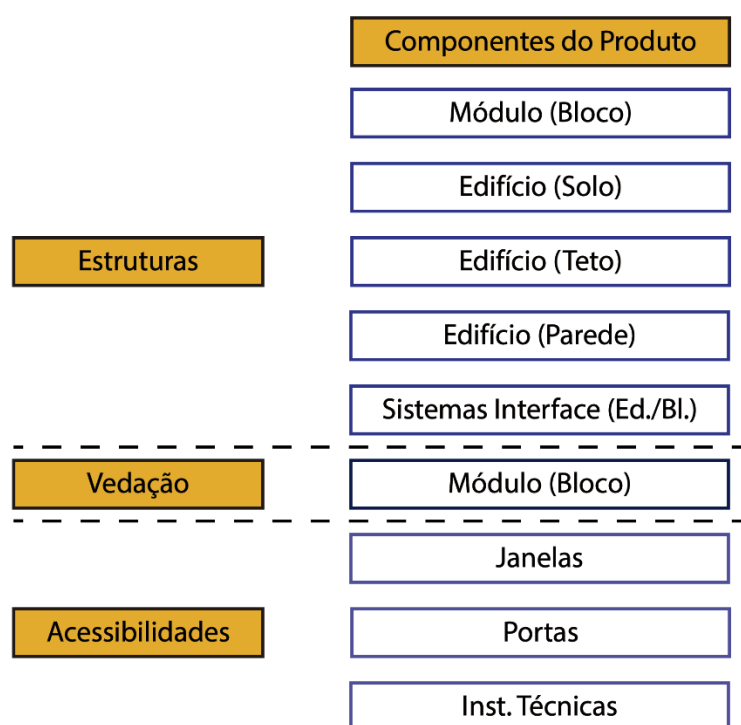
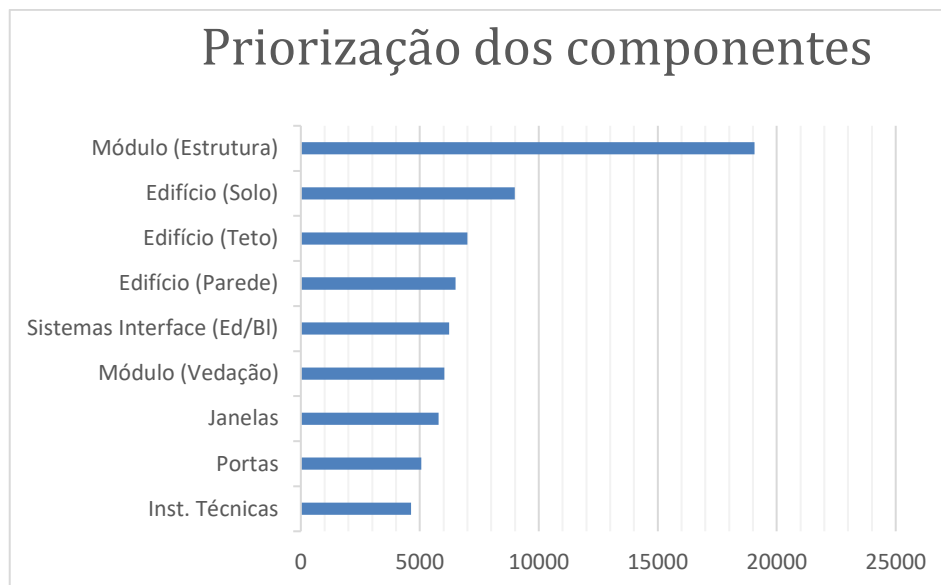


Figura 2.9 - Grupos e subgrupos das componentes que formam o produto final, a habitação modular.

O estudo da Matriz do Produto, Anexo A.2, tem como *inputs* as características de qualidade do produto e os valores correspondentes à sua hierarquização, provenientes do resultado da matriz anterior. Estes valores são cruzados individualmente com os fatores de relação estipulados pelo engenheiro, numa escala de: 9 (forte); 3 (moderado); 1 (fraco).

Segundo os valores obtidos da matriz anterior, mais precisamente da coluna “Atributos de Qualidade Corrigidos”, é possível criar um gráfico de prioridades (Figura 2.10), onde estes se dispõem ordenadamente conforme a sua importância.



*Figura 2.10 - Gráfico de priorização das componentes.*

Com esta priorização final, pode-se dar como concluída a utilização desta ferramenta (QFD) no âmbito deste projeto e, neste ponto, o engenheiro dispõe da informação necessária para passar à fase seguinte de desenvolvimento, a idealização do conceito em si.

## **2.3 Projeto Preliminar e Conceito**

### **2.3.1 Análise Funcional e de Sistemas**

A finalidade da análise funcional é organizar a linha de pensamento do projetista, neste caso, do engenheiro, de modo a que seja perceptível a interação dos vários componentes que formam o produto final. Para isso, este é dividido em módulos, onde cada um é analisado segundo as funções e subfunções adjacentes, assim como a forma como estes se correlacionam com o resto dos elementos.

No caso do produto em estudo, relativo a um módulo habitacional, as partes que o constituem, quando montadas, devem oferecer condições habitacionais suficientes, que assegurem não só, sensações de conforto, bem como de segurança ao cliente. Assim, neste contexto, a análise funcional seria demasiado extensa devido às inúmeras funções e subfunções ligadas à habitação, daí apenas ser feita uma breve análise de sistemas das componentes.

Com isto, realizou-se o diagrama de sistemas com base na matriz da qualidade, realizada na etapa anterior, presente na Figura 2.11:

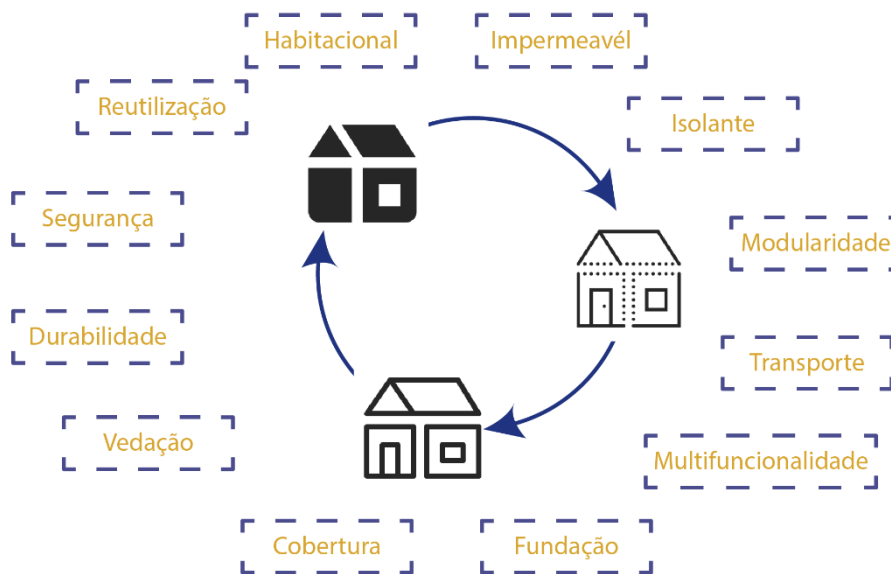


Figura 2.11 - Diagrama de sistemas (Edifício Modular).

### 2.3.2 Geração de Conceitos

Neste ponto, é dado início ao desenvolvimento do conceito para a habitação modular. É nesta fase onde é gerada a linha de desenvolvimento. Esta é suportada por uma visão inovadora que acompanha a priorização obtida na matriz do produto, e é com base nesta que a proposta será estruturada. Assim, de acordo com a hierarquização da matriz do produto, o componente principal do produto final será o Módulo (Bloco), também designado por “bloco” ou “bloco modular”, este será alvo de uma estratégia de desenvolvimento do pensamento inventivo, o processo criativo.

O processo criativo passa por várias fases. Numa fase inicial, é comum haver ausência de conhecimento para gerar uma ideia concreta de imediato, levando o engenheiro/projetista a debruçar-se em fantasias conceituais sobre o que poderá criar. Posteriormente, estas ideias passam por uma fase de comparação com outros produtos dentro da mesma área, que servem de inspiração, formulando assim um conceito mais concreto de como modular o seu consciente de forma a seguir um desenvolvimento mais lógico até conseguir apresentar uma proposta final.

### 2.3.3 Proposta

De acordo com uma cronologia de pensamento, começou-se por idealizar qual a melhor geometria do bloco modular, assim como, a forma como este se interligava entre si e com a estrutura do edifício, e ainda definir as dimensões deste. Com isto, duas linhas de pensamento surgiram, em que este poderia tomar a forma quadrangular ou retangular, como mostra a Figura 2.12.

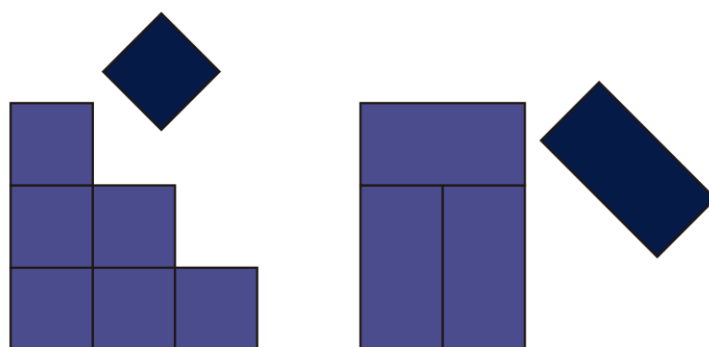


Figura 2.12 - Estudo de forma para o bloco modular de fachada.

No caso da forma quadrangular, apenas existe uma configuração possível de modulação da vedação, e esta baseia-se na adição consecutiva de blocos. Quando analisadas as hipóteses adquiridas através da forma retangular, é perceptível que estas respondem com soluções menos flexíveis devido à sua dupla orientação. Contudo, apesar de oferecer respostas mais limitadas, abrange um maior número de requisitos do cliente, como por exemplo, um menor número de componentes, fácil montagem, daí ser a opção mais adequada, de um ponto de vista pessoal, face o problema.

É de notar que a análise da interação entre blocos modulares (Figura 2.13), integra a característica de que, quando juntos, criem um sistema de vedação que cumpra com os requisitos do cliente, assim como, a versatilidade de criar soluções capazes de englobar estruturas de acesso, mais precisamente, portas e janelas.

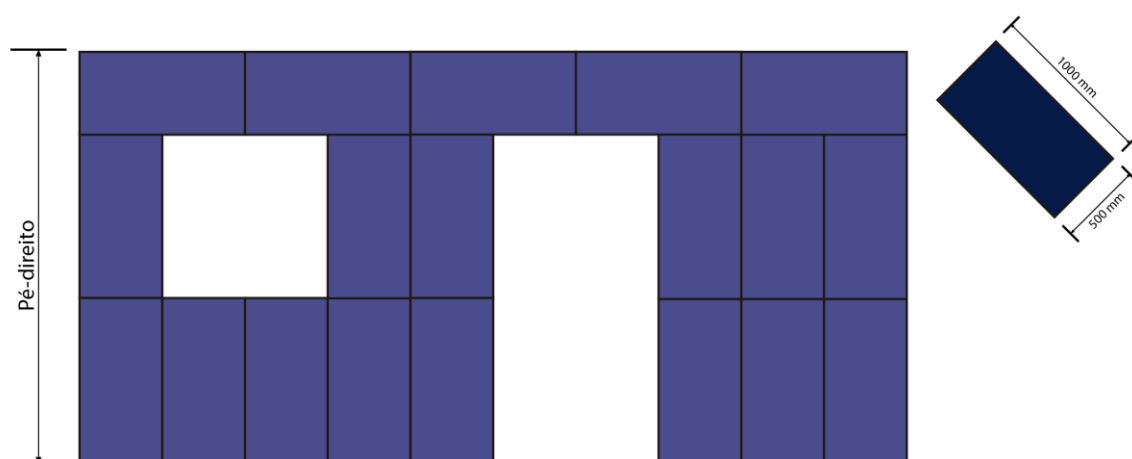


Figura 2.13 – Análise das possíveis configurações e disposições do bloco modular de fachada.

Definida a geometria do bloco, passou-se para o dimensionamento deste. Onde a primeira abordagem foi responder a questões como, cumprimento das normas de habitação, mais precisamente, a altura do pé-direito. Sabendo que esta tem de ter, no mínimo, 2,4 metros de altura idealizou-se que o bloco teria 1,0 metro de comprimento e 0,5 metros de largura que, quando conjugados segundo um sistema de três blocos, dois posicionados na vertical e um na horizontal, este daria uma altura total de 2,5 metros (20).

### 2.3.3.1 Bloco Modular

Recapitulando os dados até agora, sabe-se que a dimensão do bloco modular, 1,0 x 0,5 metros apenas se refere a duas medidas espaciais, o comprimento e a largura, restando apenas a profundidade, que será correspondente à espessura da parede. Sabendo que no âmbito da habitação tradicional a espessura, normalmente, varia entre 120 - 150 mm, tendo sido arbitrada a máxima possível para uma maior flexibilidade no desenvolvimento (20).

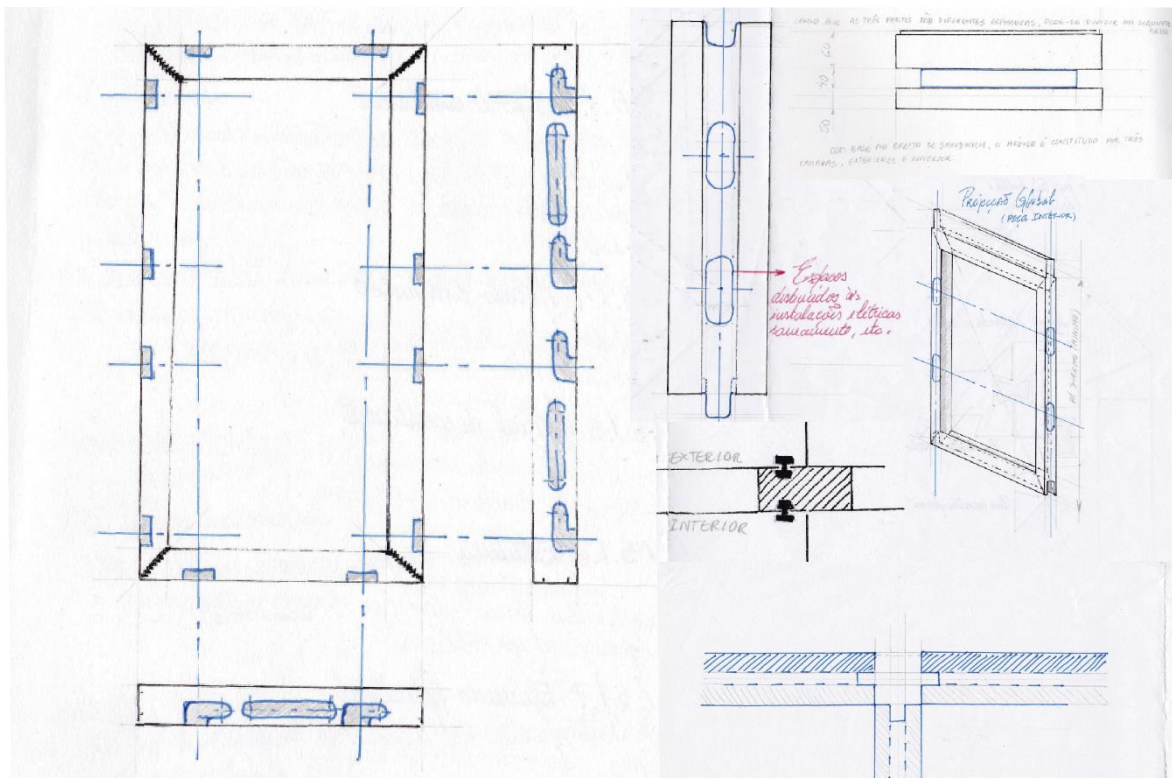


Figura 2.14 - Geração do conceito - Esboços Iniciais.

A linha de pensamento por detrás desta ideia passou pela criação de uma “zona de trabalho” onde maior parte das infraestruturas técnicas, nomeadamente elétricas, sistemas AVAC ou rede sanitária, fossem implementadas e mais tarde cobertas. Começou por esboçar-se um aro,

também denominado por “janela” (Figura 2.14), com várias aberturas laterais. Apresenta, também, duas faces abertas onde o técnico/instalador possa escolher de que lado pretenda fazer a montagem. Quando concluída a instalação, era fechado por um sistema de tampas, componentes exteriores, criando um efeito de *sandwich*, ficando a parte interior isolada.

Idealizou-se que o bloco fosse repartido em três partes, uma interior e duas exteriores, como mostra a Figura 2.15, baseadas na dinâmica de uma placa *sandwich*, comumente usada na construção habitacional. A parte interior, constituída por uma estrutura metálica, seria então a peça principal do bloco e seria responsável pelas componentes de ligação e também idealizada para a instalação futura das infraestruturas técnicas (rede elétrica, aquecimento, ventilação e ar condicionado). As partes exteriores, montadas posteriormente, formariam a fachada não só para fins de vedação, como também de isolamento térmico e sonoro.

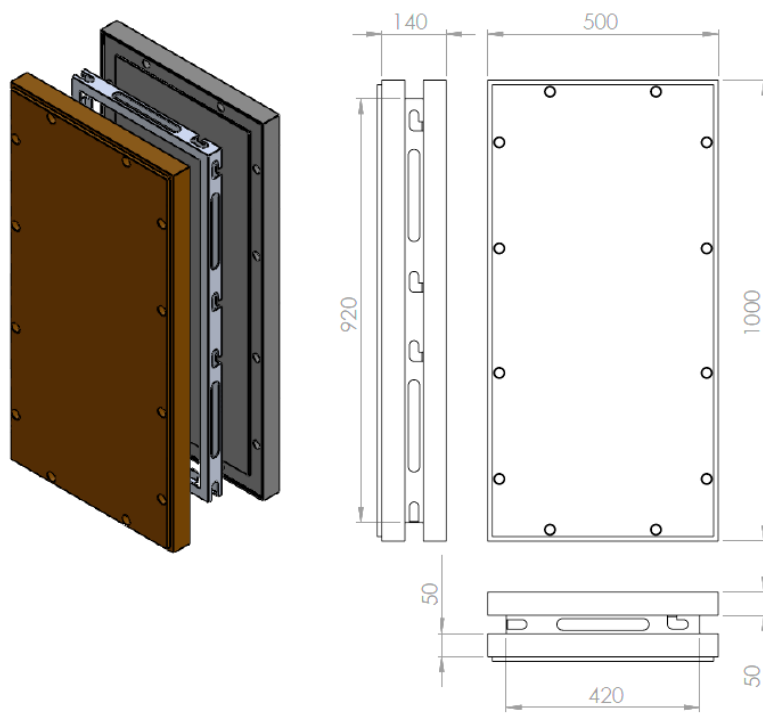


Figura 2.15 - Primeira proposta do bloco modular - Vista explodida.

Como mostra a figura anterior, o bloco modular é constituído por dois painéis maciços e um elemento intermédia de metal com o formato de uma janela. A janela interior, pré-fabricada em perfil U, é constituída por 6 aberturas destinadas a futuras ligações de rede elétrica e sistemas AVAC e por 12 zonas destinadas à ligação de componentes. Por sua vez, as partes exteriores serão fabricadas em OSB ou Fenólico e terão furos associados ao método de ligação, que foi definido mais à frente.

Foi dividido por etapas a fase de desenvolvimento deste projeto, começou-se pela parede básica e suas ligações interiores e futuras ligações com outras paredes. Após isto, passou-se para a ligação com as fundações, o que torna implícito a analogia do chão. Acabando no desenvolvimento e análise da cobertura do edifício (teto).

### 2.3.3.2 Parede

Com base noutros exemplos de estruturas já existentes, juntou-se o facto de o aro do bloco modular também funcionar como um componente estrutural ligado a várias barras de suporte. Estas barras foram adaptadas para servirem como ligação à parte interior do bloco através de pinos de guia. Estes pinos seriam montados de lado através de um sistema roscado, onde posteriormente se colocariam os aros. Tal como o bloco modular, as barras também teriam de garantir a ligação entre blocos, apresentando as mesmas aberturas circulares nos lados mais curtos. Também se começou por fazer uma primeira abordagem ao modo de ligação das peças exteriores ao bloco modular e pensou-se que, não só daria uma maior rigidez à estrutura, como permitiria uma melhor vedação se estas ligassem às barras e não à parte interior, daí os variados orifícios nas faces maiores.

Passou-se então à geração do conceito em si, como mostra a figura seguinte:

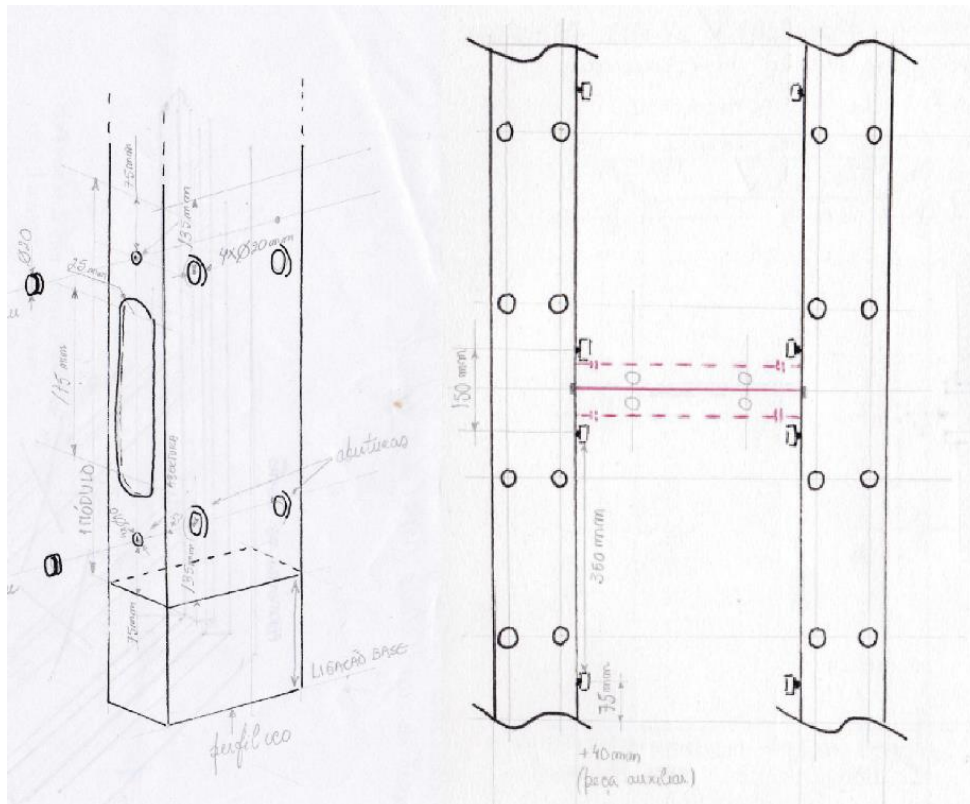


Figura 2.16 - Geração do conceito das ligações entre componentes.



Estabelecendo as dimensões do bloco e tendo uma base na possível geometria do módulo habitacional começou por estudar-se o elemento básico de montagem da casa, a parede simples e sem aberturas (janelas e portas). Foi necessário analisar a interação entre cada módulo e a forma como estes se interligariam. Também foi analisada a disposição possível de acordo com o pé-direito mínimo admissível que, de acordo com as dimensões do módulo, a altura mínima é de 2,5 metros, resultando na seguinte geometria, Figura 2.17.

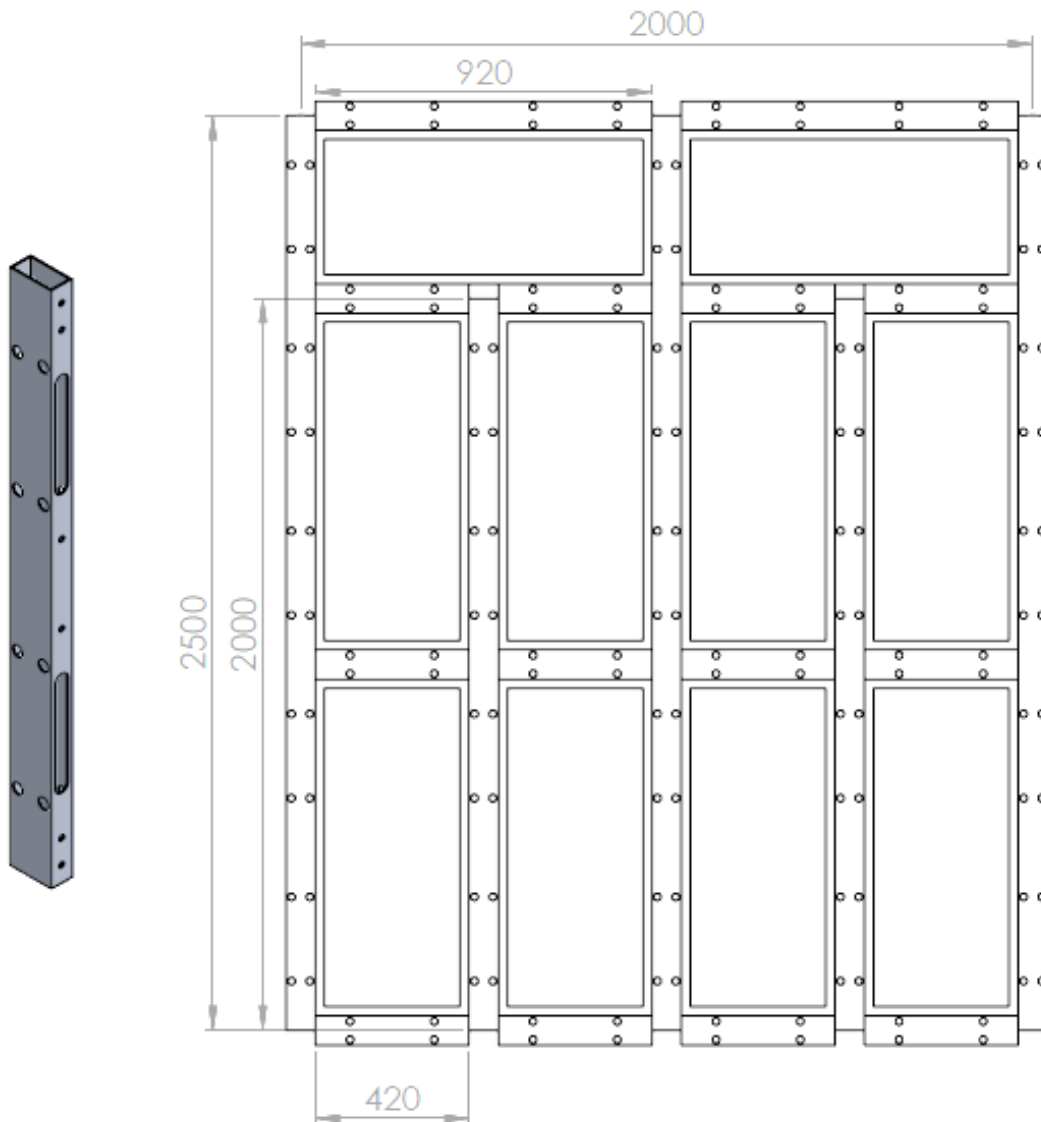


Figura 2.17 - Configuração de barras para a criação de parede.

Neste caso temos uma parede de 2,0 x 2,5 metros (caso mais comum neste projeto), sendo este composto por uma matriz de 2x4 módulos dispostos na vertical seguidos de 2 módulos na horizontal. Esta configuração permite idealizar as aberturas para uma porta com 2,0x1,0 metros e janelas de diferentes dimensões 1,0x1,0 metros ou 2,0x1,0 metros.

Após analisada as possíveis configurações, segue-se o desenvolvimento das componentes de ligação entre blocos e a estrutura. Para esse efeito foi considerado que os blocos, em vez de interligarem entre si, tivessem barras de suporte para uma melhor vedação e rigidez estrutural. Estas barras seriam fabricadas em vários comprimentos para colmatar as diferentes configurações, mas com a mesma metodologia, como mostra a Figura 2.18. As barras terão vários comprimentos de modo a cobrir as diversas configurações, podendo ser de 2500, 2000, 1500, 1000, 500 mm, podendo ainda ter comprimentos de 920, 420 mm, para casos específicos.

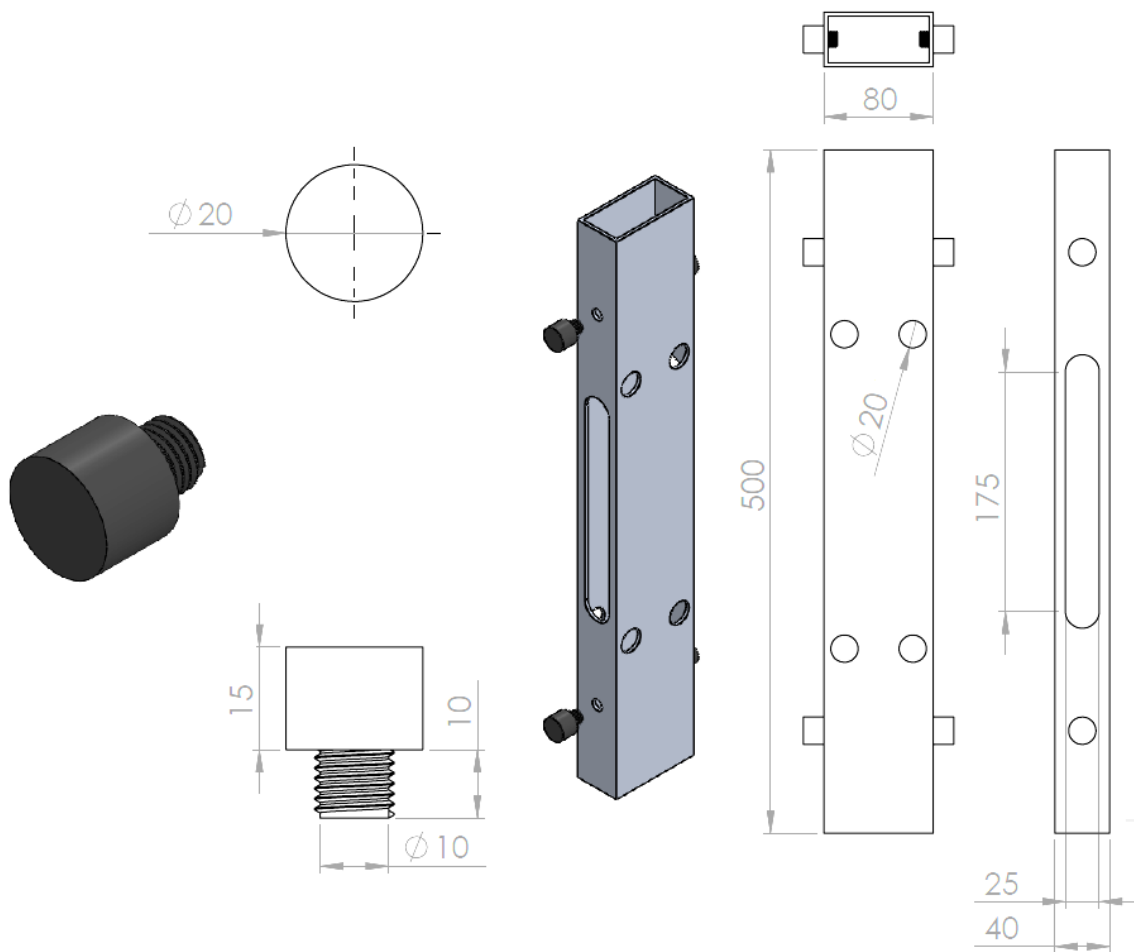


Figura 2.18 - Sistema de ligação barra - peça interior do bloco.

Nestas barras foram colocados pinos guia, como mostra a Figura 2.18, permitindo a fixação fácil e precisa da parte interior do bloco. Também foram definidos vários furos com o objetivo da colocação posterior de uma estrutura com fixação por *Snap-Fits* na fase seguinte, para o preenchimento do envolvente. Nas pontas destas são colocadas componentes de ligação para as vigas, basicamente onde é feito o aparafusamento/ligação roscada.

### 2.3.3.3 Envolvente

Sendo um dos requisitos a modularidade e a reutilização dos componentes, idealizou-se que apesar de se ver o bloco modular como uma peça única, este seria montado separadamente, ou seja, cada peça é montada individualmente e nada depende das outras para o seu bom desempenho, sendo necessário que este faça a vedação e fixação à estrutura base.

Pensou-se numa forma metódica que permitisse a montagem e a desmontagem dos componentes e chegou-se à conclusão que estes poderiam interligar-se por *Snap-Fits*, isto é, os painéis que preenchem exteriormente o bloco modular seriam encaixadas numa moldura envolvida em *Snap-Fits*. Esta moldura teria duas “faces de ataque”, a de contacto com os painéis exteriores e outra que garantisse que esta ficasse fixa na parede básica, como mostra a ilustração na Figura 2.19.

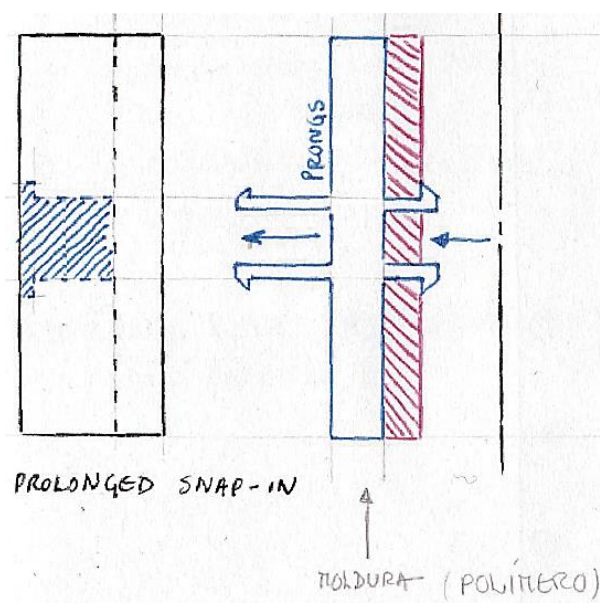


Figura 2.19 - Fixação através de Snap-Fits.

Para além de ser um elo das peças exteriores à estrutura da parede, esta moldura também garante estabilidade e firmeza nas várias barras ao longo da parede, mais precisamente, cada moldura abrange 4 barras, assegurando assim, um grau extra de robustez. Muito provavelmente esta peça teria de ser produzida num material composto ou polimérico com as características necessárias/suficientes para garantir os requisitos funcionais.

Como está representado na figura seguinte, Figura 2.20, a resposta final para este problema baseou-se em garantir que, de cada lado, houvesse um número mínimo/necessário de *prongs* que garantissem firmeza, optando pela colocação de 12 *prongs* nas faces de ataque.

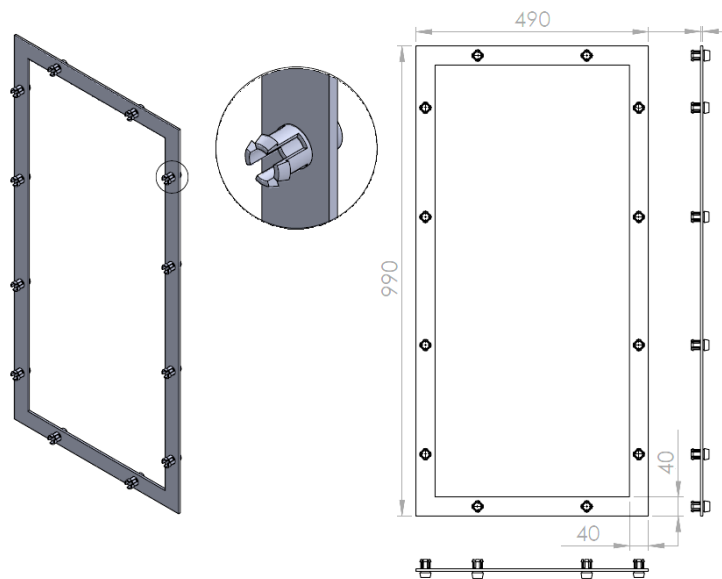


Figura 2.20 - Componente de ligação entre as peças exteriores do bloco - parede básica.

Na conceção das vigas, pensou-se, na homogeneidade e multifuncionalidade, isto é, idealizar um elemento viga capaz de albergar todas as ligações, sejam estas, entre paredes, parede-fundação ou parede-teto.

Começou-se por identificar o que existe no mercado e os processos de fabrico possíveis. Chegou-se à conclusão de que, atualmente, grande parte das peças ligadas à pré-fabricação são concebidas através de processos de extrusão e o material mais usado é o alumínio. À semelhança das barras que constituem a parede básica, também as vigas passarão por um processo de extrusão, garantindo elementos com vários comprimentos.

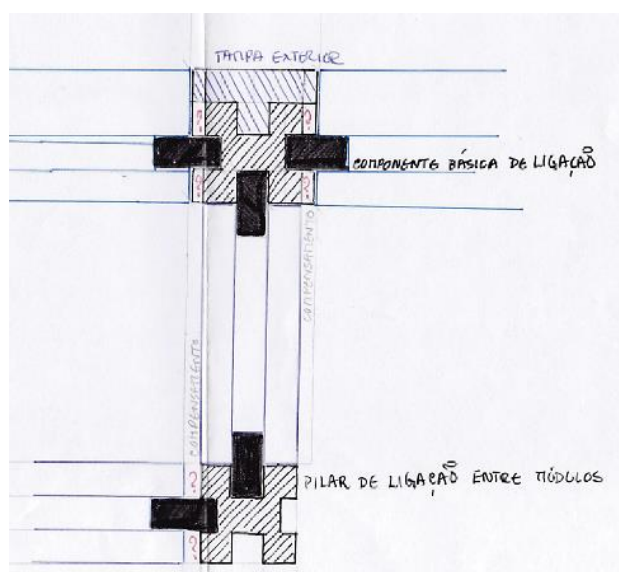


Figura 2.21 - Geração do conceito de ligação entre paredes - primeira abordagem à viga.

Como mostra a Figura 2.21, o perfil das vigas tem uma geometria quadrangular cujo lado é igual à espessura da parede. Assim, a viga consegue abranger não só, ligações de vários ângulos, no caso da ligação de duas paredes, mas também para 3 ou até mesmo 4 paredes. Para isso, foram criadas aberturas que permitissem a ligação dos blocos modulares às vigas, permitindo a montagem de barras para esse propósito.

O resultado é, então, ilustrado na Figura 2.22:

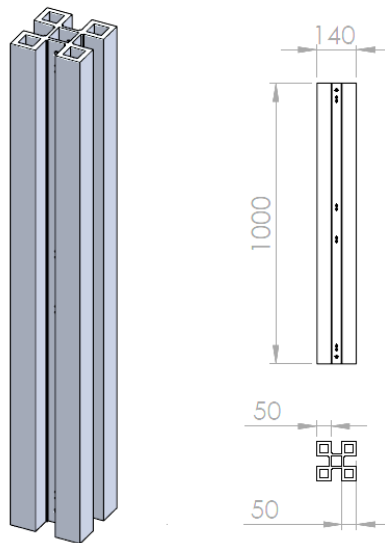


Figura 2.22 - A viga.

- **Ligação a 90º Parede – Parede**

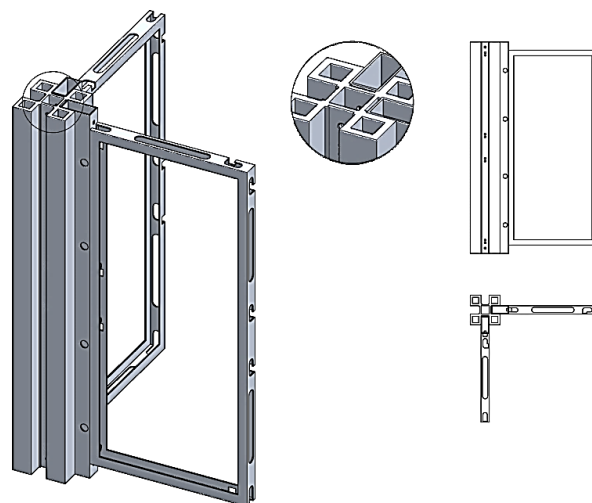


Figura 2.23 - Configuração entre paredes com ligação de 90º.

### 2.3.3.4 Fundações

No âmbito da construção modular, a implementação da base ainda é separada como uma fase inicial. A criação das fundações é uma fase de elevada importância pois, é preciso que esta garanta alto nível de rigidez para aguentar com a estrutura, por isso são utilizados materiais como o betão, também usado na construção tradicional.

Vindo de acordo com antigas dissertações com temas semelhantes a esta, também neste projeto foi considerado que a fundação (lage) fosse efetuada anteriormente e numa fase prévia, por uma equipa especializada e que, na fase de enchimento da lage, fossem colocados elementos de ancoragem para posterior fixação dos suportes de base, encarregues da ligação dos pilares.

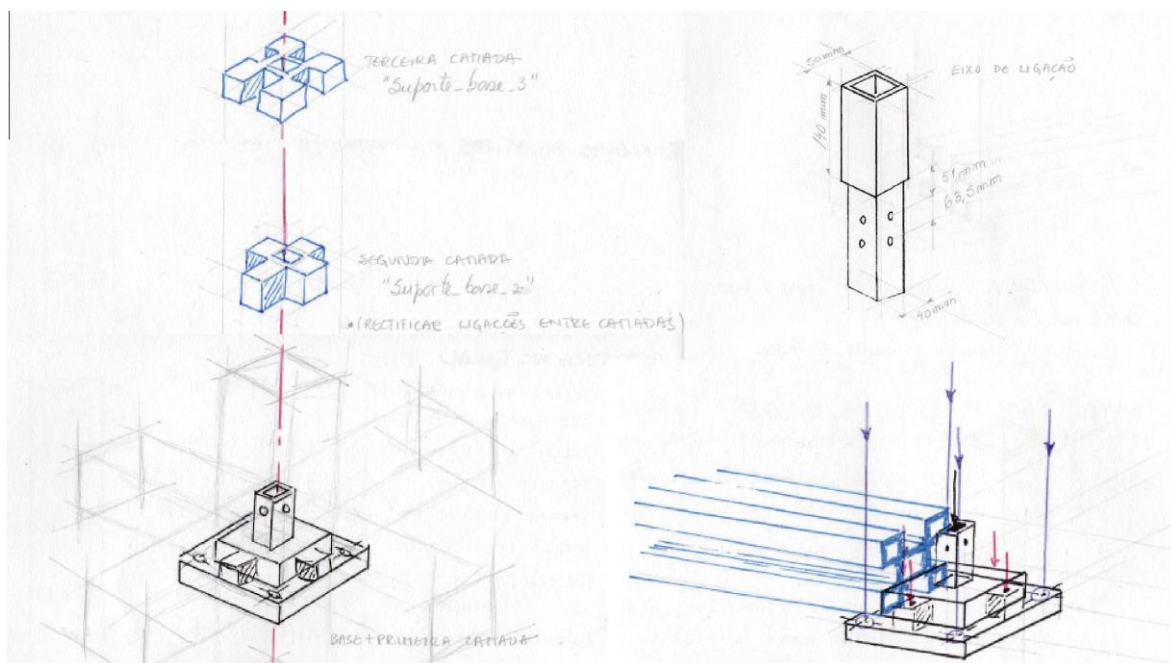


Figura 2.24 - Geração do conceito de ligação à base estrutural.

Como mostra a figura anterior, a proposta de ligação do sistema de parede à fundação deve ser capaz de garantir, não só, estabilidade aos pilares, como, também, permitir a ligação das vigas horizontais, que suportam a zona inferior da parede básica. A ligação é constituída por 3 elementos principais (lado esquerdo) e 1 secundário (canto superior direito). Os elementos principais são montados segundo uma ordem fixa, e em cada elemento há um processo de ligação próprio. Após isso é colocado o elemento secundário que irá fazer a ligação (suporte de base - pilar vertical). Os elementos principais, devido à sua geometria, terão de ser maquinados, assim como o elemento secundário, após a sua obtenção por extrusão.

Foi ainda idealizada uma configuração de habitação, neste caso um T0, de modo a moldar a fundação e posicionar os suportes da base, como mostra a figura seguinte, Figura 2.25.

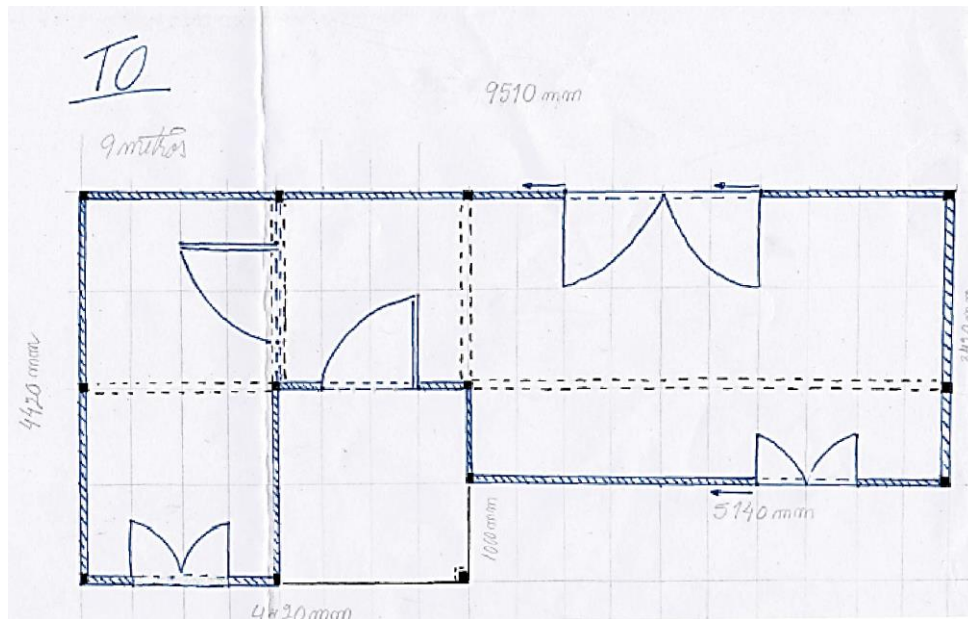


Figura 2.25 - Proposta de planta da habitação.

O edifício é constituído por várias divisões: um *hall* de entrada, uma casa de banho, um quarto/cozinha. Também esta é constituída por diferentes acessos: portas internas e externas, janelas de diferentes configurações, vedações, etc.

- **Ligação Suporte Base – Fundação**

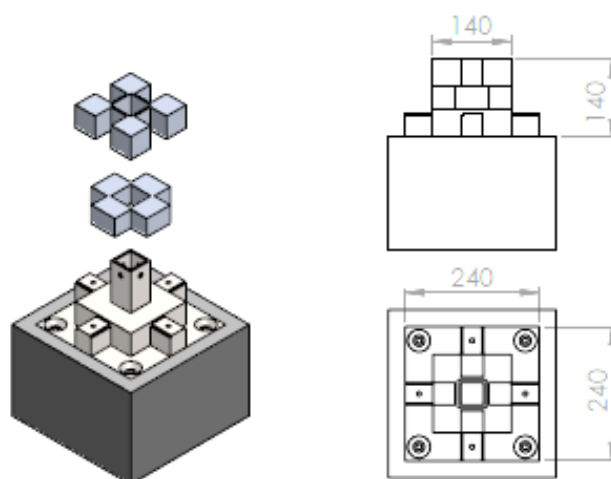


Figura 2.26 - Sistema de ligação dos componentes de elo da base.

### 2.3.3.5 Cobertura

A última fase foi o desenvolvimento da cobertura. É comum pensar que as casas modulares, por normalmente apresentar elementos pré-fabricados rígidos, apresentem tetos com ângulos nulos, daí o conceito de contentor ser normalmente associado a este tipo de habitações. Com o intuito de provocar uma sensação de conforto ao cliente, idealizou-se que a cobertura fosse dividida por “águas”, permitindo fornecer ao cliente satisfação pelo facto de o produto final apresentar semelhanças físicas com a habitação tradicional, através de telhados inclinados. Assim, foi necessário desenhar uma estrutura que: acoplasse com o sistema inferior; aglomerasse a interação de blocos modulares; criasse uma pala de sombreamento, sem que esta interferisse com as aberturas (portas e janelas).

Aproveitando os componentes desenvolvidos até este ponto, elaborou-se uma proposta de modo a aproveitar ao máximo os elementos já existentes, limitando as necessidades de elaboração de novos produtos. Como mostra a figura seguinte, recorrendo a uma projecção lateral, pode-se verificar o resultado das *gaps* resultantes da inclinação dos elementos e desenvolver elementos de forma exclusivos para preencher os espaços “vazios”.

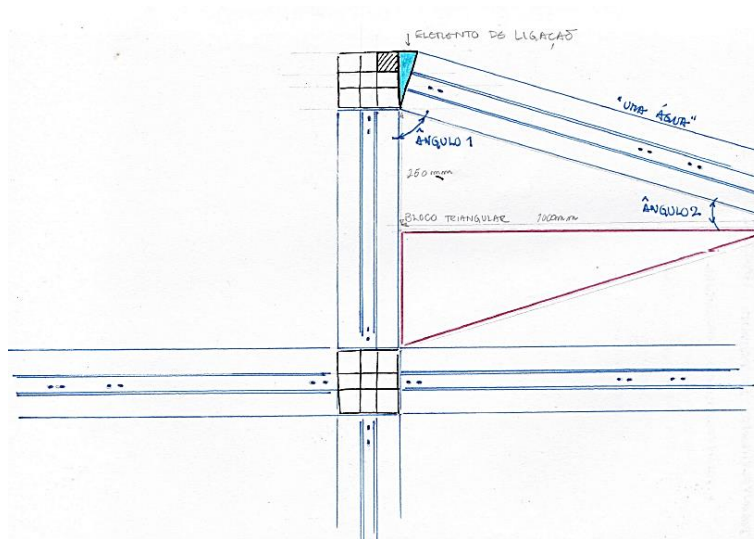


Figura 2.27 - Geração do conceito para a cobertura/telhado

Segundo um dos lados do edifício, são colocadas várias vigas no centro da estrutura de apoio, estas ditam a altura do “triângulo” lateral, expressando a altura do telhado em relação à estrutura base. São colocadas, também, várias vigas com um ângulo fixo e que cobrem o resto da



estrutura, para que, mais tarde, seja aplicada a pala de sombreamento. Após isto, através da mesma metodologia, aplica-se o preenchimento dos blocos modulares aos dois planos das “águas”.

Na zona lateral é “cortado” um bloco na diagonal resultando em triângulos, e assim, preencher a zona lateral do teto, nesse aspeto é necessário a fabricação de componentes específicos para essa finalidade, Figura 2.28.

- **Ligação Viga – Cobertura**

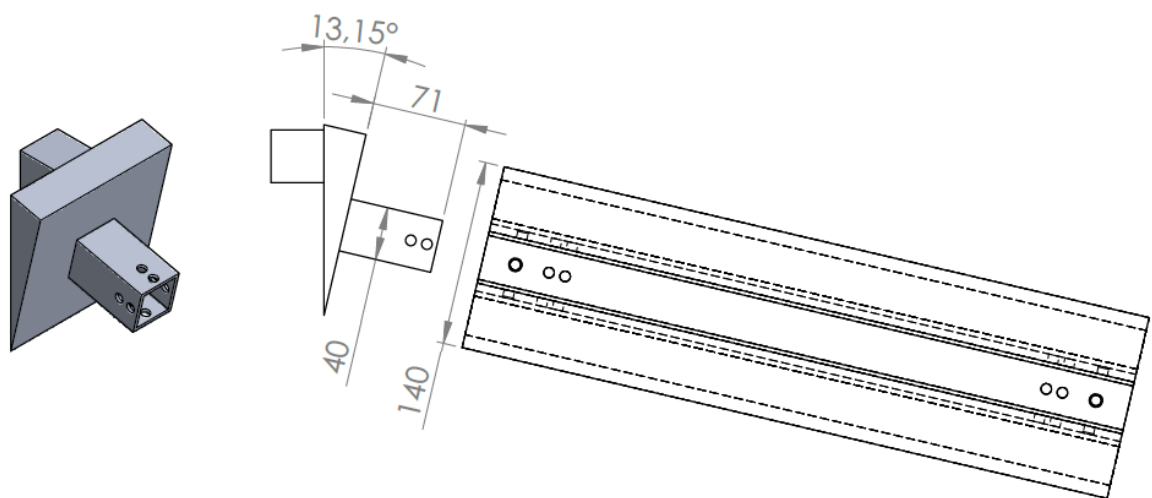


Figura 2.28 – Elemento exclusivo de ligação à cobertura.

### 2.3.4 Análise do modo de falha – FMEA

Posteriormente à fase da geração do conceito, segue-se a sua avaliação. Esta avaliação consiste na deteção de possíveis problemas provenientes da fase anterior, seguidamente é feita uma análise crítica do resultado antes de se progredir para o projeto de concretização. Esta *milestone* visa identificar as possíveis falhas e estimar os efeitos que estas possam causar. É usado uma ferramenta que prevê a ocorrência de erros, assegurando a sua correção, denominada de Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA – *Failure Mode Effects Analysis*).

Inicialmente, na análise do FMEA são identificadas as funções, após isto várias questões, como: Que tipo de falha? Qual a sua causa? Quais os possíveis efeitos? são levantadas de modo a clarificar as falhas apresentadas. Posteriormente, estas são avaliadas segundo três fatores: o rendimento do produto; a segurança do utilizador e as necessidades de tomar medidas corretivas, ajudando a clarificar o tipo de falha, podendo esta ser classificada segundo o seu nível de risco em: falha menor (●), falha maior (●) ou falha crítica (●).

É então aplicado o FMEA aos vários sistemas até agora apresentados, o resultado encontra-se sob a forma de resumo na Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - FMEA aplicado ao produto final - Habitação modular.

Item/Função	Tipo de Falha Potencial	Causa Potencial de Falha	Possíveis Efeitos das Falhas	Termos Críticos da Falha	Ação Preventiva Recomendada
Sistema de vedação global	Impermeabilidade e reduzida	Sistemas de ligação incompletos	Diminuição da <i>performance</i> térmica e sonora/Infiltração	Falha Maior	Criação de acessórios vedantes e acabamentos
Método de ligação Estrutura - Parede exterior/interior	Resistência mecânica da Ligação por <i>Snap-fits</i>	Possíveis tensões de corte distribuídas pelos <i>prongs</i>	Colapso dos componentes do envoltivo exterior/interior	Falha Maior	Simulação e dimensionamento sobre diferentes materiais
Ligação dos componentes do sistema parede	Fixação dos pilares horizontais de topo	Possível concentração de tensões nas extremidades	Colapso dos componentes durante a montagem	Falha Maior	Criação de elementos de suporte e simulação do conceito
	Fixação das barras horizontais de apoio ao envoltivo	Sistema de ligação às barras verticais	Colapso dos componentes durante a montagem	Falha Maior	Criação de elementos de suporte e simulação do conceito
	Fixação das barras verticais de apoio ao envoltivo	Sistema de ligação à estrutura global comprometida	Falência mecânica do componente principal utilizado	Falha Maior	Criação de elementos de suporte e simulação do conceito
Ligação dos componentes estruturais da cobertura	Fixação das vigas inclinadas	Sistema de ligação incompleto	Deslize das vigas inclinadas e de toda a estrutura subjacente	Falha Crítica	Criação de elementos de ligação e simulação do conceito
	Simetria da cobertura	Diferentes inclinações das vigas estruturais	Diminuição do carácter modular	Falha Menor	Criação de elementos de ligação e simulação do conceito
	Envoltivo Lateral da cobertura	Preenchimento exclusivo para cada caso	Diminuição do carácter modular	Falha Menor	Definição de um ângulo <i>standard</i> para a montagem

Assim, tendo em conta o resultado do FMEA, foram efetuadas alterações necessárias de modo a garantir que as falhas maior e crítica fossem corrigidas.

## 3 Projeto de Sistemas

O projeto de sistemas passa pelo desenvolvimento do sistema funcional do produto e a análise e desenvolvimento da ligação entre todos os seus elementos ou componentes. É, nesta fase, onde, para os componentes isolados, são definidas as suas ligações e interações e montados de modo a criar o produto final.

Ao longo da sua montagem é importante demonstrar o modo de funcionamento dos sistemas, assim como a iteração torna perceptível como funciona a multifuncionalidade de certos componentes e as diferentes configurações finais que estes podem proporcionar.

### 3.1 *Design for Assembly*

O *Design for Assembly* (DFA) traduz a mesma função que o manual de instruções de um produto, isto é, certos tipos de produtos são entregues ao cliente final divididos em vários componentes e, juntamente com este, encontra-se um documento, grande parte das vezes ilustrativo, que indica de uma forma simples e perceptível cada passo na ligação/montagem das suas partes. Esta ferramenta procura, também, simplificar a interação mecânica durante a sua montagem, assim a utilização de uniões mecânicas é tida como prioridade e a fabricação de peças produzidas, segundo métodos mais complexos, são evitadas.

É então criado um ponto de vista do produto e da sua montagem, onde os componentes, antes idealizados na fase de desenvolvimento do conceito, são configuradas em diferentes sistemas de modo a comprovar a veracidade da ligação e assim definir uma ordem de montagem de um modo facilitado.

Segundo os vários sistemas e ficheiros CAD gerados a partir do conceito, foi efetuada uma compilação de iterações que representam a montagem através do *software* de CAD utilizado, o Solidworks. Nesta representação é mostrado uma sequência de montagem, suportada por comentários e ilustrações.

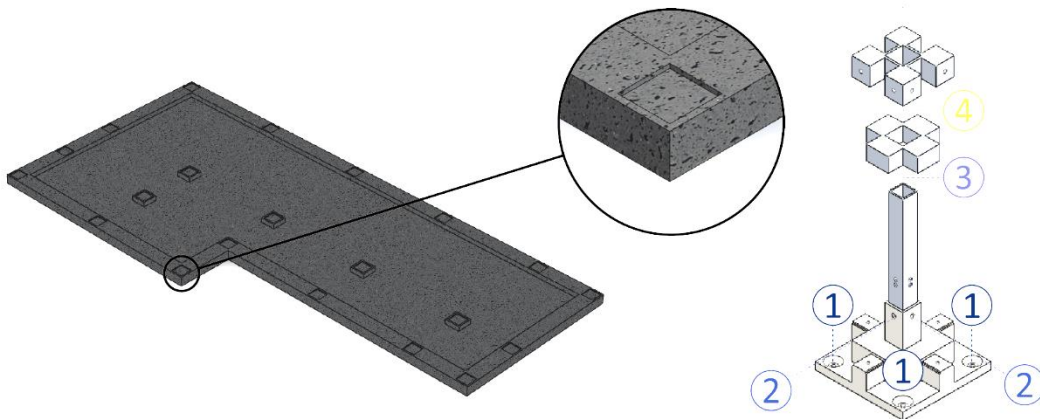
- **Primeira Sequência:**

Começando pela base, esta consiste num perímetro de betão, (Figura 2.25), com uma altura suficiente para gerar a caixa de ar, necessária para a montagem dos sistemas de saneamento, elétrico e AVAC. É nesta fase onde serão moldados, na superfície de betão, espaçamentos necessários para os componentes de ligação, concretizados anteriormente, Figura 2.26.

Então, de acordo com a planta idealizada, foi realizado um perímetro de betão, como mostra na Figura 3.1. Esta superfície é constituída por 21 plataformas capazes de albergar a Ligação Suporte Base – Fundação.

Esta primeira iteração baseia-se no seguimento da numeração representada, isto é:

1. Posicionamento das bases nos espaçamentos próprios, seguido da fixação destas à superfície de betão;
2. Em cada uma destas é colocado um componente de perfil quadrangular devidamente preparado para a ligação à peça antecedente. Este componente, inicialmente não previsto, constitui o papel de ligação a uma viga;
3. Consecutivamente é posta um componente intermédio que encaixará na peça inicial, mas obrigatoriamente esta passará pela segunda;
4. Para concluir, da mesma forma à anterior, é colocada um último elemento que finalizará esta primeira iteração;



*Figura 3.1 - Fundação de betão com reentrâncias para a Ligação Suporte Base.*

- **Segunda Sequência:**

Na fase seguinte, são posicionados os pilares e as vigas que criarão a estrutura do pavimento. As vigas são dispostas na horizontal, criando limites em volta da superfície de betão. Após isto, é definido o seguimento de montagem, isto é, a instalação dos componentes seguintes depende da forma como são montadas as vigas e estas têm de ser montadas gradualmente consoante a

preparação da sua vedação, como mostra na Figura 3.2. Este posicionamento é importante porque, caso não seja cumprido, poderá comprometer o devido encaixe das restantes peças.

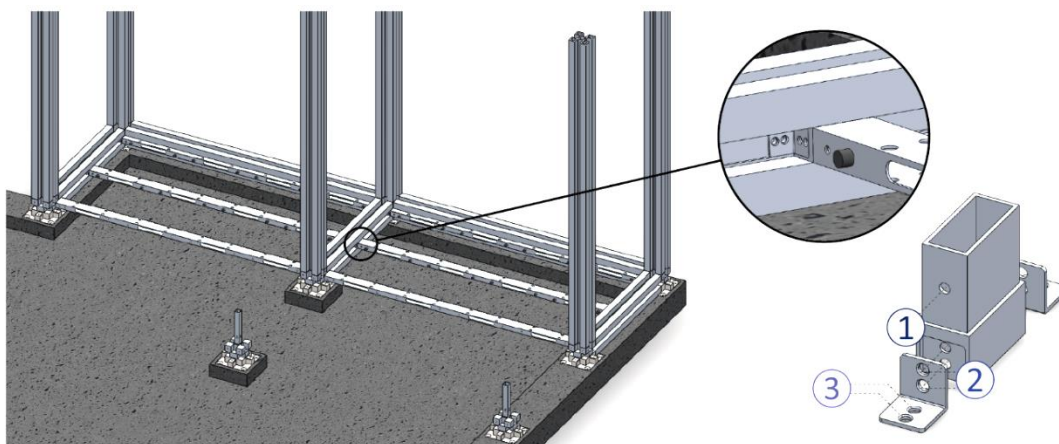


Figura 3.2 - Organização das primeiras vigas e montagem das barras de suporte do chão.

Nesta iteração é demonstrado o método de montagem das barras às vigas através de elementos de ligação extra. Estes elementos são compostos por uma peça principal, que é colocada nas extremidades das barras e uma peça de ligação em formato “L” que, dependendo do posicionamento da barra, é fixa à viga através de parafusos, Figura 3.2:

1. Inicialmente são colocadas as peças principais nas extremidades das barras, já compostas como mostra a Figura 2.17, seguido da sua fixação;
2. Dependendo da sua disposição da vedação, são fixas às peças anteriores os elementos em “L”, podendo ser apenas num ou em ambos os lados;
3. As barras são depois posicionadas e ligadas na armação criada pelas vigas;

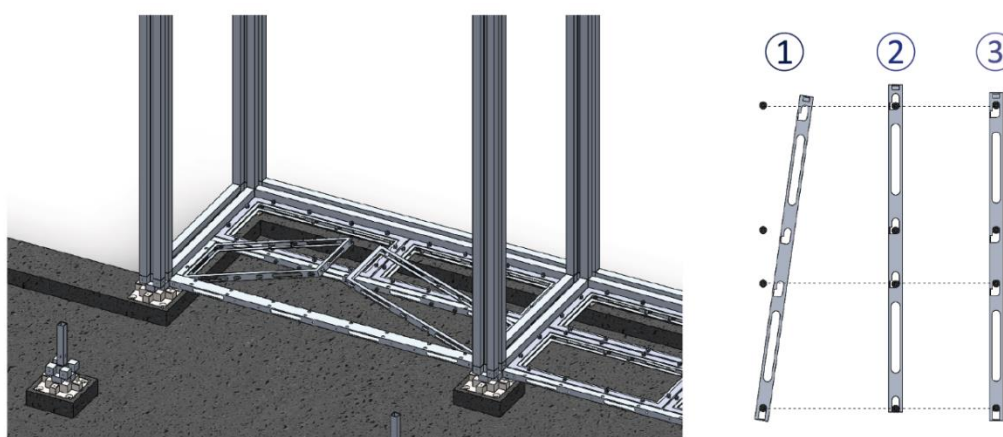


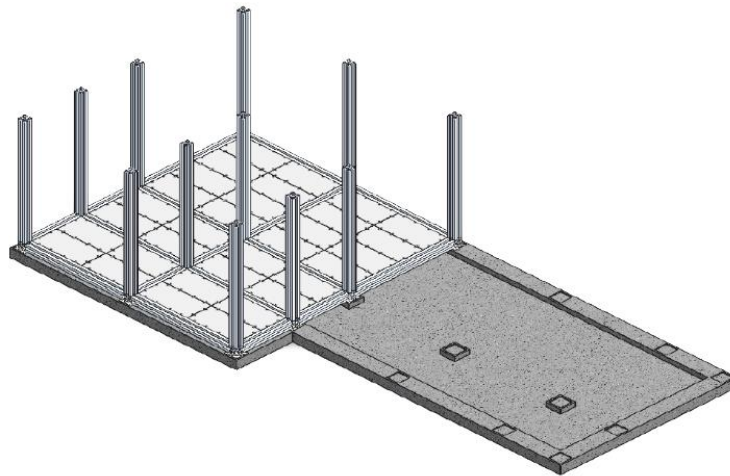
Figura 3.3 - Assentamento da vedação do chão e sequência de ligação da peça interior do bloco modular.

Na terceira iteração são colocadas as peças interiores, denominadas por “janelas”, e aro do bloco modular. Esta é a primeira das três partes que constituem o bloco modular a ser montada devido ao facto de esta pertencer à estrutura interna e as restantes serem elementos de vedação. São, também, montadas barras de apoio de modo a criar a estrutura representada na Figura 2.17.

É importante frisar que a peça interior do bloco modular apresenta uma sequência de montagem própria devido ao espaço livre de montagem que esta possa não ter. Esta é representada esquematicamente na Figura 3.3:

1. Inicialmente, é inserida a extremidade do bloco, que apresenta as aberturas de diferente formato, nos pinos guia adjacentes;
2. Consecutivamente, o resto da peça é ajustada aos restantes pinos;
3. Após isto, esta é devidamente ajustada até ser posicionada corretamente;

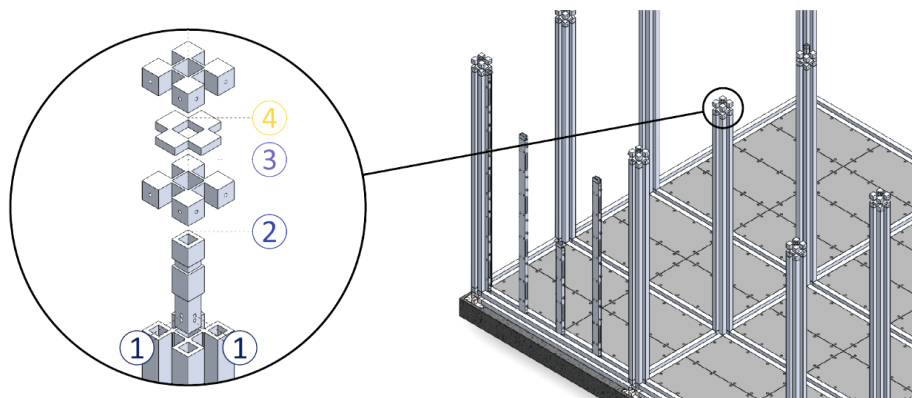
A montagem do pavimento é dada como concluída após a aplicação dos componentes exteriores do bloco modular. Estas são ligadas à peça que traduz a ligação “intrabloco”, representado na Figura 2.19, que por sua vez é ligada à estrutura anteriormente mencionada.



*Figura 3.4 – Fase final da montagem do chão.*

- **Terceira Sequência:**

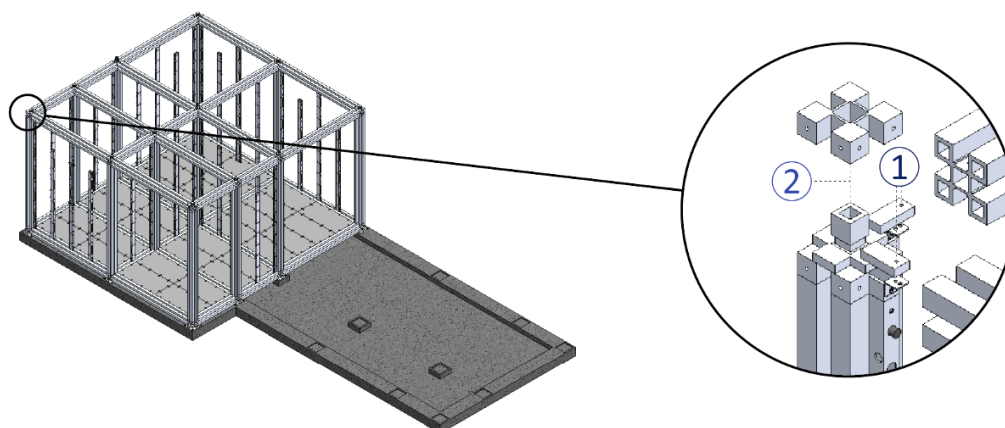
Nesta fase inicia-se a montagem das paredes e, com isto, é também abordado as possíveis conjugações e modos de criar aberturas, de forma a incluir acessibilidade no produto final, como portas e janelas. Para isso, é necessário concluir a estrutura de suporte do envolvente através da implementação de barras.



*Figura 3.5 – Dinâmica de ligação topo das vigas e implementação das barras da estrutura interna de parede.*

Antes da montagem da parede em si, é necessária a “preparação” dos pilares verticais para a junção das vigas de topo das paredes. Esta é feita em todas as vigas, na seguinte sequência (Figura 3.5):

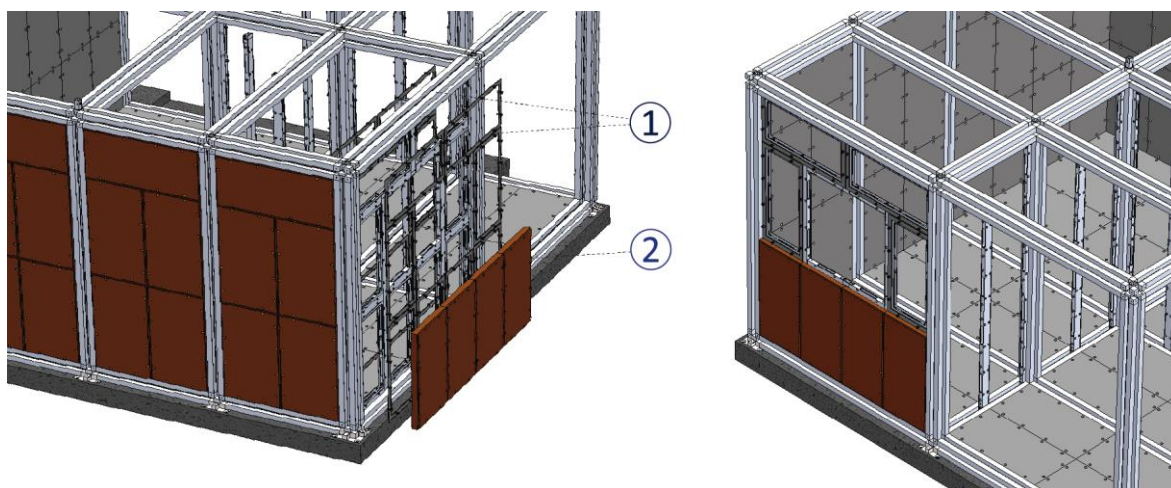
1. A ligação começa pela fixação de um componente de perfil quadrangular em cada uma das vigas transversais (Idêntica à Ligação Suporte Base). Esta peça é composta por pequenas peculiaridades e detalhes necessários para as ligações posteriores;
2. Seguidamente, é encaixado um elemento intermédio, também usado na ligação mencionada;
3. Após isto, é colocado o componente seguinte de iteração, também já usado, mas neste caso apenas constitui metade do seu volume;
4. Conclui-se com a repetição do elemento usado anteriormente no ponto 2.



*Figura 3.6 - Ligação das vigas de topo.*

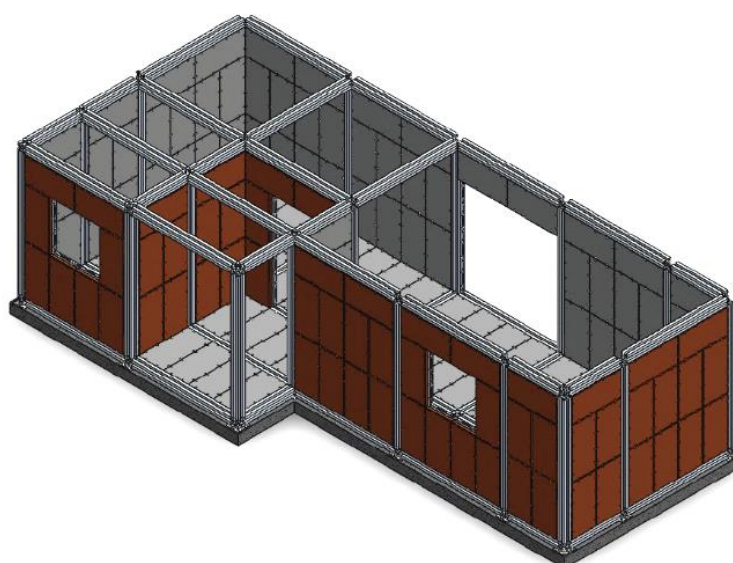


Apesar da iteração, antes descrita, se aplicar a todas as vigas, há um passo importante que apenas se aplica individualmente, pois depende do número envolvente de vigas, que se encontra representado na Figura 3.6. Este passo diferencia-se na colocação de entalhes de modo a suportar provisoriamente as vigas, podendo ser montados entre 2 e um máximo 4 entalhes.



*Figura 3.7 - Finalização da vedação e montagem das paredes.*

Muito idêntico à forma como foram implementados os blocos modulares anteriormente no chão, o mesmo acontece na montagem das paredes. Estas apresentam a peculiaridade de serem configuradas segundo disposições diferentes, garantem a mesma metodologia, sendo estas compostas, ou não, por aberturas. A Figura 3.7 mostra a priorização dos elementos que compõem a parede e, assim, é aplicado a toda a envolvente da habitação, sendo paredes internas ou externas (Figura 3.8).

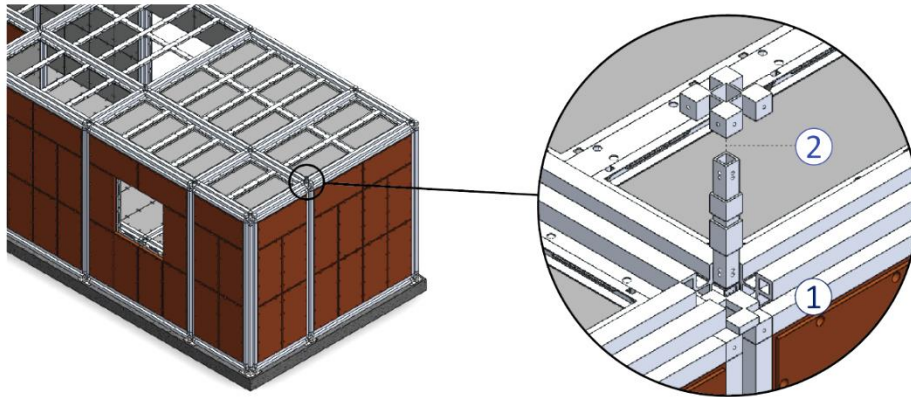


*Figura 3.8 - Conclusão da terceira sequência, assim como dos elementos da parede.*



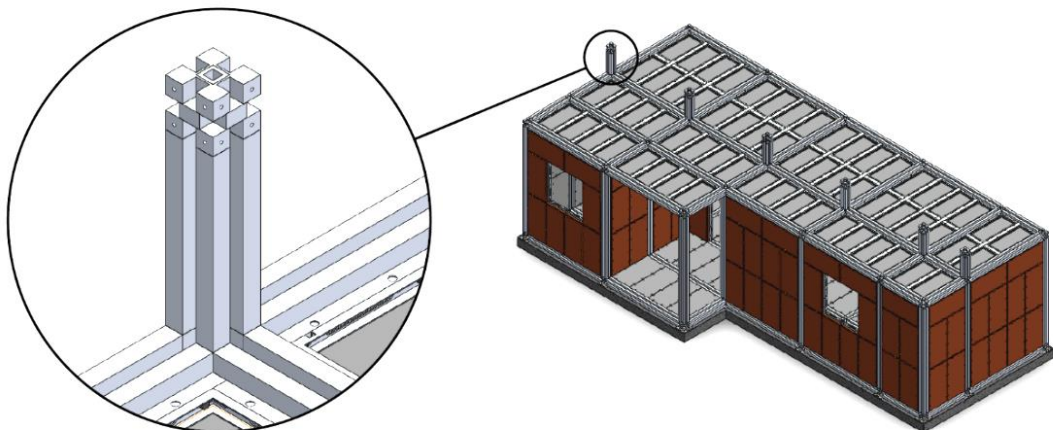
- **Quarta sequência:**

Concluída a fase de montagem das paredes, segue-se a preparação da zona superior da estrutura. Para a montagem da cobertura, constituída por um sistema de duas águas, é necessário a criação de uma subestrutura com altura suficiente para esse fim.



*Figura 3.9 - Montagem das vigas sem pilares de apoio e montagem da peça de apoio à cobertura.*

Utilizando o mesmo sistema de união usado na ligação no topo dos pilares verticais (Figura 3.5), substitui-se um dos componentes por outro capaz de criar ligação bidirecional (Figura 3.9). Trata-se, basicamente, da mesma metodologia com a exceção do primeiro elemento permitir criar um sistema de dupla ligação. Isto repete-se ao longo das vigas criando um segmento de pequenos pilares ao longo da edificação (Figura 3.10).



*Figura 3.10 - Conclusão na montagem do teto interior e colocação das vigas de apoio à cobertura.*

Idealizou-se que a cobertura fosse homogénea, portanto, foi necessária a adição de mais blocos modulares para criar um excerto de modo a que a base da cobertura formasse um retângulo regular (Figura 3.11). Este excerto não é suportado por pilares na vertical, então, criou-se um

elemento extra (Figura 3.11) para ajudar a distribuir as possíveis cargas durante a montagem da cobertura.

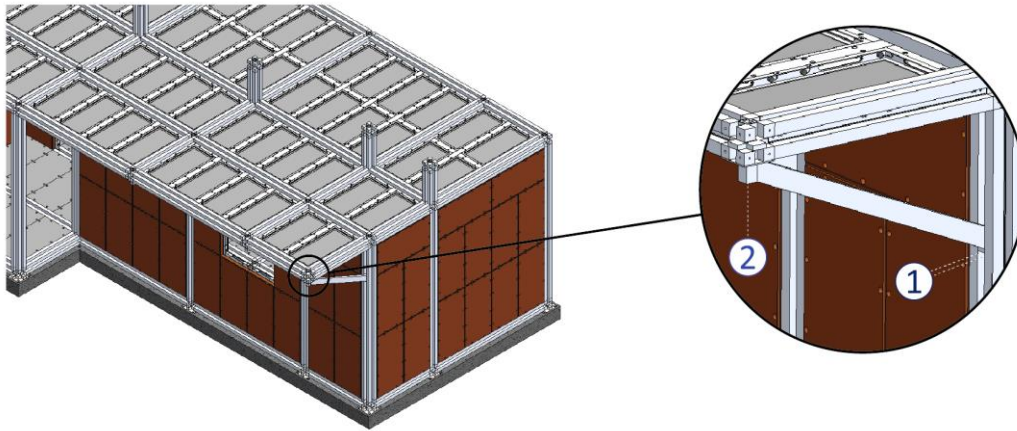


Figura 3.11 - Montagem da pala de sombreamento.

- **Quinta Sequência:**

Posteriormente à disposição dos pilares de apoio à estrutura da cobertura, são preparadas as vigas responsáveis por estabelecer o ângulo e criar um esqueleto para montagem futura dos blocos modulares. Nesta fase foi necessária a criação de dois elementos exclusivos.

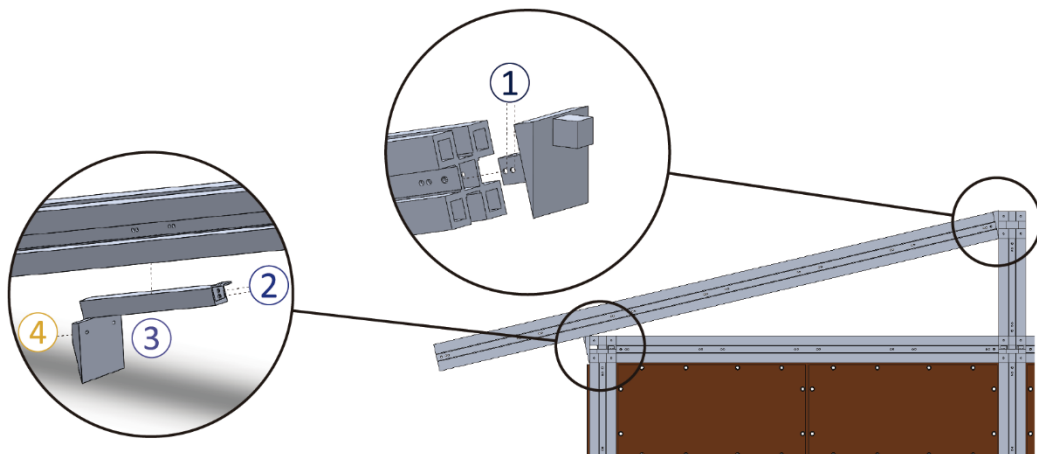
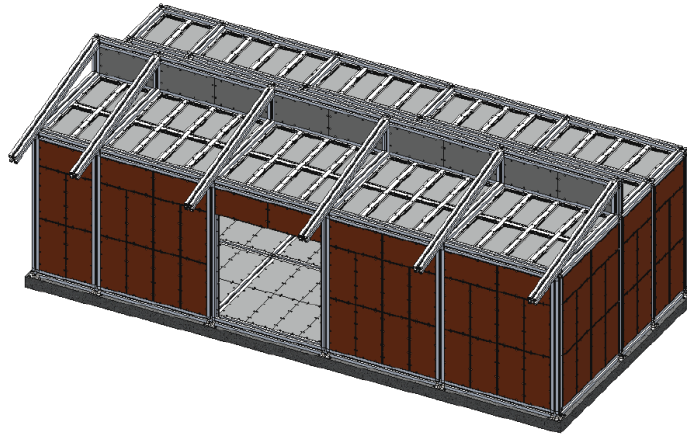


Figura 3.12 - Montagem de vigas inclinadas de suporte à estrutura da cobertura.

Tal como mostra a figura anterior, a montagem correspondente à preparação da viga inclinada passa por:

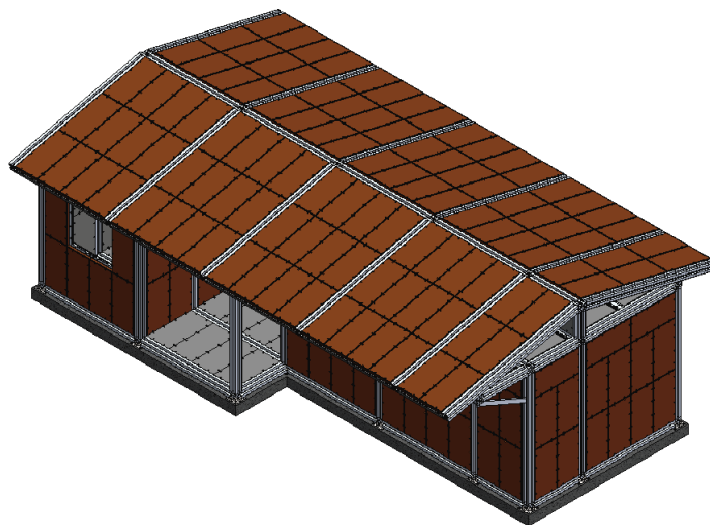
1. Colocação numa das extremidades de um elemento de ligação que fixará a viga na zona superior dos pilares de apoio;

2. Consecutivamente, o segundo elemento é preparado, acoplado a este um componente em "L", anteriormente utilizado;
3. Este elemento é encaixado na face da viga virada para baixo, esta é ajustada para garantir que a viga fica encostada à extremidade;
4. Após isto, o elemento é fixo na zona lateral da ligação de topo da viga, garantindo maior estabilidade;



*Figura 3.13 - Montagem da "crista" central de suporte à cobertura.*

Este sistema de montagem é repetido sucessivamente ao longo da cobertura até formar um esqueleto de completar o sistema de vedação. Devido à não simetria da habitação e de modo a que ambas as águas formem o mesmo ângulo, para resolver o problema foram projetados novos componentes (Figura 3.12).



*Figura 3.14 - Preenchimento da cobertura.*

A montagem da habitação modular foi dada como concluída após a colocação do envolvente lateral da cobertura e assim, é apresentado o modelo final do conceito, Figura 3.15.



*Figura 3.15 – Preenchimento das laterais e conclusão estrutural da habitação.*

Após concluída a montagem de todos os componentes deparou-se que ainda existiam alguns “problemas” na quinta sequência: na fixação das vigas laterais na crista de suporte à cobertura, contrariamente à ligação na extremidade da base da cobertura, esta apenas apresenta um método de ligação de encaixe simples. Outra advertência surgiu quando abordada a fase do preenchimento das laterais da cobertura, devido à não simetria das águas. Foi impossível criar um elemento que abrangesse ambos os casos, isto é, de acordo com a abordagem que foi feita inicialmente tornou-se complicado conjugar um componente triangular capaz de preencher duas áreas distintas.

Outro ponto, não tão abordado, foram os acabamentos de vedação das extremidades do produto final, isto é, a habitação quando terminada apresenta bastantes elementos despidos: faces viradas para o exterior dos pilares e das vigas, as margens da cobertura, tanto na parte superior, como inferior e ainda os componentes de ligação entre vigas. Apesar de não constituir uma adversidade a nível estrutural, compromete o isolamento do produto e até mesmo a sua impermeabilidade, o que facilmente poderia ter sido colmatado com a apresentação de uma sexta sequência com a colocação de elementos de acabamento.

Contudo, a interação dos blocos modulares apresenta um resultado bastante satisfatório apesar de certas ocorrências, como por exemplo, a colocação da parte interior deste ter resultados diferentes num caso real de montagem.

## 4 Simulação e análise estrutural

Concluído o projeto de sistemas, foi realizada a simulação e análise estrutural de alguns elementos considerados relevantes neste projeto. Esta fase teve o propósito de validar a fase anterior, relativa ao desenvolvimento do conceito. Durante a geração de conceitos foram idealizados determinados componentes, que, posteriormente, foram modelados por CAD 3D, a fim de criar um sistema funcional.

Na fase do *Design for Assembly* foi realizada a montagem do produto final, desde a primeira iteração até a sua conclusão. No decorrer desta, identificaram-se dois sistemas que se repetiam na maioria das sequências: Criação de uma estrutura de envolvente; Ligação entre vigas. Segundo isto foi escolhido uma estrutura que abrangesse estes dois sistemas, a fim de analisar a sua *performance* quando sujeita a várias cargas e, assim, extrapolar o seu resultado como se fosse aplicado ao produto final.

Para a realização destas simulações, inicialmente, pensou-se que estas poderiam ser realizadas no mesmo *software* utilizado para a modelação CAD (Solidworks), mas devido a complicações na definição das condições fronteira e na criação de malha por parte deste, optou-se por exportar os ficheiros CAD para outro *software* (Fusion 360). Estes *softwares* utilizam componentes baseados em *Finite Element Analysis* (FEA) durante as simulações.

### 4.1 Materiais

Previamente ao estudo de carga é necessário atribuir aos componentes desenvolvidos o material em que estes são constituídos, para que o *software*, utilizando as suas propriedades mecânicas, possa representar o mais próximo da realidade aquilo que seria a reação do sistema em análise e o seu comportamento.

A escolha do material passa, então, por uma pequena análise no que é usado na construção de uma habitação modular. Referenciando o subcapítulo da Revisão Bibliográfica, sabe-se que o material mais usado nas construções deste tipo tem como base o tipo de construção *Light Steel Framing*, sendo este, o nosso ponto de partida.

#### 4.1.1 Liga de alumínio

Como já foi indicado, o alumínio representa um dos maiores mercados de material ligado à construção civil, é comumente utilizado de diversas maneiras e em vários elementos de

edificação. Este continua a ser a principal escolha nos diferentes tipo de soluções devido ao facto de ser durável, resistente e ecologicamente correto.

Foi, então, escolhido o alumínio 7075-T6 segundo um catálogo atualizado, (21), não só por ser uma série relativamente recente, mas também por ser usado comumente em estruturas metálicas deste tipo. Este material apresenta as seguintes características:

*Tabela 4.1 - Valores definidos para o alumínio 7075 - T6 no Solidworks.*

<b>Propriedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Módulo de Elasticidade	7.20e+04	$N/mm^2$
Coefficiente de <i>Poisson</i>	3.30e-01	$N/A$
Módulo de cisalhamento	2.69e+04	$N/mm^2$
Densidade	2.81e+03	$Kg/m^3$
Tensão de rutura	5.70e+02	$N/mm^2$
Tensão de cedência	5.05e+02	$N/mm^2$
Coefficiente de expansão térmica	2.36e-05	$1/K$
Condutividade térmica	1.30e+02	$W/(m \cdot K)$
Calor específico	9.60e+02	$J/(Kg \cdot K)$

## **4.2 Estudo Estrutural**

O método escolhido passou pela utilização do Fusion 360 para simular vários carregamentos de diferentes intensidades segundo diferentes pontos de aplicação, e uma configuração composta por diversos elementos. É essencial que a estrutura seja capaz de resistir às cargas de modo a validar a sua *performance* quando usada.

### **4.2.1 Parâmetros**

O conjunto em questão refere-se ao esqueleto que constitui a parede, Figura 50, sistema este que abrange grande parte dos componentes desenvolvidos na fase do conceito e que, essencialmente, também traduz o tema desta dissertação, interação do bloco modular.

No caso desta estrutura, esta estaria sujeita a métodos de ligação mecânica, como por exemplo, ligações através de parafusos ou soldagem. Uma vez que não se realizou um estudo físico, optou-se pela simulação virtual cujo principal objetivo foi a verificação dinâmica de encaixes entre



elementos e a forma como estes interagem entre si. Mais precisamente, o principal objetivo foi o estudo dos elementos em si e não o método de ligação entre estes, considerando que seja possível a sua execução numa fase posterior. Segundo isto, o *software* Fusion 360 tem a opção de criar automaticamente relações de contacto entre faces dos componentes que configuram o *assembly*.

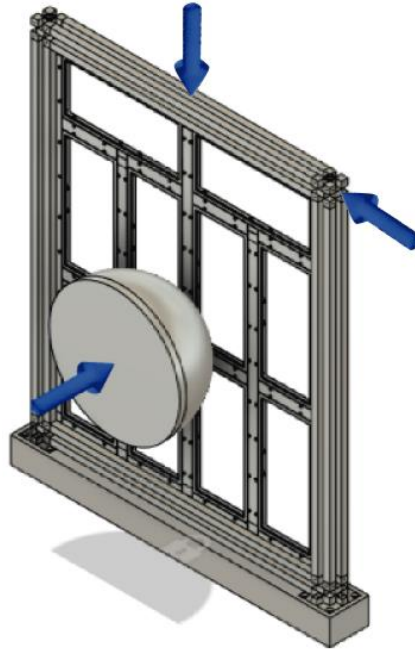


Figura 4.1 - Modelo de análise estrutural.

As simulações deverão traduzir os esforços a que a estrutura estaria sujeita caso desempenhasse a sua função em casos verídicos. Com isto, dividiu-se a simulação em três ensaios. O primeiro (ensaio de compressão) foi um ensaio de carregamento axial em que a estrutura estaria sujeita a uma carga proveniente da zona superior vertical. O segundo foi um ensaio de corte/flexão segundo a extremidade que resulta de possíveis cargas laterais. O último (ensaio de impacto) foi um ensaio de bala para testar na zona frontal da estrutura para testar a capacidade da estrutura em caso de colisão.

Estes ensaios foram repetidos duas vezes, em que no ensaio inicial é exercido uma força, considerada, mínima admissível e posteriormente outro que traduzirá uma força máxima aceitável para que esta seja validada. Os valores atribuídos foram considerados segundo um caso hipotético de colisão de um indivíduo sobre a estrutura, em que os valores corresponderiam a 5 [kN] e 10 [kN], respetivamente.

#### 4.2.2 Ensaio

- Ensaio 1:

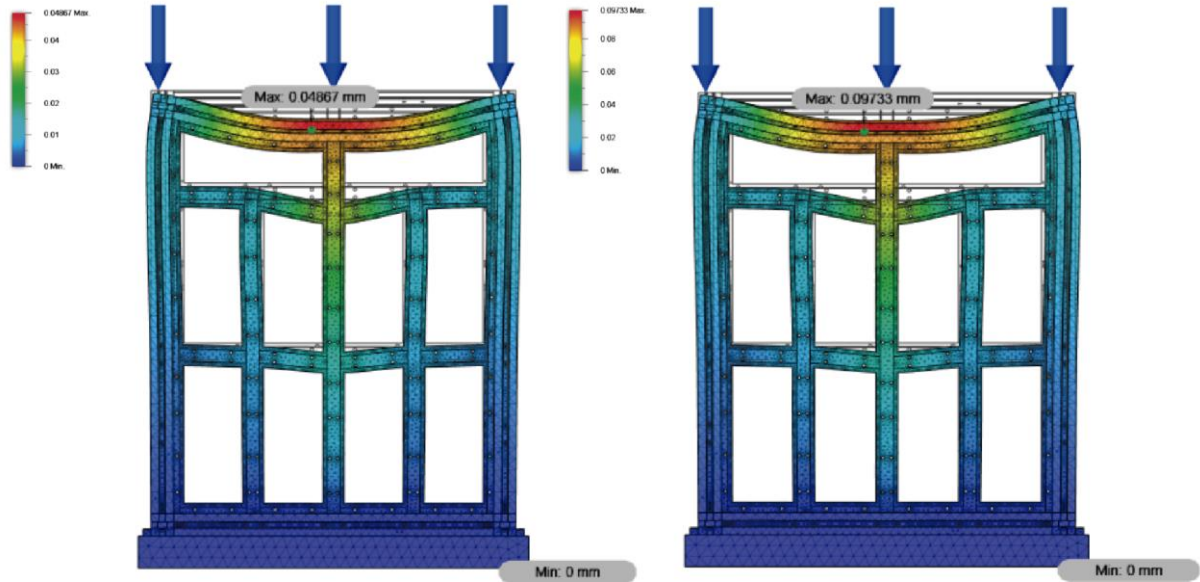


Figura 4.2 - Ensaio de compressão segundo uma carga mínima (esquerda) e máxima (direita) no topo da estrutura.

- Ensaio 2:

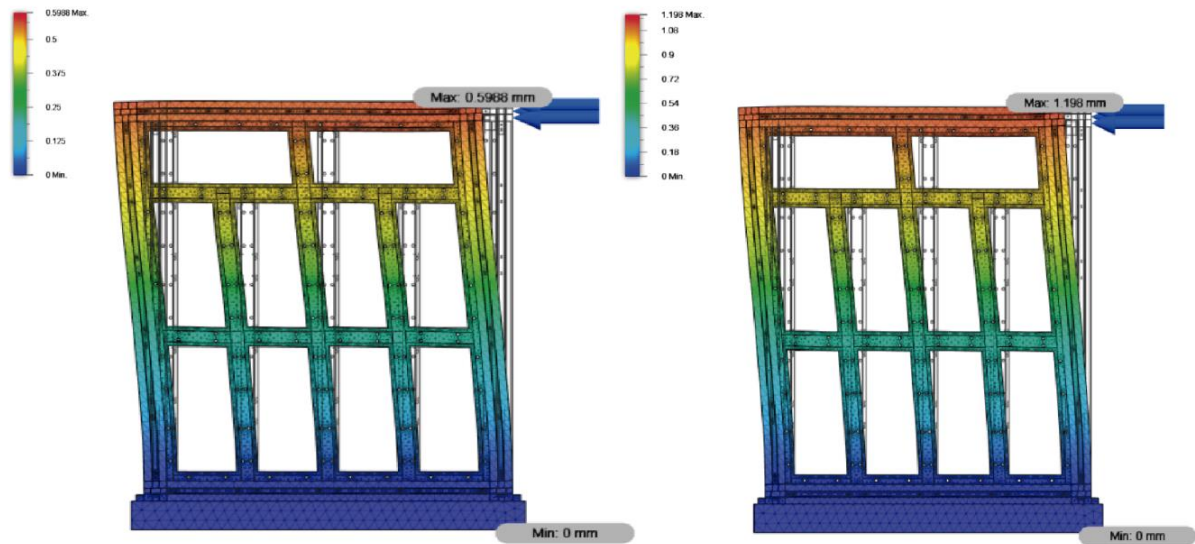


Figura 4.3 - Ensaio de flexão de corte segundo uma carga mínima (esquerda) e máxima (direita) na extremidade da estrutura.



- Ensaio 3:

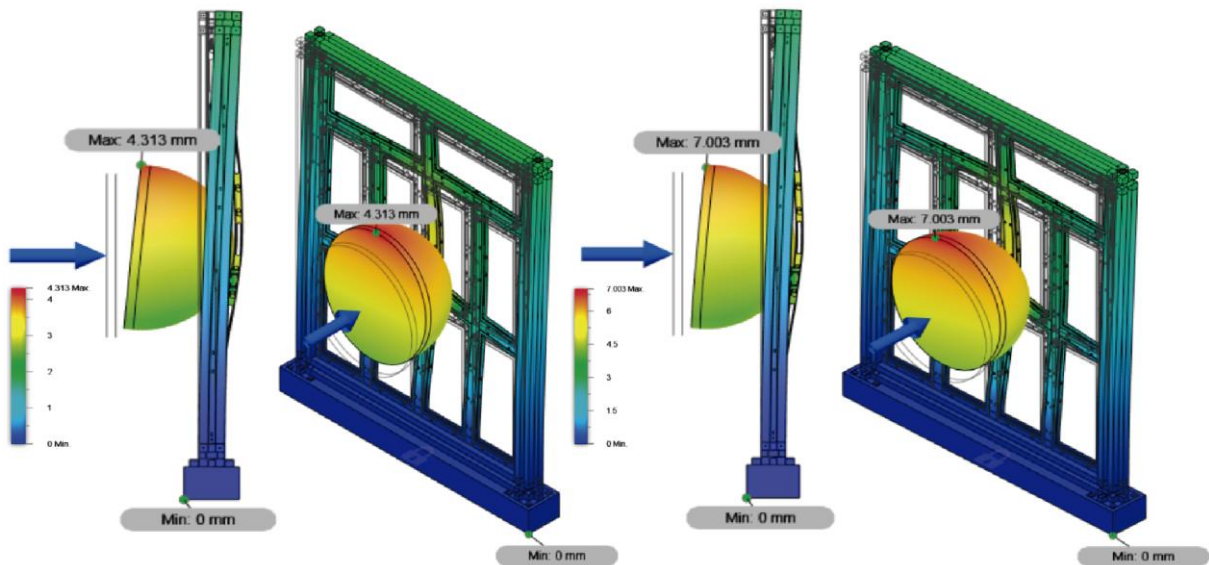


Figura 4.4 - Ensaio de bala segundo uma carga mínima (esquerda) e máxima (direita) na zona frontal da estrutura.

#### 4.2.3 Constrangimentos

Em todos os ensaios a estrutura está encastrada na base, considerando as mesmas características das fundações desenvolvidas para este módulo. Trata-se de um pequeno exemplar, com as mesmas características e com o mesmo método de ligação (Figura 3.1).

Como se trata de ensaios de carácter preditivo, na fase do *pré-check* das análises de carga, foram criadas condições fronteira baseadas em encastramentos. Com isto é definido como restrição única o encastramento do sistema estrutural na base criada, esta está definida por contacto com o sistema, assim como todos os componentes que o definem.

#### 4.2.4 Resultados

Depois de realizados os ensaios de carga e tendo em conta os resultados obtidos, foi feita uma análise a todo o processo.

Os dois primeiros ensaios basearam-se na análise da estrutura à compressão e à flexão. Em ambos, o sistema foi exposto a uma carga mínima 5 [kN] e depois a carga máxima de 10 [kN].

No terceiro ensaio, foi realizado um teste de bala, onde foi projetado um elemento em forma de bala sobre a zona frontal do sistema, com os mesmos parâmetros que os anteriores.

Segundo os resultados obtidos nos dois primeiros ensaios, analisou-se o deslocamento que a estrutura sofreu e constatou-se que, apesar da ilustração, os resultados variam entre os valores mínimo de 0,04 mm e máximo de 1,20 mm. No caso do ensaio de bala, os valores mais altos de deslocamento encontram-se na própria bala, por isso é necessário analisar a paleta de cores que representam o mínimo e o máximo e fazer uma estimativa entre que valores se situa o ponto mais crítico da estrutura. Estes rondam entre os 3,0 e os 4,5 mm

Com isto, é de notar que os valores obtidos foram bastante positivos, uma vez que se considerar 4,5 mm o pior cenário, é considerado praticamente desprezável se for comparado o facto de que, a maioria dos componentes chegam a ter dimensões na casa dos metros.

## 5 Proposta Final

O produto final apresentado é referente a um edifício modular. Apesar do trabalho de estudo e análise estrutural da construção modular em si, o ponto que exigiu um maior esforço de engenharia foi o processo criativo e de desenvolvimento dos diversos componentes e métodos de ligação que constituem o produto final.

A criação de um bloco modular capaz de interagir homogeneamente com todas as fases de edificação foi o cerne do desenvolvimento deste conceito. Neste processo foram realizados sistemas capazes de os aglomerar e formar, desde o pavimento, passando pela criação de paredes, até chegar ao preenchimento de uma cobertura, uma habitação (T0) composta por diversos elementos (portas, janelas, palas de sombreamento, pátio de entrada e divisórias internas). A estrutura como idealizado inicialmente, tem capacidade para alojar, tanto dentro das paredes como entre o pavimento e a fundação todas as infraestruturas técnicas.

A configuração desta solução modular baseia-se na repetição de diferentes elementos ao longo das diferentes fases de construção, sendo esta constituída por 19 elementos de carácter homogéneo/repetitivo e 5 exclusivos

Assim é apresentado através de algumas imagens finais, *renders*, o modelo em contexto real (Figura 5.1).

- Modelo Final:



Figura 5.1 - Apresentação do produto final - A casa modular (vista de frente).



*Figura 5.2 - Apresentação do produto final - A casa modular (vista de trás)*



*Figura 5.3 - Apresentação do produto final - Cenário 1.*



*Figura 5.4 - Apresentação do produto final - Cenário 2.*

## 6 Conclusões

O estudo ligado à construção modular não está num ponto de excelência e conforto, comparável à construção tradicional, mas atualmente apresenta-se cada vez mais como uma alternativa devido aos progressos e soluções desenvolvidas nos últimos tempos. O ramo industrial tem vindo a evoluir exponencialmente no decorrer dos últimos anos e, cada vez mais, possui meios e capacidade de oferecer soluções ao mercado da habitação.

De forma a contribuir para a temática em questão, este trabalho tem como principal propósito apresentar uma nova abordagem, tendo começado por definir-se os requisitos que os clientes procuram neste tipo de produto, utilizando para isso ferramentas estruturadas de suporte ao desenvolvimento do produto. A definição destes *inputs* representa um ponto de partida bastante importante visto que, de certo modo, funciona como um “caminho crítico” numa fase tão vaga como a inicial. Sendo por isso, de reconhecer a importância do uso destas ferramentas para o estabelecimento de um método estruturado para todo o processo de desenvolvimento.

No decorrer do projeto foram surgindo vários impasses. Pouco depois da definição do modo como os blocos modulares se configurariam, aspetos como por exemplo, a definição dos métodos de fabrico são o suficiente para criar limitações entre aquilo que é a ideia e o que é possível concretizar. Contudo, após algumas abordagens e troca de opiniões com pessoas especializadas na área, idealizou-se aquilo que seria a resposta mais correta para a concretização das ideias iniciais.

Numa fase quase final do estudo, mais precisamente no desenvolvimento de uma solução para a cobertura, surgiram algumas dificuldades que conduziram à necessidade de produção de componentes exclusivos para proporcionar, nesta proposta de construção modular, o atrativo de um telhado em estilo de construção tradicional. Este aspeto de atratividade surgiu quando se realizou a revisão bibliográfica, e baseado no facto da construção modular ser vista como um “contentor de acabamentos retos”. Apesar disso, idealizou-se uma solução que aproveitasse ao máximo elementos anteriormente concebidos, sendo criados somente componentes em caso de necessidade máxima.

Assim, a solução final traduz uma solução de carácter inovador, com características necessárias para a habitação, tal como foi idealizado numa fase inicial. Apresenta alta flexibilidade na configuração de diferentes soluções e um elevado nível de homogeneidade no processamento dos componentes que a constitui, o que representa um requisito básico e uma mais valia da proposta. É de salientar ainda que apenas foi abordado uma única proposta de edifício, mas todos

os sistemas desenvolvidos estão preparados para diferentes tipos de configurações, sejam elas a nível de expansão de área, na fase da fundação, ou adição de um possível segundo piso.

Após a conclusão da conceção do edifício modular, apresentado neste projeto, o resultado final apresenta uma solução viável em termos produtivos e construtivos, constituindo-se uma mais valia na minha formação como engenheiro mecânico.

## **6.1 Sugestões e Trabalhos Futuros**

Como sugestão para trabalhos futuros parte-se do princípio de que a própria conclusão seja um ponto de partida, isto é, a conclusão não só serve para indicar a conclusão de um projeto, mas essencialmente identificar as barreiras e constrangimentos ao longo da realização deste.

- Justificação através das normas europeias (Eurocódigos) – Existem vários regulamentos que garantem que as análises estruturais e escolhas de dimensionamentos são tidas em conta após os resultados das simulações e no dimensionamento de certos parâmetros relativos à construção e escolha adequada de materiais para esta;
- Verificação consecutiva dos requisitos estipulados inicialmente – Apesar da solução contemplar a maioria dos requisitos estipulados na primeira fase, parâmetros como isolamento térmico e sonoro foram deixados em *stand by*, devido à complexidade dos componentes.
- Acabamentos finais – No caso da solução final apresentada, não foi explorada, como anteriormente se referiu, uma sexta sequência durante do *Design for Assembly*. Esta sequência abrangeria elementos que viriam a finalizar o projeto, apresentando acabamentos simples que concluiriam o sistema de vedação.



## Referências Bibliográficas

- (1) Patinha S. CONSTRUÇÃO MODULAR – DESENVOLVIMENTO DA IDEIA: CASA NUMA CAIXA. **Universidade de Aveiro**; (2011).
- (2) Castelo J. Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos. **Universidade do Porto**; (2008).
- (3) Freitas F. CONSTRUÇÃO MODULAR SUSTENTÁVEL - Propostas de um projeto tipo. **Instituto Politécnico de Viana do Castelo**; (2014).
- (4) Martins J. INTRODUÇÃO AO DESIGN DO PRODUTO MODULAR: CONSIDERAÇÕES FUNCIONAIS, ESTÉTICAS E DE PRODUÇÃO. **Universidade do Porto**; (2002).
- (5) Relvas C. **DESIGN & ENGENHARIA - da ideia ao produto**. Engebook. (2018). p. 1–361. ISBN: 9789897232404
- (6) Golfmann J, Lammers T. **Modular product design: reducing complexity, increasing efficacy**. Performance. (2015); Vol 7, nº 1, p. 56–63.
- (7) Oliveira L. A habitação modular: casas de madeira no Portugal contemporâneo. **Universidade Lusíada**; (2018).
- (8) Grupo Vendap. **Equipamentos de Movimentação de Terras | Grupo Vendap**. [cited 2019 Oct 28]. Available from: <https://grupovendap.com/movimentacao-terras>
- (9) De La Torre M. Review and Analysis of Modular Construction Practices. **Lehigh University**; (1994).
- (10) Winnerstroy. **The basic stages of the construction of prefabricated structures**. [cited 2019 Feb 23]. Available from: <https://winnerstroi.kiev.ua/en/bmz-etapi.html>
- (11) da Silva N. Conceção e desenvolvimento de um edifício modular. **Universidade de Aveiro**; (2017).
- (12) Urban F. **Society of Architectural Historians University of California Press**. J Soc Archit Hist. (2013); Vol 72, nº 2, p. 221–249. ISBN: 0393313751

- (13) Varela M. A casa modular vista na perspetiva do engenheiro mecânico. **Universidade de Aveiro**; (2015).
- (14) Kronenburg RH. **Houses in Motion: The Genesis, History and Development of the Portable Building**. (2002). p. 168. ISBN: 978-04700843314
- (15) Gonçalves C. Construção Modular - Análise Comparativa de Diversas Soluções. **Universidade de Aveiro**; (2013).
- (16) Casas Modulares Pré-fabricadas. **Construção Modular em Aço Leve LSF**. [cited 2019 Oct 29]. Available from: <https://www.betonit.pt/modular>
- (17). **Téketo - Construções Modulares em Aço**. [cited 2019 Nov 14]. Available from: <http://www.teketo.pt/index.php/pt/company>
- (18) **Conceito - Modiko**. [cited 2019 Nov 14]. Available from: <http://modiko.pt/pt/sistema-modiko/conceito/>
- (19) **Concept X, Algarve based light steel framing constructor**. [cited 2019 Nov 14]. Available from: <http://www.conceptx.pt/home>
- (20) **Kitur**. [cited 2019 Nov 14]. Available from: <https://www.kitur.pt/pt/conceito/>
- (21) **DL n.º 38382/51, de 07 de Agosto**. [cited 2019 Nov 14]. Available from: [http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?nid=1217&tabela=leis](http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1217&tabela=leis)
- (22) **LA Aluminios**. [cited 2019 Nov 12]. Available from: <http://www.aluminios.la/caracteristicas.html>
- (23) Bergdoll B, Barry, Christensen P, Broadhurst R, Y N. **Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling**. Museum of Modern Art. (2008). p. 1-248. ISBN: 978-0870707339



## **Apêndice A – Análise do QFD**

O presente anexo inclui gráficos referentes ao *Quality Function Deployment* (QFD), sendo que o primeiro representa a Matriz de Qualidade (A.1) e o seguinte a Matriz do Produto (A.2).

### A.1 – Matriz de Qualidade

	Desempenho													Dimensões						Outras				Benchmarking								
	Kano	Importância	Proteção Inicial	Especificações Técnicas	Número de Acessos	Dimensões do Módulo	Estrutura - Tipo de Material	Função - Tipo de Material	Sistema MKC (passivo)	Percepções e Tipo de Material	Área de Implantação	Instalação e Tipo de Envelopados	Tempo de Montagem	Tempo de Entriço	Quantidade de Produtos	Número de Torres	Área IMR	Re-entrio	Altura do Celo	Espessura dos Painéis	Número de Componentes (Módulo)	Sistema de Painéis	Quantidade das Juntas	Sistema AOS	Sistema Rede elétrica (ondas)	Calentamientos	Medição	Métricas	MTBF	Análise de Concórdia	Métricas de Qualidade Conradas	
6 U	3	9	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	9	1	1	3	1	1	3	9	1	3	1	1	3	1,0	1,0	1,0	1,0	6		
Seguro/Normas	13	O	9	3	9	3	3	3	3	9	3	3	9	3	9	3	3	3	9	3	3	3	3	3	3	0,5	1,0	1,0	1,0	13		
Fácil Manutenção	3	U	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	1,0	1,0	1,0	3		
Durabilidade/Fiabilidade	9	O	9	9	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,0	1,0	1,0	1,0	9		
Modularidade	12	U	9	1	1	1	1	1	9	9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,0	1,5	0,5	0,5	6		
Poucos Componentes	7	U	9	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,0	1,0	0,5	1,0	4,95		
Fácil Transporte	10	A	3	1	1	1	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,0	0,5	0,5	1,0	7,07		
Eficiência Energética	8	U	1	3	3	1	9	9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,5	1,0	0,5	10,5	4		
Fácil Montagem	11	A	3	1	3	1	3	3	3	3	3	3	3	9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,0	1,0	0,5	10,5	5,5		
Reutilização	2	A	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1,5	1,0	1,0	2		
Multifuncional	5	A	3	1	3	1	3	1	1	3	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	1,5	0,5	1,0	3,54		
Luminiosidade	1	U	3	1	1	1	9	9	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	1,5	0,5	1,0	0,71		
Design	4	U	1	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1,0	1,5	1,0	1,0	4		
Características de Qualidade Inicial	300	67	303	227	199	168	78	148	118	122	244	120	122	168	98	228	252	248	59	110	107	114	▲	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	▲
Módulo	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
KTUR	1,0	1,5	1,0	1,5	1,5	1,0	0,5	1,5	1,0	0,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	
Avaliação Competitiva	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	
Dificuldade de Atuação	2,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	2,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	
Características de Qualidade-Revisto	301	67,2	372	279	103	119	78	149	118	123	173	147	122	168	98	197	218	249	60	110	107	99	▲	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	▲

## A.2 – Matriz do Produto

Componentes do Produto	Desempenho											Dimensões											Outras			Benchmarking			
	Características de Qualidade	Especificações Técnicas	Dimensões do Módulo	Número de Acessos	Estrutura - Tipo de Material	Fundação - Tipo de Material	Sistemas ANC (Passivo)	Permeabilidade e Tipo de Envidraçados	Área de Implantação	Isolamento Térmico	Tempo de Montagem	Tempo de Produção	Número das Portas	Número de Divisões	Área Util	Padrão	Altura do Solo	Espessura das Paredes	Número de Componentes (Módulo)	Isolamento Sonoro	Acessos à Rede Elétrica (Pontadas)	Acabamentos	Sistemas AOS	Sistemas a Rede Elétrica (Pontadas)	Medio	KPIs	Rapidez de Desenvolvimento	Artigos de Qualidade Corrigidos	
Módulo (Bloco)	9	3	301	67,2	372	279	103	119	78	149	118	123	173	147	122	168	98	197	218	249	60	110	107	99	0,5	1,0	1,5	2,0	19073
Edifício (Solo)	3	1	1	3	1	9	1	1	3	1	3	1	1	3	1	1	3	9	1	1	1	3	1	1	1,0	1,5	1,5	2,0	8989
Edifício (Teto)	3	1	1	1	1	9	1	1	3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1	0,5	1,0	1,5	2,0	6995
Edifício (Parede)	3	1	1	1	1	9	1	1	3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1	0,5	1,0	1,0	1,5	6499
Sistemas Interface (Ed./Bl.)	3	1	1	1	1	9	1	1	3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1	1,5	1,5	1,0	1,5	6235
Módulo (Bloco)	3	3	3	3	3	9	3	9	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	1	1	1,0	1,0	1,0	1,0	6036
Janelas	1	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	1,0	1,0	1,0	5784
Portas	3	9	3	3	3	3	3	3	1	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	1,0	1,0	1,0	5059
Inst. Técnicas	1	1	1	1	9	9	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	1,0	1,0	1,0	1,0	4626



## **Apêndice B – Componentes**

# Tabela de Componentes

(Parte 1 de 2)

Tipo	Designação	Quantidade	Dimensões (se normalizado)
<b>Pilares</b>	Viga de 0,5 metros	6	140x140x500
	Viga de 1,0 metros	29	140x140x1000
	Viga de 2,0 metros	46	140x140x2000
	Viga de 2,5 metros	19	140x140x2500
	Viga de 3,0 metros	12	140x140x3000
<b>Barras</b>	Barra de 0,5 metros	18	40x80x500
	Barra de 1,0 metros	81	40x80x1000
	Barra de 2,0 metros	72	40x80x2000
	Barra de 2,5 metros	42	40x80x2500
	Barra de 3,0 metros	46	40x80x3000
	Barra de 0,42 metros	384	40x80x420
	Barra de 0,92 metros	48	40x80x920
<b>Encaixes</b>	Pino Guia	2036	-
	Suporte de Barra	426	-
	Perfil em "L"	575	-
	Eixo de Ligação Viga	24	-
	Suporte Intermédio (1/2)	24	-
	Entalhe de Apoio a Vigas	74	-

# Tabela de Componentes

(Parte 2 de 2)

Tipo	Designação	Quantidade	Dimensões (se normalizado)
<b>Suporte Base</b>	Base de Ligação-Lage	21	-
	Suporte Intermédio	27	-
	Suporte de Topo	79	-
	Ligador em “I”	19	-
<b>Bloco Modular</b>	Quadro (“Janela”)	376	-
	Bloco Exterior	232	500x1000x60
	Bloco Interior	510	500x1000x50
	Ligador do Quadro	742	-
<b>Cobertura</b>	Eixo de Ligação Dupla	4	-
	Fixador de Cobertura Topo	6	-
	Fixador de Cobertura Base	6	-
	Bloco Triangular	16	-
<b>Componentes Exclusivos</b>	Ligador de 4 Vigas	2	-
	Suporte de Pala	3	-
	Bloco Extra	2	-
	Fixador de Cobertura	6	-
	Fixador de Cobertura	6	-