



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

O Projeto para a construção e desconstrução: a sistematização de uma ideia e de um processo

Leandro Pereira

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Arquitetura
(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor Luiz António Pereira de Oliveira
(DECA-UBI/UniCEUMA)

Covilhã, outubro de 2016

“A produção em massa, que hoje deve ser tida em consideração como a base para a arquitetura moderna, existe na própria Natureza...”
Lina Bo Bardi

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, amigos e namorada, ao professor e meu orientador, o Doutor Luíz António Pereira de Oliveira pelo apoio e disponibilidade durante a elaboração desta dissertação, que tornou possível a concretização deste meu trabalho.

A todos os outros professores que me transmitiram informações e guiaram para a conclusão desta minha fase, e também ao Arquiteto Luís Ramos pelo acolhimento na Empresa CONMARFEL, que me permitiu integrar a equipa e aprofundar conhecimentos no mundo da Arquitetura Pré-fabricada.

RESUMO

Esta dissertação tem como principal objetivo dar a conhecer os impactos ambientais que a indústria da construção tem para com o nosso planeta, e exemplificar várias técnicas e materiais que podem ser utilizados como alternativa com o intuito de reduzir a pegada ecológica causada pela construção convencional no meio ambiente.

Após o estudo e análise de técnicas construtivas ditas convencionais e não convencionais e do seu impacto no meio ambiente, procurou-se realizar um anteprojeto baseado na sustentabilidade, tanto do sistema em si, como ambiental. Sendo que o principal enfoque desta proposta é tentar sintetizar uma hierarquia de construção e desconstrução controlada e fundamentada de um edifício de habitação, e com isso contribuir para uma arquitetura sustentável, a pré-fabricação é o sistema construtivo que mais se adequa.

Acerca dos materiais construtivos, a madeira foi o material preponderante. Esta escolha recaiu em grande parte devido ao facto de ser um material natural renovável e com características mecânicas semelhantes a outros materiais tal como o aço ou o metal, oferecendo uma excelente relação entre a sua grande resistência física e baixo peso-próprio.

Neste sentido o anteprojeto de uma habitação foi desenvolvido com base nos conceitos de sustentabilidade referidos ao longo do trabalho. O anteprojeto teve como base a coordenação de módulos, onde todos os módulos, elementos constituintes do edifício, devem ter dimensões múltiplas de 10cm, exemplo das paredes, pilares etc. Desta forma foi possível realizar um anteprojeto de um edifício em que todos os elementos eram concebidos separadamente, mas com uma coordenação que permite um encaixe e desencaixe facilitado entre todos eles como se de um puzzle se trata-se, durante a sua edificação e durante a sua utilização.

A habitação não terá uma implantação pré-definida, pois o objetivo é que sirva um público-alvo diversificado, passando por ambientes familiares estáveis. O tema bastante atual dos refugiados pode ser aqui usado como finalidade da proposta, no entanto, o foco passará por aliar uma construção de rápida execução, ou seja, uma construção com características efémeras, ao conforto e estabilidade de uma habitação tradicional com traços e aspetos de maior duração.

Palavras-chave

Sustentabilidade; Pré-fabricação; Modulo; Madeira; Flexibilidade; Desconstrução.

Abstract

This thesis aims to inform the environmental impacts that the construction industry has for our planet, and exemplify various techniques and materials that can be used as an alternative in order to reduce the environmental footprint caused by the conventional construction in the environment.

After the study and analysis of conventional construction techniques and unconventional and its impact on the environment, i tried to carry out a preliminary plan based on sustainability, both the system itself, such as environmental. Since the main focus of this proposal is trying to synthesize a building hierarchy and controlled deconstruction and founded a residential building, and thus contribute to sustainable architecture, prefabrication is the construction system that best suits.

About construction materials, wood was the predominant material. This choice was largely due to it being a renewable natural material and mechanical characteristics similar to other materials such as steel or metal, offering great value for their great physical strength and low weight-esteem.

In this sense the draft of a dwelling was developed based on the concepts of sustainability mentioned throughout the work. The draft was based on the coordination of modules, where all modules, elements of the building, must have multiple dimensions of 10cm, eg the walls, pillars etc. In this way it was possible to carry out a blueprint of a building in which all the elements were designed separately, but with a coordination that allows a plug and easier undocking among them all like a puzzle if it during its construction and during the use.

The housing does not have a pre-defined implantation, since the goal is to serve a diverse audience, through stable family environments. The very current issue of refugees can be used here as a purpose of the proposal, however, the focus will shift by combining a construction fast execution, ie a building with ephemeral characteristics, comfort and stability of a traditional housing with features and aspects longer lasting.

Key words

Sustainability; Prefabrication; Module; Wood; Flexibility; Deconstruction.

Índice

Capítulo I - Introdução	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objetivos da dissertação.....	2
1.3. Metodologia	3
Capítulo II - Construção Sustentável	5
2.1. Conceito de Sustentabilidade	5
2.2. O Impacto ambiental relacionado com a atividade da construção.....	6
2.3. O que é uma construção sustentável.....	9
Capítulo III - Processo da desconstrução ou demolição no projeto.....	13
3.1. Introdução.....	13
3.2. A desconstrução na arquitetura convencional	15
3.3. A desconstrução na arquitetura pré-fabricada	17
Capítulo IV - Pré-fabricação na arquitetura.....	20
4.1. Introdução.....	20
4.2. Sistemas Pré-fabricados.....	21
4.2.1. Sistema de Ciclo Fechado.....	22
4.2.2. Sistema de Ciclo Aberto	22
4.2.3. Sistema Flexibilizado	23
4.3. Contexto histórico.....	24
4.4. Materiais utilizados em sistemas pré-fabricados	26
4.4.1. Aço.....	26
4.4.2. Betão.....	29
4.4.3. Madeira.....	30
Capítulo V - Módulo	33
5.1. Introdução	33
5.2. Contexto histórico.....	33
5.2.1. Antiguidade.....	34
5.2.2. Revolução Industrial	37
5.2.3. Século XX.....	38
5.3. O módulo.....	40

5.4. Grelha	42
5.5. Coordenação modular	42
5.6. Componentes modulares.....	43
Capítulo VI - A madeira na construção.....	47
6.1. Introdução.....	47
6.2. A utilização da madeira na construção	47
6.2. A importância da reflorestação	48
6.3. Tipos de madeiras em Portugal.....	49
6.4. Características que a madeira oferece como material de construção	50
6.4.1. Propriedade físico-mecânica.....	50
6.4.2. Resistência à combustão.....	51
6.4.3. Resistência à humidade.....	52
6.4.4. Propriedade térmica da madeira.....	53
6.4.5. Propriedade acústica.....	54
6.4.6. Durabilidade.....	55
6.5. Derivados da madeira.....	56
6.6. Técnicas construtivas em madeira	60
6.7. Caso de estudo	63
6.7.1. MIMA house.....	64
Capítulo VII - Anteprojeto	68
7.1. Introdução	68
7.2. Anteprojeto.....	69
7.2.1. Fundações	71
7.2.2. Piso.....	74
7.2.4. Paredes interiores	78
7.2.5. Cobertura.....	82
7.2.6. Vãos.....	85
7.2.7. Instalações sanitárias.....	85
7.2.8. Fixação dos elementos constituintes do edifício.....	86
7.3. Tipologias	87
7.4. Conclusões.....	91

Lista de Figuras

<u>Figura 1:</u> Exemplo de um aterro ilegal poluindo as águas e terrenos (Fonte: navegadormt.com)	16
<u>Figura 2:</u> Palácio de cristal (Fonte: arquitecturayempresa.es)	27
<u>Figura 3:</u> Elevação de uma parede em LSF (Fonte: PROFILAN)	28
<u>Figura 4:</u> Aplicação de elementos pré-fabricados num edifício (Fonte: construironline.dashofer.pt)	29
<u>Figura 5:</u> Construção do conjunto habitacional, HABITAT 67, CANADÁ (Fonte: dwell.com)	30
<u>Figura 6:</u> Casa desenhada por JOHN MANNING (Fonte: quonset-hug.blogspot.pt)	31
<u>Figura 7:</u> Comparação do impacto ambiental entre o aço, betão e a madeira (Fonte: MATERIALS MATTER, www.slideshare.net/rethinkwood)	31
<u>Figura 8:</u> Organização das colunas na fachada do edifício	34
<u>Figura 9:</u> Distribuição das colunas em planta	34
<u>Figura 10:</u> Secção Áurea, geometria para a construção do retângulo áureo (Fonte: ebah.com)	34
<u>Figura 11:</u> Malha quadrangular sobreposta sobre a cidade de Emona	35
<u>Figura 12:</u> Tatamis (elementos retangulares) dispostos de maneira a formar as divisões interiores do edifício (Fonte: habitare)	37
<u>Figura 13:</u> <i>Le Modulor</i> , de <i>Le Corbusier</i> (Fonte: MUHIR.ca)	39
<u>Figura 14:</u> Classificação modular (Fonte: STAIB DORRHOFER ROSENTHAL, componentes and systems modular construction)	40
<u>Figura 15:</u> Múlti-módulos amplamente utilizado para o dimensionamento de interiores com base no ser humano (Fonte: STAIB DORRHOFER ROSENTHAL, componentes and systems modular construction)	41
<u>Figura 16:</u> Relação entre grelhas planas e espaciais (Fonte: STAIB DORRHOFER ROSENTHAL, componentes and systems modular construction)	42
<u>Figura 17:</u> Combinação da grelha axial e modular (Fonte: STAIB DORRHOFER ROSENTHAL, componentes and systems modular construction)	42
<u>Figura 18:</u> Demonstração do encaixe de várias peças com diferentes tamanhos num mesmo espaço (Fonte: STAIB DORRHOFER ROSENTHAL, componentes and systems modular construction)	44
<u>Figura 19:</u> Exemplo de uma planta baixa modular a partir de blocos (Fonte: STAIB DORRHOFER ROSENTHAL, componentes and systems modular construction)	45
<u>Figura 20:</u> Corte transversal do caule de uma árvore (Fonte: LNEC E31)	50
<u>Figura 21:</u> Viga de madeira exposta ao fogo (Fonte: madeiraestrutural.wordpress.com)	51
<u>Figura 22:</u> Vigas metálicas derretidas por incêndio enquanto são suportadas por uma viga de madeira que resistiu (Fonte: madeiraestrutural.wordpress.com)	52
<u>Figura 23:</u> Templo Kiyomizudera, Quito (Fonte: Madeiraestrutural.wordpress)	55

<u>Figura 24:</u> Placa aglomerada revestida (Fonte: catálogo, madeivouga)	57
<u>Figura 25:</u> Placa de MDF (Fonte: catálogo, madeivouga)	57
<u>Figura 26:</u> Placa de MDF em ambiente interior (Fonte: catálogo, madeivouga)	57
<u>Figura 27:</u> Contraplacados (Fonte: catálogo, madeivouga)	58
<u>Figura 28:</u> Contraplacados para aplicação em pisos (Fonte: catálogo, madeivouga)	58
<u>Figura 29:</u> Acabamentos de painéis fenólicos (Fonte: catálogo, madeivouga)	58
<u>Figura 30:</u> Acabamento exterior com painéis fenólicos (Fonte: catálogo, madeivouga)	58
<u>Figura 31:</u> Placa OSB (Fonte: catálogo, madeivouga)	59
<u>Figura 32:</u> Aplicação no fechamento de paredes (Fonte: sulmodulos)	59
<u>Figura 33:</u> Placas VIROC (Fonte: catálogo, madeivouga)	59
<u>Figura 34:</u> Acabamento exterior com placas VIROC (Fonte: VIROC.pt)	59
<u>Figura 35:</u> Imagem ilustrativa dos vãos conseguidos com as vigas de madeira lamelada (Fonte: JULAR, jular.pt)	60
<u>Figura 36:</u> Casa de troncos (Fonte: naturalloghomes)	61
<u>Figura 37:</u> Troncos com superfícies planas trabalhadas para um melhor encaixe (Fonte: Ana Alexandra Pontes da Costa, Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013)	61
<u>Figura 38:</u> Estrutura em madeira pesada (Fonte: heavytimber.net)	62
<u>Figura 39:</u> Pormenor da ligação das tábuas numa estrutura light framing (Fonte: heavytimber.net)	62
<u>Figura 40:</u> Exemplo do sistema pré-fabricado apresentado pela LUKASLANG (Fonte: Lukaslang)	63
<u>Figura 41:</u> Fotografia de uma casa MIMA (Fonte: a10)	64
<u>Figura 42:</u> Fotografia da estrutura em madeira do edifício (Fonte: detail-online)	64
<u>Figura 43:</u> Corte do edifício (Fonte: mimahousing)	65
<u>Figura 44:</u> Demonstração de facilidade de trocar os painéis de parede (Fonte: Archdaily.com)	65
<u>Figura 45:</u> Exemplo de uma planta onde são visíveis as calhas metálicas no piso (Fonte: mimahousing)	66
<u>Figura 46:</u> Exemplos das diversidades de tipologias que podem ser fabricadas pela empresa MIMA (Fonte: mimahousing)	66
<u>Figura 47:</u> Organização da área do edifício através da multiplicação do módulo M (10cm)	69
<u>Figura 48:</u> Distribuição modular tridimensional da área relativa ao anteprojecto	70
<u>Figura 49:</u> Distribuição espacial dos painéis modulares das paredes da proposta	70
<u>Figura 50:</u> Fotografia demonstrativa de um edifício de madeira sobre sapatas de betão (Fonte: MONTERRAT, monteserratbq.blogspot.pt/p/casas.html)	71
<u>Figura 51:</u> Fotografia demonstrativa de uma laje de betão onde será assente uma casa (Fonte: MDP, mdp.pt/web/mdp)	72
<u>Figura 52:</u> Planta da distribuição das sapatas para o anteprojecto	72

<u>Figura 53:</u> Sapata de betão	72
<u>Figura 54:</u> Vigas estruturais da base	73
<u>Figura 55:</u> Detalhe do encaixe das vigas nas sapatas	73
<u>Figura 56:</u> Planta da distribuição das vigas transversais e horizontais	74
<u>Figura 57:</u> Planta da distribuição dos painéis do piso	74
<u>Figura 58:</u> Pannel de piso, sem escala	74
<u>Figura 59:</u> Esquema demonstrativo dos elementos desmontáveis e fixos constituintes do pannel de piso	75
<u>Figura 60:</u> Perfis metálicos entre as vigas e sob o pannel de piso, impedindo a flexão deste	75
<u>Figura 61:</u> Pannel de parede exterior	76
<u>Figura 62:</u> Planta esquemática do pannel	76
<u>Figura 63:</u> Constituição do pannel de parede exterior	76
<u>Figura 64:</u> Detalhe do assentamento da parede exterior na viga da base	77
<u>Figura 65:</u> Encaixe do revestimento	77
<u>Figura 66:</u> Parede com revestimento	77
<u>Figura 67:</u> Sombreamento da fachada	77
<u>Figura 68:</u> Dimensões do acabamento interior	78
<u>Figura 69:</u> Esquema da montagem do acabamento interior	78
<u>Figura 70:</u> Pannel de parede interior	79
<u>Figura 71:</u> Constituição do pannel de parede interior	79
<u>Figura 72:</u> Dimensões da parede interior	79
<u>Figura 73:</u> Dimensões do pannel de revestimento interior	79
<u>Figura 74:</u> Exemplo de fixação de um pilar com auxílio de elementos metálicos de conexão (Fonte: timberframehq.com)	80
<u>Figura 75:</u> Dimensões do pilar interior	80
<u>Figura 76:</u> Pilar interior	80
<u>Figura 77:</u> Detalhe das extremidades dos pilares	81
<u>Figura 78:</u> Tipo de broca disponibilizada pela empresa DREMEL (Fonte: DREMEL)	81
<u>Figura 79:</u> Parede sem rodapé com elementos à vista	82
<u>Figura 80:</u> Rodapé colocado nas paredes	82
<u>Figura 81:</u> Elementos metálicos a conectar as vigas da cobertura entre si no anteprojecto	83
<u>Figura 82:</u> Estrutura da cobertura, eixo das vigas de metro em metro	83
<u>Figura 83:</u> Dimensionamento do pannel de cobertura	84
<u>Figura 84:</u> Constituição do pannel	84
<u>Figura 85:</u> Corte demonstrativo da constituição da cobertura do edifício	84
<u>Figura 86:</u> A figura demonstra a possibilidade de portas e janelas que podem ser utilizadas	85
<u>Figura 87:</u> Imagem retirada do catálogo da empresa WEDI que demonstra a aplicação da manta sobre o pannel de madeira (Fonte: WEDI)	86
<u>Figura 88:</u> Bucha metálica disponibilizada no sítio da empresa INDEX (INDEX)	86
<u>Figura 89:</u> Planta do anteprojecto sem escala	87

<u>Figura 90:</u> Imagem representativa de algumas possibilidades alternativas à planta original	88
<u>Figura 91:</u> Imagem representativa do acoplamento dos vários elementos que constituem o sistema construtivo	89
Figura 92: Corte longitudinal tridimensional	90
<u>Figura 93:</u> Exemplo de como poderá ser uma habitação com os acabamentos exteriores (Deck e fachadas)	90

Lista de Tabelas

Tabela 1: Impactos associados às dimensões do desenvolvimento sustentável. Oliveira (2005)

Tabela 2: Origem e causas dos resíduos na construção civil (fonte: Implementação da desconstrução na indústria da construção nacional, MARIANA LOPES, Universidade do Minho)

Tabela 3: Hierarquia da gestão de resíduos para a demolição e operações de construção (Fonte: COUTO, Armanda bastos, Universidade do Minho)

Tabela 4: Os vários sistemas de construção pré-fabricados

Tabela 5: Medidas modulares Romanas (Fonte: Fonte: Centro de construção Bouwcentrum 1972)

Tabela 6: Madeiras Nacionais e características (Fonte: JOTAH.sapo)

Tabela 7: Características térmicas dos materiais de construção

Tabela 8: Características acústicas dos materiais de construção

Lista de Acrónimos

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEGE - Associação de Estudos Geobiológicos de Espanha

AEP - Agência Europeia para a Produtividade

CBCS - Concelho Brasileiro de Construção Sustentável

IDHA - Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica

ISO - International Organization for Standardization

LSF - Light Steel Frame

SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura

Capítulo I - Introdução

1.1. Introdução

A preocupação com a preservação da natureza é para mim um foco de interesse desde muito cedo, e como tal venho a observar que esta se encontra cada vez mais ameaçada pela atuação do homem, que teima em não se preocupar com a destruição desta, não olhando muitas vezes a meios para alcançar os seus fins.

Julgo que cabe a todos, cada um na sua área e dentro dos possíveis, contribuir para a manutenção do planeta, de modo a que as atividades exercidas pelo ser Humano, que tenham um impacto menos positivo no meio ambiente, não deixem de se realizar, mas sim que utilizem métodos que permitam realizar essas mesmas atividades, mais ecologicamente corretas e sustentáveis, como é o exemplo da indústria da construção civil.

Assim, o arquiteto no seu espaço e mundo de trabalho, deve tentar encontrar um ponto de equilíbrio entre a arquitetura e o meio ambiente, visto que o mundo da construção, tal como se encontra, é um dos maiores responsáveis pela pegada ecológica do homem no planeta, sendo responsável por um grande consumo de água, de energias não renováveis, de emissões de CO₂ e de gastos económicos exuberantes. Existem variados aspetos que um projeto deve apresentar para que uma construção seja considerada sustentável, e ecologicamente correta, desde o local de implantação, os materiais escolhidos, os gastos monetários, a técnica construtiva, etc.

A revolução industrial foi uma alavanca para o processo evolutivo da sociedade tal como a conhecemos, mas para isso o meio ambiente pagou, e tem vindo ainda a pagar muito caro. O crescimento exponencial da população, a construção de cidades e fábricas que consomem todo o tipo de energias não renováveis, tal como o petróleo, o carvão, etc., são alguns dos pontos mais negativos, e para contrariar estes costumes é necessário inovar no modo como se planeia e constrói as nossas cidades.

A arquitetura pré-fabricada veio dar uma nova face para a construção, uma contribuição para uma construção sustentável. É verdade que o conceito de arquitetura industrializada já existe desde o século passado, mas não é por isso que tem vindo a ser utilizada habitualmente. Maioritariamente a construção mantém-se estagnada no que se designa ao uso de materiais construtivos e recursos energéticos, nomeadamente o petróleo, o betão, o aço e ainda a água utilizada no processo construtivo. Existem talvez variados tabus

que impediram que a pré-fabricação de edifícios com materiais sustentáveis, como a madeira, tenha vingado verdadeiramente na construção moderna e atual.

Assim, no desenvolvimento do trabalho vão sendo apresentados vários pontos que poderão servir de justificativa para uma aposta na construção pré-fabricada essencialmente com madeira, sendo esta o único material renovável conhecido e utilizado na construção civil. E, um dos pontos fulcrais deste estudo vai ser o facto de ser necessário pensar um projeto, não só como vai ser construído, mas acima de tudo como vai ser possível existir uma desconstrução seletiva e controlada no fim do seu tempo de vida, reaproveitando futuramente os materiais usados no edifício, reduzindo ao mínimo os resíduos que não possam ser reaproveitados durante o processo construtivo e desconstrutivo contribuindo positivamente para uma construção sustentável.

1.2. Objetivos da dissertação

Espera-se que com esta dissertação fique mais fácil compreender o porquê de tantos arquitetos começarem a preocupar-se cada vez mais com o tema da “Arquitetura Sustentável” ou ainda ecologicamente correta, e o de apostar cada vez mais no “novo material” a madeira tal como nas técnicas de construção pré-fabricadas.

Um dos objetivos cruciais deste trabalho é demonstrar o impacto negativo que a construção convencional de edifícios tem no planeta, nomeadamente no uso em grande maioria de matérias-primas não renováveis, o desperdício de energia na demolição de edifícios que já tenham alcançado o seu tempo de vida ou que seja necessário dismantelar por qualquer outro motivo, cujos materiais provenientes dessas demolições muitas vezes não são recuperados e reciclados como seria ecologicamente correto, acabando por exemplo em aterros.

Assim, apresentarei algumas alternativas que vão de encontro a uma construção sustentável, abordando aspetos como o uso da madeira, e como através da pré-fabricação é possível desenvolver um projeto de modo a que ao ser construído, possa também ser desconstruído seletivamente e racionalmente poupando recursos materiais.

É parte importante deste trabalho demonstrar que existem técnicas construtivas, nomeadamente técnicas pré-fabricadas, que merecem ser exploradas para que estas contribuam cada vez mais para uma Arquitetura e construção sustentável, e que consequentemente sejam mais divulgadas e aplicadas. O anteprojeto proposto tem como finalidade exemplificar que estas técnicas, apesar de terem anos de existência podem ser

ainda mais exploradas, de modo a serem aperfeiçoadas cada vez mais contribuindo assim para um planeta saudável.

1.3. Metodologia

A dissertação desenvolve-se em 7 capítulos, começando por enunciar os problemas da construção convencional e o contributo das técnicas construtivas pré-fabricadas para que cada vez mais se aposte numa construção sustentável terminando com um exemplo prático de uma proposta de um anteprojecto que engloba características de todos os outros capítulos.

Capítulo 1: Introdução

O capítulo inicial descreve o objetivo da dissertação e os motivos que me levaram a escolher e estudar este tema.

Capítulo 2: Construção Sustentável

Aqui o objetivo é identificar o conceito de sustentabilidade e como o arquiteto e as técnicas construtivas utilizadas podem contribuir para que a atividade da construção civil se torne uma prática sustentável, optando por exemplo por técnicas construtivas e materiais alternativos.

Capítulo 3: Processo de desconstrução do projeto

Neste capítulo estudo mais especificamente a construção e desconstrução de edifícios projetados e construídos no sistema convencional e a construção e desconstrução em edifícios pré-fabricados, evidenciando o impacto ambiental implicado ao meio ambiente por cada uma destas técnicas.

Capítulo 4: Pré-fabricação na Arquitetura

Este capítulo direciona ainda mais o estudo para o objetivo final. Aqui explico como a pré-fabricação se relaciona com a sustentabilidade e como apareceu no mundo da arquitetura, demonstrando projetos com este tipo de sistemas construtivos e materiais

empregados, dirigindo-me depois para a madeira e o aço como materiais base do meu anteprojeto.

Capítulo 5: Módulo

Depois de explicado o conceito de pré-fabricação, o módulo é essencial para o entendimento da construção controlada e em ambiente industrial. Assim este capítulo aborda o aparecimento do módulo na arquitetura, e como os elementos pré-fabricados e modulares oferecem vantagens na construção civil.

Capítulo 6: A madeira na Construção

Capitulo onde serão identificadas as características que este material oferece como matéria-prima a utilizar na arquitetura. Faço referência às várias técnicas construtivas em madeira de forma a demonstrar o que se consegue com este material quando aplicado na construção civil, explorando um pouco a sua utilização e evolução ao longo da história.

Capítulo 7: Anteprojeto

O anteprojeto apresenta então um estudo sobre um edifício que, através da pré-fabricação dos seus componentes torna mais fácil a sua montagem e desmontagem, permitindo uma substituição ou adição de novos elementos ou módulos, de forma a contribuir para uma maior racionalização nos materiais evitando desperdícios e assim tornar o edifício ecologicamente correto. O edifício apresentado é então uma variável do que se pode conseguir ao utilizar este sistema construtivo, pois ao ser de certa forma flexível, pode ser esteticamente customizado de acordo com a preferência do arquiteto e/ou cliente.

Capítulo II - Construção Sustentável

2.1. Conceito de Sustentabilidade

“Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias necessidades.” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 1987).

Pode-se dizer que sustentabilidade é como que tentar encontrar um equilíbrio num certo processo que permita a sua existência ou permanência. Temos como exemplo, um tema que ultimamente tem sido bastante abordado e preocupante para a sociedade de um modo em geral, a utilização de recursos não renováveis para a satisfação das necessidades humanas. O consumo destes recursos irá um dia ter um fim devido à evidência de que estes não serão repostos naturalmente no meio ambiente, o que irá implicar consequências negativas nas próximas gerações. O consumo destas matérias-primas não é um fator negativo apenas por terem a particularidade de eventualmente um dia desaparecerem do planeta, existem outros problemas que surgem, tal como as emissões de CO₂ para a atmosfera aquando das queimas de combustíveis fósseis ou durante a transformação de matérias-primas nos materiais finais pretendidos. No entanto não é só de produção de energia ou matérias-primas que se trata este conceito, pois apesar de ser uma das partes fundamentais deste trabalho, a sustentabilidade vai além da questão ambiental, passando também por questões sociais ou económicas.

Como descrito anteriormente, sustentabilidade no ramo da construção civil vai além da produção de energia e matérias-primas não renováveis, pois a correta utilização dos elementos construtivos, dos processos construtivos, das intervenções na construção e os próprios edifícios são também aspetos a considerar para uma indústria da construção mais sustentável. Sendo talvez o aspeto ambiental o que mais nos prende a atenção quando se referencia uma construção sustentável, é necessário também uma racionalização nos campos económicos e sociais que estão agregados a todo o conjunto de atividades no processo de edificação.

Exemplificando, em Portugal, o SBTOOLPT é um método/ferramenta que ao ser aplicado permite o reconhecimento, a avaliação e a certificação da sustentabilidade de edifícios. O SBTOOLPT é uma variação Portuguesa do sistema internacional SBTOOL, uma ferramenta de avaliação e reconhecimento da sustentabilidade de edifícios desenvolvido pela associação sem fins lucrativos iSBE resultando da colaboração de mais de 20 países (Europa, Ásia e América). Este sistema divide-se então em 3 dimensões, as já referidas em cima,

ambiental, social e económica, que são descritas da seguinte forma tal como demonstra a tabela 1, adaptada de Oliveira (2005).

Tabela 1: Impactos associados às dimensões do desenvolvimento sustentável. Oliveira (2005)

DIMENSAO AMBIENTAL
Consumo de recursos naturais (água, energia e matérias-primas);
Emissão de gases com efeito de estufa e outros compostos poluentes;
Produção de resíduos;
Conforto térmico e acústico;
Contaminação dos solos;
Ocupação do solo;
Impactes na biodiversidade;
DIMENSAO SOCIAL
Saúde e segurança no trabalho;
Formação profissional;
Integração e envolvimento das comunidades locais;
Alterações paisagísticas;
Impacto visual;
DIMENSAO ECONÓMICA
Valorização do ativo imobiliário;
Criação de emprego direto e indireto;
Catalisador de desenvolvimento de outros setores.

Partindo do princípio que o trabalho se desenvolve de forma a demonstrar que a Construção Civil merece um maior aprimoramento relativamente à sustentabilidade, e mais precisamente no campo ambiental, destaco que a maior parte da construção que se pratica hoje em dia é agressiva para com o meio ambiente, nomeadamente nas técnicas utilizadas que não permitem uma construção racional do início ao fim do ciclo de vida de um edifício.

2.2. O Impacto ambiental relacionado com a atividade da construção

O impacto ambiental é aquilo que o ser humano provoca quando realiza uma atividade no meio ambiente e este impacto pode ser menos ou mais agressivo para com a natureza. Dependendo de vários fatores, na atividade da construção o impacto ambiental causado pelo homem aparece de variadas formas, tal como a extração de matérias-primas, o local de

implantação da construção, o processo de construção, os processos de fabrico e produção de materiais, os movimentos de maquinarias, os materiais empregues etc.

Para aliar uma prática sustentável com o mundo da arquitetura existe a necessidade de encontrar formas de exercer uma arquitetura sustentável e mais racionalizada, e não é que já não existam. A verdade é que este conceito ligado à arquitetura é praticado há largos anos, e o que falta é uma aplicação mais generalizada destas técnicas e materiais no mundo da construção, o que não se verifica, pois ainda se constrói maioritariamente à base de técnicas tradicionais e materiais que agredem o meio ambiente.

DIANA SCILLAG, diretora do CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável), afirma *“De tudo o que se extrai da natureza, apenas entre 20% e 50% das matérias-primas naturais são realmente consumidas pela construção civil”*, o que demonstra o volume de resíduos gerados pela atividade durante a construção e demolição. SCILLAG diz ainda: *“Hoje aproximadamente 40% da energia mundial é consumida pelos edifícios...onde se pode dividir esse consumo em dois momentos.”* Esses dois momentos são a etapa pré-operacional ou de energia embutida, que é a energia gasta na extração das matérias-primas e consequente transformação em materiais pretendidos, no transporte e na construção do edifício, e a outra etapa é a energia consumida durante a sua ocupação, manutenção e demolição.

Em Portugal surge no ano 2000 o projeto LiderA, que é um sistema voluntário de apoio para a procura, avaliação e certificação da sustentabilidade dos ambientes construídos. O seu objetivo consistiu na elaboração de um sistema de apoio, avaliação e contribuição para o desenvolvimento da sustentabilidade ao nível de edifícios, espaços exteriores e zonas construídas, (Pinheiro, 2011).

O excesso de CO₂ emitido para a atmosfera provém maioritariamente de atividades relacionadas com a construção, nomeadamente o CO₂ produzido por maquinarias e processos de fabrico de materiais como o cimento ou derivados do ferro, que mais uma vez, provém de recursos não renováveis, no entanto, a poluição ambiental que advém da atividade da construção não é apenas notada junto aos locais das obras, é uma poluição que se torna global.

Deste modo notamos que atualmente a construção tem um impacto negativo de grande dimensão para com o ambiente, devido aos mais variados fatores. O ponto negativo não tem só a ver com a extração de matérias-primas, tem também a ver com a incorreta gestão de todos estes materiais, originando grandes desperdícios residuais. A tabela 2 demonstra a origem e as causas dos resíduos provenientes da construção civil:

Tabela 2: Origem e causas dos resíduos na construção civil. LOPES (2013)

ORIGEM DOS RESÍDUOS	CAUSAS DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO
CONTRATUAL	Ação dos clientes
	Erros no caderno de encargos
	Caderno de encargos incompleto no início da construção
	Falta de envolvimento das partes interessadas desde o início
	Erros de encomenda
	Falta de possibilidade e encomendar menores quantidades
AQUISIÇÃO	Adquirir produtos que não cumprem as especificações
	Falta de comunicação entre as partes
	Documentação de aquisição insuficiente ou incompleta
PROJETO	Erros do fornecedor
	Alterações de projeto
	Complexidade de detalhes e conceção
	Especificações pouco claras ou inadequadas
	Erros de projeto
TRANSPORTE	Mã comunicação e coordenação
	Danos durante o transporte
	Métodos de descarga pouco eficientes
	Dificuldade de acesso dos veículos aos estaleiros
PLANEAMENTO E GESTÃO NO LOCAL	Falta de planos de gestão de resíduos no local
	Atrasos na transmissão de informações sobre os tipos e tamanhos dos materiais e componentes a serem utilizados
	Acidentes devido a negligência
	Falta de supervisão
	Planeamento inadequado
	Aquisição de quantidades inexatas devido à falta de planeamento
	Dificuldade para encomendar pequenas quantidades
PEDIDOS DE MATERIAL	Transporte e erro dos fornecedores
	Armazenamento impróprio dando origem a danos ou deterioração
ARMAZENAMENTO DO MATERIAL	Materiais armazenados longe do ponto de aplicação
	Fornecimento de materiais soltos
	Métodos de armazenamento inadequados
	Manuseio inadequado de materiais
MANUSEIO DOS MATERIAIS	Método de transporte do local de armazenamento até ao ponto de aplicação
	Mau funcionamento do equipamento
LOCAL DE OPERAÇÃO	Uso de materiais errados o que resulta na sua eliminação
	Uso incorreto do material que, por sua vez, exige substituição
	A pressão do tempo
	Acidentes devido a negligência
	Materiais e produtos não utilizados
OUTROS	Tempo
	Vandalismo
	Roubo

2.3. O que é uma construção sustentável

Anteriormente observou-se que o homem tem na atividade da construção uma grande responsabilidade para com o meio ambiente, por isso é necessário adaptar novas técnicas que permitam que a construção se torne uma atividade mais justa para com a natureza. A ideia de que a construção sustentável é recente não é assim tão correta, visto que variados países já adquiriram diversos incentivos para aplicar este conceito nas suas construções tal como o Japão, os E.U.A., alguns países Europeus e o Brasil onde são desenvolvidas algumas técnicas construtivas nesta área, Faria (2007).

Para definir o que é afinal construção sustentável pode-se recorrer a uma das afirmações que mais é aceite internacionalmente, “ *a criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos*”, KIBERT (1994).

No decorrer de um conjunto de práticas, que serão adotadas antes, durante e depois dos trabalhos de construção é possível ter uma construção dita sustentável, ou por outras palavras que não seja agressiva para o meio ambiente. No Brasil existem algumas iniciativas, e segundo a informação disponibilizada no sítio *online* infoescola o IDHEA (Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica), enumera nove fases para uma construção sustentável:

- O planeamento da obra de forma sustentável;
- O aproveitamento dos recursos naturais disponíveis (ventilação e luminosidade naturais ao invés do ar condicionado ou luz artificial durante o dia);
- Eficiência energética;
- Gestão e economia de água;
- Gestão de resíduos;
- Qualidade do ar e ambiente interior;
- Conforto térmico e acústico;
- Uso racional dos materiais;
- Uso de tecnologias e produtos que não agridam o meio ambiente.

Desta forma torna-se claro que na fase de projeto é fundamental assegurar que todo o planeamento da futura construção do edifício é o mais correto e eficiente. Assim, de modo a que estas ações sejam melhor aplicadas surgem modelos de avaliação e certificação de desempenho ambiental, dos quais se evidenciam o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o LiderA, este último no contexto Português, (Miguel et al, 2015).

Uma vez criado em Portugal, o sistema LiderA foi adaptado ao contexto sociocultural, económico e climático do país e integra um conjunto de critérios que permitem avaliar o desempenho ambiental de uma construção. Neste contexto, apoia-se em princípios suportados pela Agenda 21 e em orientações de sustentabilidade que se encontram presentes no Regulamento Geral de Edificações Urbanas (RGEU). Idealmente aplicam-se desde a fase de projeto e entendem o desempenho como um compromisso para os atingir, nomeadamente os seguintes, Pinheiro (2006):

- Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração - identificar e potenciar as características do solo, valorizando-o ecologicamente;
- Promover a eficiência no uso de recursos - água, energia e materiais;
- Reduzir o impacto das cargas - atenuar os impactes dos efluentes, emissões, resíduos e ruído;
- Garantir a qualidade ambiental interior - promover o conforto ao integrar a qualidade do ar interior, conforto térmico, a acústica e a iluminação;
- Promover as vivências socioeconómicas sustentáveis;
- Promover a utilização sustentável dos espaços construídos através da gestão ambiental e da inovação.

De modo a direcionar o trabalho para o objetivo final, irei-me focar principalmente no planeamento da obra de forma sustentável e o uso racional dos materiais. Os desperdícios e resíduos provenientes dos materiais muitas vezes não apresentam nenhuma utilidade, pelo que são empilhados, formando grandes depósitos de resíduos, que antes fizeram parte de um todo, tendo sido necessário gastar energia na sua produção, sendo que essa energia foi gasta, tal como a matéria-prima, para depois serem descartados, o que faz com que seja de enorme importância o uso racional da quantidade de material a utilizar.

Por outras palavras, uma construção que seja bem planeada, evitará desperdícios materiais exagerados, que possivelmente não terão grande utilidade no futuro e servirão apenas para aumentar os gastos, a poluição e as montanhas de desperdícios. A escolha da madeira como material mais importante neste trabalho advém principalmente do impacto ambiental negativo que os outros materiais fazem no ecossistema terrestre e nas propriedades que ela nos oferece, tanto as mecânicas como as estéticas, sendo possível substituir numa grande parte todos os outros materiais de construção. Saliento ainda que a madeira, apesar de ser um material natural, não pode ser abandonada após a desconstrução ou demolição de um edifício, pois esta, ao ser deixada a apodrecer libertará dióxido de carbono para a atmosfera tornando-se um material tóxico para o ambiente. É então que a madeira nos oferece outra vantagem, como veremos mais à frente, é possível proceder a uma reciclagem deste material e transformação para produtos derivados desta.

No caso de um projeto que tenha como material principal a madeira, é importante que se consiga utilizar madeira que tenha uma origem próxima ao local de obras, evitando assim que esta, ou outro material, tenha de ser transportado por longas distâncias o que faria com que os gastos económicos fossem maiores tal como as emissões de CO₂.

Da mesma forma que é necessário planejar o uso dos materiais antes destes serem colocados em obra, é necessário pensar o que fazer depois do fim do ciclo de vida dos edifícios e conseqüentemente dos materiais que os constituem. A desconstrução e a demolição são dois conceitos semelhantes, mas diferentes na prática, pois apesar de serem ambos os últimos processos de um projeto, a demolição indica que o edifício vai ser destruído tal como os materiais também vão ser destruídos se não houver um planeamento para uma correta desconstrução e reciclagem, e este planeamento visa diminuir os desperdícios e resíduos materiais de construção tal como os que são apresentados na tabela 2.

Capítulo III - Processo da desconstrução ou demolição no projeto

3.1. Introdução

Quando se fala em construção sustentável é essencial que se tratem todas as fases da construção e o seu ciclo de vida, o que implica que a fase da desconstrução de um edifício tem necessariamente de ser enquadrada no projeto de arquitetura, para encontrar as soluções menos agressivas ao meio ambiente.

A demolição ou desconstrução na construção civil é o método que visa a demolição descontrolada ou controlada de um ou mais edifícios, podendo ser efetuada com recurso a várias técnicas, onde geralmente o processo se sucede inversamente à sequência da construção, (infoescola.com).

De acordo com a AEGE (*Asociación de Empresas con Gran Consumo de Energía*) sabe-se que o consumo total de energia mundial destinado à criação de novos edifícios é de aproximadamente 50%, restando 25% para o sector dos transportes e 25% para a indústria. Destes 50% de energia gasta, uma grande parte é também utilizada nos processos de demolição, que não é planeada racionalmente, e, apontando novamente a uma escala global, 35% dos resíduos gerados pela atividade humana são provenientes da construção civil.

Segundo Gomes e Oliveira (2008), podemos dividir em dois grupos os edifícios que apresentam motivos para uma demolição, os edifícios com alguns anos de utilização e os recém-construídos. Nos edifícios com utilização prolongada os principais motivos para se proceder a uma demolição são:

- Fim da vida útil do edifício;
- Adaptação a novos usos e funções;
- Reforço estrutural;
- Deformações a longo prazo;
- Imposições regulamentares;
- Anomalias existentes e durabilidade dos materiais;
- Catástrofes naturais ou humanas.

Relativamente aos edifícios recém-construídos os motivos são:

- Alteração do projeto;
- Incompatibilidade entre projetos de diferentes especialidades:
- Erros / deficiências de projeto e/ou de construção;
- Acidentes.

É necessário então, pensar e aplicar formas de construir os nossos edifícios que possibilitem uma desconstrução, ou desmontagem seletiva dos elementos constituintes, beneficiando não só o meio ambiente como também a nós próprios, tendo em conta que uma utilização racional da montagem e desmontagem dos edifícios leva a poupanças a nível económico e tempo despendido. As formas mais adequadas são sem dúvida o correto planeamento do projeto, técnicas construtivas utilizadas de maneira a facilitar uma desconstrução controlada e eficiente e também o emprego de materiais não agressivos ao meio ambiente. Técnicas estas, que como demonstra a tabela 3, permitem valorizar os resíduos e peças que faziam parte do edifício até então desconstruído.

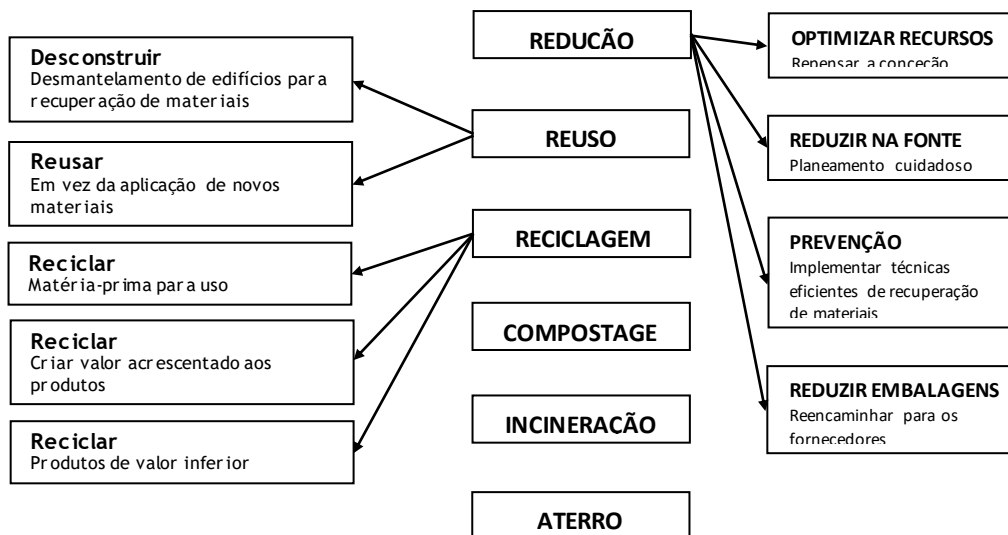
Estes aspetos em cima enunciados são também destacados em Couto, Couto e Teixeira (2006), afirmando que no âmbito da sustentabilidade na construção, a desconstrução surge como o processo que se caracteriza pelo desmantelamento seletivo dos edifícios no sentido de possibilitar a recuperação dos materiais e dos componentes de construção e assim, promover a reciclagem e a reutilização dos mesmos. Para que ocorra um aumento da prática da desconstrução de edifícios, aquando o seu ciclo de vida, é necessário promover a regulamentação ambiental, implementar técnicas de desconstrução e sensibilizar os principais intervenientes da atividade da construção, nomeadamente os donos de obra, empreiteiros e projetistas.

Evidenciando ainda mais o facto da necessidade da desconstrução ser um aspeto a ter em conta e bem planeado ainda na fase de projeto/conceção do edifício, Torgal e Jalali (2010), enunciam alguns aspetos a respeitar:

- Aplicar materiais reciclados e reutilizáveis;
- Minimizar o número de materiais diferentes - simplifica o processo de organização de materiais e reduz o transporte;
- Evitar materiais tóxicos e perigosos - reduz o potencial de contaminação dos materiais e de risco para a saúde humana durante a desmontagem;
- Evitar materiais compósitos e produtos que não possam ser reparados;
- Evitar acabamentos secundários - quando certos revestimentos possuem material base podem condicionar a reciclagem;
- Fornecer uma identificação permanente dos diversos materiais;
- Minimizar o número de componentes diferentes - simplifica o processo e aumenta o potencial de reprocessamento tornando-o mais atrativo;

- Privilegiar ligações mecânicas sobre as ligações químicas;
- Projetar edifícios com base em plantas abertas - permite alterações nos compartimentos do edifício através da recolocação nos componentes;
- Utilizar elementos modulares;
- Adotar tecnologias de desconstrução compatíveis com as práticas construtivas;
- Separar a estrutura dos revestimentos;
- Utilizar soluções estruturais normalizadas;
- Utilizar materiais leves;
- Gerir e catalogar a informação do edifício e do processo de construção.

Tabela 3: Hierarquia da gestão de resíduos para a demolição e operações de construção (Fonte: Kibert e Chini, 2001)



3.2. A desconstrução na arquitetura convencional

A desconstrução nas técnicas construtivas comuns visa, neste estudo em concreto, as práticas construtivas não pré-fabricadas utilizando materiais como o betão e o tijolo.

Demolir um edifício composto por estes materiais é praticamente um sinónimo de destruição e lixo, devido ao fato de se tornar impraticável a reutilização de por exemplo tijolos agregados entre si, o que resulta na maioria das vezes em amontoados de resíduos sem qualquer tipo de reaproveitamento, empilhados em aterros muitas vezes ilegais e prejudiciais ao meio ambiente. No entanto os resíduos provenientes de uma construção dita convencional não surgem apenas no processo de desmantelamento do edifício, durante o processo de construção as embalagens, materiais danificados ou aparados são também parte destes desperdícios como já verificámos anteriormente.

Antes da preocupação ambiental surge também a preocupação relativamente à segurança das pessoas, que estejam diretamente envolvidas no processo de desmantelamento do edifício ou das indiretamente envolvidas. Os processos de demolição mais tradicionais e que incidem em edifícios de construção tradicional geralmente provocam transtornos à vizinhança, grandes pedaços de materiais podem desprender-se, a poeira que se levanta com as implosões ou explosões além de ser incómoda pode ser prejudicial às pessoas, o movimento de máquinas e camiões carregados de lixo impedirão uma normal fluência do trânsito próximo e o próprio ruído provocado por todos os envolventes no processo.

Talvez o termo “desconstrução” não seja o mais adequado neste tipo de processo, “demolição” é porventura o mais apropriado porque demolir significa destruir, desfazer, deitar abaixo, e é o que acontece na grande maioria das construções convencionais, onde muito pouco do entulho é aproveitado. Já o termo “desconstruir” se orienta mais propriamente a uma demolição seletiva e racionalizada como veremos mais à frente nas técnicas de construção pré-fabricadas e modulares. Ainda assim, como já foi referenciado, existem técnicas e programas que podem ser seguidos para a demolição de edifícios onde é possível reciclar alguns elementos que fazem parte de um edifício tradicional, como por exemplo os cabos elétricos, caixilharias, vidros, madeiras ou peças metálicas, e também existem algumas finalidades dadas ao entulho que não são tão prejudiciais para o meio ambiente, evitando que fique depositado em grandes amontoados sem uma finalidade específica. No entanto, é uma percentagem muito reduzida de pessoas ou empresas que se dedicam à reciclagem de materiais provenientes destas demolições.

As diferentes técnicas aplicadas na demolição de edifícios convencionais são maioritariamente prejudiciais, o meio ambiente sofre com os depósitos de detritos, que muitas vezes são ilegais e a céu aberto, tal como sugere a figura 1 e que tanta vez se recorre, os gastos energéticos também são bastante elevados nos processos de demolição ou o impacto no próprio local devido à grande movimentação de veículos com cargas pesadas.



Figura 1: Exemplo de um aterro ilegal poluindo as águas e terrenos

3.3. A desconstrução na arquitetura pré-fabricada

Contrariamente a uma casa construída de forma tradicional, os edifícios pré-fabricados hoje em dia oferecem técnicas e formas bastante simples de interligação entre todos os elementos que os constituem. Desta forma basta pouco mais que um par de pessoas para conseguir desmontar em segurança e relativo conforto todas as peças estruturais, ou outras, com o auxílio de ferramentas leves e de fácil manuseamento. Com exceção aos grandes painéis e vigas pré-fabricadas de betão, que são também frequentemente utilizadas para a construção de edifícios, e de grandes vigas metálicas que também elas são muito pesadas, a pré-fabricação de peças para se construir um edifício oferece também técnicas e elementos estruturais e de acabamentos muito leves e práticos como a madeira ou o LSF (*Light Steel Frame*).

Desmontar uma habitação que é edificada com recurso a simples encaixes e parafusos, como se de um *Lego* se tratasse torna obviamente todo o processo mais facilitado. Desta forma os materiais podem ser retirados sem serem danificados, o que não acontece em paredes de tijolo por exemplo, em que o tijolo é partido e misturado com as argamassas ou outros materiais. Ao invés de existirem grandes e pesados pedaços de parede que necessitam de máquinas possantes para o transporte para os respetivos aterros têm-se ripas de madeira, perfis leves de aço, pequenos painéis para os acabamentos, etc., que podem ser substituídos, manuseados e levados de volta para a fábrica sem existirem desperdícios no processo de desmontagem.

O fato de ser possível desconstruir a nossa habitação, empacotá-la e montar novamente noutra local é uma vantagem que deve ser tida em conta, sendo como que uma arquitetura nómada. A quantidade de poluição dos veículos e máquinas necessárias para demolir um edifício tradicional não se verifica aqui, em alguns casos apenas são necessárias ferramentas manuais para o processo, sendo assim bastante reduzidas as movimentações de veículo e pessoas envolvidos no procedimento.

A madeira e o aço são os materiais que quando corretamente utilizados podem contribuir positivamente para uma construção sustentável. A madeira porque é renovável, tem as características necessárias para várias aplicações, pode ser reciclada, é possível recorrer a plantações próprias destinadas ao abate para a construção civil e existe na grande maioria dos países. O aço devido às novas técnicas de produção que reduzem significativamente as emissões de CO2 e o consumo de água, à possibilidade de ser reciclado inúmeras vezes e também pela leveza e facilidade de manuseamento que as peças atualmente nos oferecem, que ao mesmo tempo dão grande resistência.

A utilização da madeira na construção civil é um ponto forte para a contribuição para a sustentabilidade, mas o que fazer aos elementos em madeira quando se procede à desconstrução de uma casa pré-fabricada em madeira? Se não existir um destino pensado a dar aos elementos construtivos de madeira, vai certamente contrariar toda a ideia de sustentabilidade que este material possa vir a oferecer. Isto porque se deixada a apodrecer a madeira libertará CO₂ para a atmosfera, invalidando a sua absorção ao longo do seu tempo de vida, pelo que terá de ser tratada e reciclada, transformando-a de modo a poder ser reutilizada em outros elementos construtivos, ou na transformação para outros novos materiais como os derivados de madeira que veremos mais à frente.

Capítulo IV - Pré-fabricação na arquitetura

4.1. Introdução

A pré-fabricação pode ser definida como, a fabricação de edifícios inteiros ou componentes numa fábrica ou estaleiro a fim de serem transportados para o local de implantação da obra, (*The Penguin Dictionary of Architecture*, 1980)

Na arquitetura, a pré-fabricação costuma ser associada à monotonia das construções e da sua estética, à fraca resistência do edifício à intrusão ou à própria durabilidade do material ou a tantos outros fatores que tendem a não valorizar este tipo de sistema construtivo. Nunca foi uma técnica que possuísse um grande apoio por parte das pessoas, tanto é que apesar de já existir há décadas, ainda não se impôs no mundo da construção como muitos arquitetos pretendem. As técnicas são variadas, os materiais também e as provas da qualidade das construções estão pelo mundo fora, e talvez por isso se note na atualidade um número crescente de empresas apostadoras neste tipo de construção, passando por habitáculos facilmente transportáveis a edifícios de vários andares.

A escolha deste método recai, como já enunciei anteriormente, sobre o fato de ser mais positivo para o meio ambiente que os métodos tradicionais, e de modo a justificar este fato, a *Preventive Environmental Protection Approaches*, este método pode apresentar as seguintes melhorias, Couto e Couto (2007):

- Redução de 50% na quantidade de água utilizada na construção;
- Redução de 50% no uso de materiais provenientes de pedreiras;
- Redução de pelo menos 50% do consumo energético.

A arquitetura industrializada é sinónimo de economia e ecologia quando bem empregue, e aliar a madeira a este tipo de construção é atualmente uma das formas de conseguir um processo construtivo com um impacto bastante reduzido no meio ambiente. Outras vantagens surgem no âmbito deste processo, não só a construção é facilitada como também a sua desconstrução, em que é possível reciclar de forma mais organizada e correta os materiais empregues, resumidamente industrializar na arquitetura é produzir elementos em melhor qualidade com menor custo e quantidades maiores com tempos menores, onde basicamente os processos são os mesmos que de qualquer outra indústria, só que aplicados no âmbito da construção civil.

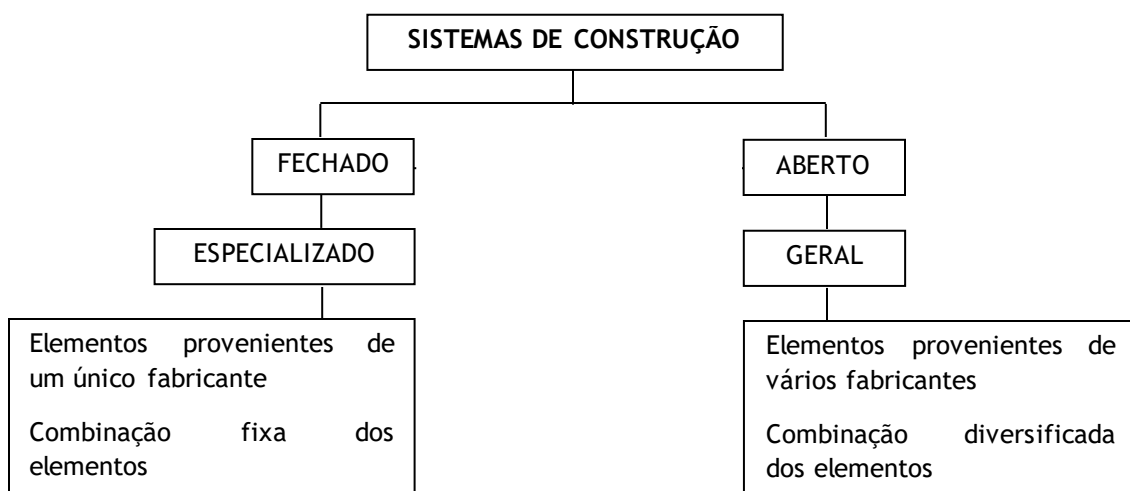
A industrialização é um processo organizacional e BAPTISTA (2005) caracteriza-o desta forma:

- Continuidade no fluxo de produção;
- Padronização;
- Integração dos diferentes estágios do processo global de produção;
- Alto nível de organização do trabalho;
- Mecanização em substituição ao trabalho manual sempre que possível;
- Pesquisa e experimentação organizada integradas à produção.

4.2. Sistemas Pré-fabricados

A evolução das técnicas construtivas pré-fabricadas permitiu que surgissem novas formas de produzir os módulos habitacionais, ou elementos montáveis e desmontáveis, e com isso surgiram também os conceitos de ciclo fechado, ciclo aberto ou ciclo flexibilizado como demonstra a tabela 4. Estes conceitos estão relacionados com a liberdade com que é possível utilizar os módulos, se é possível alterar a disposição dos seus elementos, ou se vem tudo pré-definido desde a fábrica e nada mais se pode fazer do que os colocar no lugar de implantação sem possibilidade de os dispor ou construir conforme a nossa necessidade.

Tabela 4: Os vários sistemas de construção pré-fabricados, STAIB et al (2008), *Components and Systems*



4.2.1. Sistema de Ciclo Fechado

É dos sistemas mais básicos, aqui o conceito é fabricar em série um tipo de casa ou elemento arquitetónico em certas quantidades, sendo que a finalidade é uma obra em específico, as peças ou módulos não servirão noutra obra noutra lugar, nem podem ser montados de forma diferente do que foi idealizado no projeto. Este sistema teve o seu auge no período após guerra, onde a produção em série respondeu à demanda de edifícios face ao rápido crescimento populacional. O período entre os anos 70 e 80 do século passado foi marcado por acidentes envolvendo edifícios que eram construídos com o recurso a grandes painéis pré-fabricados de betão-armado, o que levou a um declínio desta técnica, SALAS (1988). Uma grande desvantagem que se verificou é o fato de serem produzidos elementos de grandes dimensões, o que leva a grandes custos de produção e à dificuldade de manuseamento, pois são necessárias grandes máquinas para colocar os elementos no local, podendo alguns pesar até várias toneladas, aumentando mais uma vez os custos, neste caso no transporte dos componentes.

Características do sistema fechado:

- É um sistema que oferece uma personalização muito limitada;
- Não pode ser aplicado a outros mercados a não ser àquele a que foi destinado;
- Necessita de uma grande produção de unidades para se tornar viável;
- A topografia pode condicionar a implantação do edifício;

4.2.2. Sistema de Ciclo Aberto

O sistema de ciclo aberto oferece a possibilidade de utilizar num só edifício elementos pré-fabricados de diferentes empresas, comparado com o sistema fechado existe agora a possibilidade de ter um edifício mais personalizável. Quando um arquiteto projeta um edifício deste tipo, tem que saber qual a finalidade deste e depois selecionará um lote de fabricantes que poderão ser os fornecedores dos materiais. Desta forma o produto final, torna-se como que um arranjo racional de diversos produtos de diversos fabricantes, esta diversidade de componentes originou uma grande onda de especializações no mundo da fabricação de elementos arquitetónicos e uma concorrência para saber qual produtor fabricaria o material com as melhores características para o projeto, aparecendo assim os catálogos com a descrição dos elementos de dada empresa. Para que a obra consiga o resultado pretendido é necessário que os fornecedores obedeçam a regras standardizadas, como a dimensão modular, de fabricação, para que seja possível esta conexão de elementos sem existirem incompatibilidades.

Conforme FERREIRA (2003), os sistemas pré-fabricados de ciclos abertos surgiram na Europa com a proposta para uma pré-fabricação de componentes padronizados, os quais poderiam ser associados com produtos de outros fabricantes, onde a modulação e a padronização de componentes fornecem a base para a compatibilidade entre os elementos e subsistemas.

Segundo BRUNA (1976), *“A industrialização de componentes destinados ao mercado e não, exclusivamente, às necessidades de uma só empresa é conhecido como ciclo aberto”*.

A coordenação modular tem então um papel fundamental na construção pré-fabricada de ciclo aberto, porque devido ao facto do ponto de partida do sistema aberto serem os elementos que compõem o edifício, é necessária uma produção controlada, racional destes mesmos elementos, para que no fim a sua compatibilidade seja possível.

Características do sistema aberto:

- Devido às opções oferecidas pelas diversas empresas tem uma maior penetração no mercado;
- Permite uma liberdade na estruturação do projeto;
- Várias empresas surgem no mercado podendo especializar-se cada uma delas em peças ou tamanhos.

4.2.3. Sistema Flexibilizado

O sistema flexibilizado é basicamente um sistema aberto, mas mais que isso é um sistema onde não só os elementos pré-fabricados são “abertos” mas todo o sistema o é, isto permite a que o projeto seja flexível, adequando as tipologias ao gosto ou necessidade do usuário. É frequente a combinação de elementos pré-fabricados de variados tipos de materiais como o betão madeira e aço neste tipo de construção.

De acordo com FERREIRA (2003), o conceito de sistema flexibilizado na produção vai além da fábrica, com a possibilidade da produção de componentes no canteiro, dentro de um sistema com alto grau de controlo e qualidade e de organização de produção, como pode vir a ser o caso dos sistemas tipo “tilt-up”. Este sistema consiste na execução de paredes no local da obra sobre o piso de betão. As paredes são construídas na horizontal, onde são também anexadas as janelas, acabamentos e portas, sendo depois içadas por exemplo com o auxílio de guindastes e colocadas sobre as fundações. Assim o sistema flexibilizado permite adequar o projeto, flexibilizando em termos de tipologias e materiais.

4.3. Contexto histórico

O conceito de pré-fabricação na arquitetura tem as suas origens na Revolução Industrial, época em que o império britânico se encontrava em expansão em grande parte do globo. Foi durante este período que foram desenvolvidas técnicas construtivas pré-fabricadas, pela necessidade de uma rápida construção que permitisse também dar aos colonizadores condições de habitação, mas também pelo desconhecimento da existência de matérias-primas nesses locais, sendo que partes de edifícios eram enviados para as novas terras descobertas para serem depois montados.

Iniciando-se com a madeira, a produção industrializada de elementos arquitetónicos sofreu grandes evoluções, surgindo o aço e o betão como novos materiais, sendo um dos grandes impulsionadores para a construção rápida a II Guerra Mundial. A necessidade de uma reconstrução rápida das cidades atingidas pela guerra levou a que surgisse o betão pré-moldado e também a utilização do aço. Por ser um material recente tal como as técnicas utilizadas para a sua produção, estes painéis eram bastante robustos, ostentando a fama de serem monótonos rígidos e inflexíveis. Só com o decorrer dos anos é que as técnicas permitiram produzir elementos mais leves e resistentes, variando nos tamanhos e formatos. Grandes arquitetos como Le Corbusier, Jean Prouvé, Mies Van der Rohe, Frank Lloyd Wright entre outros, exploraram conceitos, técnicas, materiais e a principalmente a estética, alcançando resultados que são uma referência atualmente.

Os refugiados são uma preocupação e um tema bastante atual, e com eles vem a necessidade de construir rapidamente abrigos, variando dos efémeros até aos mais permanentes, sendo um problema que muitos arquitetos têm vindo a trabalhar. Como vemos, a pré-fabricação foi criada com base na resolução de problemas emergenciais, como já foi falado na colonização, pós-guerra e refugiados, sendo talvez esta umas das razões que leva a que desde sempre tenha sido um tipo de construção demasiado subvalorizada.

Atualmente o mundo da construção industrializada possui a ajuda dos grandes avanços tecnológicos, o surgimento de máquinas propositadamente projetadas para substituir parte dos trabalhos que até então eram realizados por operários, permitiu uma ainda maior racionalização do tempo e do consumo de materiais. Outras tecnologias surgiram que permitiram a criação de novos materiais ou aperfeiçoamento dos existentes, como os derivados da madeira, que atualmente voltou a surgir em larga escala como matéria-prima para um grande número de construções pré-fabricadas, sendo usualmente apelidada como o “Novo material”. Com estes avanços tecnológicos, e a cada vez maior preocupação para uma arquitetura mais sustentável, um grande número de profissionais da área comprometeram-se em cada vez mais apostar nas soluções pré-fabricadas, tentando alterar as tendências.

Nos tempos atuais a pré-fabricação é uma prática cada vez mais aplicada e as suas vantagens relativamente à construção sustentável têm sido discutidas por diversos autores e algumas delas são destacadas em Couto e Couto (2007) e Lopes e Amado (2012):

- O projeto torna-se mais rigoroso e estabilizado desde a fase inicial, contribuindo para a dinamização do tempo de construção devido à redução dos pedidos de esclarecimento entre empreiteiro e projetista;
- Projeto com menor número de erros;
- Envolvimento dos fornecedores n processo de conceção, o que pode resultar numa redução de custos;
- Maior coerência e correspondência entre o projeto do edifício e a sua construção, uma vez que os pormenores construtivos irão coincidir com os elementos reais a aplicar e, a forma de aplicação em obra dos elementos pré-fabricados é mais específica, não se encontrando tão sujeita às opções alternativas do empreiteiro;
- Produção industrializada com rotinas de produção que melhoram o controlo de qualidade ao longo de todo o ciclo produtivo, desde as matérias-primas aos ensaios do produto final;
- Rapidez de execução dos elementos em obra, conseguida através do planeamento e sistematização das operações a realizar em obra. O ritmo de execução dos elementos torna-se ainda menos dependente das condições atmosféricas, sendo por isso mais fácil cumprir prazos e controlar os programas estabelecidos;
- Redução do uso de andaimes e conseqüente redução dos custos e tempo associados;
- Maior segurança em obra/estaleiro;
- Reaproveitamento, em fábrica, das cofragens e outros elementos de moldagem;
- Possibilidade de conceber com mais facilidade um projeto mais eficiente ao nível do seu processo de desconstrução e conseqüente reaproveitamento dos elementos, uma vez que é comum as ligações de elementos pré-fabricados serem mecânicas permitindo uma desmontagem sem danos materiais;
- Possibilidade de redução da área de estaleiro (caso não seja necessário armazenar os elementos pré-fabricados);
- Maior facilidade de gestão e fiscalização sobre a qualidade dos produtos pré-fabricados e construção final;

- Redução dos resíduos de construção e demolição produzidos em obra;
- Redução do tempo e custos globais de construção;

Apesar destes aspetos tornarem claro que atualmente a pré-fabricação consegue rivalizar com a construção tradicional, também traz algumas dificuldades quando comparada com a construção em obra, destacando-se as seguintes:

- Continuidade técnica;

- Recurso a elementos de ligação adicionais;
- Necessidade de elevado rigor e controlo nas ligações;
- Maior tempo despendido e exatidão na fase de conceção/projeto;
- Maior controlo de fabricação;
- Uso de mão-de-obra especializada.

4.4. Materiais utilizados em sistemas pré-fabricados

Enumero três principais materiais utilizados na edificação pré-fabricada, o aço o betão e a madeira, sendo que cada um deles oferece características diferentes. No entanto a sua empregabilidade em edifícios é feita das mesmas três formas, podem ser utilizados para construir a estrutura (esqueleto) do edifício para depois ser fechada com outros materiais ou elementos do mesmo material, podem ser fabricados painéis com isolamentos, canalizações e acabamentos já incluídos e depois de levados até ao local da obra é só montar como se de um puzzle se trata-se, e são também feitos compartimentos inteiros, quartos, casas de banho, salas, *ateliers*, etc., que serão depois colocados no terreno final, e, lado a lado ou sobrepostos o edifício pode crescer acoplando-se os módulos uns aos outros.

Destaco essencialmente a madeira e o aço, que serão os dois materiais mais utilizados no anteprojecto. A madeira por ser um dos materiais que mais são amigos do ambiente como será explicado neste capítulo e ainda mais detalhadamente no capítulo 6, e o aço pelas sucessivas melhorias observadas no decorrer dos anos na sua produção, relativamente ao seu impacto cada vez menos agressivo para com o meio ambiente.

4.4.1. Aço

O aço é um material com uma grande capacidade estrutural, age muito bem à tensão das forças aplicadas sobre ele, forças estas que em demasia podem causar a deformação da peça em aço visto ser um material elástico. A vantagem da utilização do aço comparativamente aos métodos tradicionais é a possibilidade deste poder ser reciclado infinitamente, é um material que não apresenta grandes desperdícios no local da obra, é mais resistente aos sismos e por ser produzido em ambiente controlado reduz os gastos económicos.

A produção de peças em aço começou durante a revolução industrial, o fabrico de peças para pontes foi o ponto de partida na construção padronizada de elementos estruturais fora do local de construção, levadas então para o local de obras para serem montadas até

formar toda a estrutura. A união das peças fazia-se com o recurso a rebites, e rapidamente o uso de peças metálicas pré-fabricadas estendeu-se para o uso da construção de navios, onde chapas eram colocadas, sendo depois desmontadas e novamente montadas sem grandes dificuldades.

Este processo tornou-se relativamente comum no início de 1800, época em que o sistema métrico foi substituído pela dimensão modular e em 1851, idealizado pela empresa de construção Fox & Henderson, surgiu o primeiro edifício pensado e realizado com o recurso à coordenação dos módulos, o Palácio de Cristal em Inglaterra. Este Palácio foi um dos pioneiros maiores neste tipo de construção, a leveza oferecida pelo aço e vidro, e a rapidez de montagem e desmontagem das peças, tornaram este edifício num padrão para as futuras construções estandardizadas. A área coberta era de 90 000 m², o comprimento de 563 metros e uma altura de 33 metros, a planta era definida por um elemento modular de 7,32 x 7,32 metros, e os pilares vigas e asnas foram pintados de cores diferentes facilitando o entendimento da função de cada elemento. Após a exposição o edifício foi desmontado e montado novamente agora no sul de Londres, demonstrando a vantagem de se ter procedido a esta técnica de construção modular.



Figura 2: Palácio de cristal, Londres

Atualmente a estrutura para edifícios de habitação é dimensionada maioritariamente com recurso a perfis leves de aço galvanizado (LSF), fixados com parafusos e conectores. Os fechamentos e acabamentos podem ser nos mais variados materiais, sendo comumente utilizadas placas de gesso acartonado e placas OSB para as paredes divisórias. A aplicação de LSF em estruturas pré-fabricadas oferece vantagens técnicas, ambientais e económicas relativamente a outros materiais como o betão, alvenaria ou até a madeira em alguns casos,

e é uma técnica bastante utilizada nos dias de hoje para a construção de casas de habitação, e não só, sendo que a sua utilização tem vindo a crescer de dia para dia.



Figura 3: Elevação de uma parede em LSF

A escolha deste material para certos elementos que constituem o anteprojecto foi baseada no facto de atualmente se notar um crescimento da aposta neste material no mundo da construção, deste apresentar aspectos bastante interessantes relativamente ao seu impacto cada vez menos negativo no meio ambiente e de oferecer uma certa resistência ao edifício e leveza ao mesmo tempo.

O aço é composto por ferro, que é um dos elementos que existem em maior quantidade no planeta, sendo por isso de fácil aquisição, e o seu processo de produção atual permite obter um material puro sem que este emita poluentes para a atmosfera. Além disto o LSF utiliza elementos bastante leves, permitindo que sejam utilizadas fundações menos profundas, gerando menos movimentos de máquinas pesadas. Outras características são por exemplo a capacidade em resistir a terremotos, ser magneticamente neutro, ser flexível e apresentar um balanço ecológico positivo. De acordo com as informações obtidas da FUTURENG e segundo o artigo de Lemoine, B., (S.d.). Aço, um material de construção ecológico para um desenvolvimento sustentável, pode-se constatar que uma construção utilizando o aço reduz em cerca de 40% o consumo de água comparativamente a uma construção em betão durante o processo construtivo do projecto. Devido a corretas técnicas de isolamento estas estruturas apresentam bons índices de economia de energia, facilidade de manutenção e adaptabilidade, e no fim da vida útil do edifício é possível reciclar e reaproveitar todos os elementos em aço.

4.4.2. Betão

SALAS (1988) considera que se pode dividir a história das construções pré-fabricadas em betão em 3 etapas:

De 1950 a 1970 - Período em que a guerra destruiu um grande número de habitações e era necessário construir edificações com os mais variados fins, como escolas, casas, hospitais etc. Aqui era utilizado o sistema de ciclo fechado de construção, pois os componentes eram fabricados pelo mesmo fornecedor.

De 1970 a 1980 - Neste período o sistema pré-fabricado fechado teve um grande declínio no seu uso. Isto deveu-se pelo fato de terem ocorrido grandes acidentes que incluíam grandes elementos pré-fabricados de betão, o que levou a uma rejeição social na aceitação deste tipo de construção.

Pós 1980 - Depois de ter surgido a rejeição social para com as construções pré-fabricadas em betão, foram surgindo estudos e novas técnicas de construção, pelo que apareceu o sistema de ciclo aberto.

A pré-fabricação em betão é feita de duas principais formas, a produção de vigas e pilares ou a produção de habitáculos inteiros. Recorre-se, por exemplo, à produção de vigas e pilares quando se quer construir o esqueleto estrutural de um edifício, onde é só colocar estes elementos no lugar e proceder aos fechamentos e acabamentos com outros materiais ou com recurso a painéis de betão leve, que são painéis tipo *sandwich* com isolamento no interior.



Figura 4: Aplicação de elementos pré-fabricados num edifício

A produção de habitáculos em ambiente fabril que é tal como o nome diz, a produção de compartimentos ou a totalidade de um edifício já com todos os elementos estruturais e fechamentos em betão, e que, depois de finalizados, serão transportados e implantados no local pretendido.

Talvez um dos mais icónicos edifícios que tenha sido baseado nesta técnica seja o conjunto habitacional HABITAT 67, que foi construído no Canadá, pelo arquiteto Moshe Safdie para a sua tese de doutoramento. O conjunto consistia em uma espécie de empilhamento de habitáculos previamente construídos separadamente em betão armado, que juntos formavam então um conjunto de habitação.



Figura 5: Construção do conjunto habitacional, HABITAT 67, CANADÁ

As grandes desvantagens de se utilizar o betão como material construtivo são a necessidade de existência de boas acessibilidades até ao local da obra, devido às grandes dimensões das peças fabricadas e acima de tudo do peso destas, outra desvantagem é o processo de fabrico utilizar vários materiais não renováveis e poluentes.

4.4.3. Madeira

No ano de 1830 o carpinteiro H. John Manning, tem a ideia de construir uma casa com a finalidade de ser enviada da Grã-Bretanha para o filho que tinha emigrado para a Austrália. Surgiu assim a casa transportável, que foi na altura bem recebida entre o público, pelo que John Manning iniciou um negócio de comercialização destas casas, tanto na Grã-Bretanha como nas colónias. A casa consistia numa estrutura de madeira que era aparafusada e os fechamentos com painéis também de madeira, onde todos os elementos foram pensados para proporcionarem uma construção mais económica e rápida, ordenando e organizando todos os elementos perfeitamente.

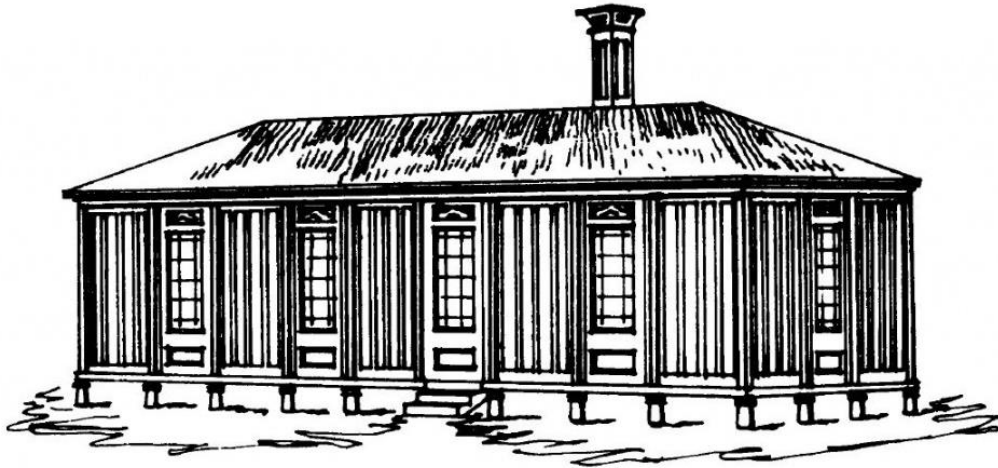


Figura 6: Casa desenhada por JOHN MANNING

Desde então que esta técnica tem sido aperfeiçoada, tanto a nível construtivo como de materiais utilizados como, por exemplo, o aparecimento dos derivados da madeira.

A madeira é um material que pode ser utilizado em quase todos os elementos de uma habitação e fazendo uma comparação com o aço e o betão, é um material que é renovável, resistente o suficiente para servir de elemento estrutural e tem grandes capacidades térmicas comparando com a transmissão de temperatura entre o interior e o exterior de um edifício que ocorre aquando da utilização de outros materiais. Desde sempre que é um material utilizado na construção pelo homem, e atualmente é o terceiro material mais utilizado na construção civil.

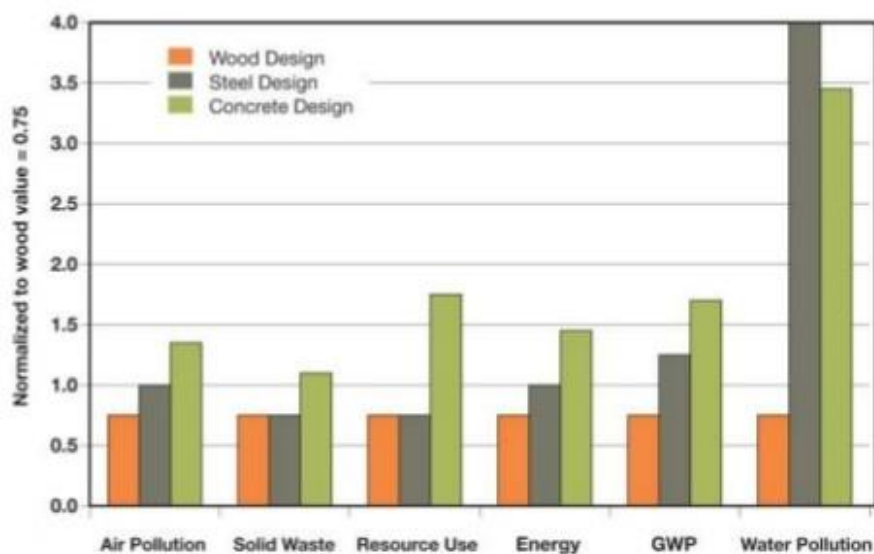


Figura 7: Comparação do impacto ambiental entre o aço, betão e a madeira

Capítulo V - Módulo

5.1. Introdução

Neste capítulo, o módulo aparece de modo a conseguirmos entender mais detalhadamente o funcionamento da pré-fabricação, e das suas principais características, nomeadamente a construção através do “encaixe” de peças pré-moldadas a fim de construir o nosso edifício, por isso mesmo aqui o módulo será estudado no campo da Arquitetura, e como é uma parte importante da pré-fabricação.

Anteriormente observámos que a pré-fabricação consistia, resumidamente, na conceção dos elementos constituintes do nosso edifício fora do local de obra, ou seja em ambiente fabril e controlado. No entanto o módulo surge como uma forma de facilitar essa produção, possibilitando que as peças, ou edifícios tenham dimensões standardizadas, que sejam fáceis de repetir, e assim, as peças saem com mais rapidez do local de fabrico e com dimensões que podem ser entendidas facilmente por outros construtores.

No capítulo em que se apresentará o anteprojecto, será evidenciado a importância que os elementos, ao terem medidas padrão, facilitarão todo o processo de construção, troca de materiais e outros elementos construtivos e também a desconstrução de todo o conjunto.

5.2. Contexto histórico

No caso da arquitetura, o módulo é uma unidade de medida convencional, reguladora das proporções dos elementos e de uma obra arquitetónica, FERREIRA (1999).

A História mostra-nos que o módulo teve uma evolução desde a antiguidade até ao ano 1700, onde os Etruscos foram os primeiros a utilizar a modulação com uma certa regularidade, mas foram os Gregos, Romanos e Japoneses quem desenvolveram mais profundamente o sistema.

5.2.1. Antiguidade

Na arquitetura clássica o sistema baseava-se em proporções baseadas no diâmetro inferior das colunas, e na Japonesa a medida modular é em função das dimensões do tatami. Voltando à arquitetura clássica e aos Gregos, as suas construções tinham como objetivo alcançar uma harmonia entre todos os elementos do edifício, o mais importante era conseguir um importante valor estético, ficando este com um significado mais importante do que a sua função. Assim, apesar de ser considerada uma arquitetura pré-histórica, devido às técnicas aplicadas, em que simplesmente se apoiavam elementos horizontais em elementos verticais, os gregos desenvolveram peças arquitetónicas devidamente pensadas. Exemplo oferecido pelos Gregos é a dimensão das colunas, que para ter a harmonia perfeita, a sua altura tem de ser igual a seis diâmetros da sua base, e o entablamento deveria ser igual a 2 diâmetros, no entanto estas medidas só servem para um edifício, assim o módulo do diâmetro da base de uma coluna não era uma unidade de medida absoluta, NISSEN (1976).

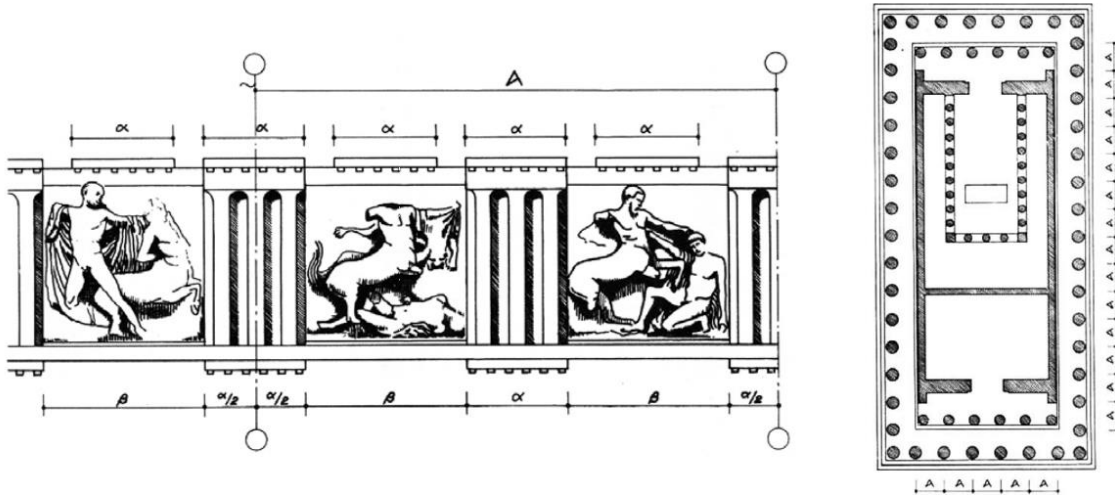


Figura 8: Organização das colunas na fachada do edifício Figura 9: Distribuição das colunas em planta NISSEN (1976)

A matemática teve também o seu peso no que toca ao desenvolvimento das questões da proporção, sendo desenvolvida na Grécia a Proporção Áurea. A fórmula da secção áurea indica-nos que sobre uma reta AB, ergue-se uma perpendicular BD, igual à metade de AB. Une-se DA fazendo centro em D, toma-se o raio DB e traça-se o arco EB. Faz-se centro em A e traça-se o arco EC. Teremos a divisão da recta em duas partes desiguais, estando uma em relação à outra em divina proporção, pois CB estará para AC como AB. Esta divisão dá-nos o valor de aproximadamente 1,6180 ou Φ , letra phi do alfabeto Grego, *Live Science* (2003).

A tabela 5 é demonstrativa de como os Romanos adaptaram a construção baseada em módulos a diversas escalas, indo do planejamento urbano, projetando cidades baseadas nestes sistemas de malhas reticulares:

Tabela 5: Medidas modulares Romanas, disponível em habitare.org.br.

Componentes	Dimensões
Tubo cerâmico para água	Comprimento modular: 1 <i>gradu</i> (passo)
Telha	Comprimento e largura modulares: 1 <i>Cubitu</i> (osso longo situado na face interna do antebraço) = 6 <i>palmi</i> (palma: porção da mão entre o punho e os dedos)
Imbrex	Comprimento modular: 1 <i>cubitu</i> = 6 <i>palmi</i>
Laje de tijolos para hypocaustu (sistema de calefação)	Comprimento e largura modulares: 1 <i>Bipedalis</i> (2 pés) = 8 <i>palmi</i>
Pequena coluna de pedra para hypocaustu	Largura modular: 1 <i>semis</i> = 2 <i>palmi</i> Altura modular: 2 <i>pedes</i> = 8 <i>palmi</i>
Tijolo <i>lydica</i>	Largura modular: 1 <i>pes</i> = 4 <i>palmi</i> Altura modular: 1 <i>palmus</i> Comprimento modular: 1 <i>cubitu</i> = 6 <i>palmi</i>
Vários ladrilhos quadrados para pisos	Áreas modulares = 1 <i>cubitu</i> quadrado ou 1 <i>pes</i> quadrado ou 1 <i>bes</i> quadrado
Vários ladrilhos hexagonais	Largura modular: 1 <i>bes</i> ou 1 <i>triens</i> ou 2 <i>unciae</i> (polegadas)
Pequenas pedras e tijolos para mosaicos	Espaço modular: 1 <i>uncia</i> cúbica ou 1 <i>smiuncia</i> cúbica ou 1 <i>silicus</i> (rocha) cúbico

Contrariamente aos Gregos, o Japão não utilizava o módulo em função da estética do edifício, mas sim da sua funcionalidade. A medida adotada era chamada de KEN, e era utilizada para dimensionar apenas o espaçamento entre colunas, no entanto com o tempo passou a ser uma medida absoluta, Ching (1998). A dimensão de um tatami, que é um tipo de tecido de palha entrelaçada utilizado como tapete ou revestimento no piso tradicional Japonês, é de aproximadamente 1,80 metros por 0,90 metros, Japan Tatame industry (2015), variando alguns centímetros de região para região dentro do País, e esta medida não foi só adotada para a construção de habitações como também se tornou um módulo que regeu a distribuição, composição, estrutura e o espaço de arquitetura Japonesa tal como se observa na figura 17. Observamos então a transição de uma modulação puramente estética, para uma modulação prática e funcional.

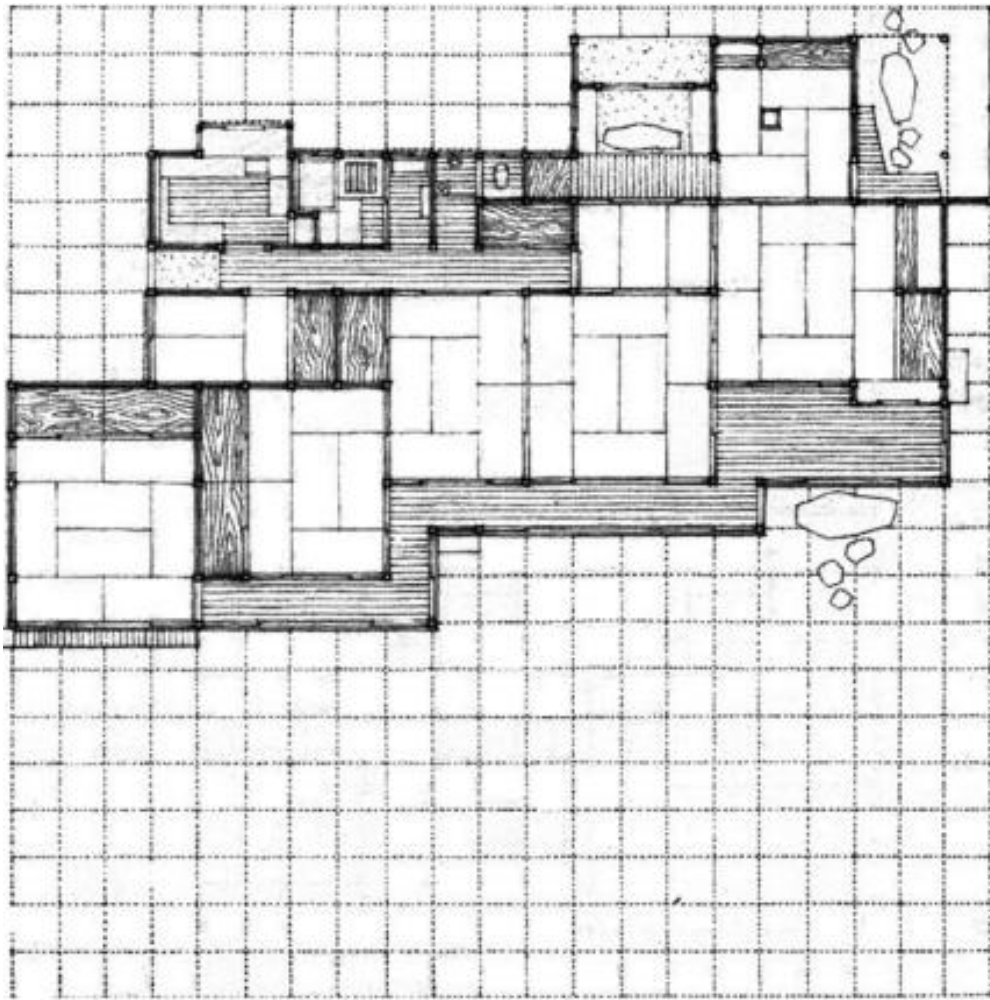


Figura 12: Tatamis (elementos retangulares) dispostos de maneira a formar as divisões interiores do edifício, CHING (2002)

5.2.2. Revolução Industrial

Anteriormente referido como pioneiro no mundo da construção pré-fabricada, o Palácio de Cristal foi definitivamente o primeiro edifício a ser construído com o apoio da maquinaria que surgiu na época. Todos os elementos incluídos no edifício foram estudados ao detalhe, desde o método de produção, passando pelo sistema de montagem até a um rigoroso controlo dos custos. O método utilizado era a fundição do ferro, e através dos moldes faziam-se repetidamente a mesma peça, outro material foi o vidro, daí o nome palácio de cristal, e o vidro condicionou bastante a escolha do módulo, a medida máxima das placas de vidro era de 8 pés, 240 centímetros, e foi esta dimensão que determinou a malha modular e a posição de todos os restantes elementos, GOSSSEL; LEUTHAUSER (1991).

Este foi o ponto de início para a construção separada de elementos em massa, que posteriormente tinham a finalidade de serem todos coordenados entre si para formar o edifício. A construção padronizada, o estudo dos encaixes, gastos económicos e de tempo foram colocados em prática em muitas outras obras que se seguiram, fazendo desta, uma técnica utilizada em quase todo o mundo.

5.2.3. Século XX

A evolução provocada pela Revolução Industrial na sociedade levou a que a construção civil também sofresse alterações, os arquitetos tinham chegado a um ponto em que algo tinha de mudar para combater os longos períodos que uma obra necessitava para estar pronta e os altos custos associados. Vários arquitetos tinham-se comprometido em estudar novas técnicas, Le Corbusier (1921), afirmou que as casas precisavam ser produzidas em fábricas tal como os carros, *“A grande indústria deve ocupar-se com a edificação e estabelecer em série os elementos da casa. Deve ser criado o estado de espírito da série: de construir casas em série, de habitar casas em série, de conceber casas em série”* (Le Corbusier, Modulor 1) e Walter Gropius construiu duas casas revolucionárias, em 1927 em um bairro operário em 1932 a casa ampliável, ambas foram construídas a seco com componentes pré-fabricados, ROSSO (1976). No entanto foi um industrial de Boston, Alfred Farwell Bemis, quem desenvolveu a possibilidade de ser utilizado um módulo universal para a indústria moderna, e julgou que o módulo mais racional era o de 4 polegadas (10,06 centímetros).

Posteriormente, em 1942, Le Corbusier começa a estudar um sistema que adequa-se as medidas antropomórficas às medidas necessárias na produção industrial, PADOVAN (1999). Le Corbusier inspirou-se na cultura Grega e através das dimensões estéticas da proporção áurea e da série de Fibonacci e das proporções do corpo humano Le Corbusier fundamenta o Le Modulor, um instrumento que regulava as medidas da escala humana sendo aplicável universalmente, CHING (1998). O Modulor é formado por três medidas: 43, 70 e 113 centímetros, Le Corbusier baseou-se na altura média de um indivíduo Francês, 175 cm, mas mais tarde adotou a altura dos heróis dos policiais franceses, 183 cm de altura ou 6 pés.

Com isto Le Corbusier foi alvo de várias objeções, e uma delas era o porquê de se basear em algo tão certo e rígido quando a arte e a arquitetura são cheias de incertezas. A altura de 183 cm também é alvo de críticas, o mundo afinal não é habitado só por homens adultos, e muitos desses adultos não têm essa “dimensão ideal”. Construir elementos arquitetónicos a pensar num heróis com 183 cm de altura, não é o mesmo que projetar para o ser humano em geral, assim a tentativa de Le Corbusier estabelecer uma medida modular universal que pudesse ser adotada para a standardização de todos os objetos envolvidos no processo de construção não foi talvez a mais correta, pelo menos na prática.

Assim, apesar de Le Corbusier ter “fracassado” na sua tentativa de implementar uma medida unificadora nos projetos de arquitetura, a ideia ficou, e esse foi o aspecto mais importante porque permitiu uma evolução nos estudos arquitetônicos que levaram a que algum tempo mais tarde surgissem regras que tornassem a arquitetura e a construção entendida universalmente.

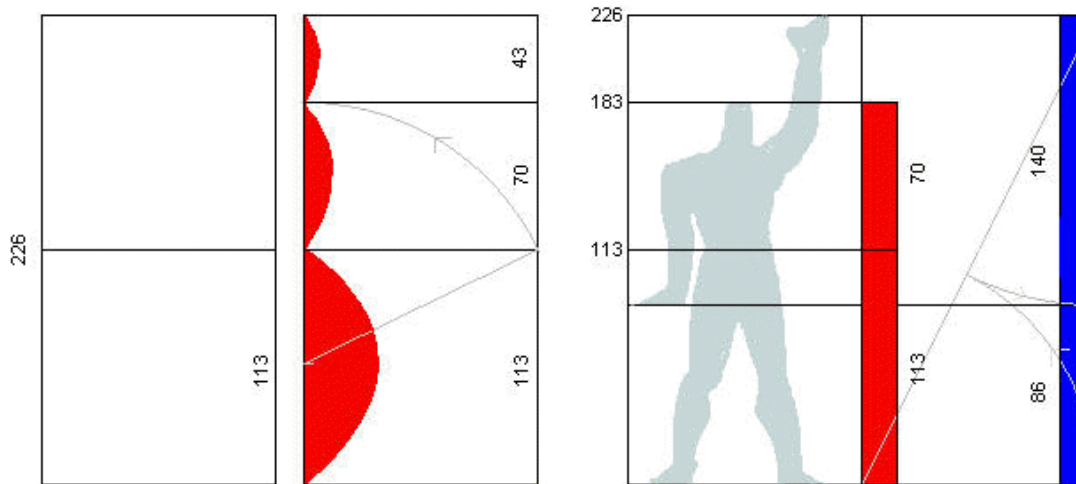


Figura 13: *Le Modulor*, de Le Corbusier.

Nos E.U.A. a medida adotada era de 4 polegadas (10,06 cm), e na Suécia durante a guerra começou-se a adotar a medida de 10 centímetros como base da coordenação modular. Foi então que no ano de 1949 um Comitê da Internacional Organization for Standardization (ISO), verificou que muitos países se preocupavam com o problema do estabelecimento de uma norma universal, mas quase nenhum deles tinha normalizado normas a nível nacional. Em 1953 foi fundada a Associação Europeia de Produtividade (AEP) e em 1957 foi oficialmente aprovada a adoção da medida de 10 centímetros ou 4 polegadas como módulo base, ROSSO (1976).

Podemos então resumir e dividir a pré-fabricação e o conceito de modulação na arquitetura em três períodos, o primeiro situa-se desde a antiguidade até ao ano de 1700, onde foram desenvolvidas técnicas construtivas que apresentavam cuidados relativamente às dimensões utilizadas, essas dimensões começaram por ser apenas estéticas passando depois a ser estético-funcionais, o segundo período é-nos trazido desde o ano 1700 até ao ano de 1850, onde a centralização da arquitetura deixa de estar no homem mas passa a estar na máquina. Aqui apareceram as máquinas a vapor, que permitiram o desenvolvimento de equipamentos que transformaram os materiais do seu estado primitivo em elementos arquitetónicos pré-fabricados, surgindo o conceito de arquitetura industrial, caracterizado pela produção em

série e seguindo certos padrões reduzindo o tempo de produção e desperdícios. O terceiro período vai desde 1850 até à atualidade, apresentando-se como o que conhecemos de “Coordenação Modular”. Aqui a produção dá-se a partir dos propósitos da indústria da construção moderna, existindo agora uma necessidade para coordenar as dimensões e normalizar as medidas dos elementos arquitetónicos pré-fabricados.

5.3. O módulo

Depois de exemplificados os diferentes conceitos de módulo, e das suas origens, este subcapítulo aborda mais diretamente o que e afinal o módulo e as suas funções, e, segundo Baldauf e Greven (2007), a Agência Europeia para a Produtividade (AEP) enumera as 3 fundamentais funções do módulo:

- É o denominador comum de todas as medidas ordenadas;
- É o incremento unitário de toda e qualquer dimensão modular, a fim de que a soma ou a diferença de duas dimensões modulares também seja modular;
- É um fator numérico, expresso em unidades do sistema de medida adotado ou a razão de uma progressão.

A unidade de dimensão de um módulo é um tamanho técnico definido por M , e na Europa o M é igual a 10 cm, BUSSAT (1963). Este termo é também aplicado a um elemento situado dentro de um sistema com base num princípio de classificação como por exemplo pilares, painéis de paredes ou unidades habitacionais inteiras. A dimensão dos edifícios com base no módulo de M deve ser múltiplo inteiro desta unidade básica.

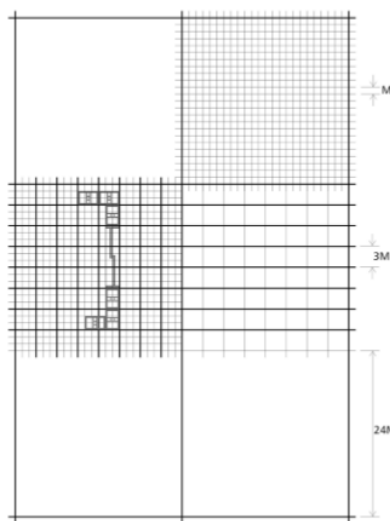


Figura 14: Classificação modular. (Staib et al, 2008)

Classificação modular, (Staib et al, 2008):

M - Módulo básico (quadrícula modular)

O padrão Europeu para o Módulo base é de 100 mm.

3M - Multi-Módulo (quadrícula de projeto)

O multi-módulo é o múltiplo normalizado do módulo básico, quando multiplicado por um número inteiro, por exemplo, 3M, 6M, 12M, etc.

24M - Módulo estrutural (quadrícula estrutural)

O módulo estrutural é um múltiplo dos múltiplos e determina a Coordenação Dimensional para a estrutura.

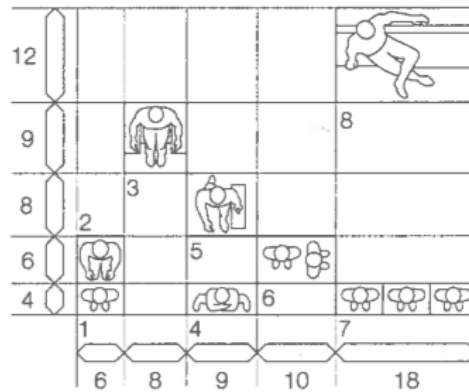


Figura 15: Múltiplos amplamente utilizados para o dimensionamento de interiores com base no ser humano, (Staib et al, 2008)

Valores numéricos de comprimento e largura baseados em medições humanas, com a finalidade de dimensionar interiores.

- 1) Pessoa em pé
- 2) Pessoa sentada
- 3) Pessoa sentada numa cadeira
- 4) Pessoa em pé com as pernas afastadas
- 5) Pessoa a transportar uma mala
- 6) Duas pessoas em pé
- 7) Três pessoas em pé lado a lado
- 8) Pessoa sentada num sofá

5.4. Grelha

O módulo como elemento arquitetônico tem como finalidade ser colocado num local específico do edifício, e é através de uma grelha geométrica que se determina a posição e também as dimensões desses elementos. A grelha, normalmente definida por um sistema quadrangular ou retangular, define a relação entre os vários elementos compositores do edifício, podendo esta ser bidimensional ou tridimensional. Não se deve confundir este tipo de grelha com, por exemplo, as grelhas estruturais, que apesar de poderem ser sobrepostas não devem ser confundidas, adaptado de, Staib et. Al. (2008). Componentes and systems.

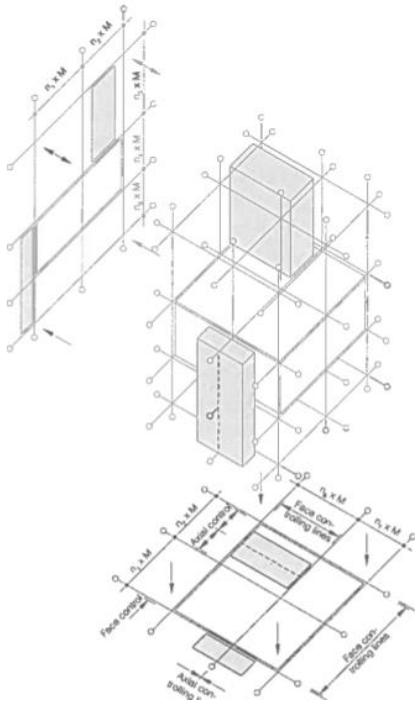


Figura 16: Relação entre grelhas planas e espaciais.

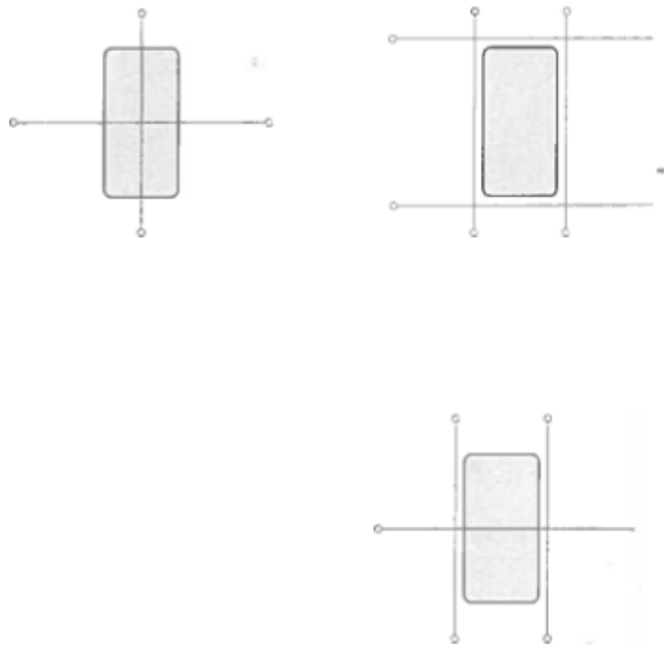


Figura 17: Combinação da grelha axial e modular

5.5. Coordenação modular

Para se perceber o significado de coordenação modular é necessário recorrer a algumas teorias defendidas por alguns autores:

Conforme Mascaró (1976) a Coordenação Modular é: “um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser

unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes”.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1975), define-a como sendo “a aplicação específica do método industrial por meio da qual se estabelece uma dependência recíproca entre produtos básicos (componentes), intermediários de série e produtos finais (edifícios), mediante o uso de uma unidade de medida comum, representada pelo módulo”.

Já a NBR 5706: “Coordenação Modular da construção - procedimento”, a ABNT (1977) usa como definição “técnica que permite relacionar as medidas do projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência”. Enquanto Rosso (1976) contrariamente acredita que os que a definem como técnica apenas a vêem como instrumento de projeto, rigorosamente disciplinado pelo uso de retículas e quadriculas, “enquanto na verdade é uma metodologia sistemática de industrialização”.

Lucini (2001) diz-nos que é “o sistema dimensional de referência que, a partir de medidas com base num módulo pré-determinado (10cm), compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construtivas como o uso de componentes em projeto e obra, sem sofrer modificações”.

A definição que desmistifica a Coordenação Modular, e que se pode considerar mais atual e abrangente é a de Greven (2000), que a define como “a ordenação dos espaços na construção civil”.

Como se pode constatar, a Coordenação Modular é para quase todos os autores referidos acima, uma forma de construir um edifício recorrendo a elementos pré-fabricados segundo medidas e normas universais, que facilitem e permitam a sua agregação e perfeita combinação. Esta forma de pensar a arquitetura facilita o entendimento entre diferentes produtores, fazendo com que os materiais e as matérias-primas sejam utilizados mais racionalmente, contribuindo para uma construção mais ecológica e sustentável.

5.6. Componentes modulares

Segundo a ABNT (1975), para ser modularmente coordenado, um componente deve atender a três critérios básicos: seleção, correlação e intercambiabilidade.

A seleção tem o intuito de reduzir a variedade de tipos para atender às necessidades dos projetistas, a correlação tem o objetivo de definir a reciprocidade que facilita a disposição dos elementos e a intercambiabilidade assegura as condições que facilitam a montagem e estabelece normas para os ajustes e tolerâncias.

A figura 18 resume esquematicamente o que foi dito anteriormente acerca dos componentes modulares, o facto de os materiais serem múltiplos de um módulo base, é possível encaixar vários tipos de materiais com as diferentes dimensões sem ter de recorrer a cortes de última hora para encaixá-los no espaço pretendido.

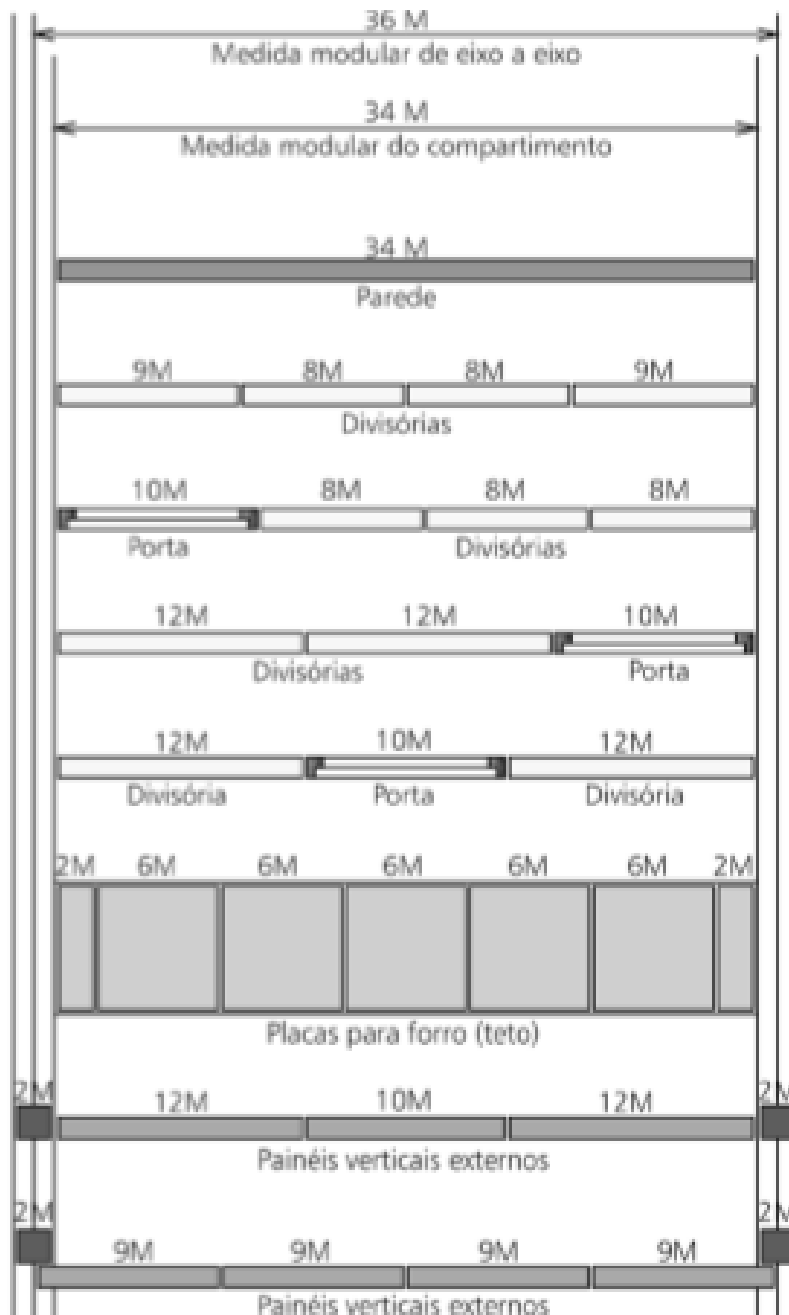


Figura 18: Demonstração do encaixe de várias peças com diferentes tamanhos em um mesmo espaço. Staib et al (2008)

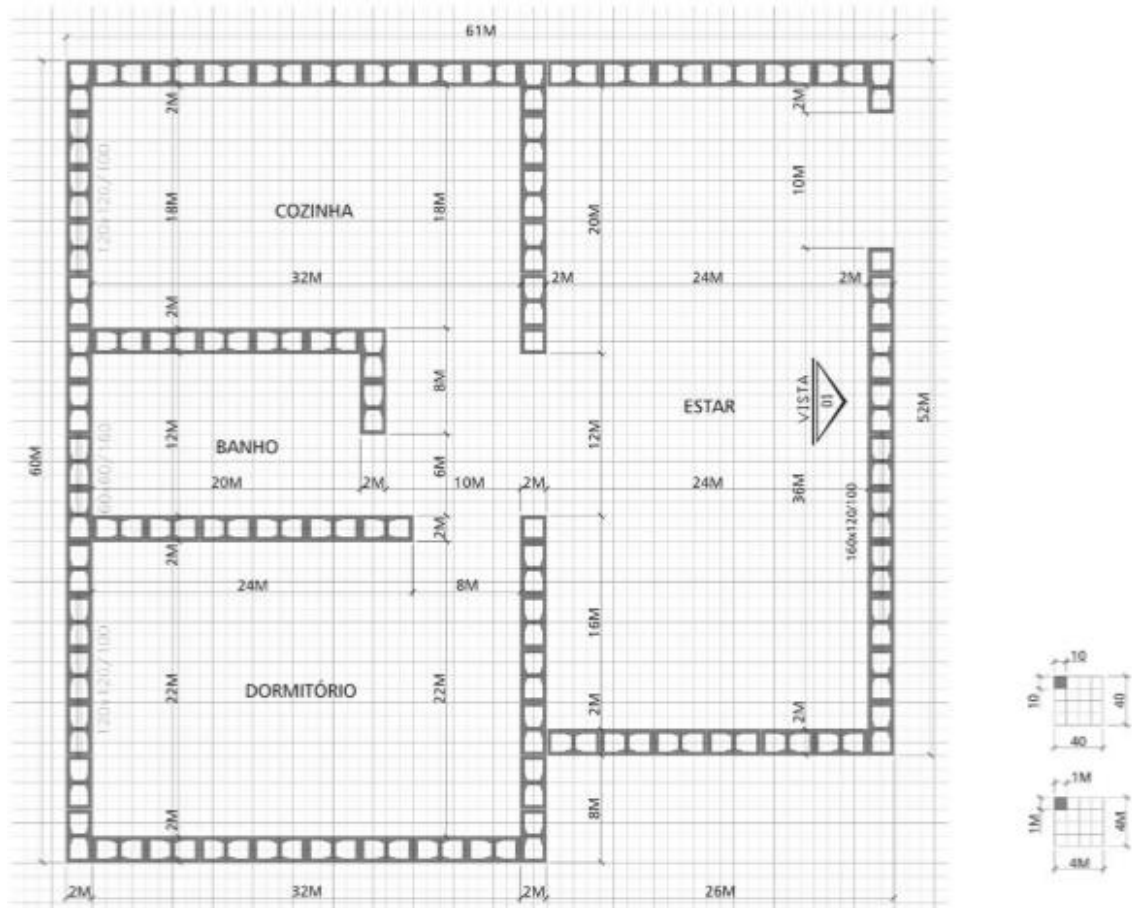


Figura 19: Exemplo de uma planta baixa modular a partir de blocos. (Staub *et al*, 2008)

A figura em cima apresenta uma planta modular a partir de blocos de espessura 2M, e de comprimento 4M, sobre o quadriculado modular de referência 1M x 1M. Desta forma é possível planear de forma controlada a disposição dos blocos, as áreas que delimitam e onde se irão conectar outros elementos, adaptado de Staub *et al*, (2008).

Capítulo VI - A madeira na construção

6.1. Introdução

Para que o anteprojeto final se enquadre à ideia inicial do trabalho de ser necessário um cuidado dos arquitetos para com a prática da construção, de forma a tornar esta atividade mais sustentável, o estudo sobre a utilização da madeira na construção civil torna-se indispensável.

A madeira é como já foi observado nos capítulos anteriores, um material que também pode ser utilizado na construção civil. Veremos no desenvolvimento do capítulo, as características que este material nos oferece, e como é que ao ser utilizado com mais regularidade pode contribuir em muitos aspectos para que a construção civil se torne cada vez mais uma atividade menos agressiva para o meio ambiente.

6.2. A utilização da madeira na construção

Como já foi referenciado no desenvolvimento do trabalho, a madeira não é o material utilizado mais intensamente na construção civil, no entanto é um dos mais antigos, precisamente por ser oferecido em abundância pela natureza como também pelas suas características. A distribuição da madeira no mundo não é uniforme tanto em espécie como em quantidade, levando a que os povos tenham diferentes tipos de madeira à sua disposição.

Por ser um material de muita leveza comparando à sua grande resistência e a facilidade com que é moldada, escavada ou cortada e as diferentes características que variam de espécie para espécie, fazem deste um material que desde muito cedo é utilizado pela humanidade como material de construção, tanto de abrigos como de outros objetos e utensílios, passando pelas tendas, cabanas e até barcos. Analisando a madeira como material de construção, observamos que não existe um tipo em concreto de madeira mais indicado para a edificação de uma habitação, mas sim vários, em que se adaptam as diferentes características às técnicas utilizadas, ao clima da região em que será aplicada e também qual será a sua finalidade na obra.

A madeira foi de uma utilidade extrema que permitiu a evolução dos povos desde os primórdios da humanidade, e, no entanto, esta tem vindo a cair em desuso devido às grandes

indústrias que existem hoje em dia, produzindo materiais sintéticos à base de petróleo e outros produtos com origens em matérias-primas não renováveis.

6.2. A importância da reflorestação

Apesar de a madeira nos ser oferecida em quantidades enormes, e também devido à sua capacidade de crescimento e renovação, não é, de um modo geral, um material de crescimento rápido, pelo que a desflorestação para outros fins que não a construção, o abate de árvores para utilização na construção civil ou qualquer outra finalidade que leve à desflorestação são processos que levam a que grandes florestas com milhares de anos se percam, incluindo toda a sua fauna e restantes ecossistemas que delas dependem.

Portanto, é necessário que se proceda a programas de plantação e abate controlado de árvores, programas estes que existem já em vários países no mundo permitindo que exista um ciclo entre o abate e a regeneração dessas mesmas “florestas” sem termos de invadir e destruir todas as grandes florestas milenares que nos são tão preciosas e cada vez mais raras. A reflorestação pode ser feita de modo natural ou induzida pelo homem, e esta, tende a formar florestas que são na maioria dos aspetos, diferentes das florestas que nasceram e cresceram naturalmente, no entanto, a reflorestação pelo homem é ainda assim um método positivo para a preservação do meio ambiente. Nos presentes dias, a reflorestação aparece com grande entusiasmo principalmente nos países da América do sul, tentando travar a destruição da floresta da amazónia, onde 8 países sul-americanos se comprometeram em reflorestar cerca de 20 milhões de hectares, e outras grandes empresas espalhadas pelo mundo estão a construir cada vez mais edifícios recorrendo à madeira certificada de florestas de reflorestação.

O Brasil, que é um dos países que investe numa maior área de reflorestação para a construção civil, cerca de 6.1 Milhões de Hectares, tem desde os anos 60 um programa que permite equilibrar o abate de florestas nativas e plantadas pelo homem. Carlos Alberto Funcia (s.d.), presidente do SBS, afirma *“As madeiras de reflorestamento, como o pinho ou eucalipto, podem ser cortadas com idade entre os 10 e os 15 anos, enquanto qualquer nativa necessita de mais de 30 anos de crescimento”* Revista Arquitetura & Construção (2009).

É importante ainda realçar que o abate de árvores para utilização da madeira como elemento estrutural, revestimento etc. num edifício, não é o único responsável pela desflorestação, grandes áreas de florestas são deitadas abaixo com a finalidade de produzir carvão para o processamento, por exemplo, do ferro guso, que é um material intermediário do aço.

Só para se ter uma ideia são necessários cerca de 33,41 metros cúbicos de madeira para produzir 16,7 metros cúbicos de carvão vegetal, que por sua vez irá ser utilizado para o fabrico de 1 metro quadrado de ferro gusa, que será então um elemento do aço. Estes 33,41 metros cúbicos de madeira poderiam ser utilizados quase na sua totalidade se o aço fosse substituído pela madeira, evitando assim o desmatamento em larga escala e a produção de dióxido de carbono, A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990 (2008).

6.3. Tipos de madeiras em Portugal

Portugal tem uma área florestal e um clima que permite a exploração da indústria da madeira, a tabela 6 demonstra as principais espécies de árvores que existem em Portugal que podem ser aplicadas na construção civil:

Tabela 6: Madeiras Nacionais e características (Fonte: JOTAH.sapo)

MADEIRAS NACIONAIS				
	COR	DUREZA E PESO	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Pinho	Amarelo-Claro	Moderadamente dura e pesada	Fácil de trabalhar	Mobiliário, Construção Civil
Carvalho	Acastanhada	Dura e moderadamente pesada	Fácil de trabalhar e muito durável	Construção Civil e Marcenaria
Eucalipto	Clara ou castanho-rosado	Dura e pesada	Fácil de trabalhar mas empena e fende com facilidade	Construção Civil, marcenaria, pasta de papel
Castanho	Castanho-claro	Dura e leve	Muito durável e fácil de trabalhar	Marcenaria, Construção Civil
Plátano	Clara	Moderadamente dura e pesada	Fácil de trabalhar, boa decoração, empane quando não está seca	Marcenaria
Faia	Clara e castanha-rosada	Dura e moderadamente pesada	Boa observação	Revestimentos interiores, mobiliário
Sobreiro	Avermelhada	Pesada e muito dura	Tendência para fender	Marcenaria, Construção Civil e carpintaria

6.4. Características que a madeira oferece como material de construção

A madeira é um material orgânico, que é produzido a partir do tecido das plantas. Como já anteriormente referido, é um material oferecido por diferentes espécies de árvores, pelo que as suas características variam muito de espécie para espécie, tal como a sua cor, resistência mecânica, odor, resistência à combustão e densidade, ainda assim a sua constituição é muito semelhante em todas as espécies.

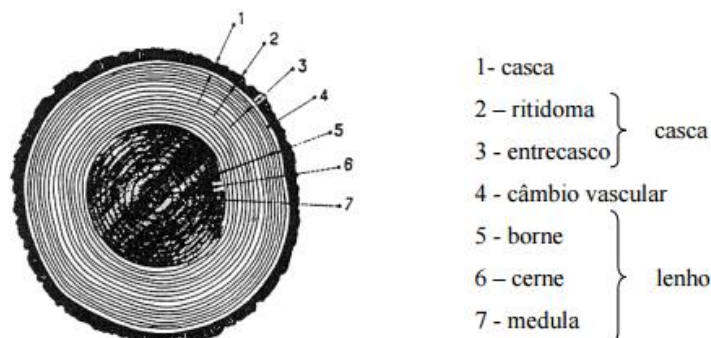


Figura 20: Corte transversal do caule de uma árvore (Fonte: LNEC E31)

Quando aplicada corretamente na construção civil a madeira oferece ao edifício características que praticamente nenhum outro material consegue alcançar, sendo um material que pode proporcionar ao edifício a mesma resistência que a maioria dos materiais sintéticos, além de ser um bom isolante térmico e acústico.

A madeira utilizada na construção sem tratamento adicional tem tendência a ter uma durabilidade menor aquela que é tratada, ainda que a aplicação da madeira possa ser sem qualquer tipo de tratamento. Através de agressores exteriores, a madeira de um modo geral, é muito suscetível a ataques de insetos, formigas, caruncho, humidade, fogo, etc., pelo que se recomenda a utilização de tratamentos, para que esta ofereça então na sua totalidade a resistência a esses agressores, o que resulta em uma durabilidade extremamente elevada, ultrapassando em alguns casos a durabilidade de construções com recurso a alvenaria ou metal, Madeira estrutural (2011).

6.4.1. Propriedade físico-mecânica

Relativamente à capacidade mecânica a madeira é um material que apresenta muito bons resultados tendo a capacidade de rivalizar com o betão e o metal. O clima, o tipo de solo e as condições locais, a anatomia do tecido lenhoso, a variação da composição química e

outros fatores têm uma grande influência acerca das propriedades e características mecânicas da madeira pelo que os valores que as indicam são apenas oscilações médias, que são próprias de cada espécie. Diferentemente de outros materiais como o metal ou outros de natureza homogênea, a madeira tem propriedades mecânicas diferentes nas várias direções de crescimento (axial, tangencial e radial).

A resistência à compressão pode ser medida axialmente ou transversalmente, sendo que por norma a madeira apresenta uma resistência à compressão axial de cerca de 15 vezes superior à compressão transversal.

A resistência à tração é também ela diferente caso seja aplicada transversalmente ou axialmente, sendo que a resistência à tração axial é cerca de 50 vezes superior à transversal.

A força da gravidade é quase sempre um desafio a ultrapassar no caso da construção civil, mais especificamente quando se fala em coberturas ou pontes. Esta força desafia os materiais a resistir à flexão na maioria das vezes, e neste caso a madeira perde para o metal, mas apresenta uma resistência superior à maior parte dos outros materiais. Estruturalmente a madeira tem a vantagem de ser muito leve relativamente à sua resistência.

6.4.2. Resistência à combustão

Por ser de conhecimento geral que a madeira é combustível ao fogo, muitas vezes não é respeitada corretamente quando se fala de resistência à combustão deste material enquanto material de construção. A combustão é inimiga de praticamente todos os materiais de construção quando expostos a esta, e desengane-se aquele que pense que a madeira é dos mais fracos. Comparativamente ao aço ao betão ou outros materiais deste género, a madeira é de facto um material facilmente combustível, no entanto o aço e o betão quando expostos ao fogo podem apresentar desvantagens favorecendo a utilização da madeira.



Figura 21: Viga de madeira exposta ao fogo. (DIAS, 2007)

O processo de combustão de uma peça de madeira acontece como que um ciclo vicioso, as chamas queimam e consomem a madeira superficial, aquecendo as partes mais profundas que vão libertando gás que serve de combustível continuando assim este ciclo. No entanto a camada superficial que é queimada transforma-se em carvão, que impede a libertação de mais gases, atrasando assim o seu consumo pelas chamas, mantendo intacta a alma da viga de madeira (por exemplo) conseguindo assim manter a capacidade de manter a carga a que está sujeita. Durante um incêndio as temperaturas podem ser superiores a 1000°C, sendo que o betão começa a perder as capacidades físicas aos 80°C e o aço aos 500°C já perdeu 80% da sua capacidade de resistência evidenciando assim a superioridade da madeira relativamente a estes materiais. A seguinte figura demonstra isso mesmo, enquanto que o aço derreteu e perdeu quase todas as suas capacidades durante um incêndio, a madeira apenas foi consumida parcialmente, e como se pode ver nos pregos, a camada superficial realmente foi consumida, mas o seu núcleo não o que permite à viga sustentar ainda algum peso, Pinto (2007).



Figura 22: Vigas metálicas derretidas por incêndio enquanto são suportadas por uma viga de madeira que resistiu. (DIAS, 2007)

6.4.3. Resistência à humidade

A humidade influencia em muito a qualidade da madeira sendo este um dos aspetos fundamentais a ter em conta. O normal é apresentar 15% de humidade, pelo que valores inferiores podem resultar na retratilidade da peça de madeira em causa, fazendo com que esta reduza no seu volume, sendo por isso recomendado uma secagem e impermeabilização adequada.

Um dos fatores que muitas vezes leva à dúvida sobre a utilização ou não da madeira tem a ver com as infiltrações de humidade no edifício através dos elementos em madeira.

6.4.4. Propriedade térmica da madeira

A madeira apresenta várias vantagens relativamente a outros materiais quando utilizado tanto em climas frios como quentes, onde nos climas frios a madeira está associada à retenção de calor no ambiente interior do edifício, enquanto que em climas quentes o seu uso visa uma menor absorção do calor que existe no exterior para o interior da habitação. A tabela 7 apresenta os valores das características térmicas de alguns materiais de construção, incluindo a madeira, para fins de comparação:

Tabela 7: Características térmicas dos materiais de construção, Bounduelle (2008)

MATERIAL	W/ m2 °C	OBSERVAÇÕES
Alumínio	200	A madeira é 1650 vezes melhor isolante
Aço	60	A madeira é 500 vezes melhor isolante
Betão	1,5	A madeira é 12 vezes melhor isolante
Vidro	1,15	A madeira é 10 vezes melhor isolante
Madeiras Resinosas	0,12	
Materiais Isolantes	0,04	A madeira é 3 vezes pior isolante, mas evita as pontes térmicas

Dentro das propriedades térmicas da madeira temos, Bounduelle (2008):

- Calor específico;
- Condutividade térmica;
- Transmissão ou difusão térmica;
- Coeficiente de expansão térmica (dilatação);
- Capacidade de isolamento térmico.

Temos como exemplo os cabos de utensílios que usamos na cozinha, grande parte deles são feito de madeira visto que este material aquece muito menos que o metal, ou seja, o calor específico é a quantidade de energia (calor) que é necessária para exista um aumento de 1°C em 1 Kg de matéria. Mais uma vez, esta característica depende do tipo de madeira que estamos a tratar, pois esta característica varia entre as espécies de madeira dependendo da densidade ou da humidade que esta presente.

Pode-se dizer que a condutividade térmica é a velocidade com que o calor é transportado pelo material, ou a capacidade que um determinado material tem em conduzir calor. A madeira tem uma condutividade muito baixa de calor, pelo que é utilizada em isolamentos, tal como em barris de cerveja, refrigeradores etc. Devido à sua estrutura

interior, pequenas bolsas celulares armazenam ar fazendo com que a madeira seja um pobre condutor térmico, ainda que dependa também do sentido da direção de transmissão do calor, visto que a condutividade de calor é maior se for paralelo às fibras do que se for transversalmente.

Transmissão ou difusão térmica é a velocidade com que o material absorve o calor do meio que o cerca e comparando com o tijolo furado ou o metal, a madeira apresenta resultados muito mais baixos, permitindo a que exista uma sensação térmica mais agradável no interior de uma habitação.

A expansão térmica é tal como o nome indica a expansão que o material apresenta (dilatação) aquando exposto a diferenças de temperatura. Quando a madeira é aquecida tem tendência para se expandir, e quando esfria tem tendência a contrair, Ghislaine Bounduelle (2008).

6.4.5. Propriedade acústica

A madeira como importante material de fabrico de instrumentos musicais e revestimento de paredes e assoalhos de edifícios, tem como grande importância as suas propriedades acústicas. Primeiro que tudo os principais conceitos da acústica são o som, a frequência e a velocidade do som. O som é produzido por vibrações de corpos que chegam aos ouvidos em forma de ondas mecânicas, propagando-se através de materiais. Na arquitetura o som propagado através dos materiais sólidos como paredes revestimentos ou pisos, é diferente daquele que é propagado pelo ar. A frequência tem a ver com a capacidade que temos em ouvir um som, sendo que o ser humano ouve sons entre os 20 Hz e os 20.000 Hz, e é incapaz de ouvir as restantes frequências. A velocidade do som é a capacidade que o som tem em se propagar num determinado material e depende com algum peso na humidade e temperatura desse mesmo material, onde a tabela 8 apresenta os valores desta propagação:

Tabela 8: Características acústicas dos materiais de construção. (Moreira, 2009)

MEIO DE PROPAGAÇÃO	VELOCIDADE m/s	TEMPERATURA DO MATERIAL °C
Ar	340	25
Água	1435	8
Ferro	3170	25
Alvenaria	3000	25
Madeira	1000 - 4000	25
Aço	5000	25
Vidro	5000	25
Granito	6400	25
Cortiça	500	25
Borracha	100	25

6.4.6. Durabilidade

Arqueólogos encontram regularmente instrumentos de madeira construídos pelo homem que resistiram ao longo de centenas ou milhares de anos, o que prova que a madeira é um material bastante durável mesmo com pouca manutenção. O templo de KIYOMIZUDERA, Quioto - JAPÃO construído em 798 DC é uma prova viva da durabilidade que um edifício em madeira pode alcançar, sem um único prego que una toda a estrutura, o edifício milenar resistiu todo este tempo e ainda se encontra de pé.



Figura 23: Templo Kiyomizudera, Quioto (Fonte: Madeiraestrutural.wordpress)

A durabilidade da madeira tem muito a ver com o tipo de madeira e o ambiente em que está localizada. Por ser um produto orgânico está sujeita a ataques de vários organismos tendo como finalidade o seu consumo, tal como bactérias, fungos, moluscos, insetos ou crustáceos, que decompõem a madeira. Outros fatores que podem comprometer a

durabilidade de uma estrutura de madeira são a disposição às ações ultravioletas, que causam alterações a nível da cor e na estrutura em si da própria peça, como também a exposição à água, sendo que a madeira só apodrece quando acontece a transição entre a exposição à água e a secagem fazendo com que apodreça, pelo que quando esta tiver permanentemente submersa não acontece o processo de deterioração.

Para evitar um apodrecimento precoce de um edifício construído à base da madeira deve-se ter em atenção alguns aspetos tais como (Fonte: madeiraestrutural.wordpress):

- Evitar pontos de condensação de água;
- Aplicar impermeabilizantes nos encaixes e apoios;
- Utilizar a madeira sempre 20 cm ou mais acima do solo;
- Deixar espaço livre entre o assoalho e o solo para ventilação;
- Deixar espaço livre entre o forro e a cobertura, também para ventilação.

Observando então os ataques prejudiciais que a madeira pode sofrer, é necessário que se proceda a certos tratamentos para que resista e perdure mais tempo, mas satisfazendo alguns requisitos em que o produto aplicado deva ser:

- Capaz de penetrar o mais profundo na madeira e apresentar-se tóxico à mais ampla gama de agressores;
- Seguro relativamente à combustibilidade e toxidez quando exposta a animais domésticos e humanos;
- Insolúvel à água;
- De baixo custo, permitindo a que a madeira mantenha a competitividade relativamente a outros materiais.

6.5. Derivados da madeira

Como já foi referido anteriormente, a madeira não pode ser deixada a apodrecer depois de utilizada na construção civil ou em qualquer outra atividade, sob o risco desta libertar todo o dióxido de carbono que armazenou durante o seu crescimento e inviabilizar a utilização deste material como contribuinte para a sustentabilidade do meio ambiente. Assim é necessário encontrar alternativas para o reaproveitamento destas madeiras, e uma das principais é a reciclagem e transformação de madeiras em produtos derivados, que possam ser aplicados e utilizados nas mais variadas atividades profissionais.

Por si só, a madeira oferece-nos excelentes características como material de construção, no entanto existem algumas lacunas que este material também tem pelo que a utilização dos

derivados da madeira, veio minimizar ou eliminar estes problemas. São então as principais madeiras industriais consultadas no sítio *online* MADEIVOUGA.pt (2016):

➤ Placas aglomeradas

A placa aglomerada é uma junção de partículas de madeira que é feita sob pressão e calor com resinas sintéticas. Este aglomerado de partículas é revestido normalmente com duas lâminas de madeira ou folha de papel e resina melamínica, podendo ser também sem qualquer revestimento.



Figura 24: Placa aglomerada revestida

➤ MDF

O MDF é universalmente conhecido como um produto ecologicamente correto e que surgiu por volta dos anos 70. É um painel de fibras de madeira de média densidade com composição homogénea tanto na sua superfície como no seu interior e são bastante versáteis, podendo ser pintadas, lixadas, pregadas, aparafusadas, coladas, encaixadas, mecanizadas, utilizando ainda várias gamas como o ignífugo, hidrófugo ou revestidos com termolaminados. Além da resistência mecânica oferece também uma grande estabilidade dimensional quando se sofrem alterações de humidade nos locais em que estão inseridas.



Figura 25: Placa de MDF



Figura : Placa de MDF em ambiente interior

➤ Contraplacados / Compensados

Os contraplacados são painéis formados pela sobreposição de folhas de madeira. Estas folhas são cortadas, através de mecanismos automatizados, dos toros das árvores que por sua vez são sobrepostas com o fio da madeira alternadamente cruzado e colados com resinas sintéticas, sendo que o número de folhas é sempre ímpar de modo a que se tenha uma estrutura simétrica de cada lado do contraplacado e impedindo a que este empene. São inúmeras as suas aplicações devido ao tipo de revestimento que estas placas oferecem, passando desde o mobiliário à cofragem. Quando utilizada estruturalmente, a madeira apresenta vantagens quando aplicada em contraplacados, pois um pilar de madeira deste tipo aumenta a sua resistência em cerca de 70% quando comparado com um pilar simples de madeira maciça.



Figura 27: Contraplacados



Figura 28: Contraplacados para aplicação empisos

➤ Compactos Fenólicos

Painéis fenólicos são muito empregues no exterior dos edifícios, e apresentam uma praticamente nula necessidade de manutenção, podem também ser empregues em interiores e mobiliário. Estes painéis podem ser revestidos com folhas de cores sólidas, folhas que imitam a madeira ou folhas de madeira natural, sendo possível também que sejam resistentes à água e à radiação UV.



Figura 29: Acabamentos de painéis fenólicos.



Figura 30: Acabamento exterior com painéis fenólicos

➤ OSB

A madeira geralmente utilizada para o fabrico destas placas provém de árvores de crescimento rápido e de secção pequena, provindo muitas vezes de florestas de reflorestamento o que contribui para a preservação de árvores e florestas mais antigas. São placas normalmente de baixo custo e fácil manuseamento e aplicação. É constituída por pequenas lascas de madeira coladas e orientadas perpendicularmente em várias camadas aumentando assim a sua rigidez. As aplicações variam muito passando por paredes, tetos, carrocerias, embalagens, pisos, decoração, etc.



Figura 31: Placa OSB



Figura 32: Aplicação no fechamento de paredes

➤ VIROC

A sua aplicação varia entre revestimentos interiores e exteriores, passando pelas paredes tetos ou pisos. Viroc é uma placa composta por partículas de madeira e cimento, variando nos acabamentos espessuras e cores onde combina a flexibilidade da madeira com a resistência do cimento.



Figura 33: Placas VIROC



Figura 34: Acabamento exterior com placas VIROC (cinza)

➤ Madeira Lamelada Colada

A madeira lamelada colada é um produto tecnologicamente avançado destinado principalmente à construção de estruturas e é composto maioritariamente por madeiras provenientes de florestas sustentáveis. As vigas de madeira lamelada são formadas por lâminas de madeira coladas entre si; o corte é feito de acordo com as dimensões pretendidas e a colagem pode ser realizada com cola de resorcina ou de melanina. A madeira lamelada colada é o material ideal para a construção de estruturas de grandes dimensões, pois é um material arquitetónico bastante versátil, uma vez que permite uma grande variedade de formas, assim como estruturas com grandes vãos. Jular (S.d).



Figura 35: Imagem ilustrativa dos vãos conseguidos com as vigas de madeira lamelada

6.6. Técnicas construtivas em madeira

A construção em madeira iniciou-se ainda nos tempos pré-históricos em que se começou por simples aglomerados de troncos até aos mais elaborados edifícios que existem atualmente. Os sistemas construtivos sofreram alterações ao longo dos tempos, ajudados pelos avanços de maquinaria, que permitiram construções notáveis na construção contemporânea com este material, estes sistemas, organizam-se em 4 grandes tipos cronologicamente ordenados, a “Casa de troncos”, “Estrutura em madeira pesada”, “Estrutura em madeira leve” e “Estrutura modular pré-fabricada”, sendo que o último tipo, a estrutura modular pré-fabricada é aquele se enquadra no anteprojetado final, adaptado de Stéfane Mendes Vaz. Avaliação Técnica e Económica de Casa Pré-fabricadas em Madeira Maciça. Dissertação de Mestrado, FEUP, Vaz (2008):

➤ Casa de troncos;

As casas de troncos, ou Log Homes, são casas que começaram a ser construídas principalmente na América do norte, Europa de leste, Escandinávia e Rússia. Desde a idade da pedra que são conhecidas construções deste tipo, sendo portanto o sistema mais antigo dos enumerados. Devido ao facto deste sistema ser realizado maioritariamente com madeiras naturais e sem tratamento, o edifício está sujeito a que existam deslocações entre os troncos podendo debilitar o edifício, no entanto os construtores mais antigos notaram estes problemas pelo que o abate das árvores se realiza no início do Inverno, época em que as árvores produzem menos seiva facilitando a sua secagem. Devido às secções circulares dos troncos, o seu encaixe era bastante complexo pelo que com o evoluir das técnicas os troncos passaram a ser trabalhados em 2 faces retas, facilitando o apoio entre troncos e uma maior estabilidade ao edifício. Era até ao século XIX, um dos sistemas mais utilizados, sendo então substituído pela construção em betão.



Figura 36: Casa de troncos

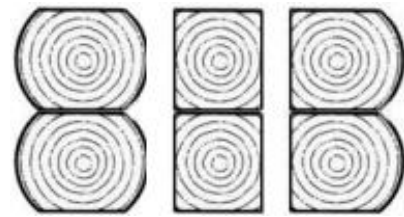


Figura 37: Troncos com superfícies planas trabalhadas para um melhor encaixe

➤ Estrutura em madeira pesada;

Tal como o nome indica, estrutura em madeira pesada, um edifício deste tipo é construído utilizando grandes elementos de madeira com bastante peso próprio. Dividem-se em 2 grupos, o sistema porticado e o sistema de entramado. Este tipo de construção surgiu talvez devido ao entendimento de que os troncos se trabalhados do modo paralelo às fibras, para suportar as cargas, poder-se-iam obter melhores resultados do que as casas de troncos em que estes são dispostos horizontalmente. Este sistema é um pouco mais complexo que a casa de troncos, aqui a estrutura é separada dos revestimentos e restantes acabamentos. A vantagem deste sistema é a capacidade de sustentar mais peso próprio, o que levou a que fosse possível construir edifícios de até 5 ou 6 pisos, e a abertura de maiores vãos.



Figura 38: Estrutura em madeira pesada

➤ Estrutura em madeira leve;

A estrutura em madeira leve pode ser, em certo ponto, como que uma evolução do sistema construtivo em estrutura de madeira pesada. Surgiu no início do século XIX, na América do norte, como resposta à carência de habitação devido à colonização e expansão territorial dos E.U.A. A quantidade de material disponível e o desenvolvimento de novas máquinas de serração permitiu que a madeira fosse trabalhada de maneira mais rápida e normalizada, facilitando a execução em obra. A construção do edifício deixou de necessitar de grandes quantidades de trabalhadores especializados, pois os encaixes, passagens de cabos ou tubos e o próprio manuseamento do material ficaram muito mais facilitados, mantendo ainda assim a durabilidade que a madeira maciça oferece, tal como demonstram os edifícios que ainda hoje estão de pé mesmo com centenas de anos.



Figura 39: Pormenor da ligação das tábuas em uma estrutura light framing

- Estrutura modular pré-fabricada.

Os edifícios modulares pré-fabricados surgiram como resposta a vários fatores, um melhor aproveitamento dos materiais, economia no tempo de construção e o próprio aperfeiçoamento de técnicas já existentes. Através da construção dos elementos constituintes da casa em ambiente de fábrica é possível uma produção em larga escala, mantendo a qualidade e baixando os custos. Estes desenvolvimentos tecnológicos, como já vimos anteriormente, não permitiram apenas o avanço e modernização dos sistemas construtivos, mas também o aparecimento de novos materiais derivados da madeira, permitindo que cada vez mais este sistema consiga concorrer com os sistemas construtivos ditos tradicionais, de betão, alvenaria ou metálicos.

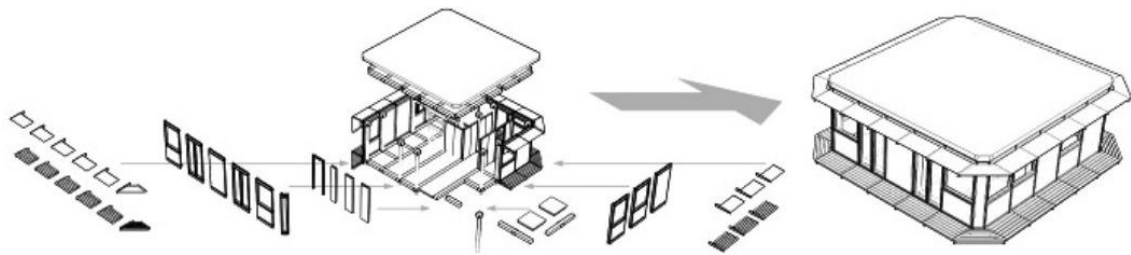


Figura 40: Exemplo do sistema pré-fabricado apresentado pela LUKASLANG

A utilização da madeira para a conceção do anteprojecto proposto no último capítulo, tem como base o estudo de edifícios modulares pré-fabricados. Aliar a madeira à pré-fabricação tem a meu ver, e com base nas informações recolhidas anteriormente, as mais variadas vantagens. É o único material que nos é oferecido pela natureza que pode ser utilizado na construção civil e é renovável, e isso é um dos principais fatores que levaram à escolha deste material. No caso da pré-fabricação, a meu ver existe toda a vantagem em utilizar a madeira, pois é um material que combina uma boa resistência física a uma leveza (peso-próprio) e uma grande facilidade em ser trabalhado. É por estas razões que encontramos na madeira um bom substituto aos restantes materiais construtivos.

6.7. Caso de estudo

Com o intuito de perceber um pouco melhor as opções que existem hoje no mercado, e mais especificamente em Portugal, vou apresentar um caso de uma construção modular com raízes portuguesas e que tem um grande sucesso não só a nível nacional como também internacional.

A escolha deste caso de estudo assenta sobretudo na técnica construtiva, pré-fabricação e modulação, e na utilização da madeira como principal material, que julgo que

vai fornecer informação suficiente para entender como é constituído um edifício produzido em ambiente fabril, os materiais utilizados de modo a permitir uma construção com técnicas sustentáveis e que permitam obter um edifício que seja amigável para com o meio ambiente.

6.7.1. MIMA house

A MIMA house é um edifício produzido por uma empresa no norte de Portugal, e tem como principais características o poder ser configurado pelo proprietário, tanto em fase de projeto como em fase pós-projeto. Por ser um edifício fabricado em fábrica, o edifício é construído em aproximadamente um mês, dependendo da dimensão e acabamentos, e vem preparado para ser transportado em camiões para o local pretendido. As fachadas são constituídas por painéis de 1,5m x 3m envidraçados, que podem ser substituídos por painéis opacos de compensado ou janelas conforme o gosto ou necessidade em qualquer altura.



Figura 41: Fotografia de uma casa MIMA



Figura 42: Fotografia da estrutura em madeira do edifício



Figura 43: Corte do edifício

Uma das principais características do edifício é a possibilidade de as paredes interiores serem colocadas e retiradas em qualquer momento, permitindo uma personalização interior do espaço a qualquer altura e sem grande esforço físico, é apenas necessárias duas pessoas para trocar as paredes. Além das paredes poderem ser trocadas de sítio, também o painel de revestimento destas podem ter duas faces com acabamentos distintos, o que permite alterar ainda mais o aspeto interior do edifício. Os painéis interiores são feitos de madeira, podendo estes ter uma aparência de madeira natural ou pintada.

Todo o interior da habitação é delineado por uma malha regular de 1,5m, em que as linhas delineadoras desta malha são calhas metálicas que permitem o encaixe das paredes quando necessário.



Figura 44: Demonstração de facilidade de trocar os painéis de parede.

A planta do edifício base é quadrangular, no entanto esta poderá ser desenhada com outras formas, de acordo com a necessidade do cliente.

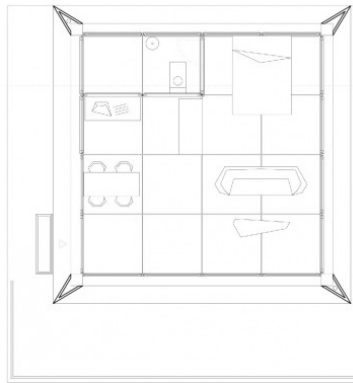


Figura 45: Exemplo de uma planta onde são visíveis as calhas metálicas no piso



Figura 46: Exemplos das diversidades de tipologias que podem ser fabricadas pela empresa MIMA

Capítulo VII - Anteprojeto

7.1. Introdução

O anteprojeto que se propõe seguidamente será um culminar do estudo efetuado acerca dos benefícios da utilização de um sistema construtivo pré-fabricado, onde se vão evidenciar os detalhes do sistema, as possibilidades de personalização do edifício pelo comprador e também a capacidade de adaptação do edifício aos variados tipos de terrenos que poderão vir a ser de implantação para este mesmo edifício, baseando todo o sistema construtivo na coordenação modular.

A ideia principal do anteprojeto é construir uma habitação que permita tanto a sua construção como desconstrução ser racionalizada, que possibilite obter uma aparência interior o mais parecido com uma habitação tradicional e ofereça flexibilidade, uma das características que certamente irá valorizar um edifício.

O recurso à utilização de módulos pré-fabricados é justificado com a necessidade de cada vez ser mais necessário recorrer a uma arquitetura amiga do ambiente, e aliás verifica-se atualmente que este tipo de construção está em fase de grande crescimento e procura. Este processo construtivo praticamente não gera desperdícios, e ao serem fabricados módulos iguais em ambiente fabril permite uma grande rapidez no processo e ao mesmo tempo a qualidade dos elementos é considerável. Utilizar materiais como a madeira ou o aço contribui-se para que possam ser reaproveitados e reutilizados aquando o fim de vida do edifício, e mesmo que seja necessário trocar algum elemento degradado, ou por questões funcionais ou estéticas, não é preciso recorrer a demolições parciais de paredes, apenas é necessário desaparafusar e colocar no sitio correto o componente pretendido.

O edifício tem como função ser uma habitação unifamiliar, e a planta apresentada é apenas um exemplo da tipologia que se pode conseguir, sendo completamente à escolha do cliente a área útil, os espaços interiores, acabamentos interiores e exteriores ou até a finalidade do edifício. Será apresentada uma planta retangular com 11m x 8m (88m²), baseada na coordenação modular, sendo que os elementos constituintes do edifício são módulos múltiplos de 10cm, ou submódulos quando necessário. O formato retangular do edifício, que parte do cubo, ou do quadrado modular e repetitivo, é uma forma de evidenciar a técnica construtiva ao invés da forma do edifício e de se mostrar que a mais básica das formas pode ser bastante versátil, dependendo das técnicas e materiais aplicados que permitam ou não a sua flexibilidade. O fato de todo o edifício ser constituído por elementos repetitivos, de fácil conexão e mobilidade torna-o como que um puzzle gigante, onde a

diferença é que as peças além de serem simplesmente encaixadas e aparafusadas, podem trocar de lugar criando novos espaços interiores, ampliando-os, diminuindo-os, criar novas aberturas na fachada, trocar a principal porta de entrada ou criar uma segunda ou terceira nas traseiras ou criar varandas que estendem a área coberta do edifício.

Os principais materiais utilizados são a madeira e o aço, esta conjugação de materiais deve-se, entre outros fatos, sobretudo a que exista um menor desgaste aquando das junções e aparafusamentos, dos painéis das paredes, vigas e os respetivos parafusos e aumentar a resistência deste. Os painéis das paredes exteriores são elementos repetitivos, têm de medidas 1m x 2,60m x 0,20m, e os das paredes interiores têm de medidas 0,90m x 2,60 x 0,10m, todos alinhados pelos eixos das vigas da estrutura e aparafusados a esta.

7.2. Anteprojeto

O módulo de 10 cm adotado e normalizado pela grande maioria dos países é então o ponto inicial do anteprojeto, e é a partir daqui que os seus múltiplos permitem produzir, encaixar ou dividir os espaços e elementos que os delimitam. É também necessário recorrer por vezes a elementos menores que o módulo, o designado submódulo, que permite trabalhar com elementos de menores dimensões.

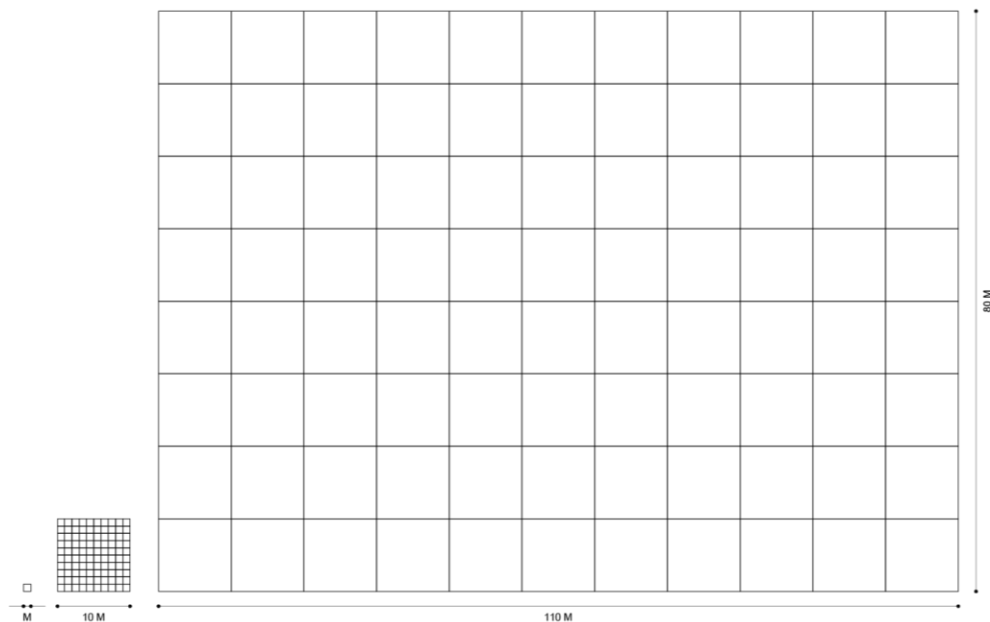


Figura 47: Organização da área do edifício através da multiplicação do módulo M (10cm).

M = 10 cm

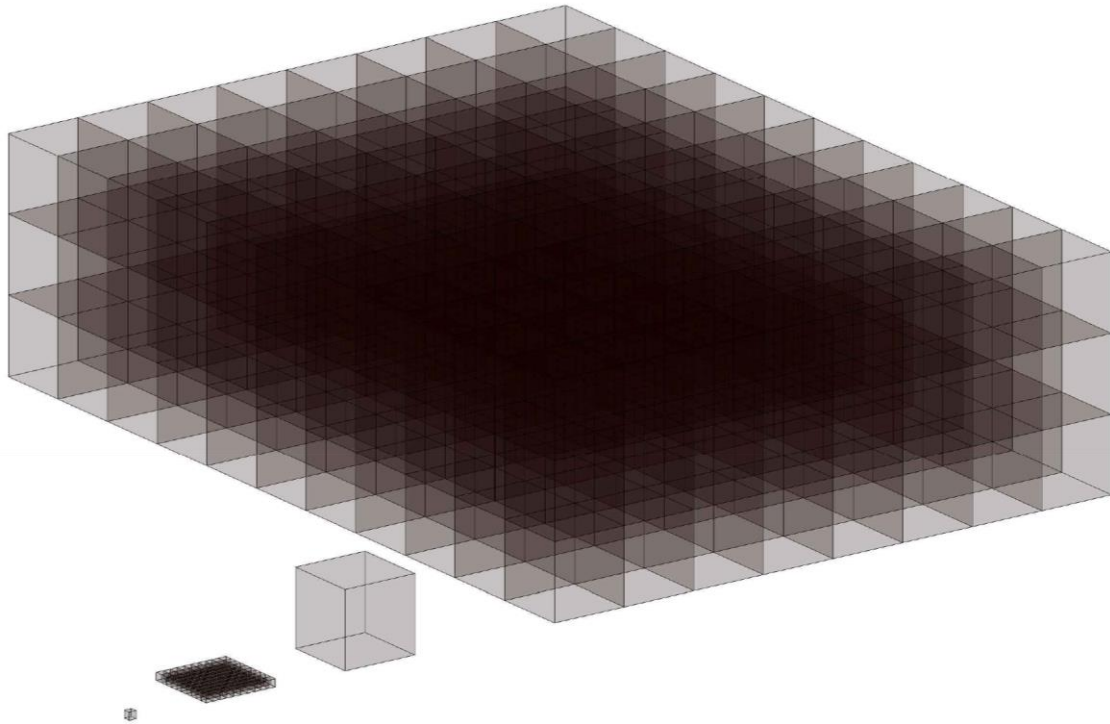


Figura 48: Distribuição modular tridimensional da área relativa ao anteprojeto.

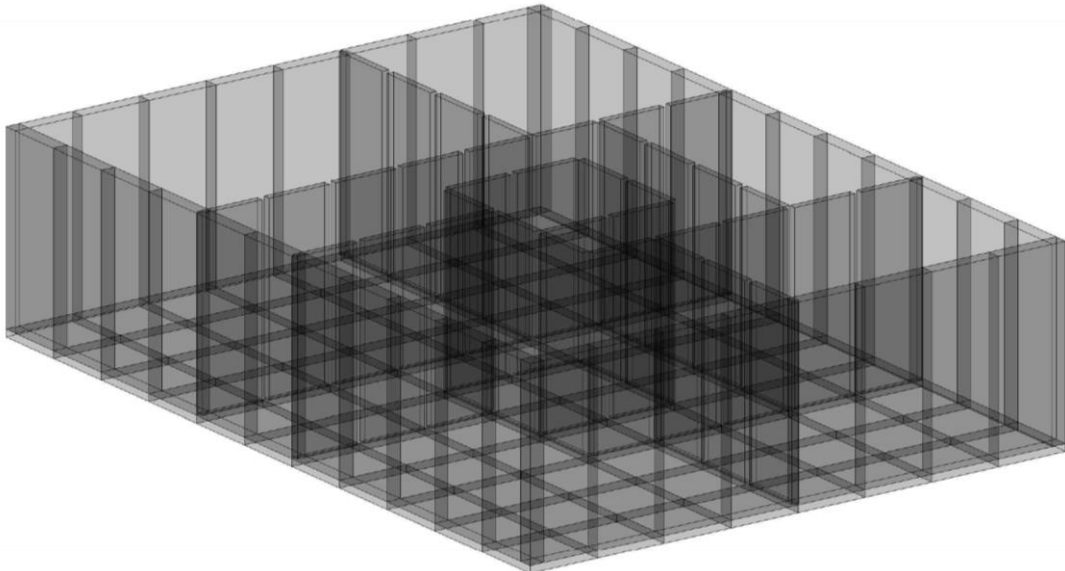


Figura 49: Distribuição espacial dos painéis modulares das paredes da proposta.

7.2.1. Fundações

Desenhado para ser um edifício versátil, é importante que este tipo de edifício se adapte aos mais variados tipos de terrenos em que será implantado. A estrutura da base do edifício é constituída por vigas de madeira lamelada, justamente porque se conseguem maiores vãos, e mais resistentes comparativamente às vigas de madeira maciça, ainda assim pode também ser uma opção.

Estas vigas, por serem de madeira, e apesar dos tratamentos adequados contra a humidade, insetos ou outros fatores que possam danificar as suas capacidades estruturais, devem sempre estar fora de contato direto com o solo. Assim, para terrenos desnivelados ou irregulares podem-se utilizar sapatas em betão distribuídas pontualmente sob a estrutura, que em parte estarão sob a terra, e uma outra parte subirá alguns centímetros acima desta, onde se apoiará então a estrutura do edifício, criando um vazio entre este e o solo e evitando o contato direto com o mesmo como demonstra a figura 71. Este tipo de fundação tanto pode ser utilizado em terrenos desnivelados como em terrenos antecipadamente nivelados e preparados, no entanto é essencial para os terrenos que apresentam declives. Deste modo não só é preservada a conservação do edifício, como também da conservação do próprio solo, pois deste modo o terreno não fica impermeabilizado, o que permite a que as águas pluviais, por exemplo, se infiltrem no solo, tal como aconteceria se não tivesse nenhuma construção no local.



Figura 50: Exemplo de casa de madeira apoiada em sapatas de betão

Optando por um tipo de fundação diferente, o edifício poderá ser apoiado em uma laje de betão como apresenta a figura 72, laje esta que comparativamente à opção anterior requer mais betão para o processo, o que pode encarecer o projeto, e ainda torna o solo impermeável sendo necessário recorrer a trabalhos de nivelção antecipados.



Figura 51: Exemplo de laje de betão para uma casa de estrutura leve

No anteprojecto apresentado, o sistema estrutural foi feito com o recurso à primeira técnica descrita acima, com pequenas fundações de betão distribuídas pontualmente que sustentam todo o edifício acima do solo como se pode verificar nas figuras em baixo.

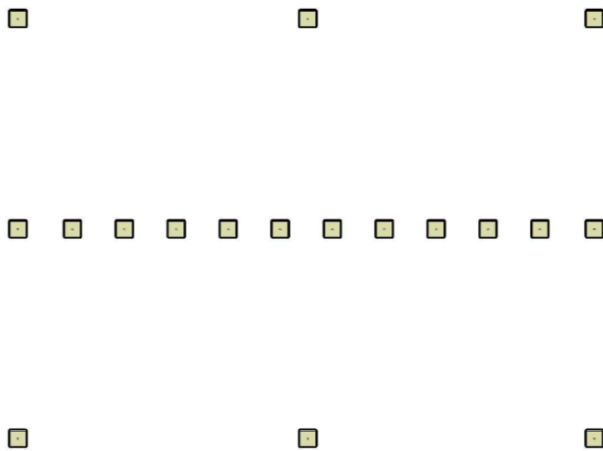


Figura 52: Planta da distribuição das sapatas para o anteprojecto

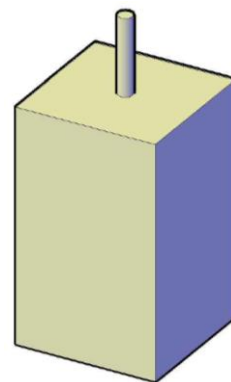


Figura 53: Sapata de betão

A estrutura da base do edifício tem nas suas extremidades as quatro maiores vigas que delimitam a área do edifício, sendo que nas respectivas extremidades têm um orifício onde se encaixam as sapatas, e na face superior um socalco com 2cm de profundidade para encaixar o piso como será possível observar mais à frente, fixando todos os elementos e tornando o edifício mais coeso.

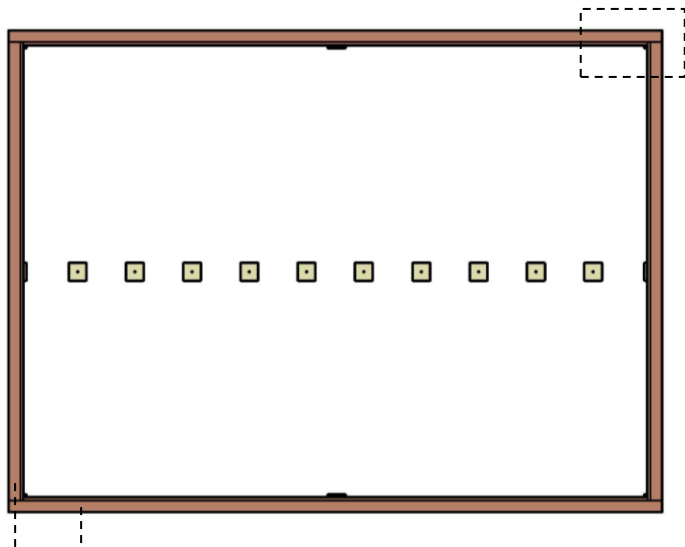


Figura 54: Vigas estruturais da base

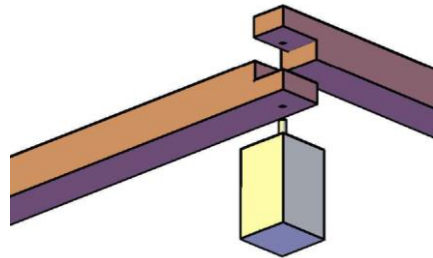
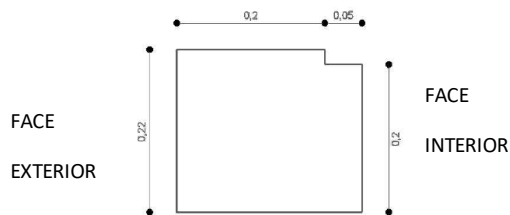
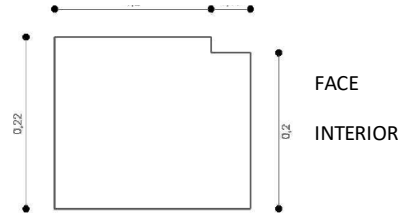


Figura 55: Detalhe do encaixe das vigas nas sapatas

1 - Secção de viga transversal de madeira lamelada com 8,40 m de comprimento



2 - Secção de viga transversal de madeira lamelada com 11,40 m de comprimento



Unidades em metros sem escala

As vigas transversais internas que correspondem à restante estrutura da base têm uma secção mais pequena, e estão com 1m de distância entre si, medido desde o eixo destas, e são apoiadas nas extremidades com elementos metálicos à face interior das vigas anteriormente descritas. Por serem de relativas grandes dimensões optei por incluir uma sapata no eixo de cada uma delas para oferecer uma maior estabilidade ao edifício. Perpendicularmente a estas estão outras pequenas vigas, separadas também elas entre si com 1m medido do seu eixo, e fixadas às vigas anteriores com elementos metálicos, esta disposição das vigas forma, medido entre o eixo de cada uma delas, um quadriculado constituído por quadrados de 1m por 1m de lado, o que vai contribuir para o restante desenvolvimento modular e repetitivo do edifício.

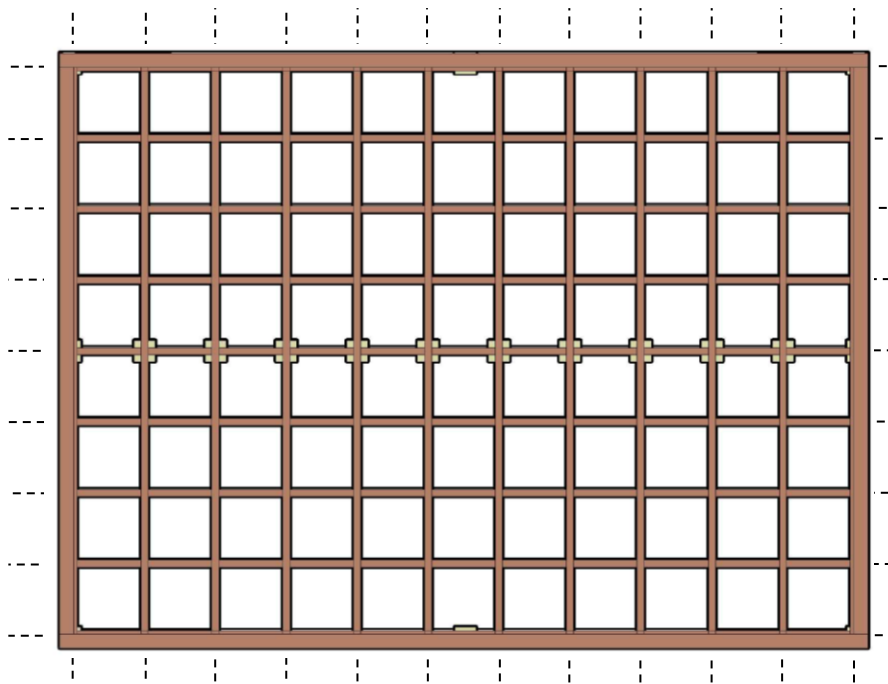


Figura 56: Planta da distribuição das vigas transversais e horizontais sobreposta a uma grelha espaçada de 1 em 1 metro no eixo das vigas.

7.2.2. Piso

O piso interior do edifício é constituído por painéis quadrangulares de madeira, com parte do revestimento do piso já colado previamente no momento de produção, a estes painéis. As extremidades destes painéis assentam no socalco das vigas situadas nas extremidades da base do edifício, sendo então distribuídas pelo resto da área. Os painéis além de virem de fábrica em parte com o acabamento terminado, vêm também já previamente furados, possibilitando o aparafusamento às vigas da base, e o respetivo desaparafusamento caso seja necessário remover, fazendo com que seja possível aparafusar e desaparafusar os parafusos sem existir desgaste ou perfuração *à posteriori* da peça.

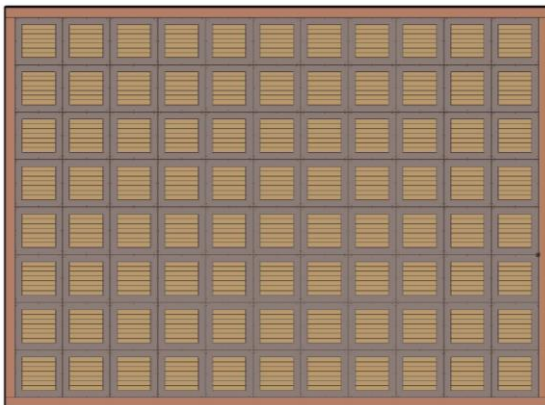


Figura 57: Planta da distribuição dos painéis do piso.

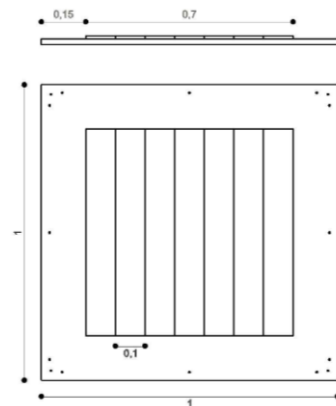


Figura 58: Painel de piso
Unidades em metros sem escala

A parte dos painéis do piso que não se encontra revestida, será posteriormente terminada com lâminas de piso encaixadas entre si, iguais ou diferentes do piso existente, ou então será preenchida com a base da parede interior, permitindo assim a que de metro a metro seja possível desencaixar o piso e encaixar as paredes interiores, ou vice-versa.

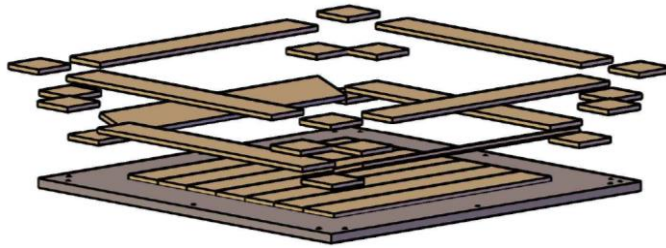


Figura 59: Esquema demonstrativo dos elementos desmontáveis para dar lugar às paredes.

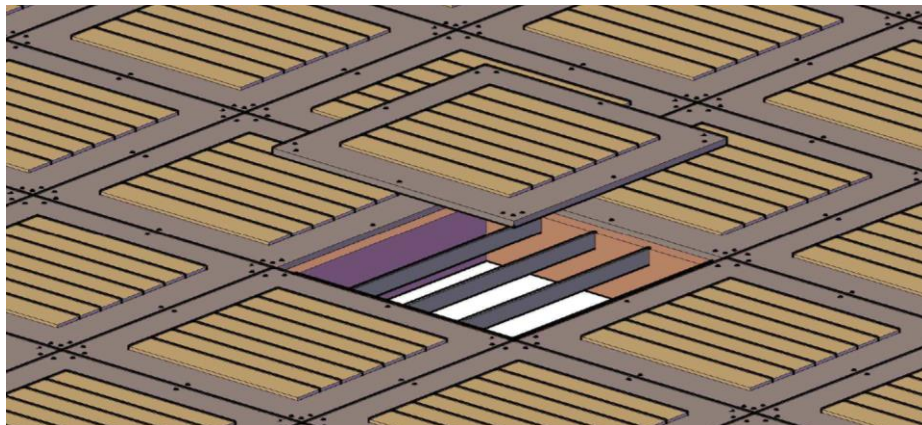


Figura 60: Perfis metálicos entre as vigas e sob o painel de piso, impedindo a flexão deste.

Por entre as vigas de piso e debaixo dos perfis metálicos que sustentam os painéis de piso fica o isolamento térmico em placas de lâ-de-rocha, em que na parte inferior do isolamento e das vigas são fixadas painéis OSB resistente à humidade.

7.2.3. Paredes exteriores

As paredes exteriores do edifício são compostas por painéis de dimensões de 1m x 2,60m, repetido e alinhados de forma a delimitar a área do edifício. Os painéis são constituídos por um aro metálico fechado a toda a volta, de secção “C”, que incorpora no seu interior os painéis de fechamento de madeira e isolamento. Estes aros vêm furados de

fábrica, deixando assim predefinidos os locais de aparafusamentos e encaixes dos restantes elementos, com o isolamento e painéis de madeira também incluídos, no entanto os acabamentos exteriores e interiores são colocados posteriormente à colocação dos painéis sobre as vigas, permitindo desta forma a que se aparafusem os aros metálicos às vigas.

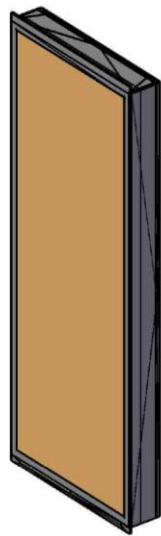


Figura 61: Painel de parede exterior.

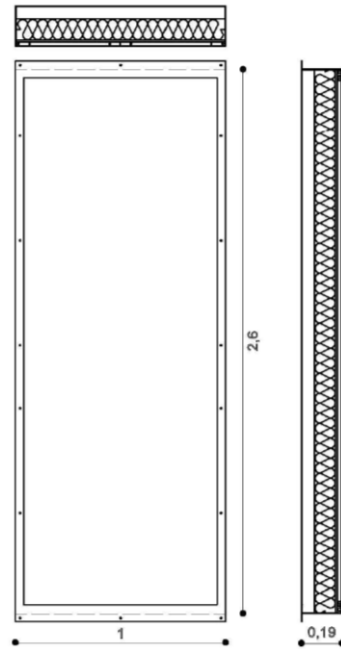


Figura 62: Planta esquemática do painel.
Unidades em metros sem escala

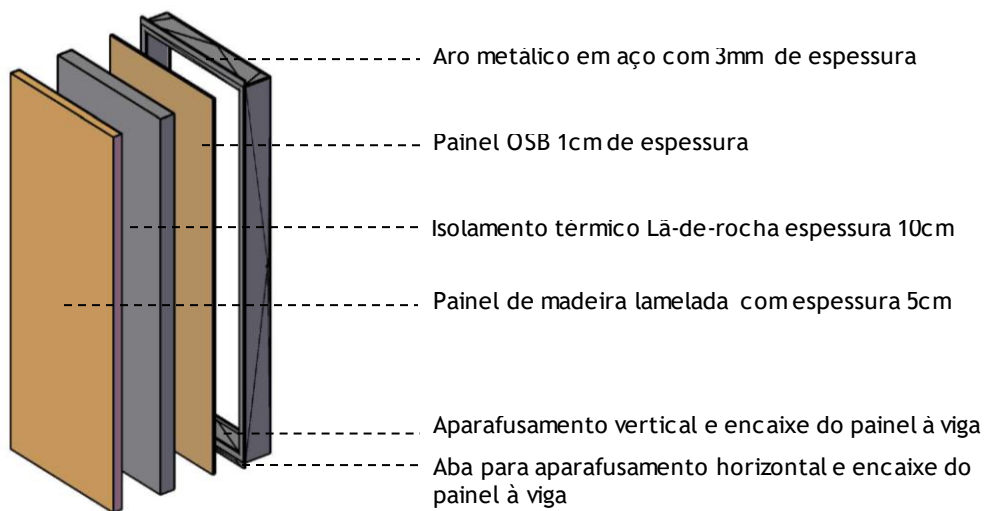


Figura 63: Constituição do painel de parede exterior.

Os painéis são fixados com parafusos verticalmente e horizontalmente às vigas da base e da cobertura, e também aparafusados entre si nas faces laterais. Estes parafusos são aparafusados no aro metálico do painel, sendo que este é também um painel estrutural, devido ao aro metálico de secção em “C” é possível suportar as cargas da cobertura.

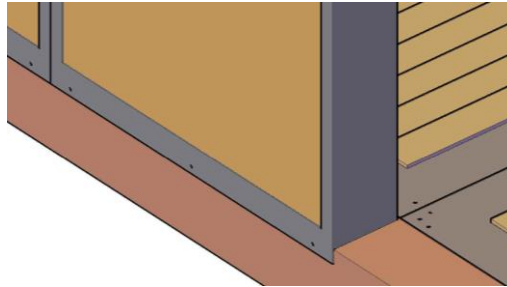


Figura 64: Detalhe do assentamento da parede exterior na viga da base.

O acabamento exterior destas paredes é feito a pensar mais uma vez na utilização da madeira, sendo que são utilizados painéis fenólicos impermeáveis, encaixados entre si e aparafusados ao aro metálico que constitui as paredes. A cor ou textura serão dependentes do gosto do cliente, existindo vários à disposição, permitindo a que o arquiteto e o cliente tenham a liberdade de personalizar a estética do edifício. Essencialmente são quatro painéis que cobrem exteriormente estas paredes, um na base, dois centrais e outro no topo da parede, que tanto pode ser contínuo à restante parede como apresentar uma pala que provoque sombreamento à fachada, deixando o edifício menos exposto à incidência solar.

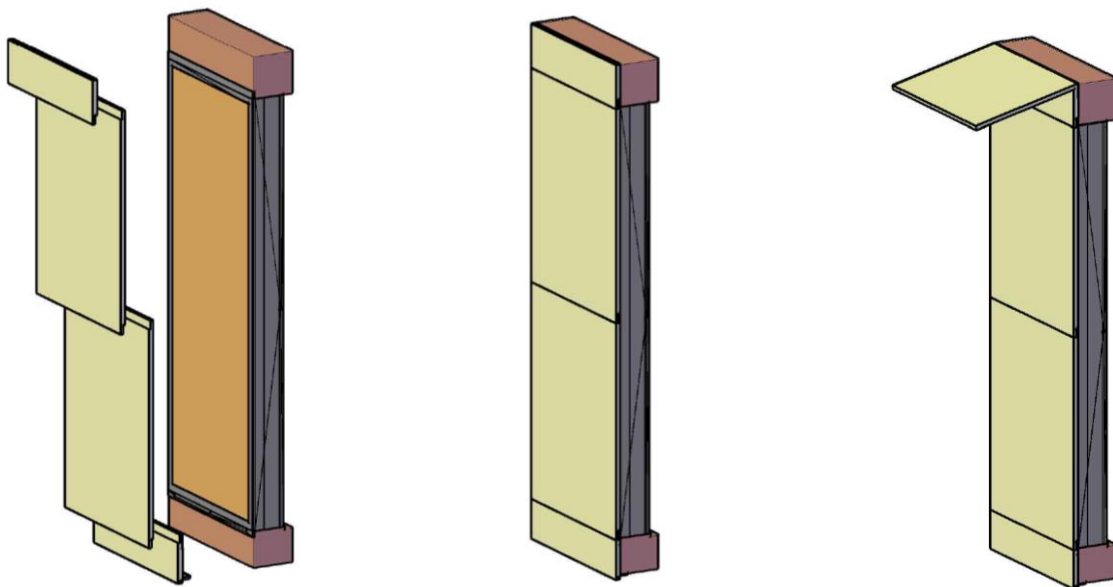


Figura 65: Encaixe do revestimento. Figura 66: Parede com revestimento. Figura 67: Sombreamento da fachada

Os acabamentos interiores das paredes exteriores dividem-se em dois diferentes painéis, em que diferem nas medidas. Tem-se então o painel com as dimensões de 0,1m x 2,60m em que o seu eixo vertical fica sobre as juntas das paredes exteriores, e é afixado nas extremidades com parafusos ao aro metálico dos painéis. Este painel tem 10cm de largura, exatamente a mesma largura que uma parede interior já com os acabamentos, para que seja então possível removê-lo e acoplar a parede interior, desaparafusando e aparafusando no mesmo sítio o aro metálico do painel da parede interior. O outro painel é da mesma natureza, no entanto têm 0,90m x 2,60m e é afixado da mesma forma, agora centrado com o eixo vertical dos painéis das paredes exteriores, ambos poderão vir de fábrica com faces diferentes, ou a cor ou a textura, permitindo assim a que a qualquer altura possam ser removidos e virá-los de modo a dar um aspeto diferente ao interior do edifício, os painéis dos acabamentos interiores escolhidos para esta proposta foram painéis de madeira compensada.

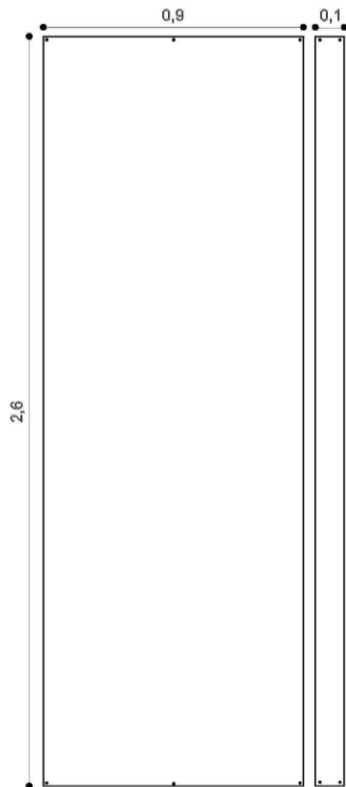


Figura 68: Dimensões do acabamento interior. Unidades em metros sem escala.

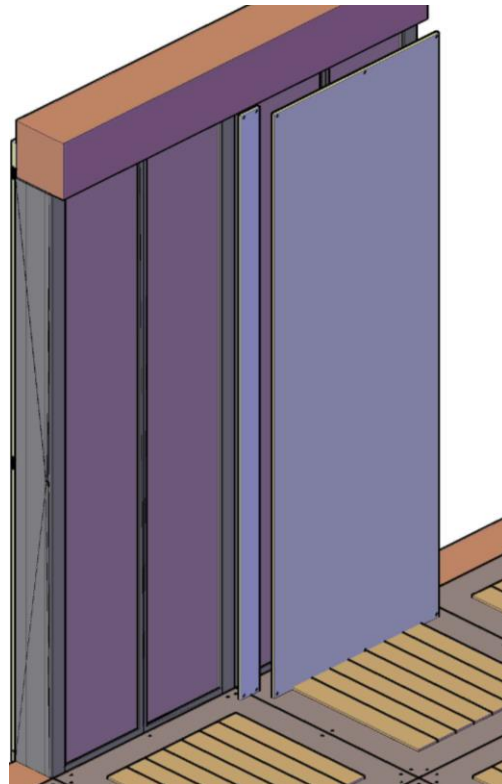


Figura 69: Esquema da montagem do acabamento interior

7.2.4. Paredes interiores

Os espaços interiores do edifício são delimitados e separados por painéis repetitivos de dimensões de 0,90m x 2,60m, são também eles constituídos por um aro metálico em toda a sua volta e de secção “C” com largura de 0,08m, estando no seu interior o isolamento acústico feito com lã de rocha com 5 cm de espessura, e depois de estar o aro aparafusado

são colocados então os painéis de acabamento. O painel de acabamento tem de medidas 0,90m x 2,60m com 1 cm de espessura, o tipo de cor e acabamento que este painel é ao gosto do cliente, pelo que poderá vir com duas faces distintas sendo assim possível desparafusar e trocar as faces.

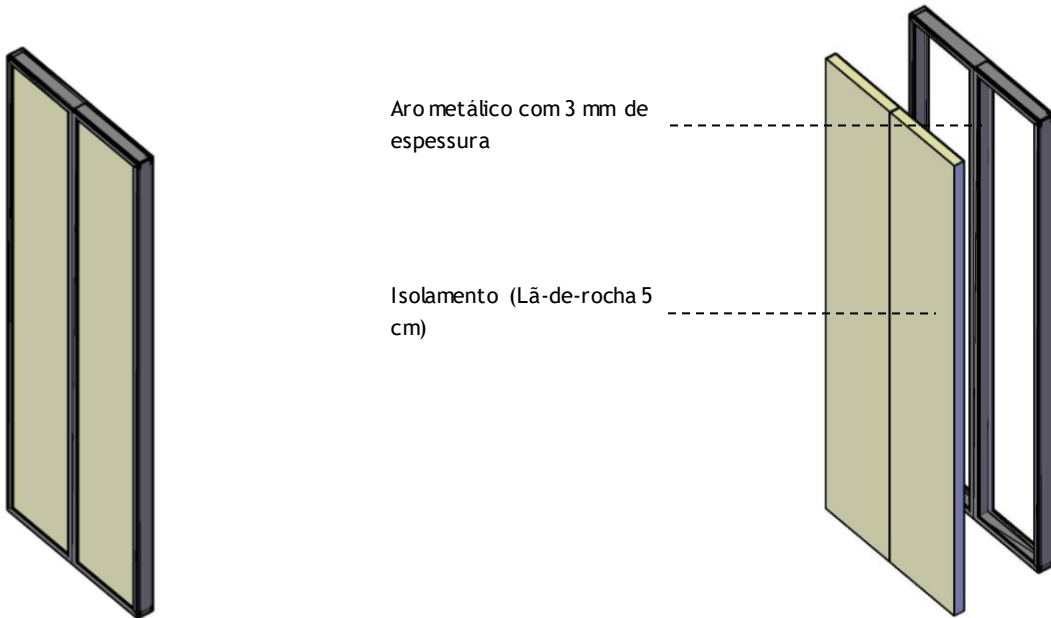


Figura 70: Painel de parede interior.

Figura 71: Constituição do painel de parede interior

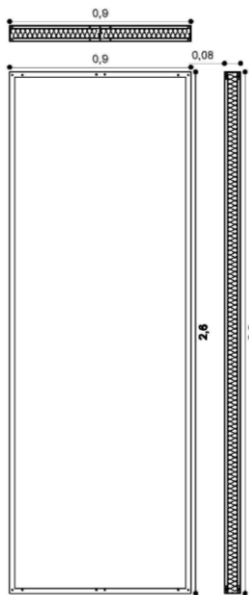


Figura 72: Dimensões da parede interior(metros)
Unidades em metros sem escala

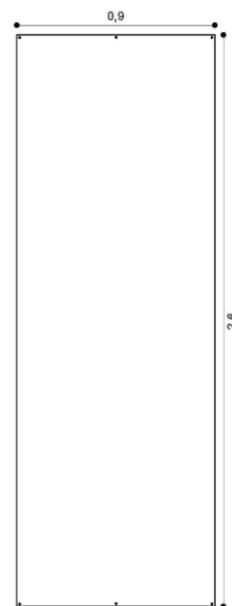


Figura 73: Dimensões do painel de revestimento interior

Para promover uma correta flexibilidade, disposição e coordenação entre as paredes interiores foi necessário recorrer ao uso de pilares que servem como pontos de união entre todas as extremidades dos painéis de parede interiores. Através de uma pesquisa sobre pilares e encaixes que me pudessem possibilitar um aparafusamento vertical das faces superior e inferior, desenvolvi um pilar constituído por madeira maciça, que tem nas suas extremidades

verticais elementos metálicos que possibilitam o aparafusamento destes ao piso e teto respetivamente, e, é por esses elementos metálicos que são passados os cabos de energia que percorrerão as paredes que necessitem deles. A secção horizontal do pilar é de 0,10m x 0,10m e a altura total com os elementos metálicos é de 2,60m.

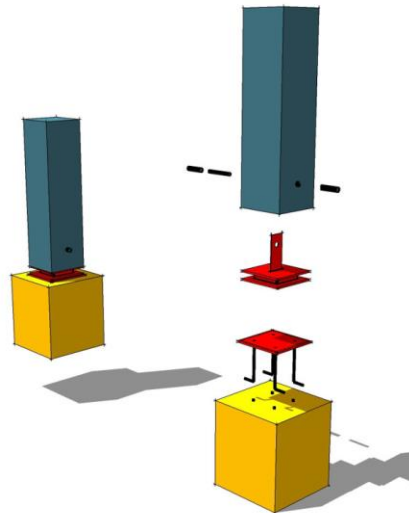


Figura 74: Exemplo de fixação de um pilar de madeira a uma fundação de betão e que pode ser adaptada ao projeto apresentado, Cochran (2014)



Figura 75: Dimensões do pilar interior (metros).
Unidades em metros sem escala



Figura 76: Pilar interior.

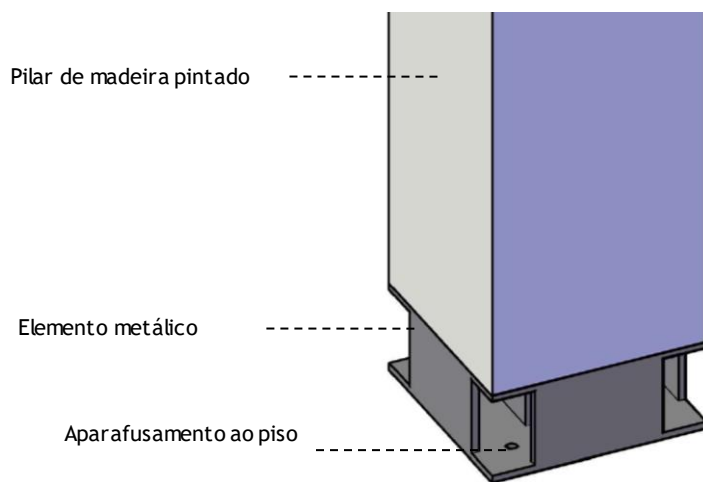


Figura 77: Detalhe das extremidades dos pilares.

Por fim, com os painéis de acabamento corretamente afixados e os pilares de ligação, ficam os parafusos à vista nas extremidades das placas de acabamentos, e as extremidades metálicas dos pilares, sendo então necessário ocultar estes elementos. Os parafusos que afixam as placas de acabamentos possuem uma cabeça que permite encaixar o rodapé, através de um sistema “click”. Assim, o rodapé, que tanto é colocado junto ao piso como ao teto, serve como peça final para um acabamento que permite finalizar o processo de encaixe das paredes, ou como peça inicial no momento de desmontar estas mesmas paredes. O projeto apresenta assim uma imagem interior sem grandes vestígios de todo o processo inicial de aparafusamentos, contribuindo para uma aparência mais rígida e agradável de todo o interior do edifício.

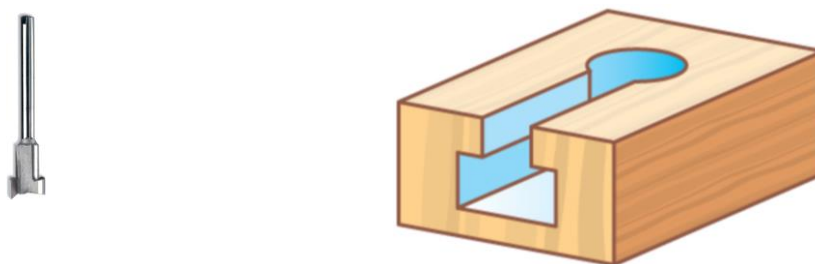


Figura 78: Tipo de broca disponibilizada pela empresa DREMEL.

Com este tipo de orifício na face do rodapé, é possível encaixar o rodapé na cabeça do parafuso que fixa o painel de acabamento da parede. Este método de encaixe e desencaixe irá permitir a que se complete o ciclo de construção e agregação de todos os elementos, permitindo assim a que seja possível concluir o objetivo do trabalho, que é facilitar a desconstrução de todo o edifício e substituir ou alterar a disposição dos elementos

construtivos com o mínimo de desperdícios, e relativa facilidade. Em baixo apresento imagens do anteprojeto, onde apresento os elementos que o rodapé vai permitir ocultar.

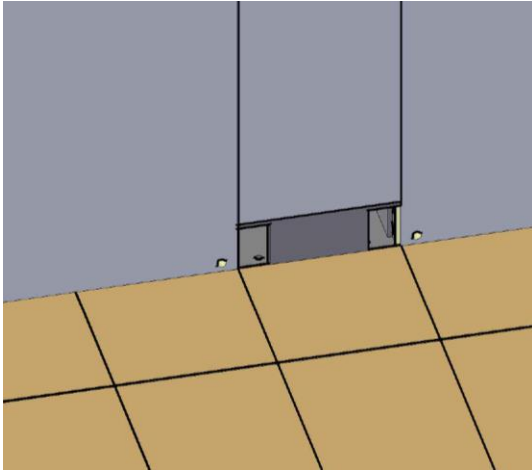


Figura 79: Parede sem rodapé com elementos à vista.

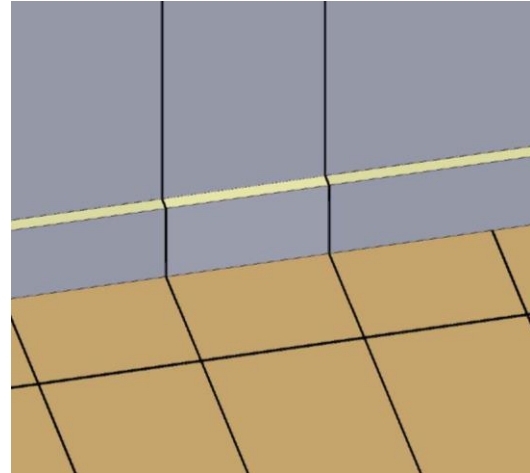


Figura 80: Rodapé colocado nas paredes.

7.2.5. Cobertura

Também o sistema estrutural da cobertura é formado por vigas de madeira lamelada, pois estas permitem alcançar com maior estabilidade os vãos necessários. As duas maiores vigas que são as que se situam nas arestas superiores do edifício têm 11,4m de comprimento com uma secção de 0,15m x 0,2m, e as outras duas nos respetivos lados opostos têm 8,4m de comprimento e uma secção de 0,15m x 0,20m. O sistema estrutural da cobertura compõe-se seguidamente com vigas de 7m de comprimento com uma secção de 0,10m x 0,15m, em que as extremidades se apoiam em elementos metálicos aparafusados às vigas de maior dimensão anteriormente descritas. Entre as vigas que têm 7m de comprimento, espaçadas entre si de 1 em 1 metro, estão outras vigas de menores dimensões também elas com uma secção de 0,10m x 0,15m e um comprimento de 0,9m, permitindo assim o aparafusamento dos topos das paredes interiores de metro em metro quadrado como pretendido. Como se pode observar também a estrutura da cobertura apresenta um quadriculado, que serve de guia por onde se podem afixar as paredes interiores. As conexões das vigas podem ser feitas com ou sem auxílio de elementos metálicos, neste caso a opção foi utilizar elementos metálicos de ligação.

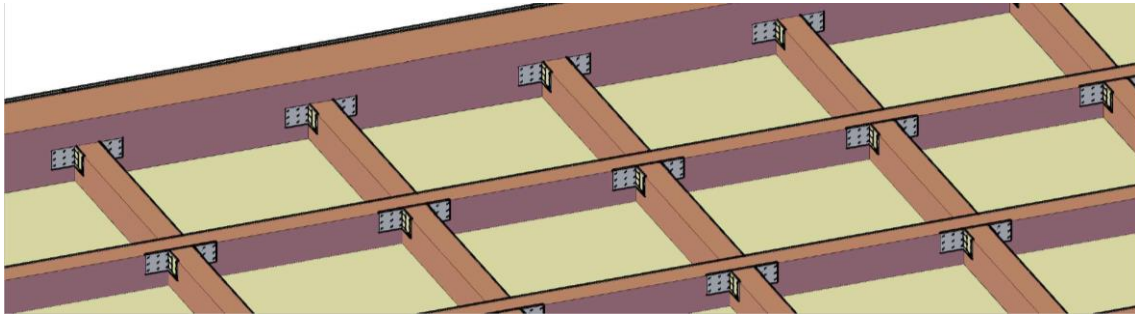


Figura 81: Elementos metálicos a conectar as vigas da cobertura entre si no anteprojeto.

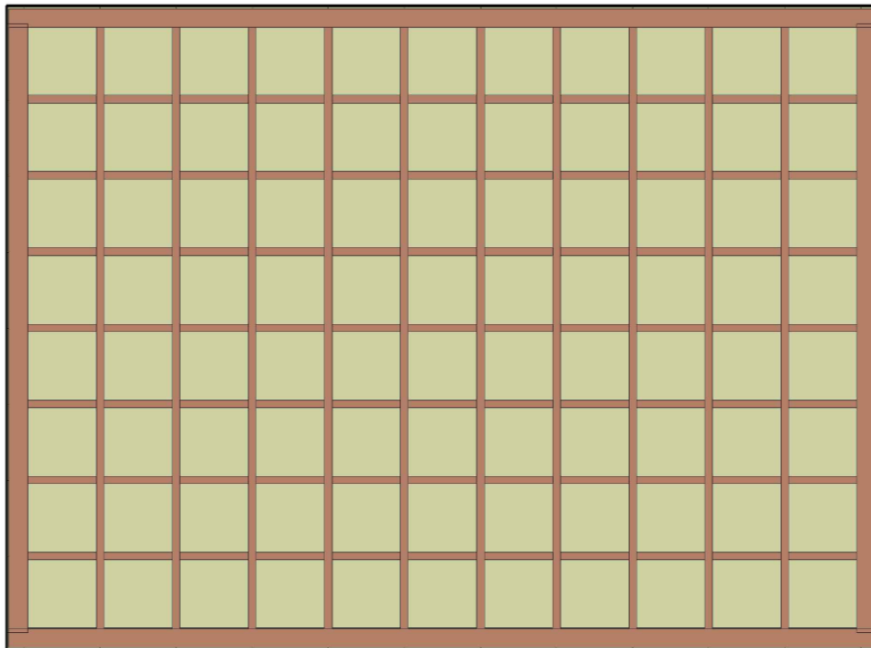


Figura 82: Estrutura da cobertura, eixo das vigas de metro em metro.

O topo da cobertura é fechado com painel de *sandwich* de chapa metálica aparafusado às vigas, onde no interior se situa o isolamento térmico com lâ de rocha.

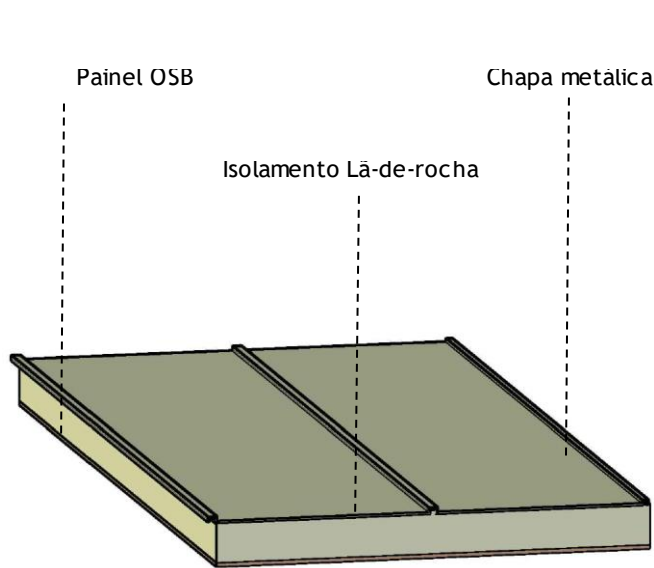


Figura 83: Dimensionamento do painel de cobertura.

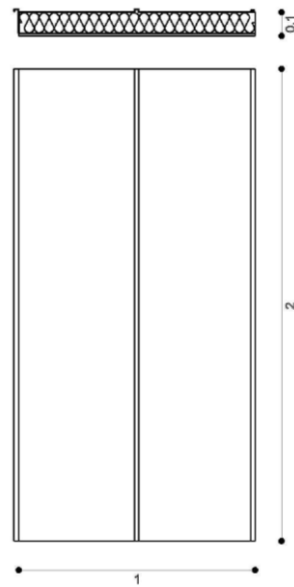


Figura 84: Constituição do painel.
Unidades em metros sem escala

Na zona interior do edifício, o teto é fechado com painéis de madeira compensada, com as medidas de 0,9m x 0,9m com 1 cm de espessura, sendo que estes se encontram alinhados com o topo das paredes e a face inferior das vigas da cobertura. Estes painéis são suspensos com pequenos cabos fixados às vigas da cobertura, o que permite que estes painéis sejam empurrados para cima no momento em que se pretenda retirar uma parede, caso contrário a parede não sairia do lugar devido à impossibilidade de incliná-la por estar entre vigas na base e no topo, e entre os painéis de piso e tecto.

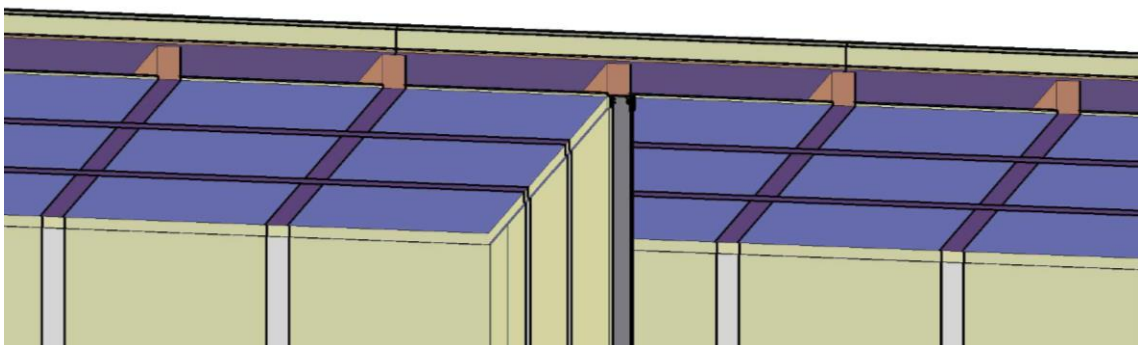


Figura 85: Corte demonstrativo da constituição da cobertura do edifício.

7.2.6. Vãos

Os vãos exteriores do edifício têm a vantagem de poderem ser colocados ou retirados após a construção do edifício. Devido ao fato de as paredes exteriores serem constituídas por painéis com 1 metro de largura, permite a que as portas possam ser inseridas no interior destes, tal como as janelas, no entanto é possível também que sejam fabricados painéis com a largura de 2 painéis, ou seja 2 metros, para criar vãos maiores, como portas de correr ou janelas.

As portas interiores são também elas fabricadas dentro de um painel com as mesmas dimensões de um painel das paredes divisórias, o que permite que seja conectado ao painel ou pilar vizinho sem qualquer problema.

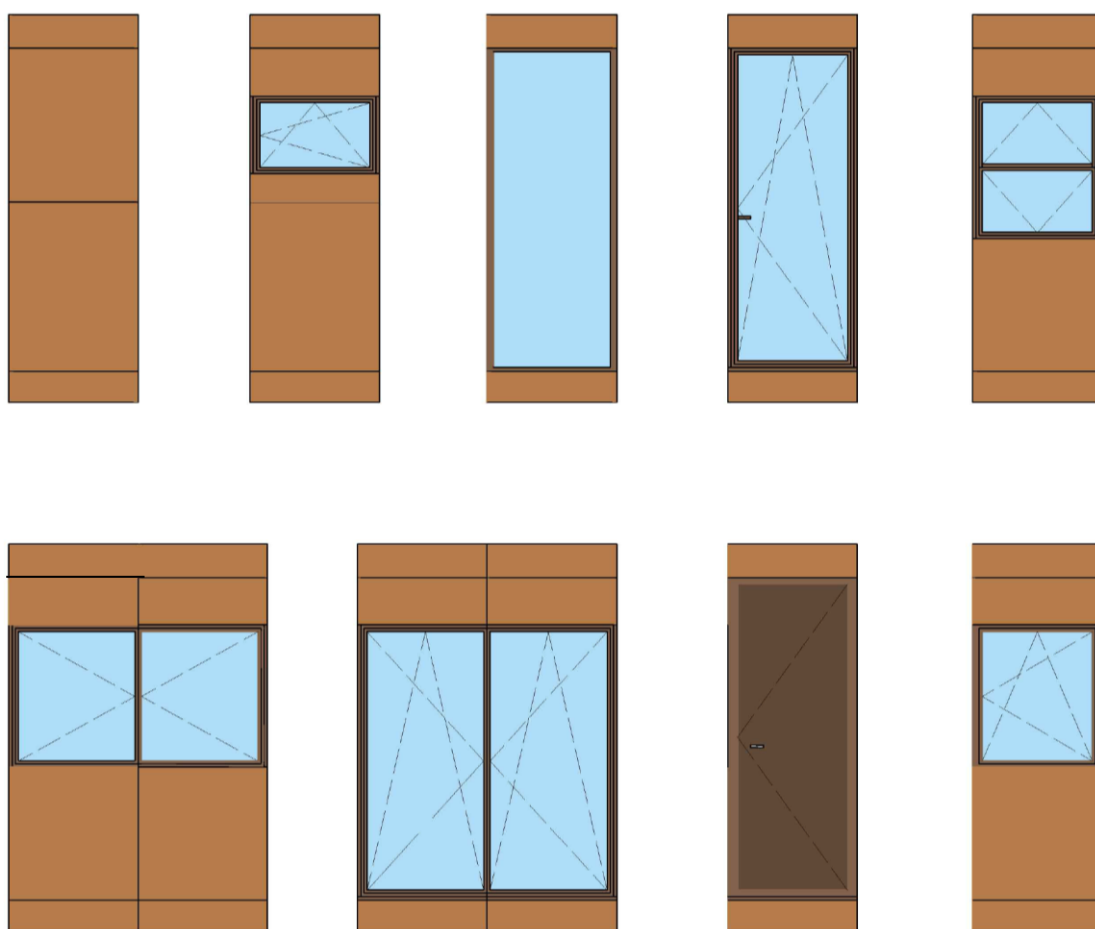


Figura 86: A figura acima demonstra alguns exemplos de portas e janelas que podem ser utilizadas.

7.2.7. Instalações sanitárias

Relativamente às instalações sanitárias, é necessário ter o cuidado de manter o compartimento impermeável, pelo que o simples aparafusamento ou encaixe das peças de

madeira poderá causar infiltrações. Depois de uma pesquisa acerca da combinação de vários materiais, como por exemplo: madeiras e cerâmicas, foi possível entender que é aceitável revestir os painéis de madeira com mosaicos cerâmicos, não diretamente em cima do painel da parede, mas através de uma manta que serve de suporte para os mosaicos. Esta manta tem também a função de impermeabilizar todo o compartimento, por isso mesmo é colocada em todo o seu interior, a figura abaixo foi retirada de um catálogo da empresa de materiais de construção WEDI, e que demonstra a aplicação sobre um painel de madeira, como é o utilizado no anteprojecto.

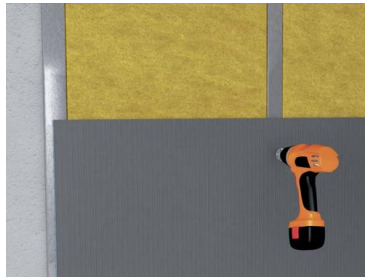


Figura 87: Imagem retirada do catálogo da empresa WEDI que demonstra a aplicação da manta sobre o painel de madeira.

Como o interior das paredes da casa de banho está revestido com esta manta, não é possível retirar um dos painéis como se sucede no restante edifício, pelo que a casa de banho será um compartimento fixo, ainda assim não existem impedimentos para a criação de novas áreas de instalações sanitárias, pelo que basta recorrer a esta técnica de revestimento e impermeabilização das paredes. As canalizações das águas percorrerão a parte inferior do edifício, ou o interior das paredes quando necessário tal como os cabos de rede elétrica.

7.2.8. Fixação dos elementos constituintes do edifício.

De forma a conseguir uma ligação entre todos os elementos constituintes do edifício, e a sua futura substituição, é necessário recorrer a métodos que o permitam fazer sem provocar desgaste nas madeiras ou metais. No momento de produção e fabricação dos componentes tal como os pilares, vigas e painéis de parede, são previamente inseridos nestes, buchas metálicas, que servirão de encaixe e desencaixe dos parafusos que irão fixar por exemplo os painéis de piso às vigas, pelo que é necessário um correto dimensionamento e espaçamento entre todos os pontos de encaixe.



Figura 88: Bucha metálica disponibilizada no sítio da empresa INDEX.

7.3. Tipologias

Como o objetivo do estudo é realizar um anteprojeto em que fossem aplicadas as técnicas de uma construção sustentável, rápida, pré-fabricada, versátil e que pudesse ser construída em praticamente qualquer parte do mundo, a implantação não foi pré-definida, assim o edifício poderá ser construído com a área e tipologia necessária ao cliente ou ao lugar, pelo que a planta apresentada é apenas demonstrativa do que poderá vir a ser uma encomenda.

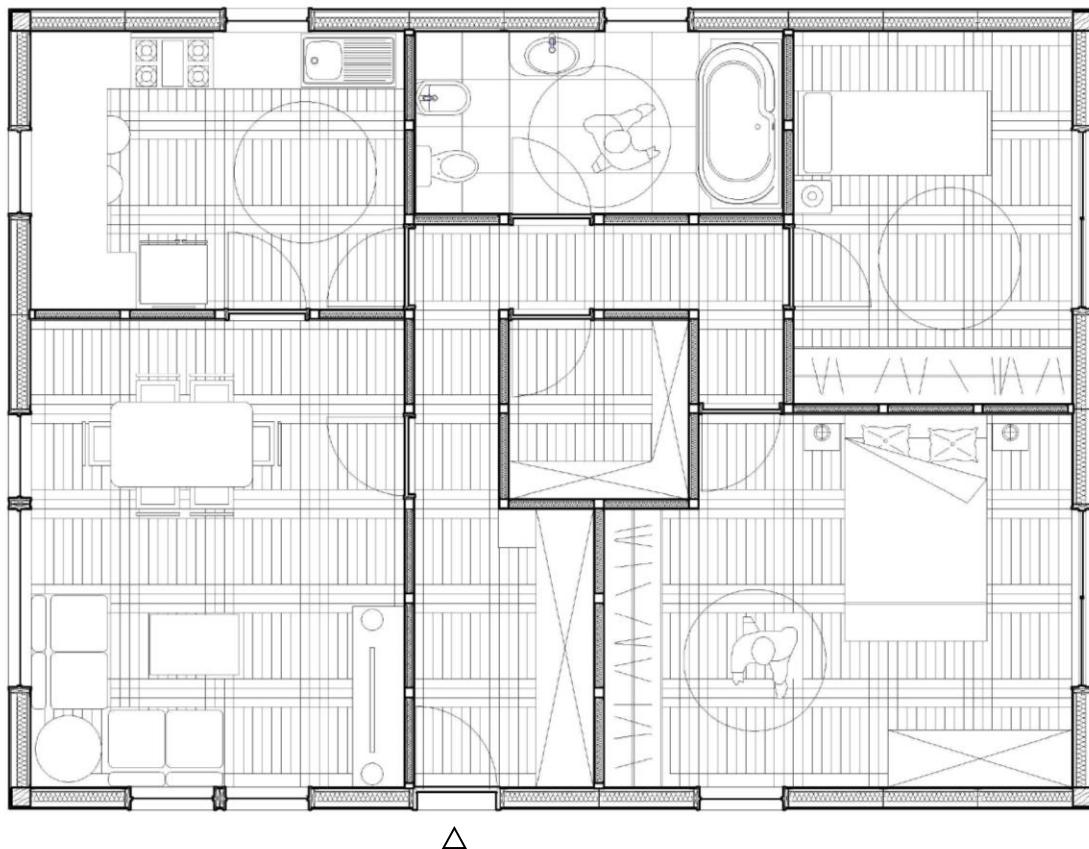


Figura 89: Planta do anteprojeto sem escala.

Além do processo de desconstrução do edifício ser facilitado e controlado, demonstro também com recurso a plantas esquemáticas, alguns exemplos de como poderá ser dividido o espaço interior da habitação, sobretudo a pensar nas necessidades do comprador, e também no processo, que praticamente não produz desperdícios. Os espaços interiores, com as técnicas de encaixes e aparafusamentos, aliadas a materiais relativamente leves, são possíveis de ser alterados em qualquer altura.

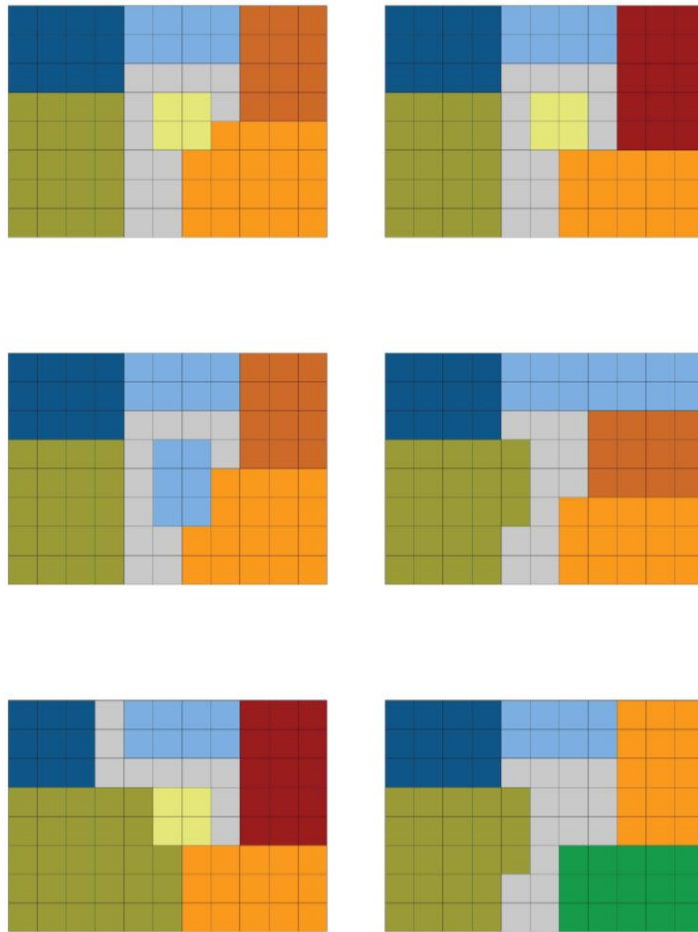


Figura 90: Imagem representativa de algumas possibilidades alternativas à planta original.

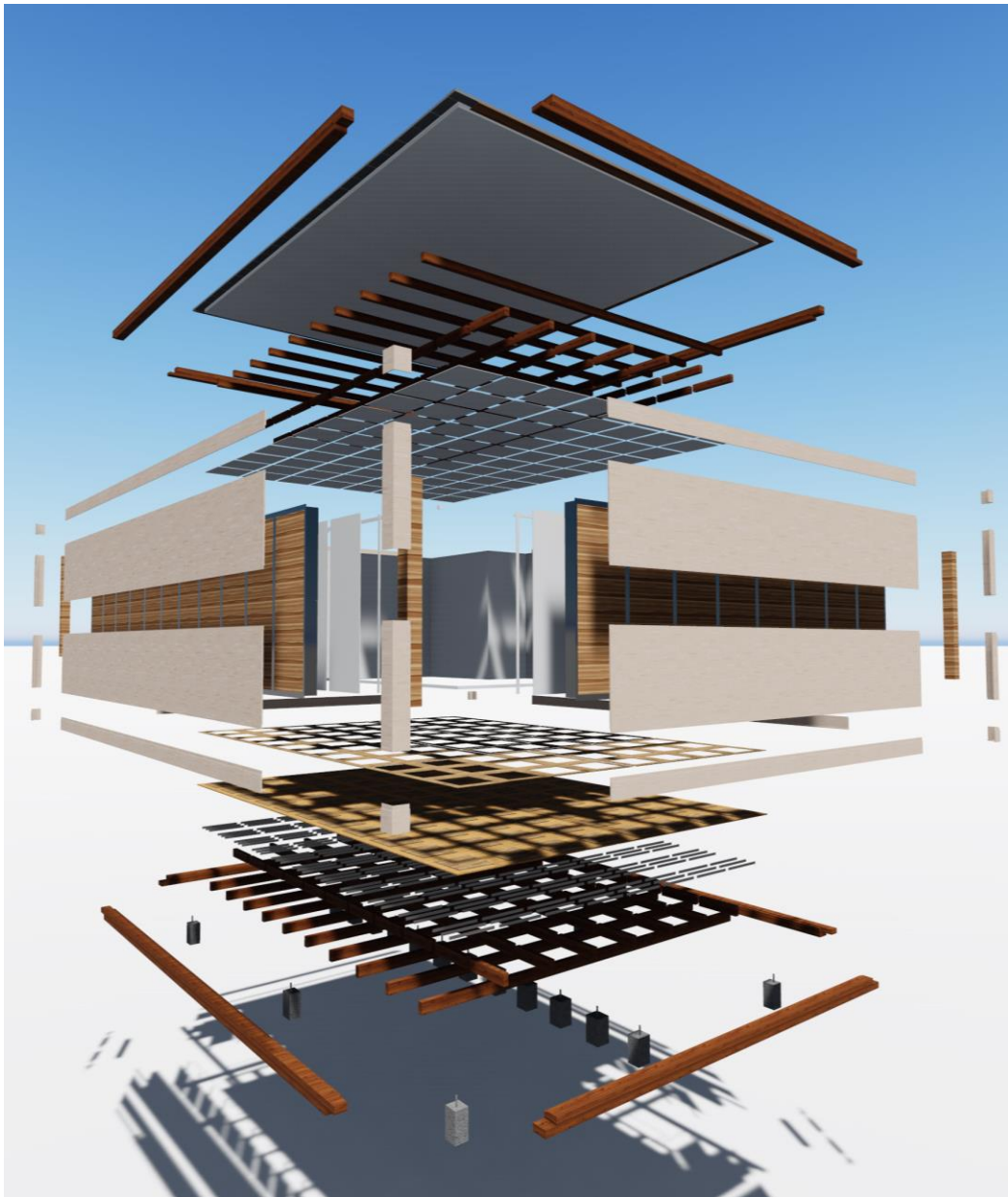


Figura 91: Imagem representativa do acoplamento dos vários elementos que constituem o sistema construtivo.



Figura 92: Corte longitudinal tridimensional



Figura 93: Exemplo de como poderá ser uma habitação com os acabamentos exteriores (Deck e fachadas).

7.4. Conclusões

Com esta dissertação pode-se concluir que falta ainda um longo caminho a percorrer para que a construção civil deixe de ser um dos principais responsáveis pelo impacto negativo causado pela atividade Humana no planeta. Isto se deve ao facto de a grande maioria das técnicas construtivas e materiais utilizados na construção dos edifícios hoje em dia serem ainda tradicionais e algo rudimentares, utilizando técnicas que não facilitam a reciclagem dos materiais, sendo que muitos destes além de não provirem de matérias primas-renováveis ainda dificultam o processo de reciclagem. Assim, é necessário pensar em construir de forma sustentável, de forma a não agredir o meio ambiente e permitir que a indústria da construção se desenvolva de forma sustentável, tanto economicamente como ecologicamente.

De forma a combater esta situação, a pré-fabricação surge como que uma alternativa viável, para uma maior racionalização dos materiais de construção, técnicas construtivas e reciclagem de materiais aquando da desmontagem dos edifícios, pois permite que se desenvolva uma sustentabilidade não só a nível ecológico, como também a nível social e económico. Apesar de ser um conceito e uma técnica construtiva já conhecida há largos anos, torna-se necessário que sejam divulgadas as vantagens da utilização destas técnicas para que seja utilizada de forma mais corrente e habitual entre os arquitetos e os demais intervenientes nesta atividade.

Contrariamente à demolição tradicional, e descontrolada em vários aspetos, a pré-fabricação permite um maior controlo durante todas as fases de projeto tal como uma construção e desconstrução controlada, a qual permite uma separação dos materiais utilizados no edifício, oferecendo uma possibilidade para que estes possam ser reutilizados em outras ocasiões. O módulo torna-se aqui parte importante para que se torne possível uma correta fabricação dos componentes e correta coordenação entre todos estes elementos pré-fabricados do edifício, permitindo uma correta disposição destes no espaço.

Para o anteprojeto apresentado era esta a técnica que mais fazia sentido, precisamente pelo fato de que através de um projeto e sua análise inicial que englobasse todo o ciclo de vida de um edifício, desde a conceção até à desconstrução, contribui-se para uma construção sustentável, reduzindo praticamente todos os pontos negativos encontrados em um edifício tradicional.

O estudo dos vários materiais que maioritariamente se utilizam nos processos de construção pré-fabricada, demonstrou que a madeira e o aço são aqueles que mais vão de encontro a uma construção sustentável. A madeira por ser natural e o único material de construção renovável, e que nos oferece características físicas e mecânicas bastante satisfatórias para a sua utilização na construção civil, e o aço pelas constantes evoluções no

modo de ser produzido que tornam também este um material elegível para alguns elementos do anteprojecto. A madeira foi o material escolhido de eleição para praticamente todos os elementos constituintes do edifício, ainda assim, foram os derivados desta que mais foram escolhidos, devido ao facto de a madeira ao natural estar sujeita a desgastes e esforços que poderão inviabilizar a sua utilização.

O anteprojecto em si demonstrou que através da conjugação destes dois materiais com o sistema construtivo aplicado, é possível edificar uma habitação bastante flexível, e que, apesar de serem peças pré-fabricadas, o arquiteto mantém sempre a sua liberdade de criação e expressão, em muito devido ao facto de este sistema construtivo oferecer a possibilidade de alterar a disposição espacial das paredes, os acabamentos exteriores e interiores, tal como a finalidade do edifício ou a sua implantação.

O estudo apresentado, para uma habitação unifamiliar, poderá servir para que estas técnicas construtivas e estes materiais utilizados sejam desenvolvidos e utilizados em edifícios de maiores escalas, como construções de vários pisos ou com áreas maiores, ampliando e diversificando as opções de aplicações, e ao mesmo tempo dar mais hipóteses a que estas técnicas e materiais sejam cada vez mais reconhecidos contribuindo para uma gestão dos recursos naturais mais equilibrada.

Referências bibliográficas

AMADO, M. P., PINTO, A. REAES, ALCAFACHE, A. MARIA & RAMALHETE, INÊS. “CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – CONCEITO E PRÁTICA”. Casal de Cambra: CALEIDOSCÓPIO, SA, 2015

BARTH, F. & VEFAGO, L. H. M. (2015) DESCONSTRUÇÃO E POTENCIAIS DE RECICLABILIDADE NAS EDIFICAÇÕES. Acedido em Maio de 2016 em, <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/15.177/5490>

CASEIRO, ANGÉLIQUE (2013). O SISTEMA CONSTRUTIVO MODULAR EM MADEIRA COMO CONTRIBUTO À ARQUITETURA SUSTENTÁVEL. Acedido em Abril de 2016 em, <http://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/2379>

CLEITON, M. et. Al. (S.d.). MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Acedido em Abril de 2016 em, <http://www.ebah.pt/content/ABAAfLyQAL/madeira-na-construcao-civil-1>

COUTO, ARMANDA BASTOS; COUTO, JOÃO PEDRO & TEIXEIRA, JOSÉ CARDOSO. (2006). DESCONSTRUÇÃO – UMA FERRAMENTA PARA A SUSTENTABILIDADE DA CONSTRUÇÃO. Acedido em Maio de 2016 em, <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6792/1/095NUTAU.pdf>

DETAIL. (S.d.). ECONOMICAL WOODEN BUILDING: ROW HOUSE IN AMESTERAN. Acedido em Março de 2016 em, <http://www.detail-online.com/article/economical-wooden-building-row-house-in-amsterdam-26784/>

DIDACTA, ENCICLOPÉDIA TEMÁTICA. “Ciências naturais”. Lisboa: PREPRESS, Lda., 1992

FARIA, CAROLINA. (S.d.). Construção Sustentável. Acedido em Abril 2016 em, <http://www.infoescola.com/ecologia/construcao-sustentavel/>

FERNANDADG. (2014). WOOD FRAME - CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Acedido em Abril de 2016 em, <http://dicasdearquitetura.com.br/wood-frame-construcao-sustentavel/>

FONYAT, MARIANA. (2013). A PRÉ-FABRICAÇÃO E O PROJETO DE ARQUITETURA. PORTO ALEGRE. Dissertação de Mestrado apresentada à faculdade de Arquitetura da Universidade do Rio Grande do Sul. Acedido em Junho de 2016 em, https://issuu.com/mfonyat/docs/_mf_dis_17_junho

FREITAS, WALBER. (S.d.). DEMOLIÇÃO. Acedido em Maio de 2016 em, <http://www.infoescola.com/engenharia-civil/demolicao/>

GERVÁSIO, HELENA. (2006). A SUSTENTABILIDADE DO AÇO E DAS ESTRUTURAS METÁLICAS. Acedido em Abril de 2016 em, http://www.gestedi.pt/images/geral/ficheiros/6_Helena_Gervasio_Sustainability.pdf

GOMES, JOÃO FERREIRA & OLIVEIRA, F. SÁ. (S.d.). TÉCNICAS DE DEMOLIÇÃO. Acedido em Junho de 2016 em, <http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tc-cor/03%20T%C3%A9cnicas%20de%20demoli%C3%A7%C3%A3o%20-%203%C2%AA%20e%204%C2%AA%20aulas%20te%C3%B3ricas%20-%20COR.pdf>

GREVEN, HÉLIO ADÃO; BALDAUF, ALEXANDRA STAUDT FOLLMANN. “INTRODUÇÃO À COORDENAÇÃO MODULAR DA CONSTRUÇÃO NO BRASIL: Uma abordagem atualizada”. Porto Alegre: 2007

HALLIDAY, SANDY. “Green guide to the Architect’s Job Book” 2ª edição. Londres: RIBA Publishing, 2007.

HOMETEKA. (2014). 9 CASAS PRÉ-FABRICADAS ECOLÓGICAMENTE CORRETAS. Acedido em Julho de 2016 em, <https://www.hometeka.com.br/inspire-se/9-casas-pre-fabricadas-ecologicamente-corretas/>

JOURDA, FRANÇOISE-HÉLÈNE. “PEQUENO MANUAL DO PROJETO SUSTENTÁVEL”. Barcelona: Gustavo Gili, 2013

MARQUES, L. E. M. M. (2008). O PAPEL DA MADEIRA NA SUSTENTABILIDADE DA CONSTRUÇÃO. PORTO. Dissertação de Mestrado apresentada à faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em Maio de 2016 em, <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58999/2/Texto%20integral.pdf>

MILANEZ, BRUNO & PORTO, M. F. SOUZA. (2008). A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990. Acedido em Abril de 2016 em, <http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT6-61-8-20080509163054.pdf>

MIMA HOUSE (S.d.). MIMA HOUSE. Acedido em Agosto de 2016 em, <http://www.mimahousing.com/mimahousefaq-1>

MODULARIDADE DA MADEIRA NA ARQUITETURA (S.d.). Acedido em Junho de 2016 em, https://www.academia.edu/15588200/Modularidade_da_madeira_na_Arquitetura

NEFF, LUDWIG; NEUFERT, PETER. “Casa-apartamento-jardim, projetar com conhecimento - construir corretamente” 2 edição. Barcelona: Gustavo Gili, 2007

OS VERDADEIROS IMPACTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (S.d.). Acedido em Abril de 2016 em, <http://www.obralimpa.com.br/index.php/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil/>

PATRICIA. (S.d.). AGENDA 21. Acedido em Agosto de 2016 em, <http://www.agenda21local.com.br/sustentabilidade.php>

PENSAMENTO VERDE. (2013). Construções Sustentáveis: Materiais e Processos. Acedido em Abril de 2016 em, <http://www.pensamentoverde.com.br/arquitetura-verde/construcoes-sustentaveis-materiais-e-processos/>

PORTAL CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. (S.d.). Ecoprodutos para a sustentabilidade na CONSTRUÇÃO. Acedido em Abril 2016 em, <http://www.csustentavel.com/construcao/>

PORTAL DA MADEIRA. (2009). PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA. Acedido em Maio de 2016 em, <http://portaldamadeira.blogspot.pt/2009/10/propriedades-mecanicas-da-madeira.html>

STAIB, DORRHOFER, ROSENTHAL. “Components and systems - Modular construction - Design structure new technologies”. Edition DETAIL.

STEVEN V. SZOKOLAY. “Introduction to ARCHITECTURAL SCIENCE the Basis of Sustainable Design” 2ª edição. Burlington: Elsevier LTD., 2008.

REVISTA DA MADEIRA. (2008). A CONDUTIVIDADE TÉRMICA NA MADEIRA. Acedido em Maio de 2016 em, http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1238&subject=E

VERONEZZI, FELIPE. (S.d.). O impacto da construção civil no meio ambiente. Acedido em Abril de 2016 em, <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23&Cod=1827>

SALLES, B. VIGNOLA & MOURA, N. C. SILVA. (S.d.). ARQUITETURA SUSTENTÁVEL: SISTEMA CONSTRUTIVO INDUSTRIALIZADO APLICADO AO PROJETO. Acedido em Maio de 2016 em, http://www.fau.usp.br/disciplinas/tfg/tfg_online/tr/112/a015.html