

Habitação Modular Evolutiva

Cátia Isabel Marques Sarabanda

Mestrado em Engenharia Civil – Construções

Orientador: José Carlos Castro Pinto de Faria, Professor Adjunto no
Instituto Superior de Engenharia do Porto.

AGRADECIMENTOS

A toda a minha família em geral e aos meus pais em particular, pelo apoio imenso, não só no meu percurso académico, mas em diversas vertentes da minha vida. Ao meu irmão, um destaque especial – ele sabe porquê.

A todos os amigos e colegas de curso, pelos bons momentos, pelas vivências e pela ajuda ao longo destes anos. No âmbito deste trabalho, agradeço fundamentalmente à Engenheira Sandra Magalhães e ao Engenheiro Paulo Pinto, por todo o auxílio prestado, mas acima de tudo, pela amizade.

Aos colaboradores de empresas que contactei, por me facultarem informações essenciais: Maria José Leal (*Amorim Isolamentos, S.A.*), Ivone Azevedo (*Damco Leixões – Portugal*), Eurico Silva (*Uchi*), José Dias (*Sisal – Materiais de Construção, S.A.*) e Isabel Cisneiros (*Clorofila*).

Ao Professor José Carlos Castro Pinto de Faria, meu orientador, por todo o apoio e amizade. O profissionalismo, a disponibilidade demonstrada, o incentivo e a transmissão de conhecimentos foram cruciais para a realização do presente trabalho.

Bea, Leonor, Tomás e Beatriz – porque o melhor do Mundo serão sempre as crianças.

A todos, o meu sincero muito obrigada!

PALAVRAS-CHAVE

Construção modular, módulo, flexibilidade, industrialização, sustentabilidade

RESUMO

Da necessidade de criação de habitações que se adaptem ao constante dinamismo do ser humano, surgiu a ideia da concepção de um edifício evolutivo com base na construção modular.

A construção modular poderá ser entendida como sendo a principal resposta ao combate da construção de estruturas físicas e imóveis, com características inalteráveis ao longo do tempo.

Com este trabalho idealizou-se uma habitação evolutiva, baseado nos conceitos da Coordenação Modular, identificando-se as suas especificações, exigências de desempenho e características funcionais. Foi considerada como medida modular base 0,10m. Os módulos foram pensados com o intuito de que o seu desempenho prático seja satisfatório. A sua base estrutural foi executada a partir do rearranjo de contentores marítimos. Previu-se ainda, o uso de coberturas verdes por serem uma solução comprovada de minorar notoriamente o efeito pernicioso que a construção tem sobre o meio ambiente, ao mesmo tempo que apresentam vantagens térmicas e acústicas.

A questão do incentivo do uso da pré-fabricação em Portugal a uma maior escala, não poderia ser descurada. A apresentação de eventuais desenvolvimentos futuros é também relevante, dada a importância que é inerente ao âmbito da industrialização da construção.

Do estudo realizado ficaram ainda, bem patentes, os benefícios da racionalização e da industrialização, tanto em termos económicos como em termos ambientais. É possível executar um projecto com níveis de perdas mais baixos e com índices de qualidade superiores a um menor preço.

KEYWORDS

Modular construction, module, flexibility, industrialization, sustainability

ABSTRACT

The idea of designing a building evolutionary based on modular construction, was born due the need to create homes that adapt to the constant dynamism of the human being.

The modular construction can be understood as the main answer to fighting the construction of physical structures and properties, with unalterable characteristics over time.

The study were also clearly evident, the benefits of rationalization and industrialization, both economically and environmentally. You can run a project with lower loss levels and indices with higher quality at a lower price.

So, it is clarified the objective of this work: the idealization of a building scalable, based on the concepts of Modular Coordination, identifying their specifications, performance requirements and functional characteristics. It was considered as modular base, the length of 0,10m. The modules were designed with the intention that its practical performance is satisfactory. Its structural basis was performed from the rearrangement of maritime containers. It is further envisioned the use of green roofs; it is proven to be remarkably good option to reduce the harmful effect that the construction has on the environment. At the same time, green roofs have thermal and acoustic advantages.

The issue of encouraging the use of prefabrication in Portugal on a larger scale could not be neglected. The presentation of possible future developments is also relevant given the importance that is inherent in the industrialization of construction.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	iii
Palavras-chave	v
Resumo	v
Keywords	vii
Abstract	vii
Índice Geral	ix
Índice de Figuras	xiii
Índice de Quadros	xvii
Siglas e Acrónimos	xix
1 - Introdução	1
1.1 - Âmbito e Justificação do Tema	1
1.2 - Objectivo	2
1.3 - Bases do Trabalho Desenvolvido	3
1.4 - Estruturação e Organização da Dissertação	3
2 - A Construção Modular	5
2.1 - Resenha Histórica	5
2.1.1 - Dos primórdios até ao início do século XVIII	6
2.1.2 - Revolução Industrial	9
2.1.3 - A partir do Século XX	10
2.2 - O Módulo	13
2.3 - Conceito e Objectivos da Construção Modular	14
2.3.1 - O Ciclo Fechado da Pré-fabricação	15
2.3.2 - A Industrialização Aberta	16
2.4 - Coordenação Dimensional Modular	17
2.4.1 - Sistema de Referência	17
2.4.1.1 - Sistema Geométrico de Referência	18
2.4.1.2 - Malhas Modulares	18

2.4.2 – Sistema Modular de Medidas	20
2.4.2.1 – Multimódulo.....	20
2.4.2.2 – Submódulo.....	20
2.4.2.3 – Medida Modular	21
2.4.2.4 – Medida de Projecto do Componente	21
2.4.2.5 – Junta Modular.....	21
2.4.3 – Sistema de Ajustes e Tolerâncias.....	22
2.4.4 – Sistema de Números Preferenciais	23
2.5 – Classificação de Sistemas Construtivos Modulares.....	23
2.6 – O Projecto Modular	25
2.6.1 – Posição dos Componentes	25
2.6.1.1 – Posição Simétrica em Relação a Linha de Referência do Reticulado Modular	25
2.6.1.2 – Posição Assimétrica em Relação a Linha de Referência do Reticulado Modular	26
2.6.1.3 – Posição Lateral em Relação a Linha de Referência do Reticulado Modular.....	26
2.6.2 – Componentes Modulares	26
2.6.3 – Componentes Não Modulares.....	28
2.6.4 – Zona Neutra	28
2.7 – Epítome do Capítulo.....	30
3 – Industrialização na Construção: Uma Mais-valia	33
3.1 – Benefícios Ambientais da Pré-fabricação.....	33
3.2 – O Pensamento <i>Lean</i>	35
3.2.1 – Do Pensamento à Construção <i>Lean</i>	39
3.3 – Filosofia <i>Lean</i> no Âmbito da Construção Modular.....	45
3.4 – Epítome do Capítulo.....	47
4 – Habitação Modular Evolutiva	49
4.1 – Conceito de “Construção Modular Evolutiva”	49
4.2 – Características Funcionais e Dimensionais da Habitação	50
4.2.1 – Dimensões Regulamentares.....	51
4.2.2 – Dimensões Adoptadas	52

4.2.3 – A Habitação	53
4.3 – Subsistemas da Habitação	56
4.3.1 – Estrutura Principal	56
4.3.2 – Cobertura	58
4.3.2.1 - Asnas	60
4.3.3 – Revestimentos	60
4.3.3.1 – Revestimento Interior e Paredes Divisórias	61
4.3.3.2 – Revestimento Exterior	62
4.3.3.3 – Breve Análise Térmica e Acústica da Solução Considerada	62
4.3.4 – Vãos	64
4.3.4.1 – Caixilharia	64
4.3.4.2 – Vidro	65
4.4 – Organização e Preparação dos Trabalhos	66
4.4.1 – Coordenação Dimensional Modular Aplicada ao Projecto	69
4.5 – Processo de Produção	70
4.6 – Premissas do Projecto	88
4.7 – Sustentabilidade Aplicada ao Projecto	91
4.8 – Pensamento <i>Lean</i> Aplicado ao Projecto	91
4.9 – Viabilidade Técnica do Sistema	92
4.10 – Viabilidade Económica do Sistema	95
4.11 – Epítome do Capítulo	97
5 – Considerações Finais	99
5.1 – A Pré-fabricação em Portugal: Caso Tipo	99
5.2 – Desenvolvimentos Futuros	100
5.3 – Conclusão	101
Bibliografia	105
ANEXO I	111
ANEXO II	117
ANEXO III	125

ANEXO IV	137
ANEXO V	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Vãos Normais e Vãos de Esquina na Arquitectura Grega, Greven & Baldauf (2007)..	7
Figura 2. 2 - Residência Típica Japonesa, Greven & Baldauf (2007).....	9
Figura 2. 3 - Palácio de Cristal, após a sua reconstrução em 1854, Greven & Baldauf (2007).....	9
Figura 2. 4 - Sistema “Dom-Ino”, Arquitecto Le Corbusier, 1914/17, Castelo (2008).....	11
Figura 2. 5 – Le Modulor, Arquitecto Le Corbusier, Greven & Baldauf (2007).	12
Figura 2. 6 - Reticulado Modular Espacial de Referência, Greven & Baldauf (2007	18
Figura 2. 7 - Malhas Modulares, Greven & Baldauf (2007).	19
Figura 2. 8 - Sistema de Tolerâncias e Juntas Construtivas, Greven & Baldauf (2007).....	22
Figura 2. 9 - Sistemas Modulares: a) Fechado; b) Parcialmente Aberto; c) Aberto Patinha (2011).	24
Figura 2. 10 – Posição Simétrica de um Componente, Greven & Baldauf (2007).	25
Figura 2. 11 - Posição Assimétrica de um Componente, Greven & Baldauf (2007).....	26
Figura 2. 12 - Posição Lateral de um Componente, Greven & Baldauf (2007).....	26
Figura 2. 13 - Adição e Combinação de Componentes Modulares, Greven & Baldauf (2007).....	27
Figura 2. 14 - Conjunto Modular Formado com Peças Não Modulares, Greven & Baldauf (2007)..	28
Figura 2. 15 - Exemplo de Zona Neutra numa Junta de Dilatação, Greven & Baldauf (2007).....	29
Figura 2. 16 - Exemplo de Zona Neutra com Blocos Girados, Greven & Baldauf (2007).....	29
Figura 3. 1 - Aspectos Competitivos na Construção Tradicional, Mateus (2004).....	34
Figura 3. 2 - Modelo TPS Simplificado, Gonçalves (2009).....	35
Figura 4. 1 Ciclo de uma Habitação Evolutiva	49
Figura 4. 2 - Planta e Alçados: Fase 1	54
Figura 4. 3 - Planta e Alçados: Fase 2	55
Figura 4. 4 - Planta e Alçados: Fase 3	56
Figura 4. 5 - Contentores Marítimos.	57
Figura 4. 6 - Esquema de um Contentor Marítimo. (Facultado por <i>Damco Leixões - Portugal</i> , 2013).	58
Figura 4. 7 - Telhado Verde: Universidade Tecnológica de Nanyang, Azevedo (2011).....	59

Figura 4. 8 - Revestimento exterior em <i>MDFACHADA: Ecocabana</i> , Cascais. (Facultado por <i>Amorim Isolamentos, S.A.</i> , 2013).....	62
Figura 4. 9 - Pormenor de Caixilho em Alumínio	65
Figura 4. 10 - Habitação Modular: <i>WBS</i>	67
Figura 4. 11 - – Fluxograma do Planeamento	68
Figura 4. 12 - Esquema do Sistema de Referência Tridimensional.....	69
Figura 4. 13 - Esquema do Sistema de Referência; Terminologia de Identificação de Faces	70
Figura 4. 14 - Fluxograma do Fabrico das Asnas.	71
Figura 4. 15 - Comprimento de Asnas: Fase 1, 2 e 3	72
Figura 4. 16 - Fluxograma da Montagem das Asnas.....	73
Figura 4. 17 – Localização Asnas e Madres: Fase 1,2 e 3.....	74
Figura 4. 18 - Fluxograma do Fabrico dos Módulos	76
Figura 4. 19 - Planta da Habitação: Fase 1.....	77
Figura 4. 20 - Planta da Habitação: Fase 2.....	78
Figura 4. 21 - Planta da Habitação: Fase 3.....	79
Figura 4. 22 - Alçado da Habitação: Fase 3.	80
Figura 4. 23 - Fluxograma do Transporte dos Módulos.....	82
Figura 4. 24 - Fluxograma da Montagem dos Módulos.....	83
Figura 4. 25 - Possível Localização das Fundações: Fases 1, 2 e 3.....	84
Figura 4. 26 - Abertura de Vão: Ampliação Fase 1 para Fase 2.....	85
Figura 4. 27 - Chapéu Simples (Esquerda) e Chapéu Saturno (Direita).....	86
Figura 4. 28 - Habitação Modular: Sapatas sem Revestimento.....	86
Figura 4. 29 - Habitação Modular: Existência de <i>Deck</i>	87
Figura 4. 30 - Possível Localização de Caixas de Visita: Fases 1, 2 e 3.	89
Figura 4. 31 - Fundação <i>Sure Safe</i>	90
Figura 5. 1 - Módulo <i>Uchi</i> . Facultado por Eurico Silva, 2013.....	100
Figura I. 1 – Composição de Telhados Verdes.	114
Figura II. 1 – Dimensões das Barras da Asna da Cobertura.....	119

Figura II. 2– Cargas Aplicadas na Asna da Cobertura.	120
Figura II. 3 – Numeração das Barras da Asna da Cobertura.	120
Figura II. 4 – Cargas Aplicadas nas Madres da Cobertura.	122
Figura II. 5– Esquema da Solução da Asna da Cobertura.	122
Figura II. 6– Pormenor 1: Ligação Cordas Superior e Inferior.	123
Figura II. 7 – Pormenor 2: Ligação Cordas Superior e Inferior e Diagonais.	123
Figura II. 8 – Pormenor 3: Ligação Diagonais.....	123
Figura IV. 1 – Envolvente Opaca Exterior.....	143

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3. 1 - Gestão Convencional da Construção vs Construção <i>Lean</i> , adaptada de Gonçalves (2009).....	40
Quadro 3. 2 - Princípios do Pensamento <i>Lean</i> vs Princípios da Construção <i>Lean</i> , Gonçalves (2009).	41
Quadro 4. 1 - Compartimentos e Áreas de Habitação, Artigo 66º e 67º do RGEU.	51
Quadro 4. 2 - Áreas dos Compartimentos e da Habitação.	53
Quadro 4. 3 - Dimensões Interiores dos Contentores Marítimos	57
Quadro 4. 4 - Solução de Revestimentos dos Vários Elementos.....	63
Quadro 4. 5 - Listagem de Referências de Fichas de Procedimento.....	71
Quadro 4. 6 - Ficha de Procedimento Referência FP.FA.....	73
Quadro 4. 7 - Ficha de Procedimento Referência FP.MA.....	75
Quadro 4. 8 - Cortes e Abertura de Vãos: Fase 1.	78
Quadro 4. 9 - Cortes e Abertura de Vãos: Fase 2.	79
Quadro 4. 10 - Cortes e Abertura de Vãos: Fase 3.	80
Quadro 4. 11. - Ficha de Procedimento Referência FP.FM.	81
Quadro 4. 12. - Ficha de Procedimento Referência FP.TM.	83
Quadro 4. 13. - Ficha de Procedimento Referência FP.MM.	88
Quadro 4. 14. - Princípios de Koskela Aplicados na Habitação Modular.....	92
Quadro 4. 15 - Exigência de Desempenho e Análise da Solução: Requisitos de Segurança.....	93
Quadro 4. 16 - Exigência de Desempenho e Análise da Solução: Requisitos de Durabilidade.	94
Quadro 4. 17 - Exigência de Desempenho e Análise da Solução: Requisitos de Habitabilidade.	94
Quadro 4. 18 - Estimativa Orçamental.	95
Quadro 4. 19 - Comparação de Custos: Habitação Modular vs. Pré-fabricação em Madeira.....	96
Quadro 4. 20 - Construção Tradicional: Preços da Habitação a Vigorar em 2013.....	96
Quadro I. 1 – Benefícios dos Telhados Verdes.	113
Quadro I. 2 – Tipos de Telhados Verdes e suas Características.....	114

Quadro II. 1 – Cargas na Cobertura..	119
Quadro II. - 2 Resultados dos Esforços nas Barras da Asna da Cobertura.....	120
Quadro IV. 1– Condutibilidades Térmicas: Valores de Cálculo.	139
Quadro IV. 2– Resistência Térmica Superficial: RCCTE, Quadro VII.I.....	140
Quadro IV. 3 – Parede Exterior: Materiais e Espessuras.	140
Quadro IV. 4– Pavimentos: Materiais e Espessuras.	141
Quadro IV. 5 – Cobertura: Materiais e Espessuras.	141
Quadro IV. 6 – Coeficiente de Transmissão Térmica Máximo Regulamentar: RCCTE, Quadro IX.I.	142
Quadro IV. 7 – Tempo de Reverberação e Tempo de Reverberação de Referência.	144
Quadro IV. 8– Transmissões Marginais.....	145
Quadro IV. 9 – Coeficiente de Absorção Sonora.	146
Quadro IV. 10 – Área de Absorção Sonora.	146
Quadro IV. 11 – Área de Absorção Sonora por Frequências do Mobiliário.	146
Quadro IV. 12 – Resultados da Parede Opaca Exterior do Quarto.	147

SIGLAS E ACRÓNIMOS

AEP – Agência Europeia para a Produtividade

CM – Contentor(es) Marítimo(s)

ICB – Aglomerado de Cortiça Expandida

JIT – *Just in Time*

M – Módulo Base

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSA – Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas

RGR – Regulamento Geral do Ruído

SI – Sistema Internacional de Unidades

TPS – Sistema Toyota de Produção ou *Toyota Production System*

U – Coeficiente de Transmissão Térmica

VBM – Value-Based Management

VE – Value Engineering

WBS – *Work Breakdown Structure*

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO DO TEMA

A sede de conhecimentos aliada à constante carência que o Homem tem de evoluir, resultou num avanço indiscutível, tanto a nível científico como tecnológico. Dessa constante evolução resulta a adaptação do “mundo” que nos envolve, à medida das nossas crescentes necessidades.

Pretende-se aliar as vantagens características da Construção Modular às várias faltas no âmbito da construção. Num universo em que as questões como a economia e a sustentabilidade são, cada vez mais, as palavras de ordem, torna-se imprescindível o encontro de soluções que não só consigam responder a esses “gritos” de chamada, mas que ainda assim, satisfaçam todas as exigências típicas das edificações: durabilidade, funcionalidade, habitabilidade, segurança e conforto.

Actualmente pode considerar-se que o sector da construção civil, tanto a nível nacional como internacional, é muito desigual. Desta falta de homogeneidade resulta um sistema de construção pouco racional, uma vez que se verificam diferenças consideráveis nos índices de produtividade e desperdícios (Greven & Baldauf, 2007).

Conforme assinala Yeang (1999) (referido por Patinha, 2011) os desperdícios representam um indicador negativo, tanto sob o ponto de vista ambiental como sob o ponto de vista económico. Cerca de 40% de toda a matéria-prima produzida no planeta, com a conseqüente produção de 20% a 26% do lixo acumulado todos os anos em aterro, deve-se ao sector da construção.

Da possibilidade da racionalização – desde a concepção até à construção – através da criação de uma dimensão padrão, que permitirá aumentar os níveis de industrialização, permitindo uma optimização de custos, tempo e recursos, surge o conceito da construção modular (Castelo, 2008).

O arranjo final conseguido em função da racionalização do espaço e dos componentes, leva a que a construção modular possa (e deva) ser vista como um recurso precioso no âmbito do projecto e concepção de novas estruturas. A repetição do módulo, não deve ser considerada um entrave à flexibilidade estética: não são impostos quaisquer métodos construtivos ou tão pouco materiais ou tipologias a usar.

1.2 – OBJECTIVO

Como referido, uma das exigências das edificações é a sua durabilidade. Com efeito, os imóveis são projectados para um considerável período de vida. Mas terão amanhã as pessoas, as mesmas necessidades que têm hoje? E os edifícios que as servem serão capazes de responder a essas carências vindouras? A flexibilidade do ambiente construído, que deve ser logo pensada aquando da elaboração do projecto, poderá dar resposta a essas questões. A título de exemplo, uma família que tenha mais um filho poderá ampliar a tipologia da sua casa, sem uma grande necessidade de obras. Por outro lado, o filho que sai de casa dos pais poderá levar (“literalmente”) o seu quarto consigo, implementando-o num novo espaço.

Do período conturbado que a economia enfrenta e das transformações que influenciam o quotidiano das pessoas, urge repensar o conceito da construção.

Assim, o objectivo fulcral da realização do presente trabalho é a idealização da construção de uma habitação modular evolutiva. Pretende-se desenvolver uma ideia de habitação, cuja morfologia possa ser facilmente adaptável consoante o evoluir das necessidades dos seus ocupantes. Os módulos, que podem ser agregados ou desagregados, com intervenção de poucos recursos, possibilitam a evolução do espaço; a flexibilidade constitui o ponto de partida na concepção da habitação.

Não se trata por isso, de uma casa de construção tradicional, cujas características se mantêm estáticas no tempo, independentemente do desenvolvimento do meio envolvente.

1.3 - BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO

Uma das principais bases deste trabalho foi a pesquisa e a revisão bibliográfica, muitas vezes dificultadas pela disponibilidade das fontes originais, resultando na referência a um número confinado de autores, que tiveram acesso a essas fontes.

Para além da pesquisa bibliográfica, foram contactadas algumas empresas de modo a obter-se mais e melhores informações sobre alguns dos materiais e soluções considerados na idealização da habitação. As indicações dadas pelos técnicos demonstraram ser de grande valia na realização do estudo aqui apresentado.

Antecipa-se, por conseguinte, a idealização da construção modular cuja produção de módulos partirá da reutilização de contentores marítimos (CM). A preferência por soluções, sempre que possível, sustentáveis e económicas, resulta numa edificação de relativo baixo custo e com propensão a reduzir os efeitos danosos sobre o meio ambiente.

A coordenação dimensional modular surge então, como um recurso precioso durante todo o processo criativo. A ordenação dos espaços e dos componentes, ainda que por vezes com determinados entraves, foram sendo solucionados à medida que o projecto se desenvolveu.

As soluções expostas (ainda que várias outras pudessem ser consideradas) indicam uma habitação, onde se procurou uma regular eliminação de desperdícios evitando-se actividades que consomem recursos, mas que não agregam valor. Os resultados obtidos são tais, que se considera adequado o estudo e o incentivo da aplicação dos preceitos em análise, à construção em Portugal. E não só em edifícios de carácter habitacional, mas também a edifícios de serviços.

1.4 - ESTRUTURAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente estudo encontra-se organizado em cinco capítulos, sendo que nesta *Introdução* se indicam os objectivos, o âmbito e a motivação do tema em análise.

No segundo capítulo é abordado o estado da arte relativo à Construção Modular. Aqui serão apresentados os desenvolvimentos históricos, sistemas e demais conceitos inerentes.

O capítulo seguinte, ainda que de uma forma muito sucinta, alude aos benefícios ambientais da pré-fabricação e à filosofia *Lean*.

O quarto capítulo ficou reservado para o desenvolvimento da idealização de construção de uma habitação modular evolutiva, onde são esplanadas as soluções e opções tomadas.

O capítulo final é dedicado às conclusões do trabalho, bem como a desenvolvimentos futuros que se considerem pertinentes.

2 – A CONSTRUÇÃO MODULAR

Em termos gerais, a indústria da construção civil foi evoluindo ao longo dos tempos sendo caracterizada por diversas fases. Cada uma dessas fases apresenta métodos, técnicas e arquitecturas muito próprias, que dependem não só da cultura e necessidades dos povos, mas também do avanço que se foi experimentando noutras indústrias. A construção modular constitui um dos instrumentos usados na indústria da construção, com o objectivo da produção de módulos como unidades independentes, que quando usadas como um todo, permitem a racionalização do edificado. Num estudo de Pigozzo *et al.* (2005) é indicado, Vasconcellos (2002), que formula que não existe uma data definida para o começo do uso da pré-moldagem. Já Revel (1973), referido pelos mesmos autores, passa a ideia de que a pré-fabricação remonta à mais alta antiguidade: a pré-fabricação é aplicável à construção de todos os elementos que são depois transportados para a obra, onde serão finalmente montados. Por seu lado Ordonéz (1974), e ainda via Pigozzo *et al.* (2005), refere que terá sido no pós Segunda Guerra Mundial que a pré-fabricação teve a sua utilização mais intensiva, devido à grande necessidade de construção.

Neste capítulo pretende-se expor alguns dos conceitos e uma breve exposição histórica com o intuito de avaliar e clarificar o estado da arte relativo à Construção Modular.

2.1 – RESENHA HISTÓRICA

Quando se refere a construção modular e para a generalidade das pessoas, a primeira ideia que surge é um tipo de construção em que se usam “módulos paralelepípedos” que de alguma forma se encaixam, formando no final uma qualquer edificação. Contudo, esta visão da construção modular é por demais pobre. Nos dias que correm, são já apontadas diversas vantagens no recurso a este tipo de construção, contrariando essa visão redutora da construção modular.

De acordo com Greven & Baldauf (2007) a definição de “módulo”¹ indica a medida reguladora das proporções de uma obra arquitectónica ou a quantidade que se toma como unidade de qualquer medida. Apesar desta definição ser recente, o recurso à utilização do módulo na arquitectura é já antigo. Ainda de acordo com os mesmos autores, a história da construção modular não é nova e foi evoluindo ao longo dos tempos. Os Gregos consideravam que o módulo tinha um carácter estético, ao passo que os Japoneses viam-no com um carácter funcional. Já para os Romanos, o módulo era considerado estético-funcional.

Recorrendo ao estudo realizado por Patinha (2011) a história da construção modular pode ser analisada em três períodos temporais distintos: dos primórdios da humanidade até ao início do século XVIII; período da Revolução Industrial (início do século XVIII até à primeira metade do século XIX) e da segunda metade do século XIX até à actualidade.

2.1.1 – DOS PRIMÓRDIOS ATÉ AO INÍCIO DO SÉCULO XVIII

Como já referido, o povo Grego atribuía ao módulo um carácter estético. Em anuência com Greven & Baldauf (2007) a beleza e a harmonia das construções eram expressas pela proporção dos elementos. O diâmetro da base das colunas era a unidade básica usada: todas as dimensões dos elementos (como o fuste, o capitel e a base) bem como os espaços característicos da arquitectura grega eram obtidos pela multiplicação ou divisão do diâmetro da base das colunas. Ainda Greven & Baldauf (2007) salientam, o conflito

¹ Módulo (nome masculino):

1. Medida que regula as proporções das partes de um edifício ou de qualquer peça arquitectónica
2. Unidade ou peça autónoma que pode ser combinada com outras para formar um todo

In *Infopédia Porto*: Porto Editora, 2003-2013: <http://www.infopedia.pt/pesquisa-global/m%C3%B3dulo>. Data de acesso: 28-03-2013.

existente entre a arquitectura e as exigências estruturais. O vão das esquinas é menor quando comparado com os demais vãos. Isto acontecia para que os componentes “pré-fabricados” se mantivessem com a mesma dimensão em todos os vãos.

Na figura 2.1, o vão “A” é o vão normal e “B” é o vão de esquina. A linha a tracejado indica a posição da coluna, caso os vãos “A” e “B” fossem iguais.

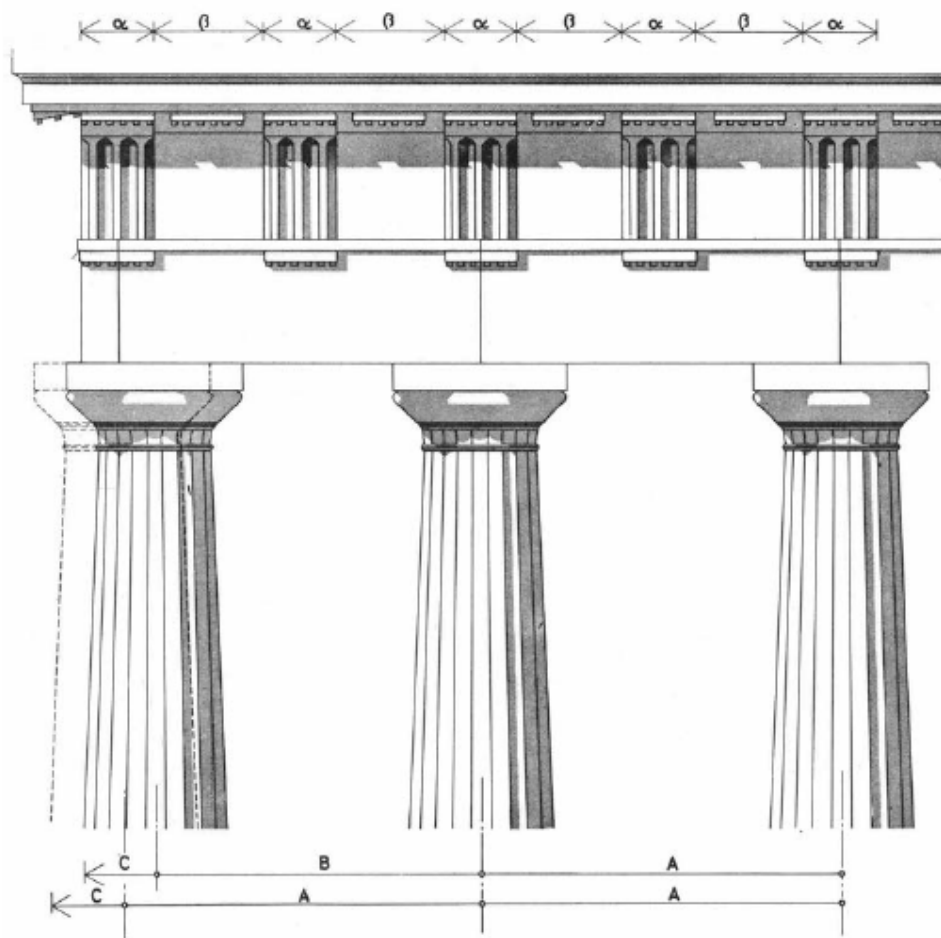


Figura 2. 1 - Vãos Normais e Vãos de Esquina na Arquitectura Grega, Greven & Baldauf (2007).

Por outro lado, Patinha (2011) refere que a proporção entre o diâmetro e a altura da coluna era invariável: a altura das colunas deveria ser seis vezes o diâmetro da base. Contudo, o diâmetro da base da coluna não era uma medida absoluta, mas sim relativa, uma vez que esse valor poderia variar de edifício para edifício. Mencionando Greven & Baldauf (2007) a civilização Romana, considerada como um povo de carácter

essencialmente prático, projectava as suas cidades e os edifícios recorrendo a um conjunto de medidas antropomórficas: o reticulado modular era baseado no *passus* romano, que era múltiplo do *pes*. Além disso, uniformizaram os tijolos romanos, que eram produzidos com duas dimensões padrão distintas: o *bipetalis* e o *sesquipetalis*. O módulo serviu também para estabelecer medidas de outros componentes construtivos (tubos cerâmicos, telhas, ladrilhos), bem como utensílios domésticos (copos, pratos).

Os mesmos autores Greven & Baldauf (2007) referem ainda que a propriedade mais importante das séries dimensionais romanas era o facto de os componentes construtivos serem pequenos múltiplos de várias unidades padrão de medida. Nenhuma unidade padrão constituía um módulo-base, ou submódulo ou tão pouco um multimódulo. A modulação era flexível desde o componente mais pequeno até à grande cidade.

No que ao povo Japonês concerne, segundo Patinha (2011) foi a partir da segunda metade da Idade Média que se adoptou o *ken* como medida. Inicialmente o *ken* foi usado como medida de separação entre duas colunas, sendo que só depois foi normalizado passando a integrar a arquitectura, regulando não só as estruturas, mas também os espaços e os materiais.

Também Greven & Baldauf (2007) explicam que a trama modular japonesa se denominava *tatame*. O *tatame* era um módulo rectangular com dimensões aproximadas $\frac{1}{2}$ *ken*. Esta dimensão permitia que duas pessoas se sentassem confortavelmente ou que uma delas se pudesse deitar. Uma habitação poderia ser medida pelo número de *tatames* utilizados, uma vez que os espaços eram dimensionados para receber um número inteiro de *tatames*, não existindo no entanto uma dimensão máxima limite. Ching (1998) citado por Greven & Baldauf (2007) expõe, contudo, que a altura do tecto dos edifícios era calculada como sendo $0,3 \times$ número de *tatames*.

A figura 2.2 ilustra uma casa típica japonesa, na qual as dimensões do módulo permitiam uma disposição de espaço inteiramente livre.

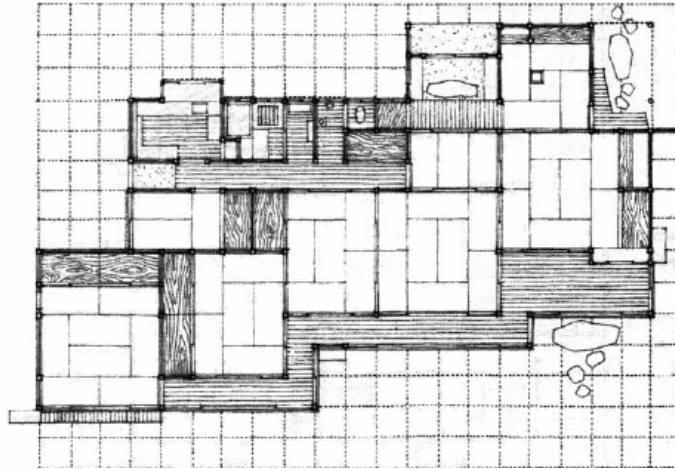


Figura 2. 2 - Residência Típica Japonesa, Greven & Baldauf (2007).

2.1.2 – REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Grisotti (1965) mencionado por Greven & Baldauf (2007) a dependência que a construção apresentava do uso de materiais locais foi desassociada aquando do desenvolvimento dos caminhos-de-ferro. A revolução industrial levou ao desenvolvimento de novos equipamentos e técnicas, o que permitiu o uso de materiais como o aço e o vidro, colmatando a necessidade de edifícios maiores e mais resistentes. Citando Bruna (1976) “*o ferro e o vidro constituíram materiais de construção há muitos séculos, mas são considerados novos na medida em que os progressos industriais permitiram sua produção em grande quantidade e estenderam a sua aplicação à maioria dos edifícios*”.



Figura 2. 3 - Palácio de Cristal, após a sua reconstrução em 1854, Greven & Baldauf (2007).

Com base no estudo de Patinha (2011) o Palácio de Cristal (figura 2.3), projectado por Joseph Paxton e construído entre 1850 e 1851, constitui a primeira aplicação da construção modular. Representa uma estrutura de elementos pré-fabricados de aço e vidro, edificado com recurso a uma rede modular condicionada pelas dimensões do vidro. A industrialização e a padronização dos elementos pré-fabricados contribuíram em muito, para o cumprimento dos limites económicos, bem como do prazo de construção. É devido ainda ao Palácio de Cristal o mérito pela antecipação, em praticamente um século, das questões alusivas à industrialização da construção, consideração de dimensões modulares e ainda a produção normalizada dos diversos elementos inerentes à construção (Patinha, 2011).

2.1.3 – A PARTIR DO SÉCULO XX

Após o processo de industrialização que se processou em vários sectores, muitos profissionais da área da construção voltaram-se para estudos a respeito da pré-fabricação e, inevitavelmente, da construção modular. Isto porque, na visão de Chemillier (1980) referido por Greven & Baldauf (2004), não se podia continuar a suportar os elevados custos e prazos da construção. Chemillier (1980) aponta Le Corbusier como o arquitecto que declarou ser necessário produzir habitação em série, em fábricas com linhas de montagem, tal como a Ford montava os seus automóveis. Seguindo este pensamento, Le Corbusier criou o sistema “Dom-Ino”. Este sistema era composto por módulos tridimensionais de dimensões uniformizadas produzidos industrialmente. O “Dom-Ino” (figura 2.4) flexibilizava a construção das habitações, uma vez que era possível uma casa ter até dois pisos, com uma arquitectura interna livre e sem recurso a paredes-mestras (Castelo, 2008).

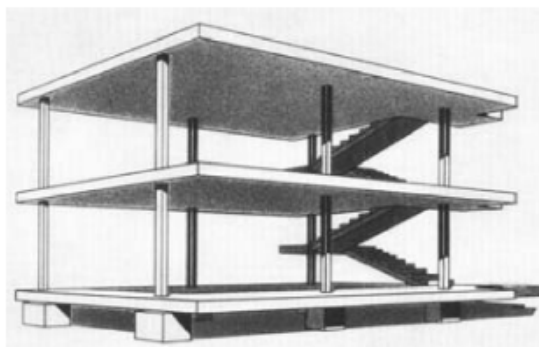


Figura 2. 4 - Sistema “Dom-Ino”, Arquitecto Le Corbusier, 1914/17, Castelo (2008).

Em 1927 foi desenhado o bairro operário de Weissenhof e em 1932 a “casa ampliável”, ambos por Walter Gropius. Estas habitações realizaram-se com recurso a elementos pré-fabricados, com estrutura metálica vedada por painéis de cortiça revestidos. A adição de elementos volumétricos permitia o crescimento da “casa ampliável”. (Castelo, 2008 através de Patinha, 2011).

Conforme refere Patinha (2011) por citação a Bregatto (2008) a grande evolução da construção modular aconteceu, fundamentalmente, a nível conceptual.

Foi a partir da publicação do livro *The Evolving House* de Alfred Bemis, que se desenvolveu o estudo de normas que basearam a regularização da construção.

A partir de 1942, Le Corbusier estudou um sistema de proporcionalidade que adequasse as medidas antropomórficas às necessárias para a produção industrial (Greven & Baldauf, 2007). Com o livro, “Le Modulor”, publicado em 1948, apresentava o sistema que pretendia harmonizar as características do ser humano com as dimensões que se produziam de forma industrial (figura 2.5).

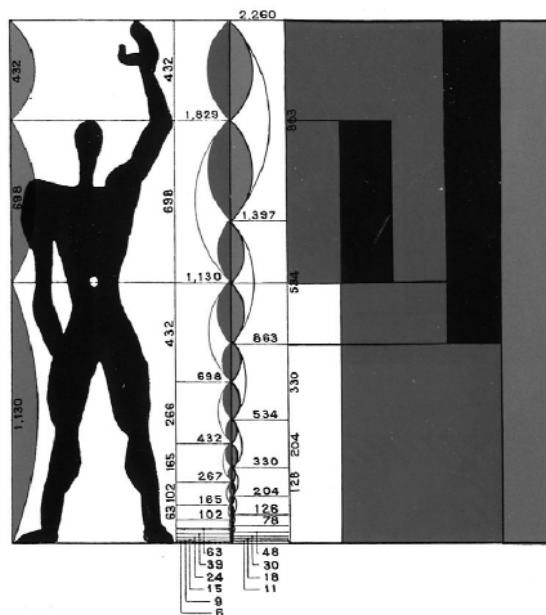


Figura 2. 5 – Le Modulor, Arquitecto Le Corbusier, Greven & Baldauf (2007).

Terá sido ainda durante a Segunda Guerra Mundial, que Betgvall e Dahlbertg tomaram como base o módulo de 10 cm, sendo que na América do Norte se usava o módulo base de 10,06 cm (4") (Greven & Baldauf, 2007).

De acordo com a investigação levada a cabo por Castelo (2008) a pré-fabricação era a palavra-chave para o desenvolvimento da arquitectura moderna: *“o modernismo parecia ser uma boa resposta para a construção de habitações, devido ao modo económico como geria a construção e à rapidez com que executava as suas pequenas mas eficientes células de habitar. Assim, apresentou-se como o estilo do mundo livre e as suas características facilitaram a sua aplicação para a reconstrução das cidades destruídas pelos bombardeamentos da 2ª Guerra Mundial”*.

Em 1953 foi criada a Agência Europeia para a Produtividade (AEP), da qual Portugal fazia parte. Verificou-se que as grandes vantagens da construção modular só seriam alcançadas se existisse cooperação internacional. Em 1955 estabeleceram-se as medidas do módulo base como sendo os 10 cm ou 4 ", consoante melhor se adaptassem às exigências, sendo que em 1957 foi votada e aprovada oficialmente a adopção das referidas medidas.

De salientar que em 1953, Portugal publicou a sua primeira norma sobre construção modular, tendo adoptado o módulo base de 10 cm (Greven & Baldauf, 2007).

2.2 – O MÓDULO

O módulo base, representado universalmente pela letra **M**, pode ser definido como sendo a distância entre dois planos consecutivos do reticulado modular espacial de referência, como descrito por Campos (2009). Segundo a AEP (1962) fazendo uso do trabalho de Greven & Baldauf (2007) o módulo desempenha três funções substanciais:

- É o denominador comum de todas as medidas ordenadas;
- É o incremento unitário de toda e qualquer dimensão modular, de modo a que toda e qualquer soma ou diferença de duas dimensões modulares, seja ela também modular:
- É um factor numérico, expresso em unidades do sistema de medidas adoptado.

A AEP estabeleceu cinco requisitos na adopção da medida correspondente ao módulo, sendo eles enumerados também por Greven & Baldauf (2007):

- A dimensão do módulo deve ser suficientemente grande, por forma a possibilitar uma correspondência entre as dimensões modulares dos componentes e os espaços modulares do projecto;
- A dimensão do módulo deve ser suficientemente pequena, de modo a que se obtenha uma unidade conveniente de incremento de uma dimensão modular à seguinte, reduzindo ao mínimo as variações a serem introduzidas nos elementos já produzidos, bem como as variações correspondentes dos espaços previstos no projecto;
- A medida a adoptar para o módulo será aquela que proporcionar a maior redução da variedade actual dos componentes;

- A dimensão do módulo deve ser expressa por um número inteiro acompanhado do sistema de medidas adoptado;
- A dimensão do módulo deve ser eleita por unanimidade pelos países que pretendam dar uso à construção modular.

Ainda segundo Greven & Baldauf (2007), o uso do decímetro como módulo base ocorre porque o sistema de medidas internacional é o métrico, em conformidade com o Sistema Internacional de Unidades (SI).

2.3 – CONCEITO E OBJECTIVOS DA CONSTRUÇÃO MODULAR

O conceito da construção modular, de acordo com várias pesquisas, diversifica-se consoante o ponto de vista de diversos autores. Para Mascaró (1976) “*é um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e objectos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes*” (Greven & Baldauf, 2007). Já para Castelo (2008) tal como indicado no trabalho de Patinha (2011) a coordenação dimensional modular é “*(...) uma metodologia, que visa criar uma dimensão padrão, que racionalize a concepção e a construção de edifícios, o que permite elevar o grau de industrialização da construção, mantendo no entanto a liberdade de concepção arquitectónica dentro de valores aceitáveis.*”.

No fundo, e de uma forma generalista, o intuito da construção modular é a racionalização da construção, recorrendo para isso à uniformização, tanto quanto possível, das dimensões dos componentes e dos espaços. Esta racionalização ocorre logo na fase de projecto: com recurso a uma malha modular é definida a disposição dos elementos, tanto entre si, bem como no meio que os rodeia. Logo à partida se infere que este processo torna o acto de projectar menos personalizável, não comprometendo contudo, a concepção arquitectónica.

A construção modular pode considerar-se como sendo uma área intrínseca à pré-fabricação. À semelhança do que acontece nesta última, e tal como indicado por Patinha (2011), também na construção modular primeiramente se produzem os elementos, sendo que só depois são transportados e montados na localização final. A produção de elementos em série apresenta como vantagens um maior controlo sobre a qualidade da produção e uma diminuição dos custos. Antes do processo de montagem, ocorre o transporte dos elementos. Estes devem ser produzidos com dimensões tais, que não impliquem o uso de transportes especiais, sob pena de agravamento dos preços. Na fase final, a de montagem, o grande dispêndio de mão-de-obra pode ser diminuído se os componentes a juntar tiverem mecanismos de montagem simplificados, nomeadamente ausência de necessidade de cortes, sobreposições ou alterações da morfologia inicial do componente. Deduz-se assim, que todos os intervenientes têm responsabilidade na consignação do grande objectivo da construção modular: desde a idealização do projecto até à fase de manutenção dos edifícios.

2.3.1 – O CICLO FECHADO DA PRÉ-FABRICAÇÃO

Durante muitos anos a construção pré-fabricada foi classificada, conforme Ferreira (2003) que é indicado por Pigozzo *et al.* (2005) como sendo monótona e uniforme, onde se destacava o uso de elementos pesados e com uma arquitectura rígida e inflexível. Ainda de acordo com os mesmos autores, a modulação não seria para conciliar os elementos com outros processos construtivos, isto porque não era viável alterar uma linha de produção, pois quanto maior fosse o grau de industrialização, com um elevado índice de repetição dos elementos, menor seriam os custos associados à mão-de-obra da produção.

Para Castelo (2008) o estudo exaustivo quer dos materiais quer dos processos construtivos levava à optimização da utilização do sistema pré-fabricado, sendo que o promotor da concepção e comercialização do sistema era responsável pela sua aplicação em obra, dando

garantia da mesma. Desta filosofia resultou uma industrialização fechada tal como referenciam Pigozzo *et al.* (2005): a modulação era vista como um parâmetro de racionalização entre componentes e produtos do mesmo sistema, mas não compatíveis com os artigos de outros métodos produtivos.

2.3.2 – A INDUSTRIALIZAÇÃO ABERTA

Por seu turno, a industrialização aberta é uma *“forma de industrialização na qual os componentes são produzidos a partir de um módulo base, para que sejam combinados com outros componentes, qualquer que seja o fabricante.”* (Greven & Baldauf, 2007). As características inerentes à industrialização aberta são apontadas por Campos (2009):

- A coordenação dimensional permite unir o maior número de elementos e produtos de diferentes origens;
- A existência de um catálogo dos vários elementos, com uma informação detalhada do componente que auxilie a sua aplicação;
- Raio de acção mais específico;
- Flexibilidade dos processos de produção (engloba a retirada de componentes obsoletos e permite a realização de produtos com características especiais);
- Montagem dos componentes pré-fabricados por terceiros;
- Possibilidade da existência de *stock* de alguns produtos.

O mesmo autor conclui também que *“a simplificação do projecto, tanto pelo facto dos detalhes construtivos já estarem solucionados em função da própria padronização, quanto pelo estabelecimento de uma linguagem gráfica, descritiva e de especificações, que será comum a fabricantes, projectistas e construtores, facilita o entendimento entre os intervenientes do processo.”*

2.4 – COORDENAÇÃO DIMENSIONAL MODULAR

“A coordenação dimensional modular tem como objectivo fundamental garantir que diferentes componentes e equipamentos possam ser montados em obra de forma racional, proporcionando soluções esteticamente aceitáveis.”, é o que indica Castelo (2008) no seu trabalho.

Para que a construção modular seja possível, existem quatro conceitos fundamentais que importa aqui reter:

- Sistema de referência;
- Sistema modular de medidas;
- Sistema de ajuste e tolerâncias;
- Sistema de números preferenciais.

2.4.1 – SISTEMA DE REFERÊNCIA

O sistema de referência (que pode ser bidimensional ou tridimensional), tal como referido por Patinha (2011) é formado por pontos, linhas ou planos que servirão para orientar os elementos construtivos, promovendo a sua compatibilidade e auxiliando a sua localização.

No seu livro, Greven & Baldauf (2007) explicam que o sistema de referência pode ser usado desde o momento de projectar os componentes (ou a edificação) até à implantação no terreno, depois da execução. O módulo deve ser um número inteiro, tendo a função de servir como incremento unitário, como primeira medida de grandeza e ainda, como intervalo dimensional base do sistema de referência. Os mesmos autores indicam ainda a existência de dois outros elementos básicos do sistema de referência: o sistema geométrico de referência e as malhas modulares.

2.4.1.1 – SISTEMA GEOMÉTRICO DE REFERÊNCIA

Em consonância com Patinha (2011) o sistema geométrico de referência (também chamado reticulado modular espacial de referência) é constituído por planos que se intersectam perpendicularmente, formando uma malha tridimensional. Os planos são distanciados entre si por um espaço igual ao módulo. A esta definição, Greven & Baldauf (2007) acrescentam que a malha formada pelo sistema geométrico de referência serve para o posicionamento dos componentes da construção, das juntas e dos acabamentos. Deste modo consegue-se que os elementos fiquem perfeitamente localizados na malha espacial (figura 2.6).

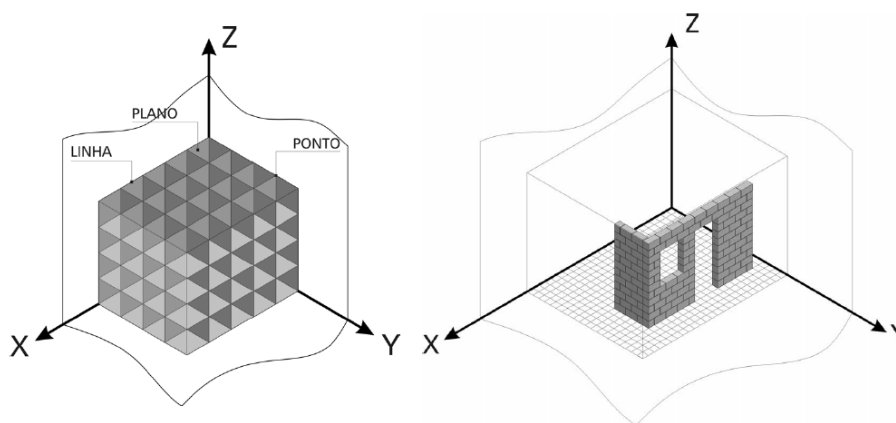


Figura 2. 6 - Reticulado Modular Espacial de Referência, Greven & Baldauf (2007).

2.4.1.2 – MALHAS MODULARES

A malha modular é definida por Greven & Baldauf (2007) como uma projecção do reticulado modular de referência espacial, segundo um plano paralelo a um dos três planos ortogonais. A definição completa da malha modular surge em Patinha (2011) ao afirmar que se trata de um sistema de duas dimensões cuja malha (mais apertada ou mais alargada) dependerá da pormenorização do trabalho a desenvolver. O autor sugere ainda, quatro tipos de malhas que podem ser usadas nas diversas fases do projecto:

- Malha modular básica: usada no projecto de componentes e detalhes;

- Malha modular de projecto: aplicada, como o próprio nome indica, no desenvolvimento do projecto geral da edificação;
- Malha modular estrutural: malha que auxilia o posicionamento dos elementos estruturais;
- Malha modular de obra: malha utilizada na localização e orientação do edifício e dos componentes, na sua montagem.

A figura 2.7, exemplo considerado da análise de Greven & Baldauf (2007) representa a malha modular básica M , a malha modular de projecto $3M$ e a malha modular estrutural $24M$.

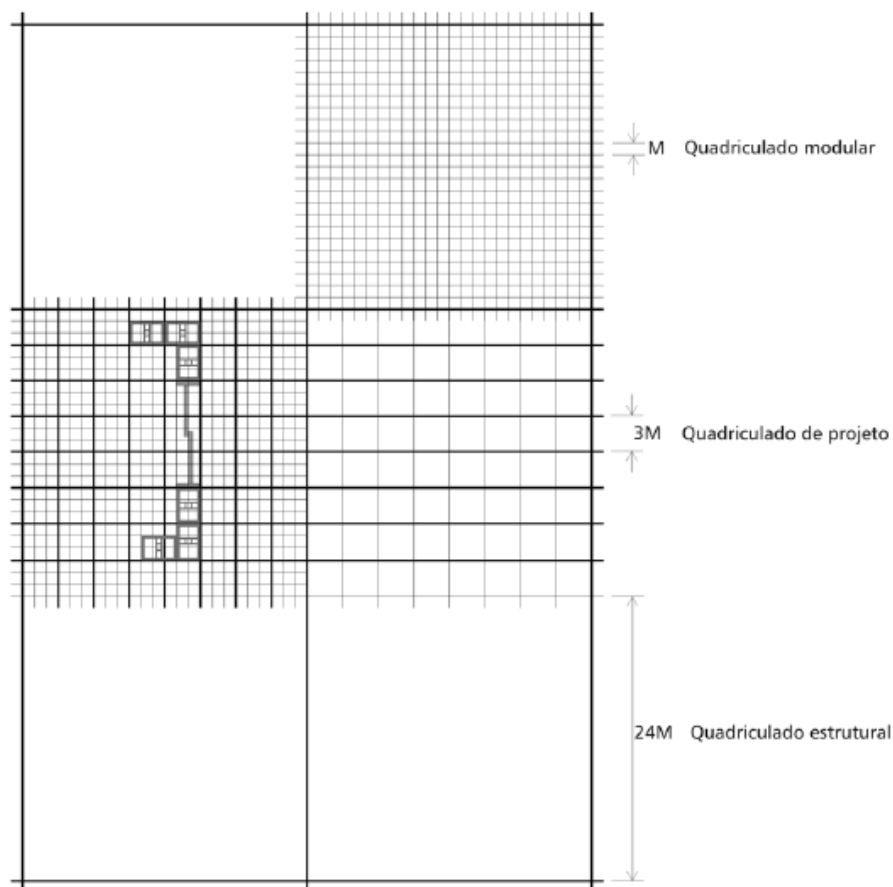


Figura 2. 7 - Malhas Modulares, Greven & Baldauf (2007).

2.4.2 – SISTEMA MODULAR DE MEDIDAS

Ainda de acordo com Greven & Baldauf (2007) este sistema de medidas é baseado no módulo e em algumas dimensões dele (múltiplos inteiros ou fraccionários previamente seleccionados) e serve para normalizar as dimensões dos elementos. Os componentes devem ocupar os espaços determinados por planos. Essa distância é determinada pelo módulo. Segundo Mascaró (1976) mencionado por Greven & Baldauf (2007) são consideradas as seguintes características do sistema modular de medidas:

- Conter medidas funcionais e de elementos construtivos típicos;
- Ser aditiva a si mesma;
- Assegurar o intercâmbio das partes mediante a combinação das medidas múltiplas ou submúltiplas do módulo.

Os mesmos autores apontam também, a necessidade do uso de certos conceitos, devido à extensa variedade das dimensões dos elementos de uma habitação: multimódulo, submódulo, medida modular, medida de projecto do componente e junta modular. As noções são apresentadas a seguir, tal como apresentado por Greven & Baldauf (2007).

2.4.2.1 – MULTIMÓDULO

Um multimódulo é considerado como sendo $n \times M$, onde n representa um qualquer número inteiro positivo. Em termos gerais, pode assumir-se que os multimódulos poderão ir de 3M a 60M.

2.4.2.2 – SUBMÓDULO

O submódulo pode ser aplicado nos casos em que os componentes não possam ser produzidos com dimensões múltiplas do módulo. Como exemplo, apontam-se as espessuras dos painéis das paredes. Neste caso, n representa a divisão da unidade modular básica:

M/n . De modo a prevenir o uso excessivo do submódulo (o que levaria ao aumento da variedade dimensional e conseqüentemente ao aumento dos custos), deve ter-se em conta que:

- O submódulo nunca deve ser usado como módulo base;
- A frequência de aplicação do submódulo depende das exigências de ordem funcional e resulta da máxima economia;
- No caso de ser estritamente necessário o uso de um mínimo múltiplo de um submódulo, é necessário avaliar se os encargos inerentes são compatíveis com o uso da construção modular.

2.4.2.3 – MEDIDA MODULAR

Corresponde à soma da dimensão nominal do componente com as respectivas folgas. Esta medida permite que as dimensões definidas no projecto possam ser executadas em obra, sem que os elementos se sobreponham.

2.4.2.4 – MEDIDA DE PROJECTO DO COMPONENTE

Medida determinada no projecto para qualquer componente. É inferior à medida modular, pois leva em conta a tolerância de fabricação, bem como as juntas necessárias à perfeita adaptação do componente no espaço final que irá ocupar.

2.4.2.5 – JUNTA MODULAR

Corresponde à distância, prevista no projecto, entre os extremos de dois componentes.

2.4.3 – SISTEMA DE AJUSTES E TOLERÂNCIAS

Tal como indicado no trabalho de Patinha (2011) é necessário garantir a compatibilidade entre os elementos e os respectivos materiais de modo a que os componentes desempenhem a sua função correctamente. Deve prever-se que a montagem em obra ocorra sem qualquer adaptação relevante dos elementos. Se tal não se suceder, coloca-se em causa a eficiência do sistema.

O referido autor salienta ainda que as juntas deverão ter em conta as variações dimensionais causadas pelos processos construtivos, variações térmicas e deformações. Posto isto, a junta representa um dispositivo de absorção das mencionadas variações na união dos elementos. A definição do Sistema de Ajuste e Tolerâncias (figura 2.8) em Greven & Baldauf (2007) é apresentada com três variações de ajuste modular:

- Ajuste modular positivo: quando o espaço modular não é preenchido totalmente pelo componente;
- Ajuste modular negativo: quando o espaço modular é excedido;
- Ajuste modular nulo: quando a dimensão do componente coincide com a dimensão modular.

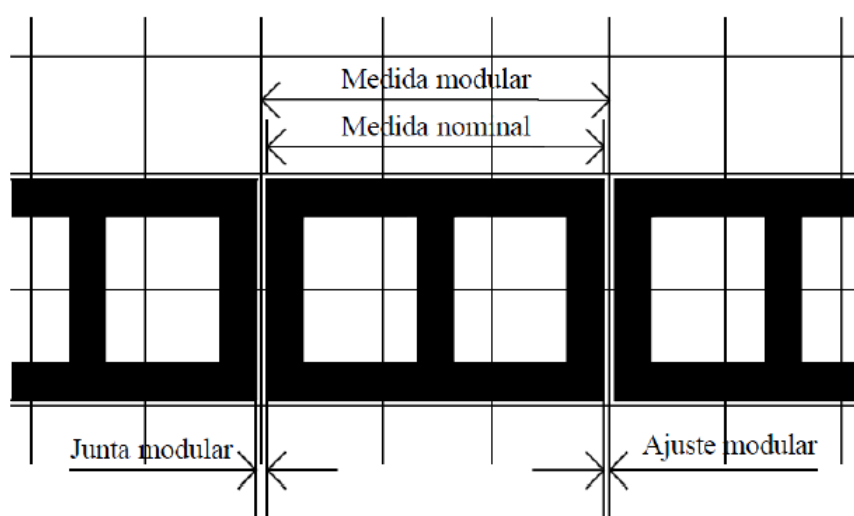


Figura 2. 8 - Sistema de Tolerâncias e Juntas Construtivas, Greven & Baldauf (2007).

2.4.4 – SISTEMA DE NÚMEROS PREFERENCIAIS

De acordo com Rosso (1976) referenciado por Greven & Baldauf (2007) os números preferenciais são escolhidos de forma adequada em relação às características do sistema modular, mas que ao mesmo tempo permitam uma selecção organizada de dimensões. Fundamentalmente um sistema de números preferenciais depende das características, limitações, ligações e da optimização dos componentes. Segundo Mascaró (1976) indicado pelos mesmos autores, o sistema de números preferenciais caracteriza-se:

- Por ter fixos os seus limites, devido aos atributos técnicos dos componentes e pela economia da sua elaboração;
- Pela função que desempenha;
- Pela sua forma de união;
- Pela possibilidade de divisão sem desperdício.

Por fim, Greven & Baldauf (2007) distinguem ainda as **medidas preferíveis** e as **medidas preferidas** no sistema de números preferenciais. As primeiras são as que melhor se ajustam aos princípios da construção modular e, por seu turno, as medidas preferidas são as que o mercado usa com mais frequência.

2.5 – CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS MODULARES

Integrados no âmbito da construção modular, são diversos os sistemas construtivos que podem ser considerados. Estes podem ser classificados de acordo com a sua morfologia individual assim como de acordo com o seu sistema de montagem (Patinha, 2011). A classificação que se apresenta seguidamente tem por base o indicado no trabalho do autor atrás mencionado, que se reporta a Lawson (2007).

❖ **Sistemas Modulares Fechados**

São equivalentes a células; a sua forma e o seu desempenho podem ser comparáveis a contentores de transporte marítimo. É um sistema com elevado grau de pré-fabricação, cujo espaço interior já se encontra preparado. Regra geral, podem ser empilháveis, ligados entre si ou suspensos por uma estrutura (figura 2.9 a)).

❖ **Sistemas Modulares Parcialmente Abertos**

Representam estruturas semelhantes à descrita no ponto anterior, com a particularidade de apresentar aberturas laterais que permitem a sua ligação a outros módulos (figura 2.9 b)).

❖ **Sistemas Modulares Abertos**

Constituem módulos completamente ou parcialmente abertos nos quatro lados. São constituídos por pilares (nos cantos) e vigas que suportam os pisos. Apresentam a vantagem de se poderem agrupar em diferentes direcções, pelo que conferem um aumento no número de aparências (figura 2.9 c)).

❖ **Sistemas Construtivos de Elementos Modulares**

Neste caso o sistema é modular, uma vez que é executado com elementos estruturais e não estruturais com uma dimensão padrão base. A sua ligação torna-se rápida e eficaz, pese embora, um grau de pré-fabricação menor.

❖ **Sistemas Mistos ou Híbridos**

A estrutura final é formada com recurso à fusão dos diversos sistemas.



Figura 2. 9 - Sistemas Modulares: a) Fechado; b) Parcialmente Aberto; c) Aberto Patinha (2011).

2.6 – O PROJECTO MODULAR

Recorrendo novamente ao estudo conduzido por Greven & Baldauf (2007) o projecto modular é baseado no reticulado modular de referência, sobre o qual se desenvolvem as plantas baixas, as fachadas e os cortes do projecto. O projecto modular é um elemento fundamental, dado o seu auxílio tanto na realização do projecto como na montagem dos componentes.

2.6.1 – POSIÇÃO DOS COMPONENTES

Num reticulado modular de referência, os vários componentes podem ocupar três posições distintas. Continuando a análise desenvolvida por Greven & Baldauf (2007) quando se trabalha em construção modular, as medidas consideradas para o posicionamento dos componentes são “em osso”. Isso significa, o assumir da dimensão do elemento sem qualquer tipo de acabamento: reboco, pedra, cerâmica, etc.. Posição simétrica, assimétrica e lateral, são escolhidas em função das necessidades técnicas e económicas.

2.6.1.1 – POSIÇÃO SIMÉTRICA EM RELAÇÃO A LINHA DE REFERÊNCIA DO RETICULADO MODULAR

Uma posição simétrica indica que o componente terá o seu eixo posicionado sobre uma linha de referência do reticulado. É esclarecido por Greven & Baldauf (2007) que a medida entre eixos do componente é modular e que se a distância face a face do componente for modular, também o será a distância do eixo do componente à sua face (figura 2.10).



Figura 2. 10 – Posição Simétrica de um Componente, Greven & Baldauf (2007).

2.6.1.2 – POSIÇÃO ASSIMÉTRICA EM RELAÇÃO A LINHA DE REFERÊNCIA DO RETICULADO MODULAR

A posição assimétrica é definida por Greven & Baldauf (2007) como aquela em que o componente tem o seu eixo deslocado em relação a uma linha de referência do reticulado modular. Essa excentricidade, em concordância com os mesmos autores, deve ser submodular. Deste modo se infere que a distância das faces do componente à linha de referência será diferente, como demonstrado na figura 2.11.



Figura 2. 11 - Posição Assimétrica de um Componente, Greven & Baldauf (2007).

2.6.1.3 – POSIÇÃO LATERAL EM RELAÇÃO A LINHA DE REFERÊNCIA DO RETICULADO MODULAR

Prosseguindo com Greven & Baldauf (2007) a figura 2.12 pretende ilustrar a posição lateral. Neste caso, o componente terá uma das suas faces posicionada lateralmente em relação à linha de referência do reticulado modular.



Figura 2. 12 - Posição Lateral de um Componente, Greven & Baldauf (2007).

2.6.2 – COMPONENTES MODULARES

A selecção, a correlação e o intercâmbio representam três critérios básicos para que um dado componente seja classificado como modular. Reportando a Greven & Baldauf (2007) os três critérios asseguram a possibilidade de adição e combinação entre todos os

componentes. A selecção funciona como um redutor na variedade de tipos de componentes com o intuito de simplificar as linhas de produção.

Por seu turno, a correlação pretende definir as relações de reciprocidade que facilitam a disposição dos elementos. Por último, o intercâmbio garante as condições que ajudam a montagem, estabelecendo critérios e normas para os ajustes e tolerâncias. Na figura 2.13 mostra-se a aplicação de uma dimensão modular a partir da combinação e da adição de alguns componentes, com diferentes dimensões modulares.

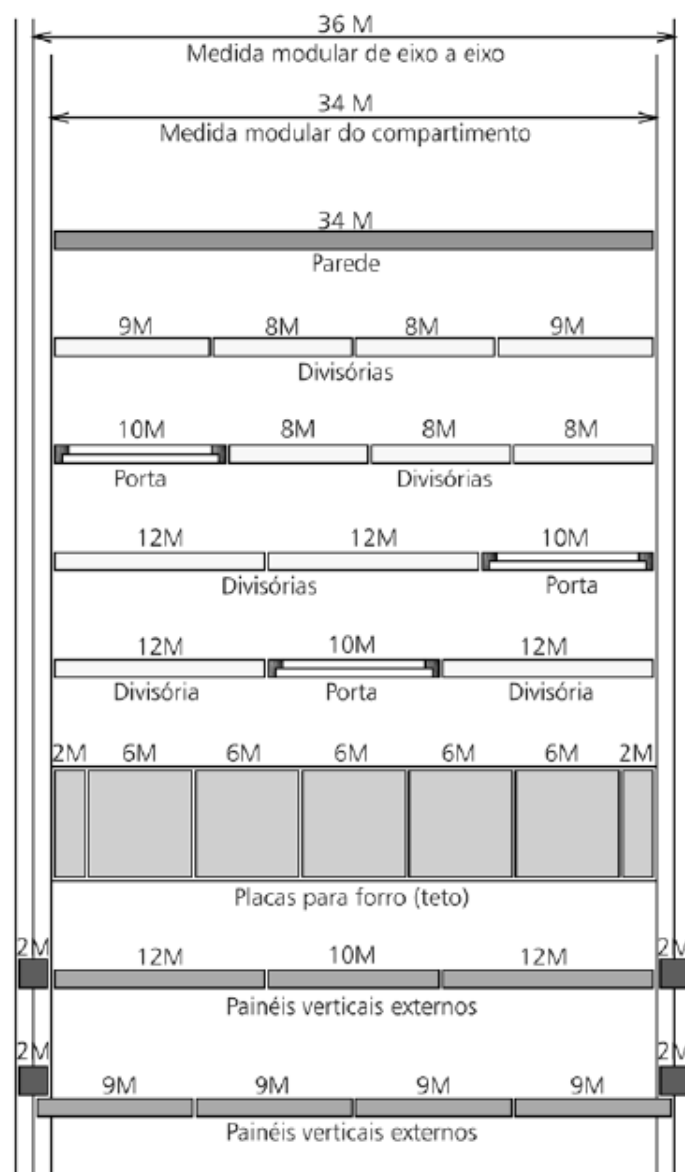


Figura 2. 13 - Adição e Combinação de Componentes Modulares, Greven & Baldauf (2007).

2.6.3 – COMPONENTES NÃO MODULARES

A utilização de peças ou produtos não modulares é possível, desde que se considere a sua adição ou combinação de modo a obter-se uma dimensão modular (Greven & Baldauf, 2007).

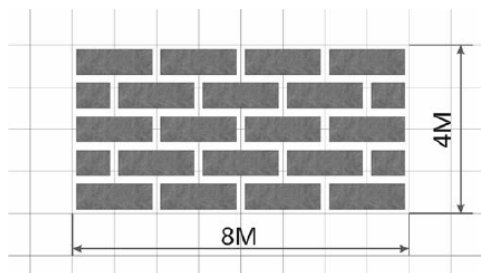


Figura 2. 14 - Conjunto Modular Formado com Peças Não Modulares, Greven & Baldauf (2007).

A figura 2.14 representa o uso de tijolos com dimensões não modulares, mas que quando dispostos num determinado número de fiadas, adquirem uma proporção modular. Este princípio é válido para qualquer dimensão ou componente.

2.6.4 – ZONA NEUTRA

Conforme Baldauf (2004), determinadas condições particulares de um projecto poderão levar a que seja fundamental a separação do reticulado modular em zonas não modulares. Dessa separação irão resultar quadriculados modulares de referência, mas cujo afastamento entre si não representa um padrão modular. No fundo, dessa separação resulta a zona neutra. Exemplos de uma zona neutra são as juntas de dilatação e união de blocos girados (figuras 2.15 e 2.16).

De salientar que nesta zona não há obediência da construção modular.

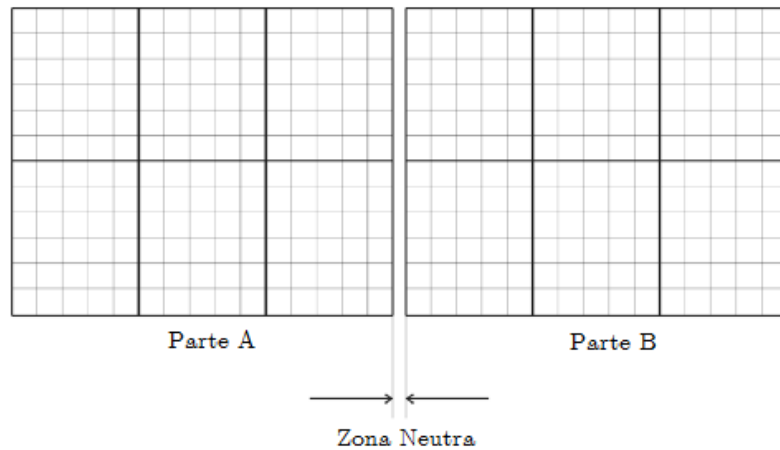


Figura 2. 15 - Exemplo de Zona Neutra numa Junta de Dilatação, Greven & Baldauf (2007).

Ainda de acordo com Baldauf (2004) aquando de uma qualquer exigência do projecto em que existam blocos ou partes não ortogonais entre si, socorre-se da zona neutra. Neste caso, sucede uma sobreposição dos quadrados modulares de referência.

Todavia, aludindo Greven & Baldauf (2007), o emprego da zona neutra é restrito a casos de extrema necessidade. A sua aplicação reiteradamente levaria à invalidação das vantagens inerentes à elaboração de um projecto com recurso a um sistema de referência.

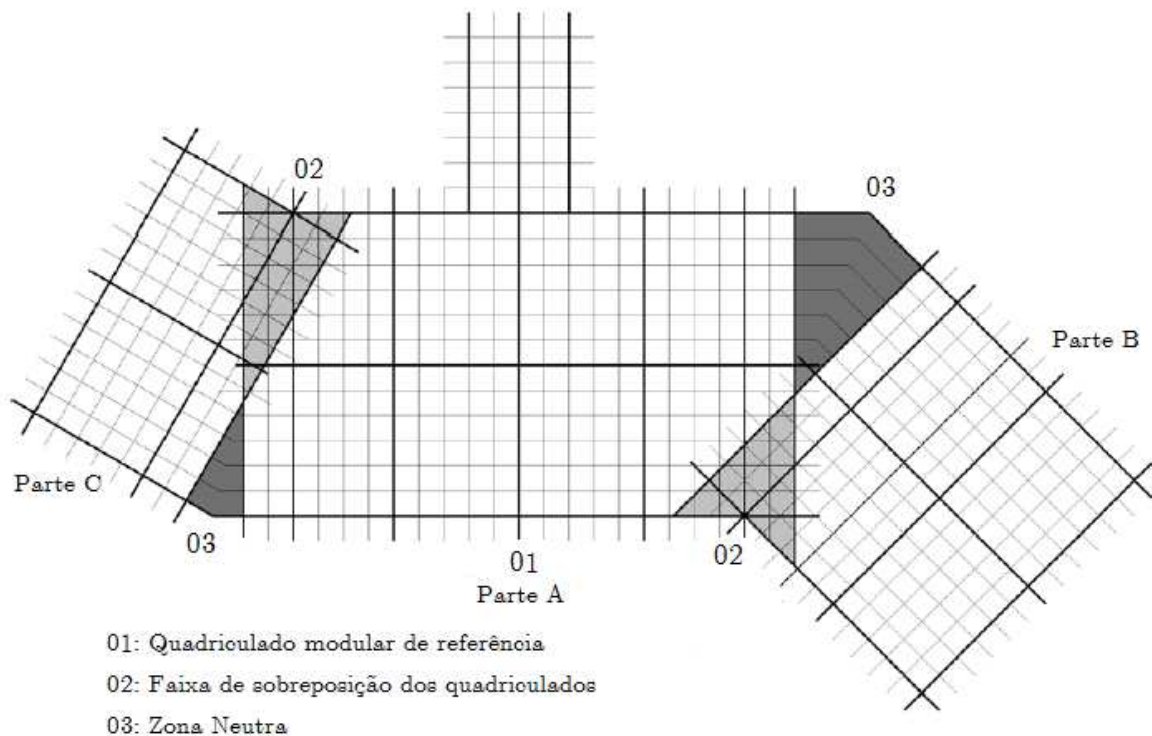


Figura 2. 16 - Exemplo de Zona Neutra com Blocos Girados, Greven & Baldauf (2007).

2.7 – EPÍTOME DO CAPÍTULO

A história da construção modular não é recente e foi evoluindo ao longo dos tempos, podendo ser analisada em três períodos. Dos primórdios até ao início do século XVIII, Gregos, Romanos e Japoneses concebiam o módulo com um carácter estético, estético-funcional e funcional respectivamente.

No período da revolução industrial, novos equipamentos e técnicas foram criadas. A padronização de elementos contribuiu significativamente para o cumprimento de prazos e custos das edificações. O Palácio de Cristal, construído em Londres, é tido como a primeira aplicação da construção modular.

Dado que os elevados custos e prazos da construção não podiam continuar a ser suportados, a partir do século XX a construção modular evoluiu, fundamentalmente, a nível conceptual. Em 1953, Portugal publicou a sua primeira norma sobre construção modular tendo adoptado o módulo base de 10 cm. O módulo base desempenha três funções substanciais: denominador comum de todas as medidas ordenadas; incremento unitário de toda e qualquer dimensão modular; factor numérico expresso em unidades do sistema de medidas adoptado.

O intuito da construção modular é a racionalização da construção. Para tal recorre-se à uniformização das dimensões, dos componentes e dos espaços. A definição do projecto modular torna-se assim um elemento fundamental, dado o seu auxílio, tanto na realização do projecto, como na montagem dos componentes. Por outro lado, a coordenação dimensional modular é indissociável de quatro importantes conceitos:

- Sistema de referência: formado por pontos, linhas ou planos que servem para orientar os elementos construtivos;
- Sistema modular de medidas: é baseado no módulo e em algumas dimensões dele;

- Sistema de ajustes e tolerâncias: usado para garantir a eficácia do sistema. O ajuste modular serve para entrar em linha de conta com as variações dimensionais causadas pelos processos construtivos;
- Sistema de números preferenciais: depende das características, limitações, ligações e da otimização dos componentes.

Existem diversos sistemas construtivos que podem ser considerados. A sua classificação depende da sua morfologia individual, assim como, do seu sistema de montagem.

3 – INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO: UMA MAIS-VALIA

É inegável o contributo que a industrialização da construção apresenta quer em termos de qualidade do meio construído, quer em termos económicos e ambientais. O conceito da industrialização “*pressupõe organização, planeamento, continuidade executiva, repetição e eficiência no processo de produção, tudo dentro de uma visão global das várias interfaces que compõem a execução de um edifício.*” (Couto & Couto, 2007).

É objectivo deste capítulo introduzir o conceito da industrialização como uma solução às exigências (cada vez maiores) da indústria da construção, com especial atenção sobre as questões ambientais. Paralelamente apresentar-se-á uma breve abordagem ao *Pensamento Lean*, também ele como resposta aos actuais requisitos da indústria da construção.

3.1 – BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DA PRÉ-FABRICAÇÃO

Uma quota-parte considerável da degradação do meio ambiente é atribuída à actividade da construção. O elevado consumo de energia para a extracção, transformação, transporte e aplicação dos materiais de construção, a utilização irracional dos recursos naturais, a poluição e o desperdício, são apontados por Couto & Couto (2007) como sendo os principais factores responsáveis pelo grande impacto ambiental inerente a essa actividade.

No conceito do desenvolvimento sustentável, tal como Raynsford (2000) concebe, está a ideia de uma vida melhor para todos, tanto agora como para as gerações futuras. Isto implica, atingir objectivos sociais, económicos e ambientais em simultâneo.

Tradicionalmente a qualidade, o tempo e o custo eram os factores inerentes à competitividade que se pretendia para a indústria da construção (figura 3.1). Contudo, com a extrema necessidade de mudança, para que se atinjam os objectivos da

sustentabilidade, o conceito da qualidade na construção passa a abranger os aspectos relacionados com a qualidade ambiental (Mateus, 2004).

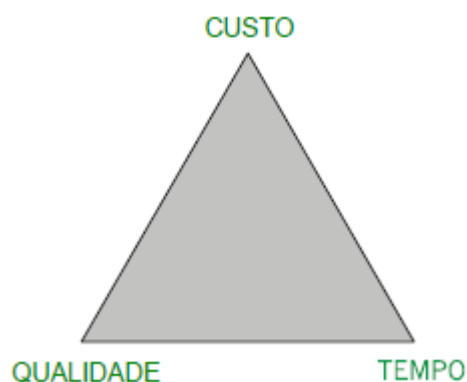


Figura 3. 1 - Aspectos Competitivos na Construção Tradicional, Mateus (2004).

Tendo em conta o disposto anteriormente, a industrialização surge como uma alternativa viável, no sentido de tornar o acto de construir, uma actividade mais sustentável. Os seus potenciais benefícios são já apontados, tal como indicam Couto & Couto (2007):

- Redução de 50% na quantidade de água utilizada para construir uma casa típica;
- Redução de 50% no uso de materiais originários de uma pedreira;
- Redução de pelo menos 50% no consumo de energia.

Além dos atrás mencionados, outros benefícios podem ser indicados em prol das questões ambientais. A redução do período de construção e conseqüente restrição do impacto causado no ambiente local; a diminuição (significativa) dos resíduos a ela associados; a recuperação de materiais e componentes, provindos da desconstrução e que potencializam a reciclagem, constituem as demais valias sugeridas por Couto & Couto (2007).

Em termos gerais, a construção industrializada integra uma oportunidade para colmatar a necessidade do uso de processos de construção mais eficientes e racionais. Contudo, para o alcance dessa rentabilidade existe uma condição essencial: a racionalização. De acordo com a visão de Couto & Couto (2007) que cita Sabbatini (1989) a racionalização é “*um processo composto pelo conjunto de todas as acções que tenham por objectivo optimizar o*

uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases.”. A racionalização pode então ser vista como um ponto de partida para introdução do conceito *Lean* na construção.

Esta nova filosofia surge no sector da construção, após a verificação dos seus bons resultados quando aplicada à indústria fabril (Gonçalves, 2009). O seu grande objectivo é a criação de valor, com recurso à metódica eliminação do desperdício.

3.2 – O PENSAMENTO *LEAN*

O pensamento *Lean* (ou pensamento magro) é uma concepção, tal como mostrado por Rôla (2010), baseada no Sistema Toyota de Produção (*Toyota Production System* - TPS). Neste sistema, são analisadas as actividades básicas envolvidas no negócio e identificado o que é desperdício e o que é valor, sob o ponto de vista dos clientes.

A base do sistema TPS (figura 3.2) é a absoluta eliminação do desperdício suportada por dois pilares: o *Just in Time* (JIT) e a Autonomiação.

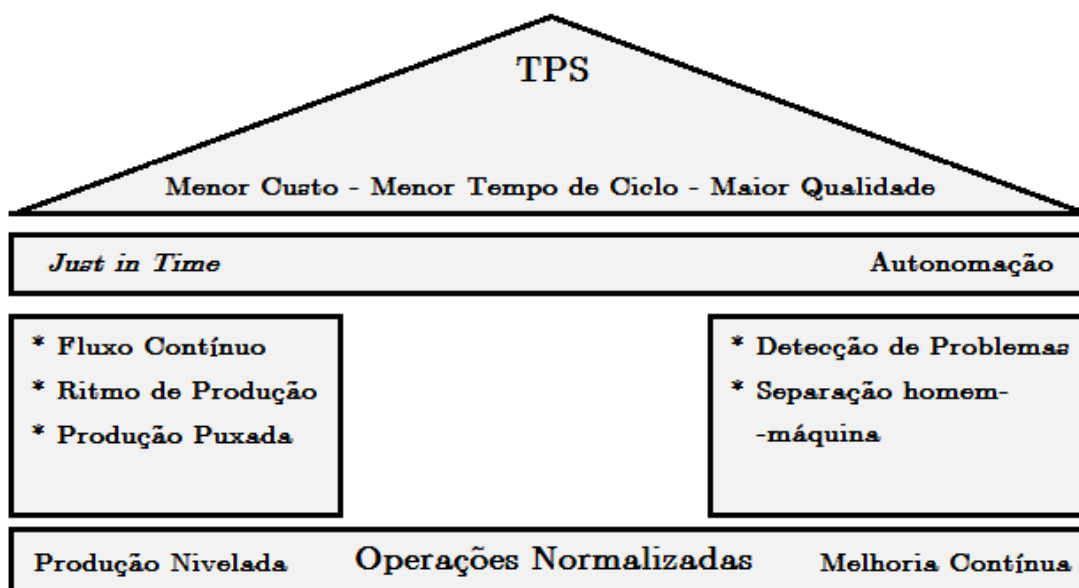


Figura 3. 2 - Modelo TPS Simplificado, Gonçalves (2009).

De acordo com Gonçalves (2009) o JIT consiste num sistema no qual a produção e a movimentação de materiais ocorrem à medida que estes vão sendo necessários. A Automação, por seu turno, é um sistema de transferência de inteligência humana para máquinas automáticas. Deste modo, é possível detectar o processamento de qualquer peça defeituosa, parando de imediato a produção.

O pensamento *Lean* tem como objectivo produzir mais, usando menos recursos (Rôla, 2010). Para tal, suprimem-se os desperdícios dos processos sendo focadas as actividades que acrescentam valor de modo a que sejam satisfeitos os desejos dos clientes. As bases deste pensamento foram estabelecidas por Womack & Jones (2003) em cinco princípios que aqui se apresentam via Nunes (2010):

- Especificação do **valor** para cada produto: consiste na determinação das expectativas do cliente para o produto final;
- Identificação da **cadeia de valor**: são identificadas todas as actividades de um produto desde a sua concepção ao seu lançamento, ou desde o pedido até à entrega;
- Criação de **fluxo contínuo**: o objectivo é reduzir as actividades que não agregam valor. Devem evitar-se as interrupções nas actividades do processo produtivo;
- **Produção puxada**: só após efectuado o pedido do cliente é que se inicia a produção. Deste modo evita-se a criação de *stocks*;
- Aspirar a **perfeição**: é fruto de uma melhoria contínua e o principal objectivo do conceito *Lean*.

O TPS, a base do pensamento *Lean*, identifica o desperdício como sendo toda e qualquer actividade que consuma recursos e não crie valor. Existem diversas formas de desperdício, sendo estas responsáveis por uma elevada percentagem dos custos dos produtos (Nunes, 2010):

❖ **Excesso de produção**

Produzir mais do que o necessário ou antes que seja necessário. A produção antecipada consome recursos em produtos que não são fundamentais no momento, ao passo que a produção de mais do que é realmente necessário, leva à criação de *stocks*.

❖ **Espera**

Tipo de desperdício que ocorre sempre que há uma interrupção no fluxo de produção, causada pelo atraso de uma ou mais actividades. A espera pode ser de materiais, produtos, informação ou equipamentos.

❖ **Transporte**

Actividade que não agrega valor, mas que é indispensável para a obtenção do produto final. A entrega seja do material, do produto ou da informação, deve ser feita no local exacto onde é necessária.

❖ **Desperdício inerente ao processo**

Engloba as operações extra, tais como trabalho por fazer, refazer, excesso de etapas ou uso de material inadequado.

❖ ***Stocks***

Abrange todo o inventário que não foi encomendado pelo cliente: materiais, trabalhos em processamento e produto final. Implica um impacto financeiro negativo, atrasa e dificulta o reconhecimento de defeitos.

❖ **Defeitos**

Os erros na produção implicam o consumo de recursos e refazer trabalhos. O desperdício ocorre sob múltiplas formas: materiais consumidos, mão-de-obra usada não recuperável, mão-de-obra requisitada para refazer trabalhos e o uso de recursos como resposta a potenciais reclamações dos clientes.

❖ Excesso de movimento

Quer seja de pessoas, material, informação, etc.. Tem um impacto directo na produtividade do trabalhador, uma vez que este desperdício está relacionado com a desorganização do ambiente de trabalho.

❖ Potencial humano subaproveitado

As principais causas são a própria cultura organizacional, práticas de contratação inadequadas, baixo investimento em formação. Neste desperdício incluem-se a capacidade mental, criativa e física dos trabalhadores.

❖ *Making-do*

Dá-se quando uma actividade é iniciada sem todos os *inputs* necessários para a sua conclusão.

❖ Produto/Serviço desajustado

Incluem-se neste ponto, os bens e serviços que não preenchem as necessidades dos clientes.

A percepção do conceito de valor está intimamente ligada ao conceito de desperdício. A definição do valor, sob o ponto de vista do cliente, deve determinar os objectivos de desempenho das empresas.

Em defesa desta posição, Nunes (2010) refere que as organizações devem passar para a produção as necessidades efectivas do cliente: ou os preços, ou os prazos de entrega, etc..

O autor defende ainda que, apesar da existência de uma relação entre o conceito de desperdício e de valor, esta não será forçosamente proporcional: *“a criação de valor não é uma consequência directa de um processo sem desperdícios.”*

3.2.1 – DO PENSAMENTO À CONSTRUÇÃO *LEAN*

A principal diferença entre a gestão convencional da construção e a construção *Lean* é fundamentalmente conceitual, tal como expõe Rôla (2010) no seu estudo. O mesmo autor explica que na visão tradicional, o processo de produção assenta num conjunto de actividades de conversão da matéria-prima em produtos, sendo que o processo de conversão pode ser dividido em vários subprocessos.

Construção Convencional	Construção <i>Lean</i>
Conhecimento sobre como transformar materiais em estruturas.	Conhecimento sobre como transformar materiais em estruturas.
É expectável acontecerem mudanças de intenções e erros de projecto durante a construção, que serão resolvidos e novamente preparados pela equipa de construção.	Projecta-se produto e processo de construção em conjunto para evitar erros/omissões de desenho e dimensionamento que levantam questões de possibilidade de execução.
Dá-se poder aos gestores para que sejam os únicos responsáveis pelo planeamento.	Os gestores são os primeiros a planear (processos e fases) e os encarregados e trabalhadores os últimos (as operações).
Assume-se que a redução de custos numa peça irá reduzir os custos de todo o projecto - o todo é a soma das partes.	Trata-se o sistema como um todo e usa-se o <i>Target Costing</i> para atingir reduções de custo – o todo é maior que a soma de cada parte.
Empurra-se a produção ao nível local pensando, erradamente, que será a forma de alcançar eficiência global.	Empurra-se a produção para maior processamento do sistema considerando ser a única forma de alcançar eficiência global.
Gere-se o processo utilizando os elementos que referem a evolução de custos – os quais estão na base dos pagamentos.	Utiliza-se os elementos de evolução de custos como um <i>input</i> para o planeamento e controlo das operações no estaleiro.
É-se guiado pelo paradigma de retornos em termos de prazo/custo/qualidade. Só se pode ter dois deles, mas não o terceiro.	Desafia-se o paradigma de retorno em termos de tempo/custo/qualidade ao remover as fontes de desperdício nos processos de projecto/produção de forma a promover um melhor e mais fiável fluxo de trabalho.

Construção Convencional	Construção <i>Lean</i>
<p>Não se planeia ou controla as operações de produção em estaleiro, a não ser que se verifique desvios de custo e de prazo – espera-se até que os problemas aconteçam para se reagir no sentido de voltar a ter o projecto no rumo definido.</p>	<p>Planeia-se e controla-se as operações de produção em estaleiro de forma a prevenir que os indicadores de evolução do projecto não de desviem dos prazos e custos definidos.</p>
<p>Considera-se fornecer VALOR ao cliente quando se maximize a performance em relação ao custo – perspectiva <i>Value Engineering</i> (VE).</p>	<p>Considera-se fornecer VALOR ao cliente quando o valor do produto é aumentado (a infra-estrutura efectivamente corresponde às necessidades do cliente) através da gestão do processo de valor da construção – perspectiva <i>Value-Based Management</i> (VBM).</p>

Quadro 3. 1 - Gestão Convencional da Construção vs Construção *Lean*, adaptada de Gonçalves (2009).

Por outro lado, no que concerne à construção *Lean*, considera que a produção é composta por actividades de conversão e de fluxo. As actividades de conversão são as responsáveis pela geração de valor, ao passo que as actividades de fluxo são essenciais na busca do aumento do índice de desempenho dos processos construtivos.

No quadro 3.1 é apresentada uma comparação entre o sistema tradicional da construção e o sistema *Lean*, adaptado a partir do trabalho de Gonçalves (2009).

A construção *Lean* apresenta um conjunto de onze princípios definidos por Koskela (2000) para o projecto e melhoria do fluxo de processo.

O quadro 3.2 pretende estabelecer uma comparação entre os (já indicados) cinco princípios de Womack & Jones (2003) e os onze de Koskela, tal como apresentado por Gonçalves (2009). Ainda via este autor, serão aclarados seguidamente, os onze princípios.

Cinco Princípios do Pensamento <i>Lean</i> <i>(Womack & Jones, 2003)</i>	Onze Princípios da Construção <i>Lean</i> <i>(Koskela, 2000)</i>
Valor	Aumentar o valor do produto através da consideração dos requisitos dos clientes
	Reduzir o tempo de ciclo
Cadeia de valor	Reduzir a parcela de actividades que não agregam valor
	Simplificar através da redução de passos, partes e ligações
	Focar o controlo no processo global
	Manter o equilíbrio entre melhorias de fluxo e nas conversões
Fluxo	Reduzir a variabilidade
	Aumentar a transparência do processo
Puxar	Aumentar a flexibilidade contínua do processo
Perfeição	Introduzir melhoria contínua no processo
	Execução de análise comparativa

Quadro 3. 2 - Princípios do Pensamento *Lean* vs Princípios da Construção *Lean*, Gonçalves (2009).

Princípio 1: Aumentar o valor do produto considerando as necessidades dos clientes

As necessidades dos clientes internos e externos são identificadas, sendo que essa informação é considerada no planeamento e gestão da produção. São regularmente reconhecidos os clientes e respectivos requisitos para cada fase.

Princípio 2: Reduzir o tempo de ciclo

Princípio inerente ao tempo essencial para que uma peça atravessasse um fluxo, o que compreende a soma dos tempos de processamento, espera, transporte e inspecção. A sua

redução depende do decréscimo das três últimas parcelas. A redução do tempo de ciclo conduz às seguintes vantagens:

- Entrega mais rápida ao cliente;
- Redução da necessidade de elaboração de relatórios sobre procura futura;
- Redução da vulnerabilidade do sistema de produção às alterações pedidas pelo cliente;
- Gestão dos processos simplificada, uma vez que o volume de produtos inacabados é menor;
- Aumento da aprendizagem e da experiência, uma vez que quanto menores os lotes, menor a sobreposição na execução de diferentes unidades.

Princípio 3: Reduzir a parcela de actividades que não agregam valor

Abrange a eliminação do desperdício. A aplicação deste princípio não pode ser de forma simplista, dada a existência de actividades que não criam valor para o cliente final, mas antes para o cliente interno (ex. planeamento, contabilidade).

Princípio 4: Simplificar através da redução de passos, partes e ligações

Existem duas formas de proceder à simplificação. A primeira será eliminando as tarefas que não agregam valor; a segunda, reconfigurando as partes do processo que agregam valor.

Princípio 5: Focar o controlo no processo global

A cooperação a longo prazo com os fornecedores e o recurso a equipas de trabalho autónomas torna o fluxo global do processo optimizado.

Princípio 6: Manter equilíbrio entre melhorias de fluxo e nas conversões

As melhorias no fluxo e na conversão estão interligadas do seguinte modo:

- Melhores fluxos requerem menor capacidade de conversão logo, menor investimento em equipamentos;
- Fluxos mais controlados facilitam a implementação de novas tecnologias na conversão;
- Novas tecnologias na conversão podem acarretar menor variabilidade e consequentes benefícios no fluxo.

Princípio 7: Reduzir a variabilidade

A variabilidade pode ser considerada sob vários tipos: variabilidade do tempo de processamento (tempo para processar uma tarefa), variabilidade do fluxo (chegada de novas tarefas) e variabilidade da procura (dependente dos requisitos dos clientes). Inerente a este princípio está o conceito da padronização: mantendo-se a estabilidade dos processos, garante-se que as actividades se realizam sempre da mesma forma, no mesmo intervalo de tempo, com um mínimo de desperdícios e com elevada qualidade.

Princípio 8: Aumentar a transparência do processo

Este princípio permite diminuir o risco de erro e aumenta a motivação para melhorias.

Princípio 9: Aumentar a flexibilidade do resultado final

Compreende a capacidade de alteração do produto final de acordo com a vontade do cliente, sem grande aumento dos custos.

Princípio 10: Introduzir melhoria contínua no processo

A redução de desperdícios e o aumento de valor para o cliente devem ocorrer de forma contínua. O trabalho em equipa e a gestão participativa são condições básicas para a introdução de melhoria contínua no processo.

Princípio 11: Execução de análise comparativa

Constitui um procedimento de comparação do desempenho actual com a melhor prática conhecida, aplicado em actividades que acumulam valor.

Uma das bases do princípio *Lean* é o conceito de fluxo contínuo (Nunes, 2010). A aplicação deste conceito à indústria da construção é bastante complicada: existem inúmeras interrupções que criam desperdício e mau aproveitamento dos recursos. O fluxo contínuo, como explica o autor, é a produção de uma peça de cada vez, sem que haja interrupção. Cada processo produz apenas o que é necessário para o processo seguinte, sem que se criem *stocks*. É um método que deve ser flexível o suficiente para que se possa adaptar de acordo com os requisitos e procura dos clientes. Por outro lado, implica ainda, um planeamento bem elaborado, com a colaboração total de todos os intervenientes.

Apesar das várias vantagens associadas à metodologia *Lean*, são considerados alguns entraves à sua aplicação na indústria da construção, tal como aponta Gonçalves (2009):

- Falta de tempo para implementar novas práticas em projectos;
- Falta de formação;
- Falta de elementos necessários à organização para a implementação correcta;
- Falta de crítica pessoal que limita a capacidade de aprendizagem com os erros.

Em suma, para Nunes (2010) o pensamento *Lean* “é uma filosofia de gestão empresarial que de forma auto-sustentada promove a participação de todos os intervenientes (para garantir o sucesso da implementação dos conceitos *Lean*) nos processos de melhoria contínua e na maximização de valor criado para todas as partes”. Ainda o mesmo autor sugere que a identificação de desperdícios é um dos principais objectivos *Lean*, uma vez que permite uma melhoria contínua e conseqüente aumento da qualidade do produto, com uma redução do custo.

3.3 – FILOSOFIA *LEAN* NO ÂMBITO DA CONSTRUÇÃO MODULAR

A aplicação da filosofia *Lean* em projectos de construção modular poderá, em primeira análise, suscitar alguma controvérsia, porque na base do “pensamento magro” está patente a ideia de uma produção na quantidade e no momento, permitindo a eliminação de *stocks*, tal como defendido por Gonçalves (2009). Por outro lado, a construção modular (estando coligada à industrialização) facilmente é associada a “construção em massa”. Contudo, e após uma análise mais profunda, verifica-se que na construção modular, é possível a aplicação de alguns dos preceitos característicos do *Lean*.

A construção modular fomenta os níveis de industrialização e conseqüente optimização de custos, tempos e recursos. Por seu turno, a redução do desperdício e a maximização do valor criado para todas as partes, é um dos objectivos da construção *Lean*. Aqui se encontra um paralelismo possível entre ambos, pelo que a aplicabilidade de parte dos onze critérios para o projecto e melhoria do fluxo contínuo, pode ser associada a determinadas práticas características da construção modular, como a seguir se descreve sucintamente.

Princípio 1: Aumentar o valor do produto considerando as necessidades dos clientes

A análise dos requisitos dos clientes constitui, também ela, uma base característica da construção modular (e - porque não - de qualquer serviço a prestar): o conhecimento das necessidades e exigências dos clientes é fundamental para a caracterização da edificação a criar e determina, por conseguinte, a definição de todos os preceitos inerentes à coordenação modular (módulo, sistemas de referência, malhas modulares, materiais, etc.).

Princípio 2 - Reduzir o tempo de ciclo

Com a inclusão de uma dimensão padrão, a concepção e criação de edifícios é racionalizada, elevando-se o grau de industrialização, o que permite a redução do tempo. Esta redução obtém-se tanto na construção como na montagem dos componentes.

Princípio 4: Simplificar através da redução de passos, partes e ligações

O processo de produção pode ser simplificado de várias formas. Como exemplo de simplificação podem ser apontados os elementos pré-fabricados. Estes, por seu turno, devem permitir a ligação entre si, com o mínimo possível de modificações ou ajustes.

Princípio 7: Reduzir a variabilidade

A uniformização, por exemplo, das dimensões e dos componentes é um meio de racionalização que permite reduzir a variabilidade (neste caso, a variabilidade da procura). A produção de elementos em série garante que as actividades sejam realizadas sempre do mesmo modo e na mesma sequência, com um mínimo de desperdícios.

Princípio 9: Aumentar a flexibilidade do resultado final

Talvez um dos princípios que melhor se adequa à construção modular. A reutilização dos módulos e a sua versatilidade permitem um incremento considerável na flexibilidade do resultado final.

Como facilmente se depreende pelo exposto, a complexidade e diversidade na indústria da construção implicam uma dificuldade acrescida na aplicação dos conceitos *Lean*. No entanto, e uma vez que não se pretendia um estudo exaustivo desta filosofia, ficaram aqui registadas as vantagens a ela inerentes. A tentativa de se estabelecer uma afinidade entre a construção modular e o ideal *Lean* resultou da interacção dos proveitos inerentes a cada uma delas.

3.4 – EPÍTOME DO CAPÍTULO

Uma considerável quota-parte da degradação do meio ambiente é atribuída à actividade da construção. É então que surge a industrialização: uma alternativa viável no sentido de tornar o acto de construir uma actividade mais sustentável.

Para que o alcance da rentabilidade na construção seja possível, a racionalização torna-se uma condição indispensável: todos os recursos usados, em todas as fases da construção devem ser optimizados.

A racionalização pode ser vista, ao mesmo tempo, como um ponto de partida para a filosofia *Lean*. O grande objectivo do pensamento *Lean* é a criação de valor, com recurso a uma metódica eliminação de desperdício. Este representa toda e qualquer actividade que consuma recursos e não crie valor, sendo que pode existir sob diversas formas.

O pensamento *Lean*, que tem como objectivo produzir mais usando menos recursos, assenta em cinco princípios: especificação de valor, identificação da cadeia de valor, criação de fluxo contínuo, produção puxada e aspirar a perfeição.

A principal diferença entre a gestão convencional da construção e a construção *Lean* é fundamentalmente conceitual: na visão tradicional, o processo de produção visa um conjunto de actividades de conversão da matéria-prima em produtos. Na construção *Lean* a produção é composta por actividades de conversão e de fluxo. Para tal, são apresentados um conjunto de onze princípios para o projecto e melhoria do fluxo de processo. No entanto, e apesar das várias vantagens associadas à metodologia *Lean*, são considerados alguns entraves na sua aplicação na indústria da construção.

A construção modular fomenta os níveis de industrialização, ao mesmo tempo que a construção *Lean* reduz o desperdício, maximizando o valor criado para todas as partes. Deste paralelismo possível entre ambos, se infere que é possível a aplicação de alguns preceitos característicos do *Lean* no âmbito da construção modular.

4 – HABITAÇÃO MODULAR EVOLUTIVA

Conforme referido anteriormente, o objectivo do presente trabalho é a idealização da construção de uma habitação modular evolutiva. A habitação terá de apresentar todas as características funcionais e dimensionais, que respeitem a legislação em vigor. Inicialmente a edificação será de tipologia T1, com possibilidade de evoluir até à tipologia T3.

4.1 – CONCEITO DE “CONSTRUÇÃO MODULAR EVOLUTIVA”

A construção modular evolutiva de uma habitação vem contrariar a falta de dinamismo inerente à construção. A adição (ou subtracção) de módulos permite alterar a morfologia da habitação, conferindo-lhe um determinado grau de liberdade. O exemplo mais manifesto desta solução construtiva está relacionado com a tipologia da construção e com a variação dos elementos dos agregados familiares (figura 4.1).

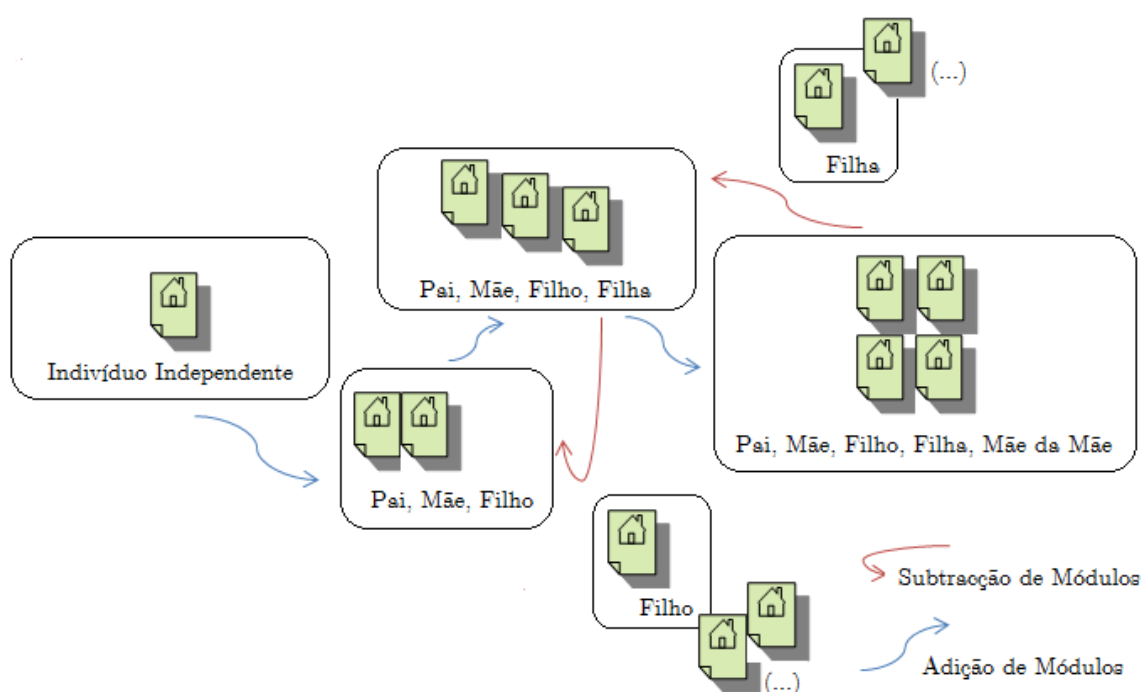


Figura 4. 1 Ciclo de uma Habitação Evolutiva.

Uma família que decida aumentar o seu agregado familiar, facilmente conseguirá adaptar a sua casa, aumentando o número de compartimentos com a adição de módulos. Por outro lado, uma pessoa que pretenda construir a sua habitação, poderá “levar” consigo módulos provenientes de outra edificação. Com este princípio fomenta-se a reutilização de módulos.

No entanto, a flexibilidade das habitações vai muito além do aumento ou diminuição do número de quartos: pode passar também pela necessidade de alteração do uso dado às divisões. Exemplo disso são os novos recursos que se encontram à disposição das pessoas, resultantes do avanço tecnológico. Com o acesso a todas as infra-estruturas das comunicações, um dos compartimentos que se torna essencial nas habitações é o que se destina ao “escritório”. “(...) *Uma das vantagens do acesso ao trabalho a partir da nossa habitação é que provavelmente não precisaremos de estar no local de trabalho em todo o horário de expediente e, por este motivo, reduziremos os nossos movimentos pendulares, especialmente em horário de ponta. A redução do tempo que passamos no trânsito assim como a redução das respectivas emissões de CO2 para a atmosfera representa ganhos sociais e ambientais muito significativos.*”²

Fica assim patente o conceito de habitação intrínseco à construção evolutiva: “*pretende ser uma casa para que o habitante cresça com ela. Não é uma casa rígida, não tem características formais estáticas.*” (Fradinho, 2011).

4.2 – CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS E DIMENSIONAIS DA HABITAÇÃO

As dimensões físicas dos espaços influenciam o adequado funcionamento de um projecto bem como os propósitos daqueles que os usam. Os atributos espaciais foram por isso

² In *Construção Sustentável*: <http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Conceitos/Valorizacao-Social/Flexibilidade-dos-Espacos-Que-Habitamos>. Data de acesso: 21-04-2013.

ponderados tendo em conta as dimensões regulamentares, mas considerando também outros princípios: conforto, segurança, flexibilidade dos espaços, etc..

4.2.1 – DIMENSÕES REGULAMENTARES

De modo a planear as dimensões do sistema modular estrutural é necessário observar os requisitos legais estabelecidos no Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU). As dimensões e áreas (mínimas) que a seguir se indicam têm em conta a tipologia da habitação a conceber:

❖ **Artigo 65º**

- Altura mínima piso a piso: 2,70m;
- Pé-direito livre mínimo: 2,40m.

❖ **Artigo 66º e 67º**

- O número de compartimentos e áreas mínimas por fogo é indicado no quadro 4.1.

Tipologia		T1	T2	T3
N.º compartimentos por fogo		3	4	5
Área bruta mínima (m ²)		52	72	91
Área mínima (m ²)	Quarto Casal	10,5	10,5	10,5
	Quarto Duplo	-	9	9
	Quarto Duplo	-	-	9
	Sala	10	12	12
	Cozinha	6	6	6
Suplemento de área obrigatório (m ²)		4	6	8

Quadro 4. 1 - Compartimentos e Áreas de Habitação, Artigo 66º e 67º do RGEU.

O suplemento de área obrigatório não poderá originar um espaço autónomo e encerrado, pelo que deve ser distribuído pela cozinha e sala, bem como por uma parcela que seja

afecta ao tratamento de roupa (caso esta parcela constitua um espaço delimitado, a sua área não deve ser inferior a 2m^2) – n.ºs 2 e 3 do artigo 66º.

❖ **Artigo 68º**

- Área mínima para instalações sanitárias para habitações T1 e T2: $3,5\text{m}^2$;
- Área mínima para instalações sanitárias para habitações T3: $4,5\text{m}^2$ subdividida em dois espaços com acesso independente.

❖ **Artigo 69º**

- Se a área for menor que $9,5\text{m}^2$, a dimensão mínima será 2,10m;
- Se a área for maior ou igual a $9,5\text{m}^2$ e menor que 12m^2 , deverá inscrever-se nela um círculo de diâmetro não inferior a 2,40m;
- Se a área for maior ou igual a 12m^2 e menor que 15m^2 , deverá inscrever-se nela um círculo de diâmetro não inferior a 2,70m.

4.2.2 – DIMENSÕES ADOPTADAS

Múltiplos autores, como por exemplo Patinha (2011), indicam que a dimensão modular 0,60m foi já usada em diversos sistemas modulares e que são encontrados variados elementos construtivos com a referida dimensão base.

Além disso, o autor indica também que a dimensão de 0,60m permite criar uma malha modular, na qual é possível integrar compartimentos cujas proporções se enquadram nos requisitos já indicados, relativamente ao disposto no RGEU.

Contudo, e tendo em conta o módulo base adoptado por Portugal, a dimensão modular ‘M’ considerada foi de 0,10m.

O quadro 4.2 resume as áreas dos compartimentos da habitação, nas várias fases do seu processo evolutivo (de T1 a T3).

		A (m ²)	A _{MODULAR/FASE}	A _{TOTAL} (m ²)
Fase 1 (86,4m ²)	Quarto Principal	14,4		
	Sala/Cozinha	49		
	Escritório	7,2	72M x 120M	86,4
	WC	7,2		
	Área Serviço	3,6		
Fase 2 (18,7m ²)	Quarto 2	10,1	24M x 54M	
	WC	5,8	24M x 24M	105,1
Fase 3 (10,1m ²)	Quarto 3	10,1	24M x 42M	115,2

Quadro 4. 2 - Áreas dos Compartimentos e da Habitação.

As dimensões dos vãos (janelas) foram pensadas de modo a serem o mais uniformes possível. Só assim se consegue aligeirar as intervenções necessárias (cortes) na fabricação, bem como nos processos de construção dos elementos de fecho (portas, janelas, etc.).

A largura das portas e corredores, além de modular, foi estipulada para facilitar a passagem de pessoas com mobilidade reduzida.

4.2.3 – A HABITAÇÃO

A construção modular permite (até dado ponto) uma liberdade de implantação e de personalização dos espaços criados.

Definidas as dimensões a considerar, apresentam-se as plantas e os alçados alusivos ao rearranjo dos módulos, nas distintas fases do processo evolutivo.

De salientar que diversas outras soluções (e dimensões) se poderiam considerar, mas a tentativa de um melhor aproveitamento dos CM, módulos-base, bem como as suas proporções, foram a base do processo criativo da habitação.

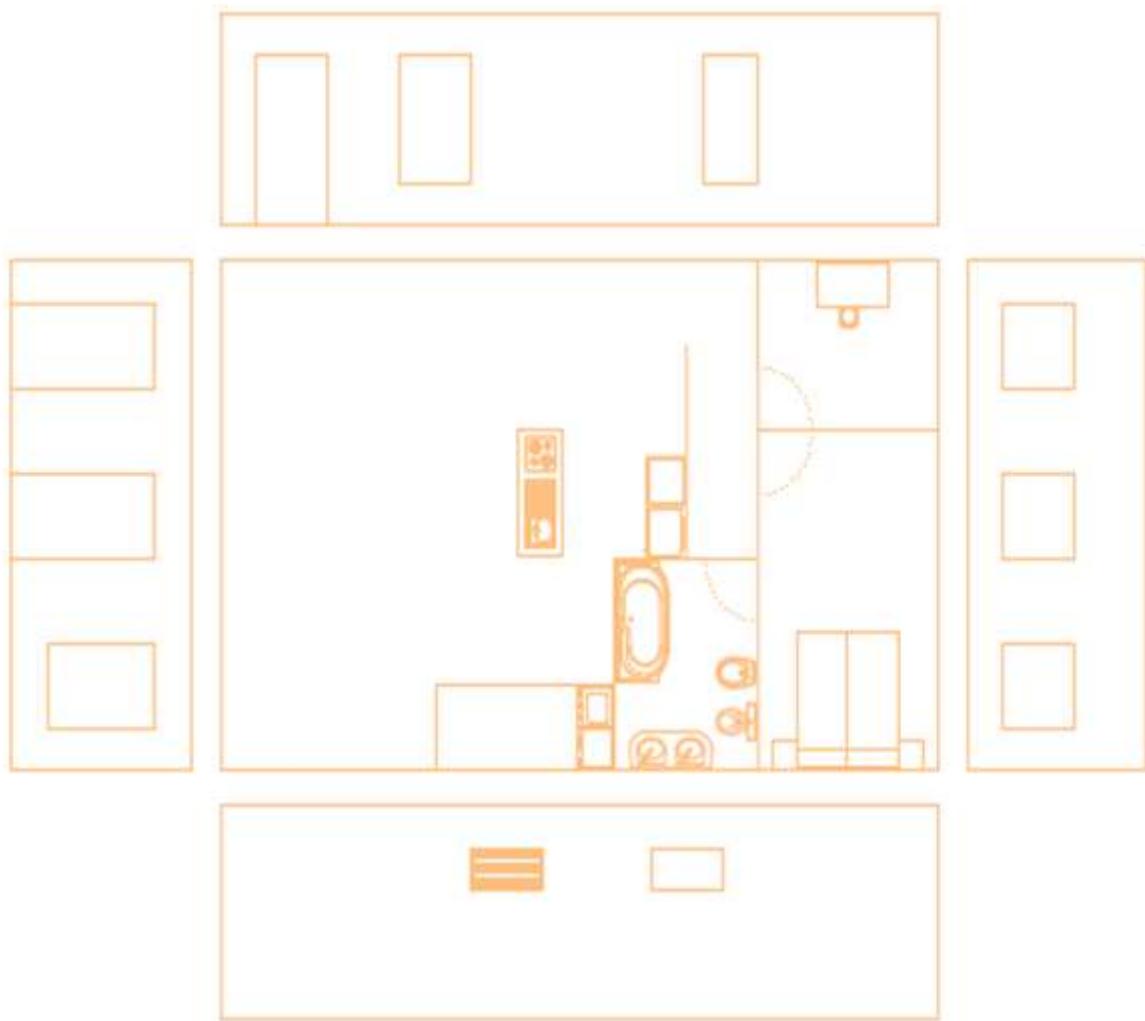


Figura 4. 2 - Planta e Alçados: Fase 1.

Na primeira fase, e de acordo com o quadro 4.2 anteriormente apresentado, a habitação será composta por um quarto, uma sala e cozinha, uma casa de banho, escritório e área de serviço (figura 4.2).

Prevê-se a utilização de três CM (na sua totalidade) para esta fase.

A figura 4.3, alusiva à segunda fase, incorpora dois novos módulos: um quarto e uma casa de banho.

Para este estágio será necessário um outro CM, evoluindo assim do T1 para T2.

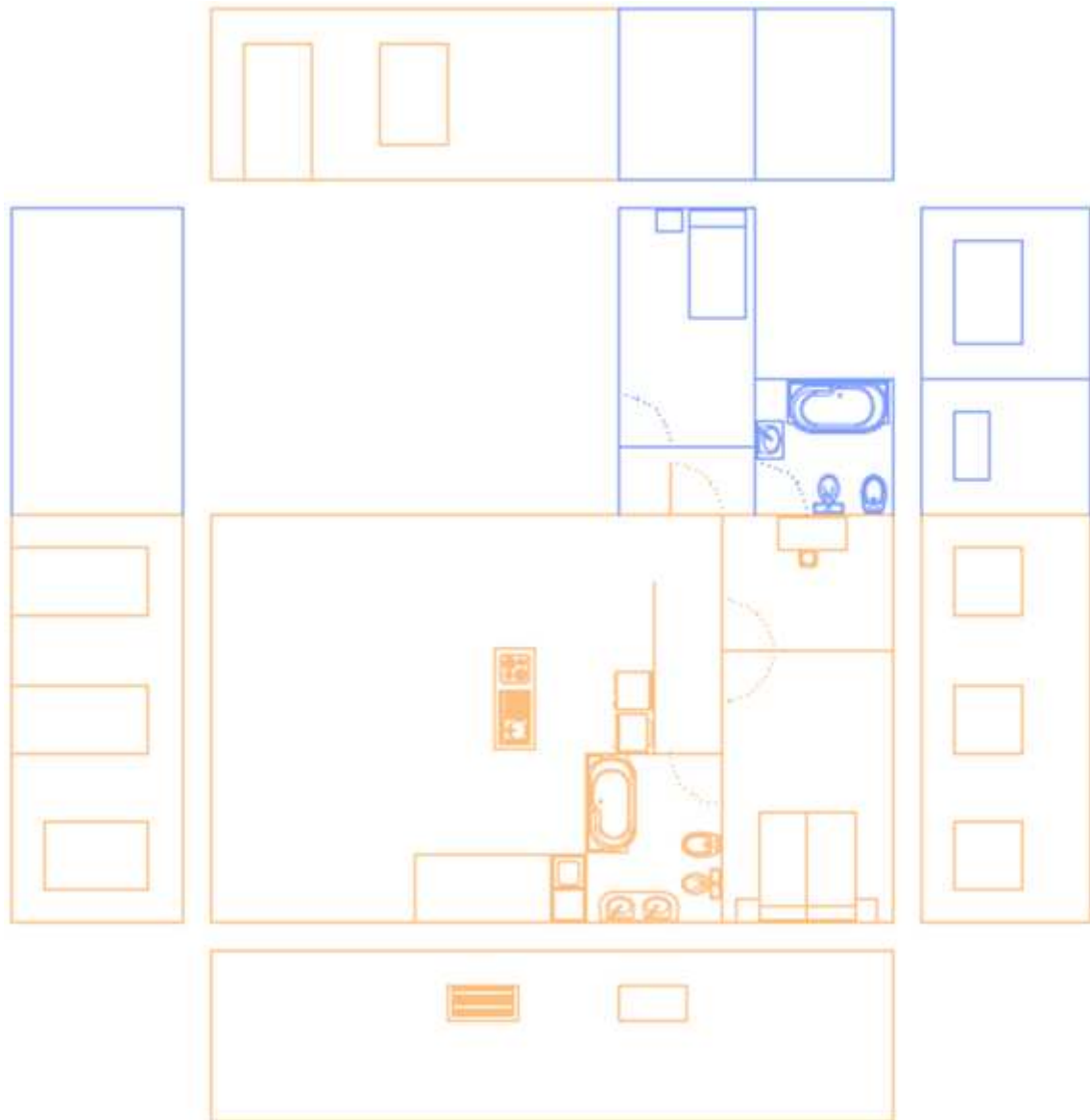


Figura 4. 3 - Planta e Alçados: Fase 2.

A terceira e última etapa (figura 4.4) representa o progresso da habitação da tipologia T2 para tipologia T3.

É adicionado um módulo (um novo quarto), também ele resultante de parte de um CM.

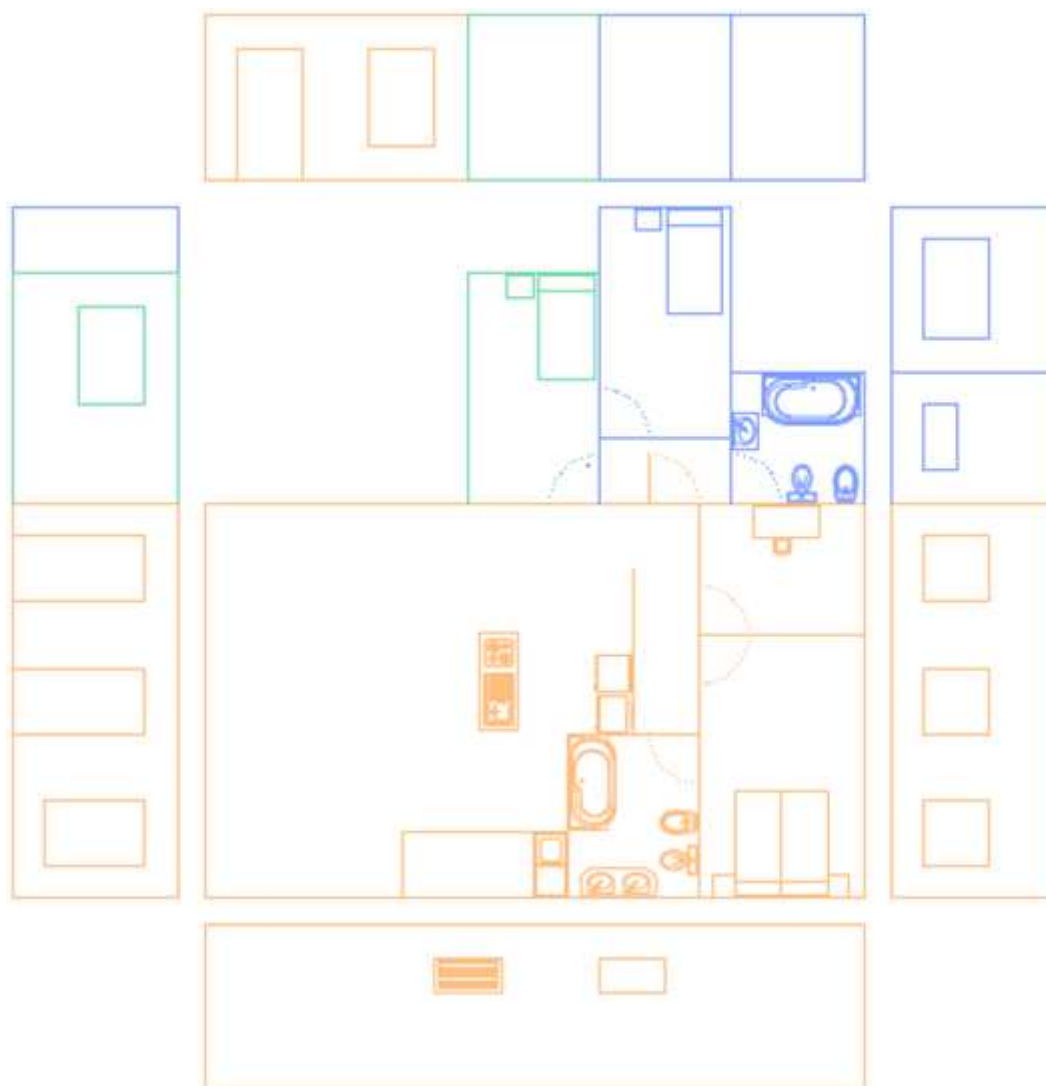


Figura 4. 4 - Planta e Alçados: Fase 3.

4.3 – SUBSISTEMAS DA HABITAÇÃO

Indicam-se a seguir, um conjunto de premissas alusivas aos módulos a aplicar na idealização da habitação. As características funcionais e dimensionais foram abordadas de modo a estabelecer um sistema que satisfaça as necessidades dos usuários.

4.3.1 – ESTRUTURA PRINCIPAL

A reutilização de CM (figura 4.5), além de se apresentar como uma alternativa sustentável em relação a demais materiais, permite a edificação com custos mais baixos, quando

comparados com a construção tradicional. É possível construir habitações com diferentes configurações, com a adição/subtração de módulos resultantes dos próprios CM.

Dada a versatilidade dos CM, a estrutura principal do sistema modular será realizada a partir daqueles.



Figura 4. 5 - Contentores Marítimos.

In http://diariodigital.sapo.pt/news.asp?id_news=592796. Data de acesso: 22-05-2013.

Foram considerados CM de 40' (*High Cube*) cujas dimensões se indicam no quadro 4.3.

Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
12036	2350	2697

Quadro 4. 3 - Dimensões Interiores dos Contentores Marítimos ³.

A estrutura característica realizada em chapa canelada de aço patinável⁴ é autoportante. A chapa é fechada sobre as longarinas superiores e inferiores e ainda sobre os pilares de

³ In *Educargas Transitários, Lda.*: <http://www.educargas.pt/?1&it=info&mop=60&co=63&cop=19>. Data de acesso: 27-04-2013.

canto – *corner posts*. A base inferior é realizada em contraplacado marítimo resistente à humidade e infiltrações, fixo a travessas de aço (*Damco Leixões - Portugal, 2013*). A figura 4.6 constitui um esquema dos vários elementos referidos.

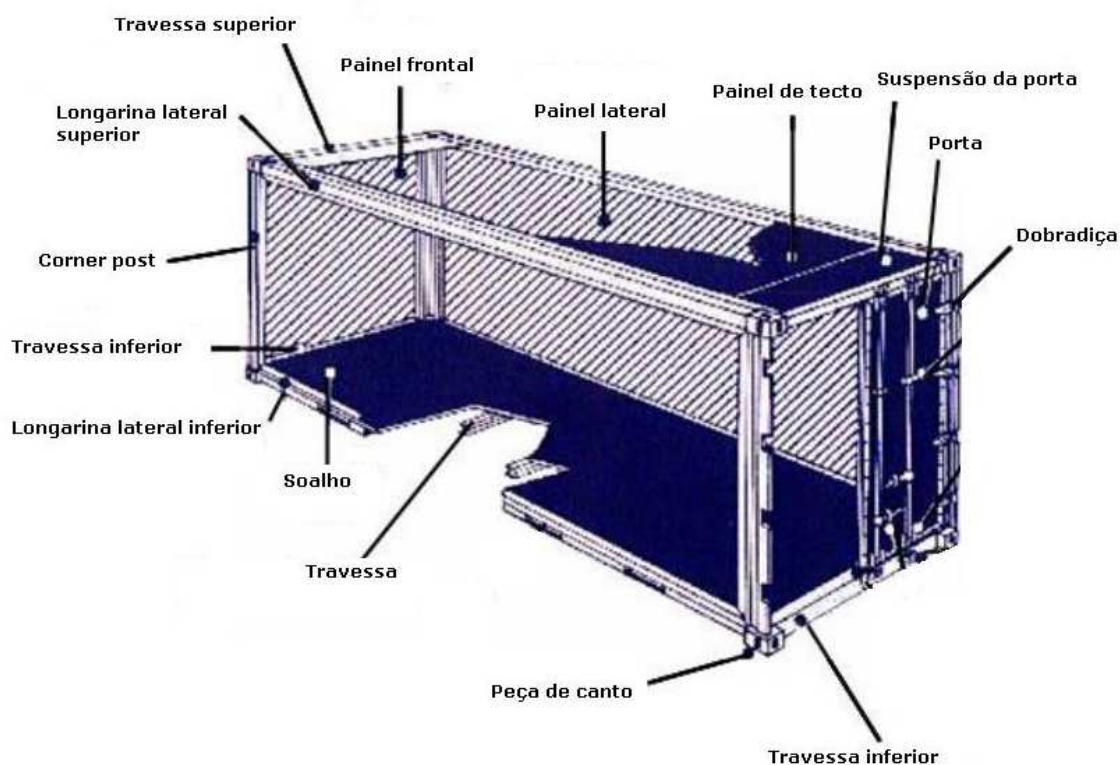


Figura 4. 6 - Esquema de um Contentor Marítimo. (Facultado por *Damco Leixões - Portugal, 2013*).

4.3.2 – COBERTURA

Sobre o painel de tecto dos CM, será aplicada uma solução de cobertura verde. Os telhados verdes (figura 4.7) constituem uma forma de minimizar o efeito nefasto que a construção tem sobre o meio ambiente, ao mesmo tempo que proporcionam conforto térmico e acústico na esfera interior.

⁴ Aço patinável, vulgarmente designado por *aço corten*, possui a capacidade de resistir à corrosão de uma forma bastante superior aos aços comuns, sem a inclusão de uma protecção adicional. Esta característica aliada à sua elevada resistência mecânica, resulta num material com um vasto leque de utilizações.

Na sua publicação, Silva (2011) refere que os telhados verdes consistem num sistema construtivo em que a cobertura é executada com plantas, apresentando variados benefícios, mas que implicam alguns cuidados aquando da sua instalação. É necessária a implementação de uma estrutura específica bem como a impermeabilização da cobertura. Por seu turno, Azevedo (2011) salienta a redução da reflexão sonora em 3 dB e a melhoria do isolamento acústico em 8 dB (o seu uso é muito propício em zonas próximas de aeroportos, por exemplo). O mesmo autor refere que o escoamento das águas superficiais é retido entre 50 a 90%, sendo o seu escoamento atrasado. A diminuição das elevadas temperaturas sentidas nas coberturas (de 80 para 35°C), bem como o decréscimo da radiação ultravioleta, são outras benesses apontadas.



Figura 4. 7 - Telhado Verde: Universidade Tecnológica de Nanyang, Azevedo (2011).

O tema é muito vasto, pelo que um estudo exaustivo do mesmo não se enquadra no presente projecto; ainda assim, registam-se no Anexo I as principais informações a reter bem como as aplicáveis ao estudo em causa.

4.3.2.1 - ASNAS

A colocação de asnas sobre o painel de tecto surge como forma de reforçar a estrutura do CM, sendo ainda útil para o estabelecimento da pendente necessária ao escoamento das águas. Caso seja implementado, o telhado verde será do tipo extensivo. De acordo com Silva (2011), esta solução permite o cultivo de plantas rasteiras, necessitando de um volume de água menor e pouca manutenção. A sobrecarga aplicada sobre os elementos é menos expressiva quando comparada com outras soluções, variando de 80kg/m² a 150kg/m².

As asnas são constituídas por cantoneiras de abas iguais L80x80x7 e L30x30x4. As madres serão em perfil tubular rectangular 60x40x4. O seu pré-dimensionamento e esquemas/pormenores da solução encontram-se no Anexo II.

4.3.3 – REVESTIMENTOS

De modo a dar resposta não só às exigências térmicas como acústicas da habitação, a escolha dos materiais a incorporar foi pensada tendo em conta a sua vertente sustentável.

Para Chiebao (2011) a implementação de parâmetros construtivos que advêm de técnicas e materiais naturais, resultam numa considerável atenuação do negativo impacto ambiental originário das edificações.

Um desses materiais é a cortiça: produto 100% natural e totalmente renovável, sendo Portugal responsável por 50% da produção mundial, de acordo com a autora referida.

Com reporte à análise de Silva (2006) o isolamento térmico tem como principal função “*o aumento da resistência térmica da envolvente do edifício, de forma a reduzir as trocas de calor entre o edifício e o exterior, reduzindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento, assim como o risco de condensações*”.

Quanto ao condicionamento acústico, Ferreira (2007) indica que o estudo se divide em duas áreas de intervenção: o isolamento sonoro e a absorção sonora. O primeiro é referente à capacidade que determinados materiais apresentam de impedirem a propagação das ondas sonoras; já a segunda caracteriza os materiais capazes de minimizar a reflexão das ondas sonoras, reduzindo assim, o nível de reverberação.

As potencialidades da cortiça são irrefutáveis. Como sugere Chiebao (2011) um bom isolante térmico apresenta baixo coeficiente de condutibilidade térmica, reduzido peso específico e resistência à acção de elevadas temperaturas. Para o tratamento acústico, o aglomerado expandido de cortiça, absorve parte da energia sonora graças à sua estrutura porosa. Os ruídos de percussão são também atenuados, devido ao factor de elasticidade que o material apresenta. Além de todos estes factores positivos, Chiebao (2011) acrescenta que a cortiça é um material de fácil manuseio, com uma resistência mecânica, ao fogo, à água e à putrefacção elevadas.

4.3.3.1 – REVESTIMENTO INTERIOR E PAREDES DIVISÓRIAS

As placas *GYPCORK*, constituídas por placas de gesso laminado e aglomerado de cortiça expandida (ICB), são a solução de material elegida para os revestimentos interiores e paredes divisórias. Como principais vantagens o *GYPCORK* apresenta:

- Aumento do conforto interior;
- Contributo para poupança de energia;
- Aumento do isolamento acústico a sons de percussão;
- Sistema de aplicação rápido e fácil;
- Compatibilidade com vários tipos de revestimento: tinta, papel de parede ou azulejos;
- Permite acabamentos sem fissuras ou humidades.

As suas características podem ser consultadas no Anexo III.

4.3.3.2 – REVESTIMENTO EXTERIOR

O aglomerado de cortiça expandida *MDFACHADA* será usado no revestimento exterior (figura 4.8). Os principais proveitos são:

- Material totalmente reciclável;
- Excelente isolamento térmico e acústico;
- Durabilidade considerável.

Do mesmo modo, as suas características podem ser consultadas no Anexo III.



Figura 4. 8 - Revestimento exterior em *MDFACHADA*: *Ecocabana*, Cascais. (Facultado por *Amorim Isolamentos, S.A.*, 2013).

4.3.3.3 – BREVE ANÁLISE TÉRMICA E ACÚSTICA DA SOLUÇÃO CONSIDERADA

A necessidade de eficiência energética e o incremento nas condições de conforto dos usuários dos edifícios confere uma relevância incontestável, do cumprimento de requisitos térmicos e acústicos.

A aplicabilidade do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) e do

Regulamento Geral do Ruído (RGR) está subordinada a determinados atributos específicos de cada edifício.

No caso em estudo, alguns desses atributos não são passíveis de conhecimento antecipado (localização do edifício, reconhecimento do meio envolvente, etc.), o que não permite uma correcta avaliação do comportamento térmico e acústico da habitação. Contudo, foi efectuado um estudo conciso, sendo que se explanam no Anexo IV os principais resultados obtidos. No que às paredes exteriores concerne, importa ressaltar que para efeitos do cumprimento dos mínimos requisitos térmicos, a aplicação de *GYPCORK* com uma espessura de 42,5mm seria suficiente. A espessura do revestimento interior para este elemento foi condicionada pelo estudo acústico, pelo que se depreende que a solução adoptada confere ainda melhores resultados térmicos.

A constituição dos vários elementos da habitação encontra-se no quadro 4.4.

Elemento: Paredes Exteriores	Espessura (mm)
Revestimento Exterior: <i>MDFACHADA</i>	100
Contentor Marítimo: chapa de aço	3
Revestimento Interior: <i>GYPCORK</i>	69,5
Elemento: Pavimentos	Espessura (mm)
Contentor Marítimo: contraplacado marítimo	60
Revestimento Interior: <i>GYPCORK</i>	72,5
Elemento: Cobertura	Espessura (mm)
Telhado Verde	-
Contentor Marítimo: chapa de aço	3
Revestimento Interior: <i>GYPCORK</i>	72,5

Quadro 4. 4 - Solução de Revestimentos dos Vários Elementos.

4.3.4 – VÃOS

Na opinião de Sirgado (2010) o alargado leque de opções existente no mercado, complexifica a escolha das diferentes partes constituintes de uma janela. Neste ponto apenas se fará referência, contudo, à solução adoptada para o vidro e o caixilho dos vãos.

4.3.4.1 – CAIXILHARIA

A caixilharia constitui o elemento de transição entre as áreas opacas e as áreas envidraçadas de uma fachada (figura 4.9). É ela que garante a estanquidade e ao mesmo tempo a operacionalidade dos vãos. Os sistemas de caixilharias de alumínio com corte térmico são apontados como excelentes soluções para o isolamento térmico e acústico, potenciando uma importante economia de energia. Não descurando as questões ambientais, há que ter em conta na especificação da caixilharia o seguinte⁵:

- *“O material que constitui o caixilho deve ser tão reciclável quanto possível – devendo ser privilegiados os acabamentos mais fáceis de reciclar, como é o caso do alumínio anodizado, face ao termolacado;*
- *O material que constitui o caixilho deve ter sido, em parte, reciclado – no caso do alumínio designa-se por alumínio secundário. A proporção do material reciclado incorporado será indicada pelo fornecedor e deverá ser superior a 50%. É também interessante ser informado, por parte do fornecedor, qual a proporção de material reciclado proveniente de prévias aplicações (pelo menos 40% ser alumínio proveniente de demolições) e qual a proporção proveniente do processo de fabrico (até 60% podem ser desperdícios de fabrico).”*

⁵ In *Construção Sustentável*: <http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Caixilharias-de-Qualidade>. Data de acesso: 25-05-2013.



Figura 4. 9 - Pormenor de Caixilho em Alumínio

In <http://www.aluminiosfilipe.com/produtos.php>. Data de acesso: 15-06-2013.

4.3.4.2 – VIDRO

O vão envidraçado, que representa uma considerável área na envolvente dos edifícios, é um material que por si só, confere um fraco isolamento térmico às edificações. Se em tempos as janelas eram constituídas por apenas um pano, no presente é prática corrente a utilização de vidros compostos por múltiplos panos (Sirgado, 2010).

O autor referido prossegue o estudo expondo que, se inicialmente o espaço entre os panos de vidro era preenchido simplesmente com ar, nos tempos correntes passaram a ser preenchidos com gases menos condutores ou mais viscosos. Desta forma, consegue-se um movimento mais lento para as correntes de convecção, o que reduz consideravelmente o valor do coeficiente de transmissão térmica (U).

Os envidraçados da habitação modular evolutiva serão realizados com vidro duplo “Conforto 4 estações” da marca *Saint-Gobain*. Dos vários benefícios apresentados para esta solução salientam-se:

- A entrada significativa de luz natural;

- Facilidade de manutenção;
- Isolamento acústico;
- Redução de encargos com o aquecimento na estação de Inverno;
- Diminuição da transmissão de raios ultravioleta no Verão.

As características específicas da solução adoptada encontram-se no Anexo V.

4.4 – ORGANIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS TRABALHOS

O planeamento dos trabalhos consiste, porventura, numa das mais importantes tarefas a realizar. A planificação de tempos e riscos inerentes a cada uma das actividades, pelo próprio carácter do projecto – idealização de uma possível habitação modular evolutiva – torna-se de difícil avaliação. Entre as diversas tarefas, existe um grau de sequência e de interdependência sujeita a variados factores: rendimento de mão-de-obra e de equipamentos, condições de trabalho, etc.. Pelo disposto, e após a definição do projecto da habitação, seus subsistemas e demais materiais, são delineadas somente as tarefas inerentes ao fabrico, transporte e montagem dos módulos.

A planificação do trabalho foi baseada num sistema *Work Breakdown Structure* (*WBS*) representado na figura 4.10.

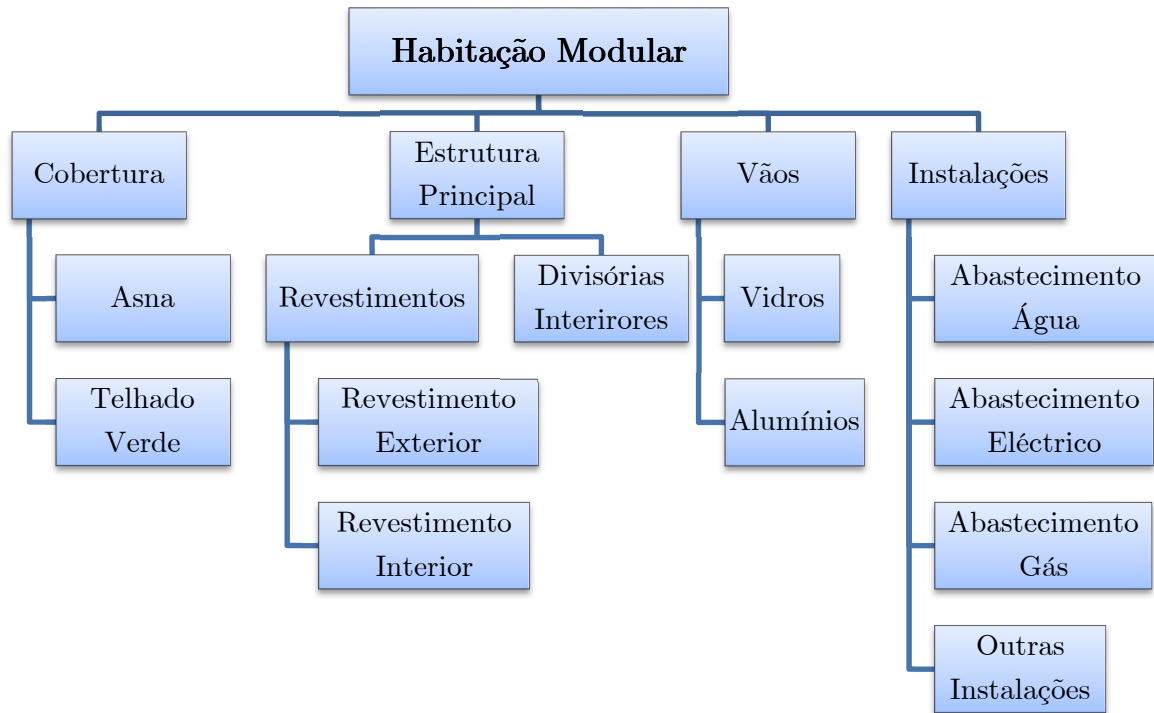


Figura 4. 10 - Habitação Modular: *WBS*.

Ao projectar uma estrutura pré-fabricada, tal como referem Pereira *et al.* (2006) “é necessário ter em conta as regras práticas que contribuem para que a estrutura seja uma solução económica e simples.”. O processo de produção de elementos pré-fabricados passa então, por um conjunto de etapas simples e encadeadas: planeamento, fabrico, transporte e montagem. Em linhas gerais, e de acordo com a *WBS* anteriormente apresentada, o planeamento da habitação modular engloba os passos seguintes:

1. Aquisição do(s) CM;
2. Fabrico das asnas e madres;
3. Montagem das asnas e madres na face superior do CM;
4. Execução de cortes nos CM (abertura de vãos, previsão dos pontos de acesso de águas, gás, caixas de visita, etc.);
5. Execução de vãos envidraçados (aplicação de caixilharias e vidros);
6. Aplicação dos revestimentos exteriores;

7. Execução de paredes divisórias;
8. Aplicação dos revestimentos interiores;
9. Transporte dos módulos até à sua localização final;
10. Montagem dos módulos;
11. Execução do telhado verde.

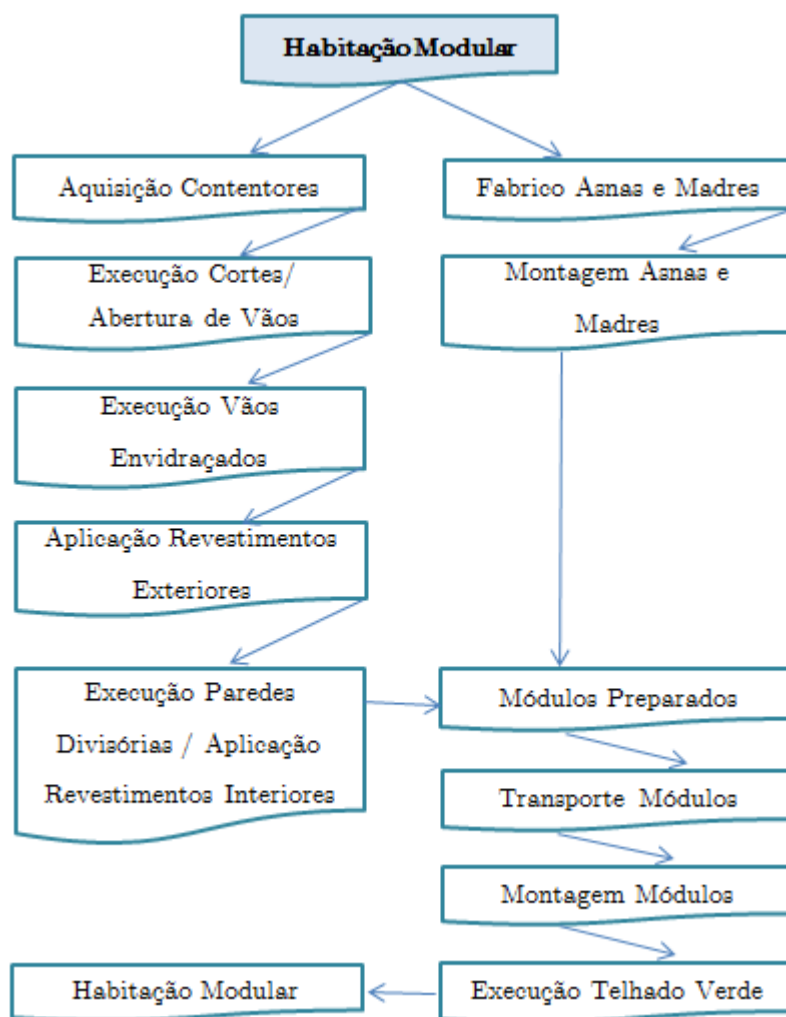


Figura 4. 11 - - Fluxograma do Planeamento.

A figura 4.11 evidencia um fluxograma do planeamento. As etapas subsequentes (fabrico, transporte e montagem) serão abordadas com maior detalhe no subcapítulo que se segue.

4.4.1 – COORDENAÇÃO DIMENSIONAL MODULAR APLICADA AO PROJECTO

O projecto modular, baseado no reticulado modular de referência, é um recurso elementar: auxilia tanto na realização do projecto, como na montagem dos componentes. As plantas baixas, as fachadas e os cortes do projecto são desenvolvidos sobre aquele.

O sistema de referência (tridimensional) que se ilustra na figura 4.12 pretende demonstrar a orientação dos módulos, difundindo a sua compatibilidade e ao mesmo tempo, auxiliar a sua localização.

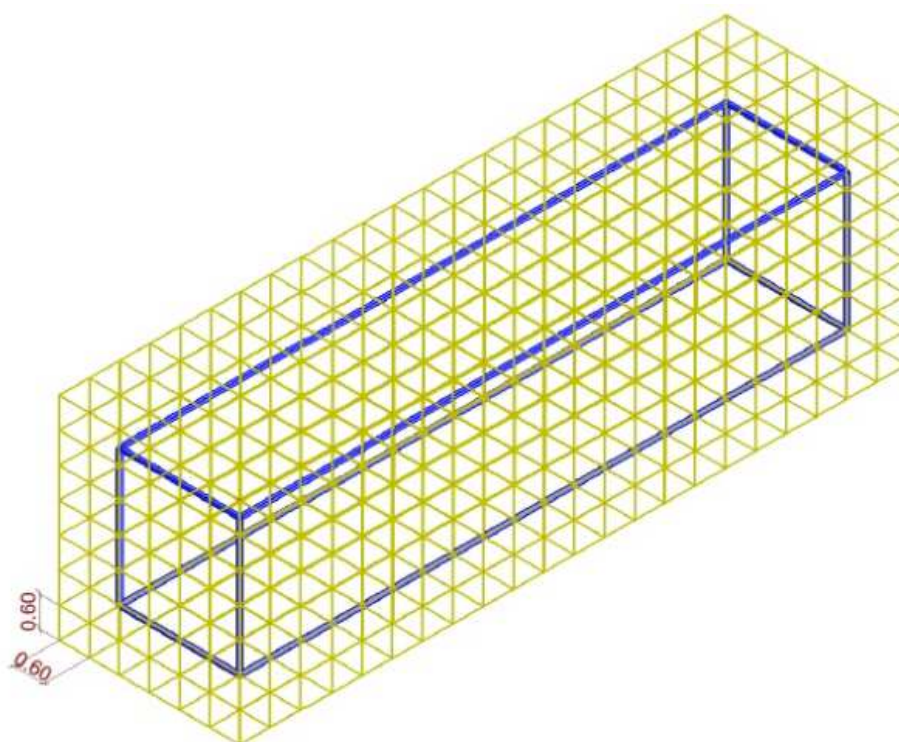


Figura 4. 12 - Esquema do Sistema de Referência Tridimensional.

A posição simétrica em relação a uma linha de referência do reticulado modular foi a preferida de entre as três possíveis (simétrica, assimétrica ou lateral). As dimensões indicadas são “em osso”, isto é, sem qualquer tipo de acabamento.

Por forma a facilitar a leitura, o sistema de referência usado, será o indicado na figura 4.13. A nomenclatura indicada ocorrerá nas instruções de trabalho.

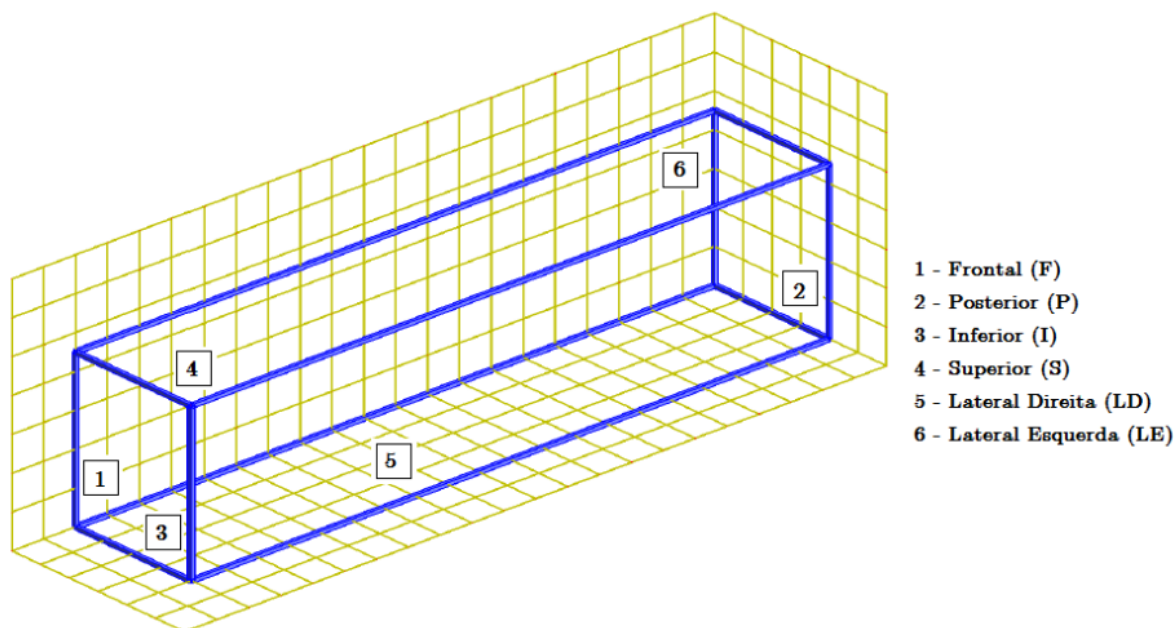


Figura 4. 13 - Esquema do Sistema de Referência; Terminologia de Identificação de Faces.

4.5 – PROCESSO DE PRODUÇÃO

A proposta de projecto aqui exposta teve em consideração os critérios alusivos à funcionalidade, acessibilidade, execução e possível ampliação (e/ou redução) da habitação.

Como se pretende uma edificação sustentável, quer o projecto, quer a concepção foram idealizados de forma a incorporar (tanto quanto possível) materiais sustentáveis ou reutilizados, economizando energia, água e demais recursos naturais.

Por forma a conferir um carácter flexível à habitação sem, contudo, interferir na estrutura já desenvolvida, as águas da cobertura são independentes entre si. A iluminação dos espaços existentes na primeira fase, não ficará comprometida aquando da execução das fases posteriores. Apenas o fabrico e montagem dos módulos, variam conforme a fase da habitação modular. O fabrico e montagem das asnas, assim como o transporte dos módulos (já com as asnas devidamente integradas) constituí um passo semelhante durante todo o processo evolutivo.

Com o intuito de especificar a sequência e os processos inerentes ao fabrico, transporte e montagem foram elaboradas fichas de procedimento que se encontram devidamente

referenciadas (quadro 4.5). O decurso evolutivo da habitação é exposto de seguida, sendo complementado com fluxogramas.

Ficha de Procedimento	Referência
Fabrico Asnas	<i>FP.FA</i>
Montagem Asnas	<i>FP.MA</i>
Fabrico Módulos	<i>FP.FM</i>
Transporte Módulos	<i>FP.TM</i>
Montagem Módulos	<i>FP.MM</i>

Quadro 4. 5 - Listagem de Referências de Fichas de Procedimento.

❖ **Fabrico de Asnas**

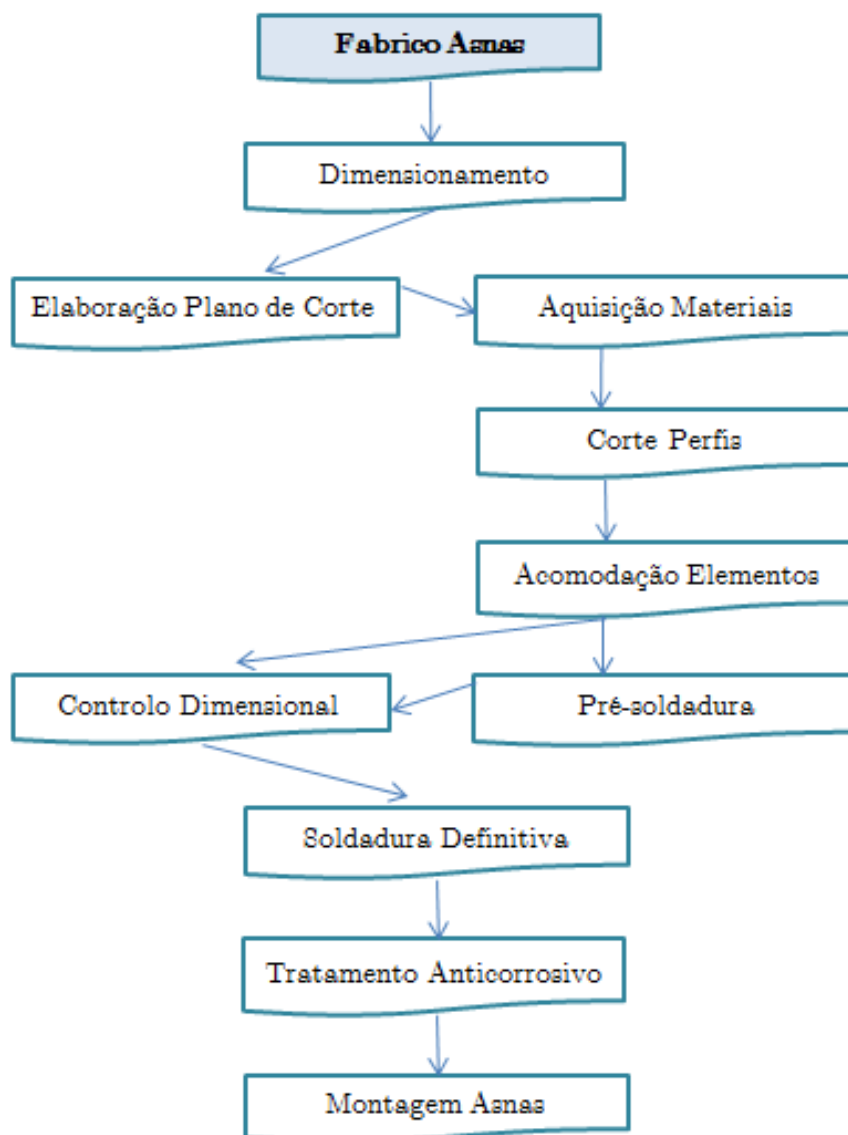


Figura 4. 14 - Fluxograma do Fabrico das Asnas.

O processo de execução (figura 4.14) e posterior montagem é comum a todas as etapas do desenvolvimento da habitação, isto porque as asnas e madres usadas na cobertura são semelhantes, qualquer que seja a fase da habitação modular, variando apenas os comprimentos (figura 4.15).

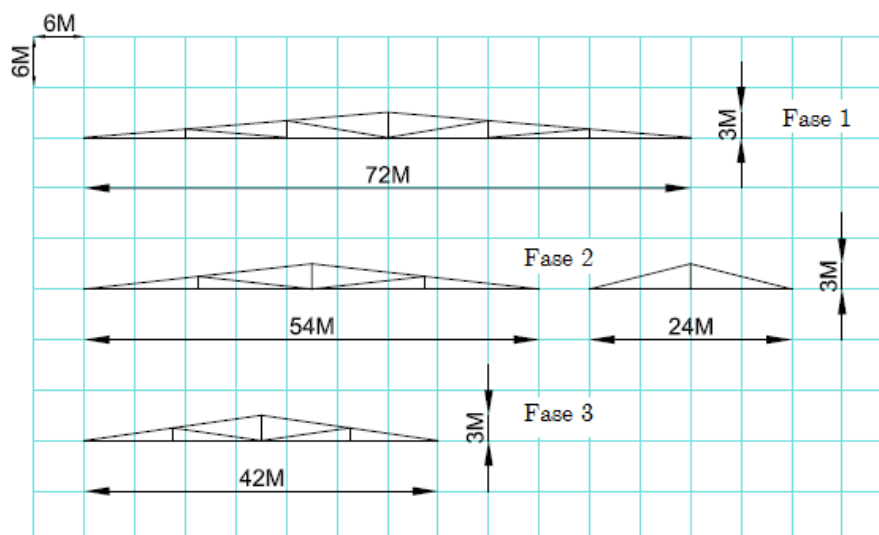


Figura 4. 15 - Comprimento de Asnas: Fase 1, 2 e 3.

Após a aquisição dos perfis previamente dimensionados (cantoneiras e tubos), procede-se ao seu corte e soldadura. Previu-se a aplicação de um tratamento anticorrosivo: galvanização por imersão a quente; esta solução confere uma protecção aos materiais, prolongando o seu período de vida⁶. No quadro 4.6 é exposta a ficha de procedimentos relativa à execução das asnas.

Ficha de Procedimento: Fabrico Asnas		
Referência: FP.FA		
SEQUÊNCIA	PROCEDIMENTO	DESCRIÇÃO
1	Dimensionamento das Asnas	Cálculo e definição da solução (tipo de perfis)
2	Elaboração de Plano de Corte	Escolha do comprimento e quantidade de perfis a adquirir Definição das peças a cortar em cada perfil

⁶ In Eurogalva: <http://www.eurogalva.pt/galvaniza%C3%A7%C3%A3o-9.aspx>. Data de acesso: 02-07-2013.

Ficha de Procedimento: Fabrico Asnas		
Referência: FP.FA		
SEQUÊNCIA	PROCEDIMENTO	DESCRIÇÃO
3	Aquisição de Materiais	Ver existência de materiais em <i>stock</i> Contactar fornecedores
4	Corte dos Perfis	De acordo com o plano de corte previamente estabelecido
5	Acomodação dos Elementos	As diferentes peças são devidamente posicionadas
6	Pré-soldadura	Procede-se à execução de "pingos de soldadura" para facilitar o controlo dimensional
7	Controlo Dimensional	Verificação das dimensões e acomodação dos elementos, após colocação na sua posição correcta; a pré-soldadura permite qualquer ajuste que seja necessário realizar
8	Soldadura Definitiva	Todas as peças são devidamente soldadas
9	Tratamento Anticorrosivo	Galvanização por imersão a quente (banho em zinco fundido)

Quadro 4. 6 - Ficha de Procedimento Referência FP.FA.

❖ **Montagem de Asnas**

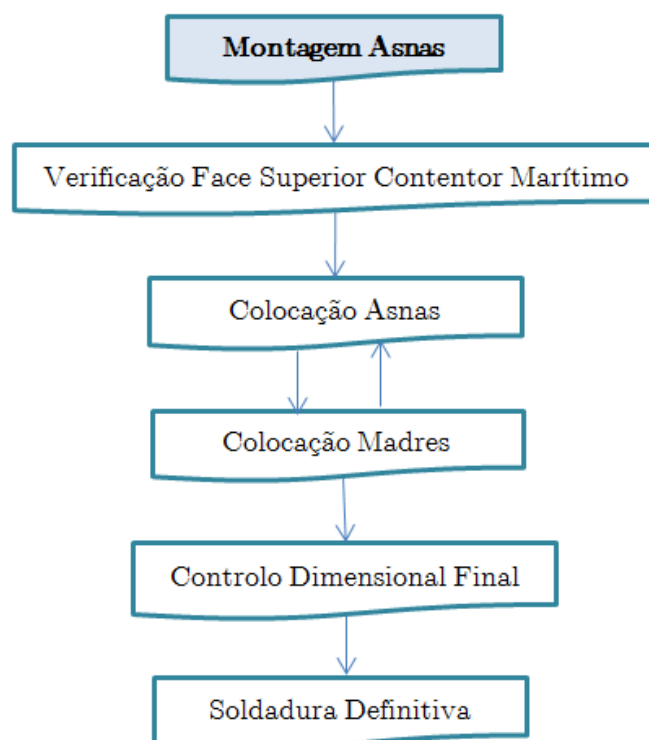


Figura 4. 16 - Fluxograma da Montagem das Asnas.

Concluída a execução, as asnas e madres são montadas na face superior dos CM (figura 4.16). De modo a permitir o controlo dimensional e garantir que os elementos se encontram devidamente acomodados, procede-se à execução de uma pré-soldadura. Depois de rectificadada (se necessário) a posição dos elementos, concretiza-se a soldadura definitiva. Esta boa prática deve ser aplicada tanto no fabrico como na montagem dos componentes. Importa salientar que um reduzido número de madres das fases 2 e 3 apresentam um afastamento não modular. De acordo com os princípios da coordenação modular, esta excepção é possível, devendo no entanto prevenir-se o seu uso excessivo. Neste caso, é exequível este afastamento pois:

- As dimensões destes elementos são modulares (só não o é, o seu afastamento);
- A frequência de aplicação é consideravelmente reduzida (apenas seis madres na totalidade das três fases);
- Simplificação na montagem, pois à semelhança das restantes madres, também estas se posicionam nas uniões das diagonais das asnas.

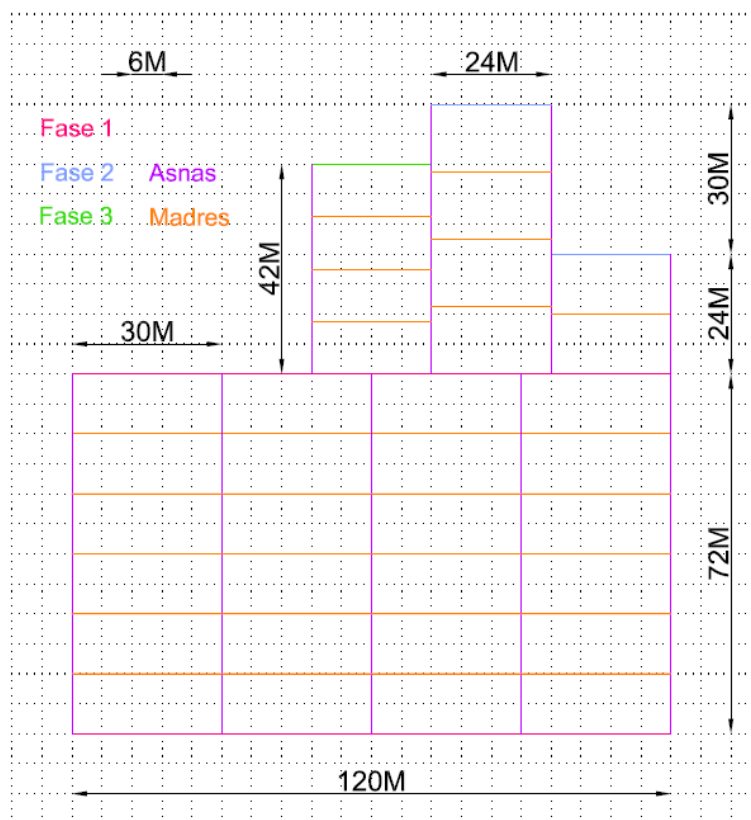


Figura 4. 17 – Localização Asnas e Madres: Fase 1,2 e 3.

A figura 4.17 indica o posicionamento das asnas e madres em cada uma das fases da habitação.

Uma alternativa para que todos os afastamentos fossem modulares, seria a alteração da configuração das asnas: reduzir o espaçamento das diagonais, aumentar o seu número – o que a tornaria mais ‘densa’ e, conseqüentemente, mais dispendiosa.

A solução apresentada deve-se em parte, ao facto do telhado verde apenas constituir uma opção, não sendo a sua colocação estritamente necessária.

O quadro 4.7 faz referência à ficha de procedimento da montagem das asnas.

Ficha de Procedimento: Montagem Asnas		
Referência: FP.MA		
SEQUÊNCIA	PROCEDIMENTO	DESCRIÇÃO
1	Verificação da Face Superior do Contentor	Beneficiação da chapa superior; Preparação das zonas de soldadura (eliminar oxidações, tintas, etc. - usar uma rebarbadora).
2	Colocação da 1ª Asna	A 1ª asna é colocada numa das extremidades do contentor marítimo com auxílio de uma ponte rolante, sendo devidamente alinhada; Execução de pré-soldadura.
3	Colocação da 2ª Asna	A 2ª asna é colocada na posição previamente estabelecida; Execução de pré-soldadura, de forma a estabilizar a asna na posição pretendida.
4	Colocação do 1º Alinhamento de Madres	São colocadas as madres entre a 1ª e 2ª asna; é executada uma pré-soldadura; Verificação (e se necessário) rectificação do posicionamento dos elementos já colocados.
5	Repetição dos procedimentos 2, 3 e 4	Repetem-se os passos de colocação de asnas e madres (para as restantes) até ao final (última asna).
6	Controlo Dimensional Final	Verificação das dimensões e acomodação dos elementos, após colocação na sua posição correcta; Pré-soldadura permite qualquer ajuste que seja necessário realizar.
7	Soldadura Definitiva	Todas as peças são devidamente soldadas.

Quadro 4. 7 - Ficha de Procedimento Referência FP.MA.

❖ Fabrico de Módulos

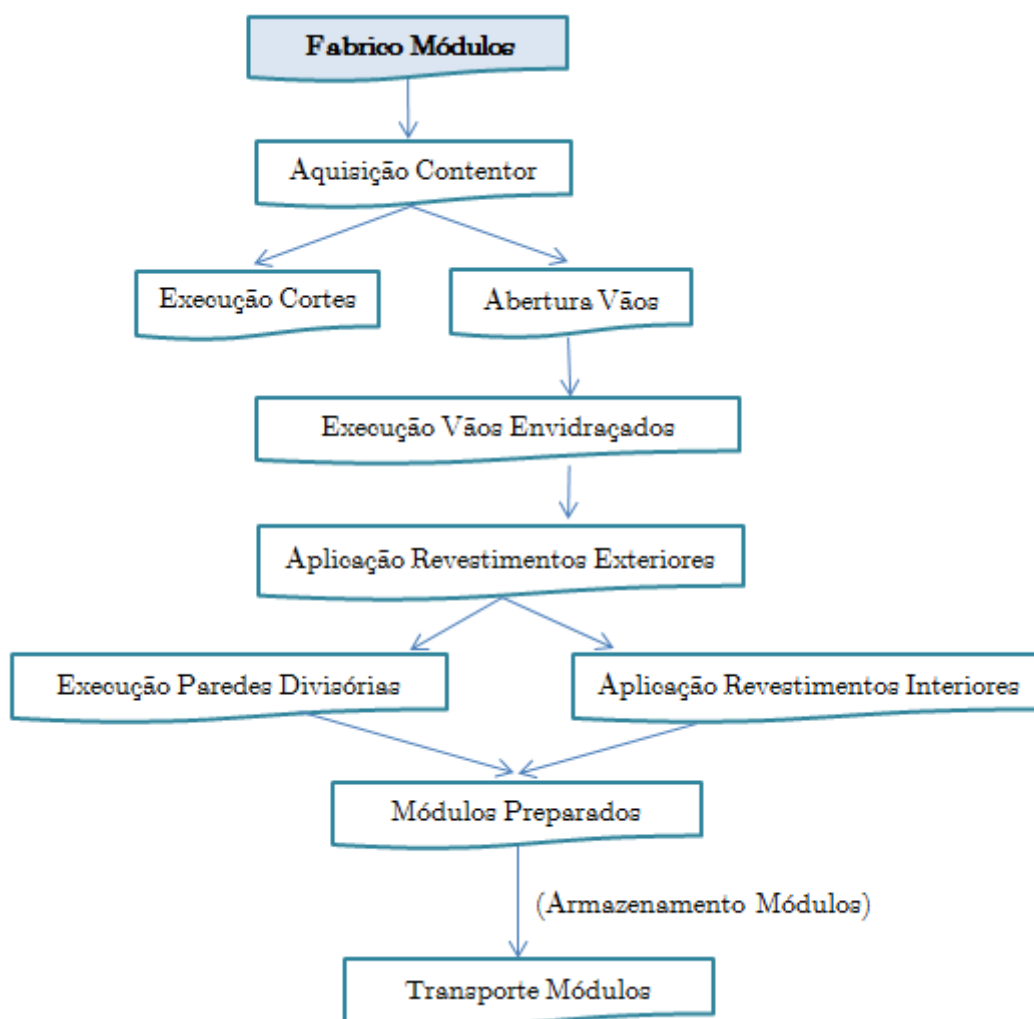


Figura 4. 18 - Fluxograma do Fabrico dos Módulos.

Definido o projecto arquitectónico da habitação, adquirem-se os CM. Estes poderão ser usados e não necessariamente novos. Tanto quanto possível deve optar-se pela aquisição dos que se encontrem em melhor estado de conservação. Esta escolha permite uma economia na eventual beneficiação dos CM. Também este processo (fabrico de módulos – figura 4.18) é comum aos três estágios da habitação: os materiais e soluções a considerar são análogas. A grande variação prende-se com a localização dos vãos e das paredes divisórias.

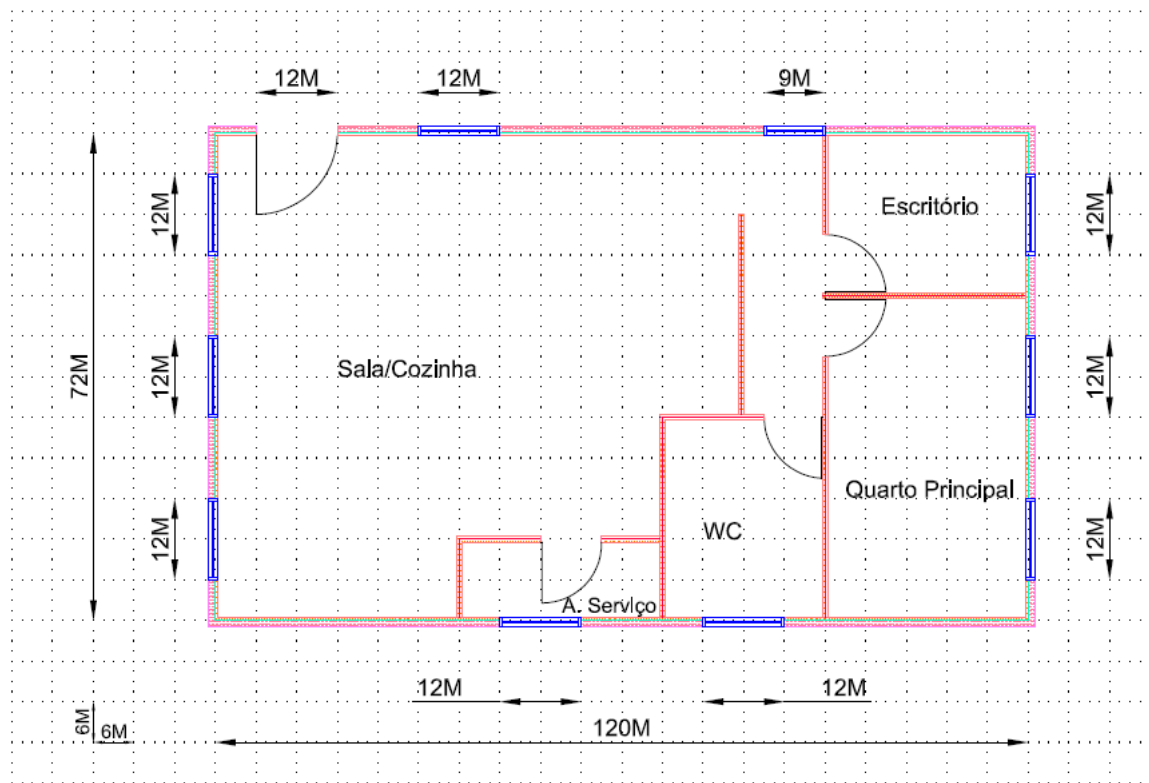


Figura 4. 19 - Planta da Habitação: Fase 1.

A figura 4.19 explica a planta da habitação na primeira fase. Para a sua concretização prevêem-se a abertura de vãos e execução de cortes nos CM, como a seguir indicados (quadro 4.8). A identificação das faces está de acordo com a terminologia apresentada na figura 4.13.

		Intervenção	Identificação Face
Contentor 1		Corte total da face	LE
		Pontos acesso água, gás e electricidade	I
	Abertura vãos	12M x 6M	LD
		12M x 6M	LD
		12M x 18M	F
12M x 12M		P	
Contentor 2		Corte total da face	LD
		Corte parcial da face	LE
	Negativo para tubo de exaustão	M x M	S
		Pontos acesso água, gás e electricidade	I
	Abertura vãos	12M x 24M	F
12M x 12M		P	

		Intervenção	Identificação Face
Contentor 3		Corte parcial da face	LD
	Abertura vãos	12M x 18M	F
		12M x 12M	P
		12M x 24M	LE
		9M x 18M	LE

Quadro 4. 8 - Cortes e Abertura de Vãos: Fase 1.

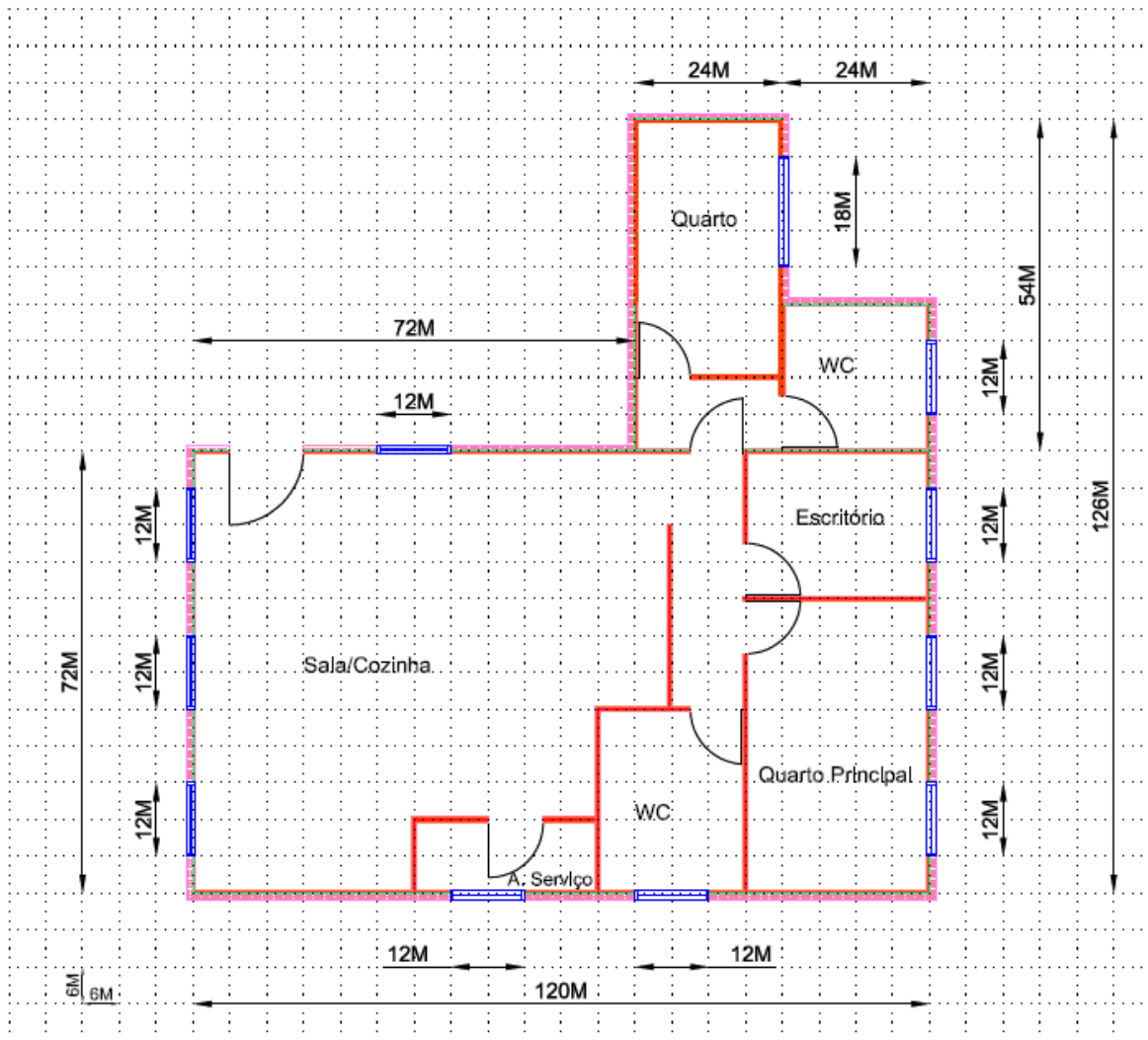


Figura 4. 20 - Planta da Habitação: Fase 2.

Na passagem da primeira para a segunda fase (figura 4.20), serão executados dois outros módulos, com recurso a um novo CM que originará o quarto, a casa de banho e o corredor. Para tal, o contentor será seccionado, sendo que se usufrui das duas

extremidades. Um dos módulos será dividido com um comprimento de 54M, tendo o outro 24M. O quadro 4.9 faz referência à abertura de vãos para o estágio dois.

	Intervenção	Identificação Face
Contentor 1	12M x 6M	LD
	Abertura de vãos	LD
	18M x 12M	LD

Quadro 4. 9 - Cortes e Abertura de Vãos: Fase 2.

Na terceira e última etapa é realizado um novo quarto. Este resultará de um outro CM, cortado com um comprimento de 42M. A abertura de vãos e a sua localização são apresentados na figura 4.21 e quadro 4.10.

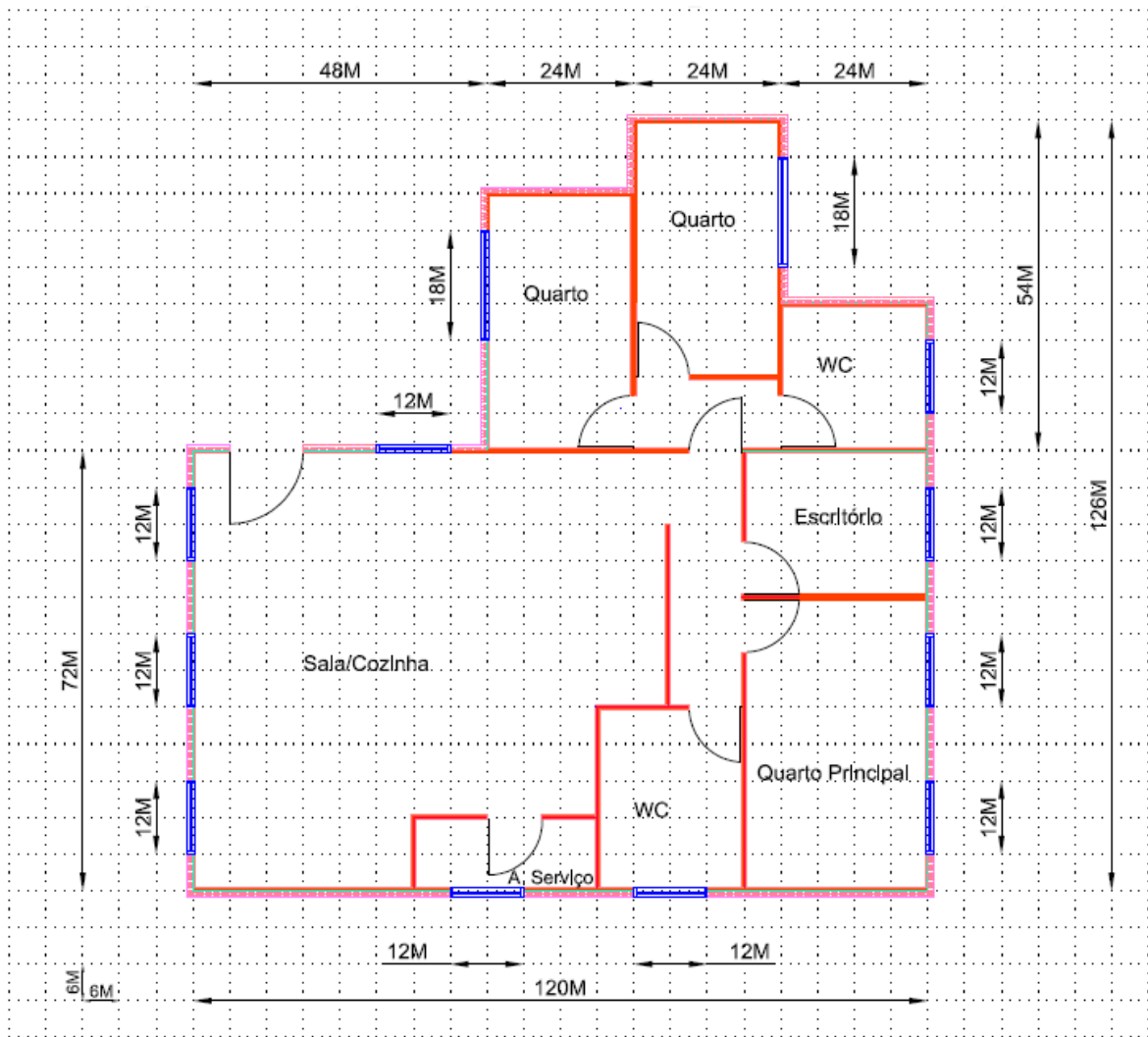


Figura 4. 21 - Planta da Habitação: Fase 3.

	Intervenção	Identificação Face
Contentor 1	Abertura de vãos 18M x 12M	LE
	9M x 21M	LD

Quadro 4. 10 - Cortes e Abertura de Vãos: Fase 3.

Após a preparação da estrutura da habitação, realizam-se os vãos envidraçados (com o emprego do sistema de caixilharia e vidros atrás propostos), seguindo-se a aplicação dos revestimentos exteriores. A fixação do *MDFACHADA* à estrutura do CM poderá ser mecânica (aparafusamento) ou com recurso a adesivo com características impermeabilizantes. O revestimento será elevado em relação ao topo do CM, antecipando-se que as fachadas totalizem uma altura de 30M, tal como mostra a figura 4.22.

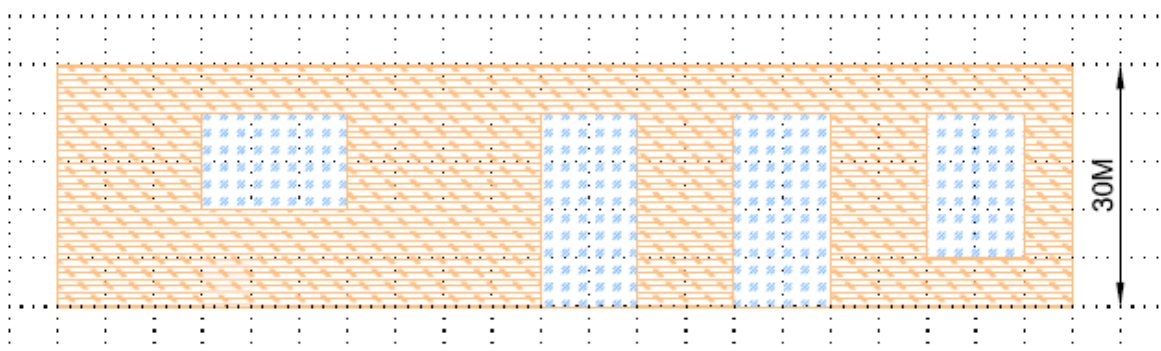


Figura 4. 22 - Alçado da Habitação: Fase 3.

A concretização das paredes divisórias dá continuidade ao processo de fabrico dos módulos. À semelhança do revestimento exterior, a fixação do *GYPCORK* pode ser mecânica ou com recurso a cola. Ainda aplicando o mesmo material, executam-se os revestimentos interiores: paredes, tecto e pavimento. De salientar que este material permite qualquer tipo de acabamento; assim é possível considerar azulejos nas casas de banho, cozinha e área de serviço, podendo as restantes superfícies ser pintadas.

Terminado o processo de fabrico, segue-se o transporte dos módulos. Caso o local onde se pretende instalar a habitação ainda não se encontre preparado para a receber, os módulos podem ser armazenados.

A ficha de procedimentos que consta no quadro 4.11 clarifica as etapas deste processo.

Ficha de Procedimento: Fabrico Módulos		
Referência: FP.FM		
SEQUÊNCIA	PROCEDIMENTO	DESCRIÇÃO
1	Aquisição Contentores Marítimos	Adquirir contentores que estejam em bom estado de conservação - economia de custos com a eventual beneficiação
2	Execução de Cortes e Abertura de Vãos	Realizam-se todos os cortes necessários: abertura de vãos, pontos de acesso a água, gás, electricidade e exaustão - de acordo com a identificação das faces já definida
3	Execução de Vãos Envidraçados	Aplicação do sistema vidro + caixilho
4	Aplicação de Revestimentos Exteriores	Com recurso a aparafusamento ou com adesivos com características impermeabilizantes
5	Execução Paredes Divisórias	Com recurso a aparafusamento ou com adesivos com características impermeabilizantes
6	Aplicação de Revestimentos Interiores	Aplicação de <i>GYPCORK</i> nas paredes, tectos e pavimento Colocação de azulejos em áreas previamente definidas (casas de banho, cozinha e área de serviço) Pintura das restantes superfícies
7	Módulos Preparados	Podem ser armazenados ou directamente transportados para a sua localização final

Quadro 4. 11. - Ficha de Procedimento Referência FP.FM.

❖ Transporte de Módulos

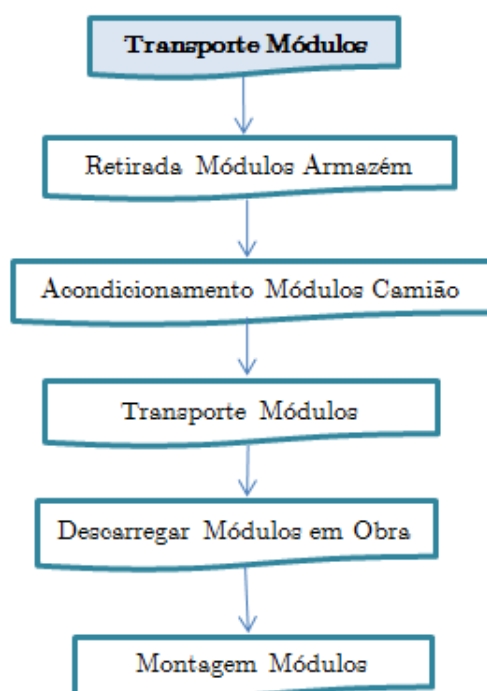


Figura 4. 23 - Fluxograma do Transporte dos Módulos.

O processo de transporte dos módulos (figura 4.23) inicia-se com a sua retirada do armazenamento. Ainda que possa existir uma ponte rolante (ou equipamento semelhante) no armazém de modo a auxiliar a tarefa de carga, aconselha-se o uso de camião-grua com o intuito de facilitar também, a descarga na localização final. O manuseio dos módulos será feito usando cintas de amarração/elevação de cargas através dos quatro cantos, na longarina superior do CM. Esta opção é possível, dado que nesta fase os telhados verdes ainda não foram executados.

As estruturas são, então, devidamente acondicionadas de modo a que se mantenham seguras e estáveis durante o transporte.

Uma vez que os módulos-base são produzidos a partir de CM, as suas dimensões são tais, que não carecem de recurso a transportes especiais. Evitam-se assim, custos adicionais com a necessidade de emissão de licenças.

A sequência dos procedimentos é descrita na ficha seguinte (quadro 4.12).

Ficha de Procedimento: Transporte Módulos		
Referência: FP.TM		
SEQUÊNCIA	PROCEDIMENTO	DESCRIÇÃO
1	Retirada dos Módulos do Armazém	Os módulos são retirados do armazenamento com recurso a camião-grua ou ponte rolante.
2	Colocação dos Módulos no Camião	As cintas de elevação de cargas são passadas nos quatro cantos, na longarina superior do contentor marítimo; Com o auxílio da grua ou da ponte rolante, os módulos são colocados sobre barras de madeira.
3	Acondicionamento dos Módulos	Os módulos serão fixos com cabos ou cintas de amarração.
4	Transporte dos Módulos	Transporte até ao local da obra, tendo em atenção as diversas solicitações que poderão colocar em causa a segurança e estabilidade dos módulos.

Quadro 4. 12. - Ficha de Procedimento Referência FP.TM.

❖ Montagem de Módulos

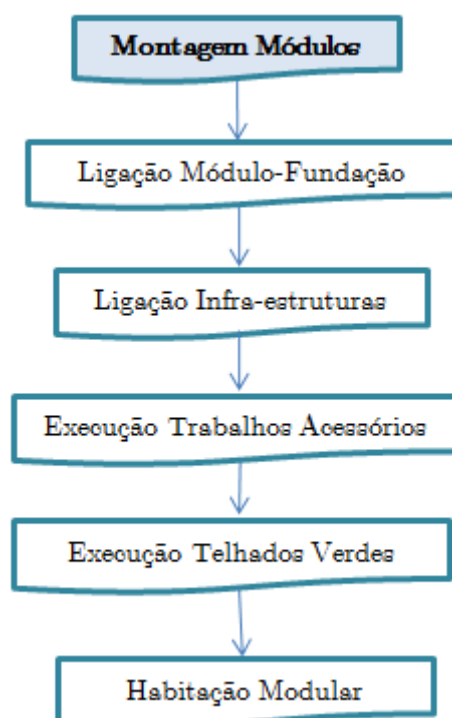


Figura 4. 24 - Fluxograma da Montagem dos Módulos.

O primeiro passo para a montagem dos módulos (figura 4.24) consiste na sua ligação às fundações previamente realizadas.

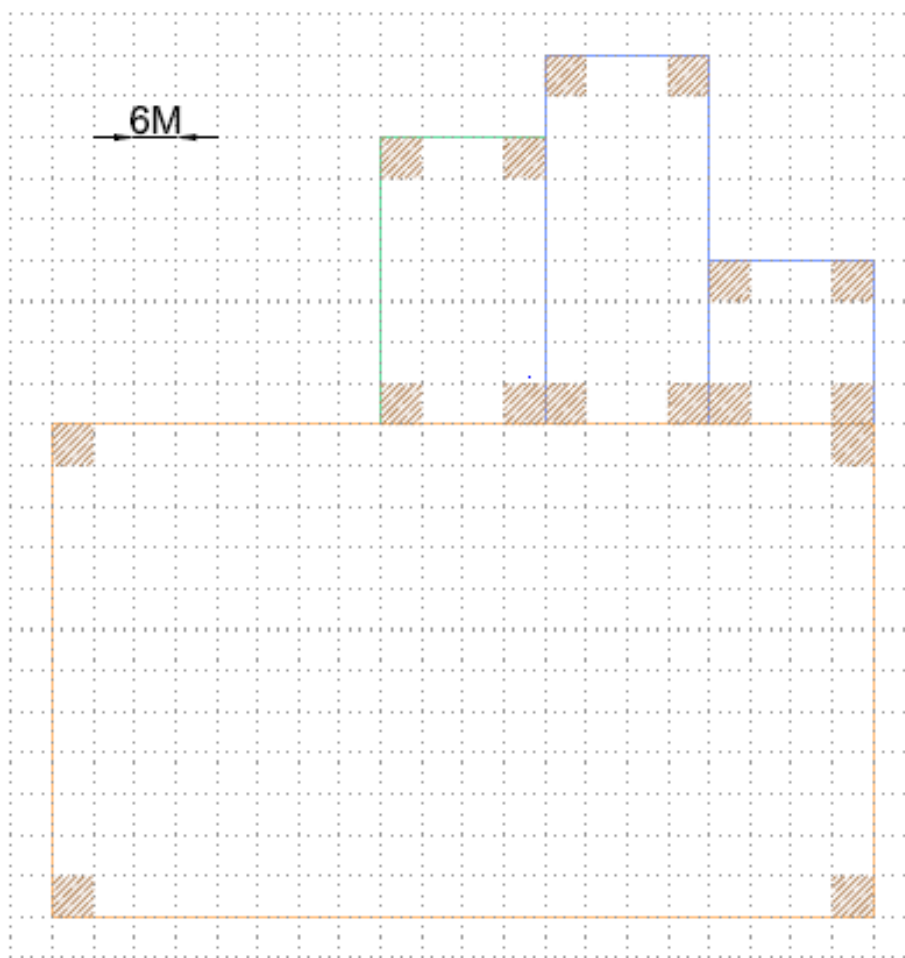


Figura 4. 25 - Possível Localização das Fundações: Fases 1, 2 e 3.

Os pilares de canto – *corner posts* – de todos os CM, devem ficar devidamente apoiados nas sapatas. A figura 4.25 demonstra uma planta da localização das fundações ao longo das três fases da evolução da habitação.

Pressupõe-se que aquando da ligação dos pilares de canto aos maciços das fundações, se crie um espaçamento entre a base dos módulos e o terreno. A existência deste espaço, no caso com uma altura de 5M, além de ser útil para a concretização das ligações às infra-estruturas, permite o acesso para a realização de intervenções/manutenções.

Os módulos são ligados entre si por aparafusamento dos pilares de canto. As faces inferiores são ligadas com recurso a chapas aparafusadas na base dos CM.

Assim que se preceda à ampliação da habitação da fase um para a fase dois, o vão da fase um com dimensões 9M x 18M dará acesso ao aumento da casa, passando a integrar uma porta com dimensões 9M x 24M (figura 4.26).

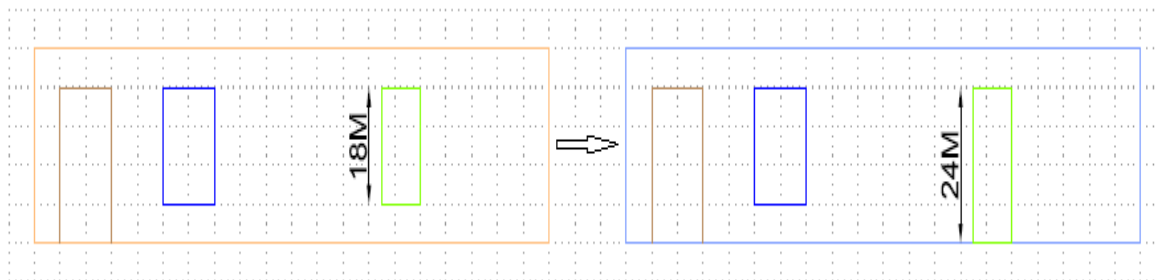


Figura 4. 26 - Abertura de Vão: Ampliação Fase 1 para Fase 2.

Na última ampliação (fase dois para fase três) será realizada nova abertura, com dimensões 9M x 21M.

Depois de cumpridas as ligações dos módulos às fundações e infra-estruturas, são colocadas as peças sanitárias e o lava-louças.

Todos os restantes equipamentos (máquinas de lavar/secar) podem, caso os utilizadores assim o entendam, ser colocados *a posteriori*. A colocação de um ponto de acesso à água, luz e gás, assim como a possibilidade de ligação das águas residuais à caixa de recolha do esgoto do lava-louças, garante a futura instalação destes equipamentos.

O sistema de exaustão é também efectuado nesta fase. Assim, prolonga-se o tubo de exaustão até ao exterior (na face superior do módulo), através do negativo criado com dimensões M x M, devidamente tapado com um chapéu.

A título de exemplo, o chapéu pode ser simples ou do tipo saturno (figura 4.27) entre outros, pressupondo-se que a realização do telhado verde seja em torno do tubo.



Figura 4. 27 - Chapéu Simples (Esquerda) e Chapéu Saturno (Direita).

In http://www.mvm.pt/admin/Catalogos/CatVMInox_protegido.pdf. Data de acesso: 31-08-2013.

No processo referente à execução de trabalhos acessórios incluem-se as tarefas inerentes ao ajardinamento bem como ao revestimento do espaço existente entre a base dos módulos e o terreno – se aplicável. Pelo facto de se tratar de uma construção evolutiva, cujos módulos podem ser carregados e montados em variados locais, a referida área poderá ser assumida assim mesmo: sem qualquer revestimento (figura 4.28).



Figura 4. 28 - Habitação Modular: Sapatas sem Revestimento.

No presente caso, em que se pretende uma habitação evolutiva, mas cujas alterações cessem após realizada a fase três, considerou-se a existência de um *deck* (figura 4.29). A opção de não prolongar o revestimento, usando *MDFACHADA* prende-se com o facto de ser uma zona mais propícia a episódios que podem de alguma forma danificar o material. Assim, para a realização do *deck* salienta-se a escolha de um fornecedor, que tenha em linha de conta a proveniência de madeiras de florestas sustentáveis.

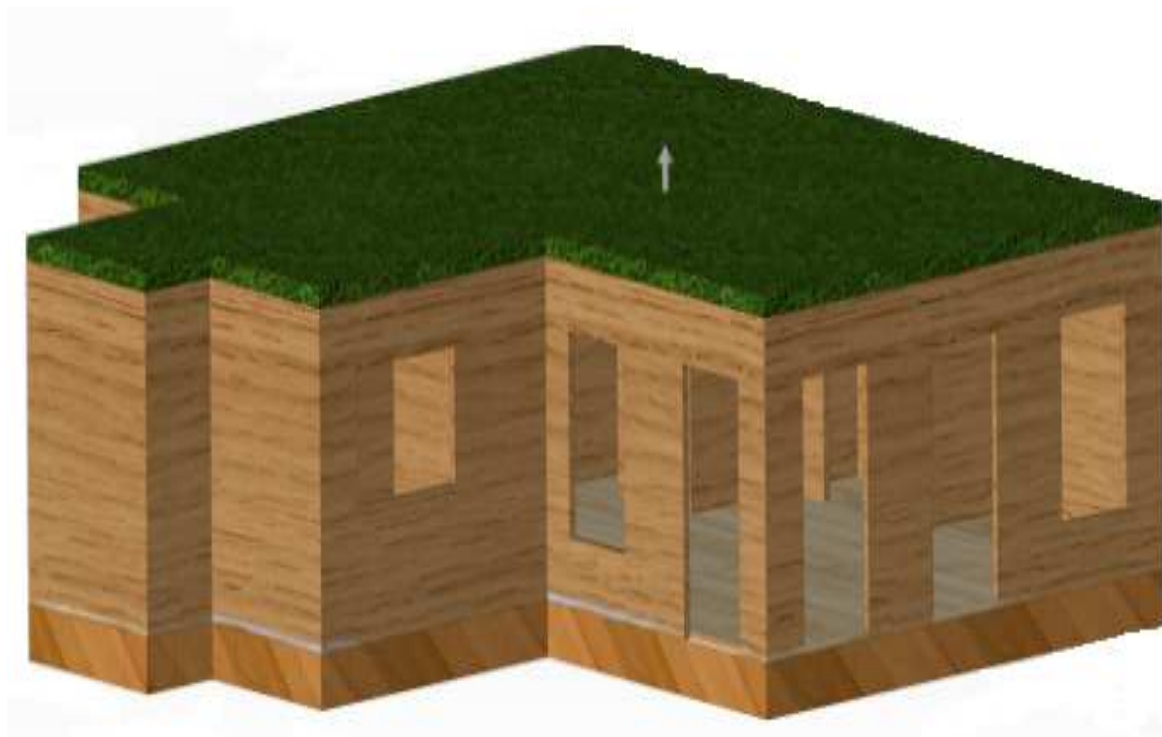


Figura 4. 29 - Habitação Modular: Existência de *Deck*.

É possível antecipar o reaproveitamento do revestimento exterior, que se tornará excedentário aquando da ampliação da habitação. Esta solução pode ser aplicada no revestimento da face frontal (F) do módulo alusivo ao WC na fase dois e no revestimento da face frontal (F) do quarto realizado na fase três, por exemplo.

Por fim, estando já a habitação modular terminada, procede-se à execução dos telhados verdes, contratando-se uma empresa especializada neste tipo de serviços.

A última ficha de procedimento do processo evolutivo encontra-se no quadro 4.13.

Ficha de Procedimento: Montagem Módulos		
Referência: FP.MM		
SEQUÊNCIA	PROCEDIMENTO	DESCRIÇÃO
1	Colocação de Módulos Sobre Fundações	Ligação dos pilares de canto às sapatas previamente realizadas Ligação dos módulos entre si por aparafusamento dos pilares de canto e por aparafusamento de chapas nas faces inferiores
2	Ligações das Infra-Estruturas	Ligação dos módulos às infra-estruturas previamente realizadas Colocação de peças sanitárias, pia lava-louças e sistema de exaustão
3	Execução de Trabalhos Acessórios	Realização de ajardinamentos Execução de revestimento no espaço criado entre os módulos e o terreno
4	Execução de Telhados Verdes	Colocação de telhados verdes por empresa especializada

Quadro 4. 13. - Ficha de Procedimento Referência FP.MM.

4.6 – PREMISSAS DO PROJECTO

No caso de a habitação anteriormente apresentada (a disposição dos módulos, concluída a terceira fase da habitação) não se poder enquadrar num determinado loteamento, a construção em altura é uma alternativa possível. Em primeira análise, o uso de CM não será entrave à referida solução uma vez que a sua estrutura permite a sobreposição. Um exemplo realista é o observável em portos marítimos: o empilhamento de CM é uma prática comum. Contudo, e dependendo da solução a adoptar, um estudo sobre eventuais reforços na estrutura poderá ter de ser considerado.

A inclusão de telhados verdes constitui apenas uma sugestão. Outras soluções (uso de painéis fotovoltaicos ou mesmo, não executar qualquer alteração nas faces dos CM, por

exemplo) podiam ser consideradas, salvaguardando no entanto, as características da habitação.

Aquando da montagem dos módulos *in situ* admite-se a existência de todas as infra-estruturas indispensáveis para a perfeita observância das normas inerentes à arte de construir: pontos de acesso a água, gás e luz, escoamento de águas residuais/pluviais, etc..

Em habitações ou edificações semelhantes à aqui apresentada, edificações com um carácter evolutivo, assume-se como boa prática, a criação de pontos de acesso às infra-estruturas e caixas de visita. Estes pontos podem ser criados estrategicamente estando identificados, por exemplo, nas plantas do edifício.

A figura 4.30 pretende ilustrar a eventual localização das caixas de visita em todas as fases da habitação modular em estudo.

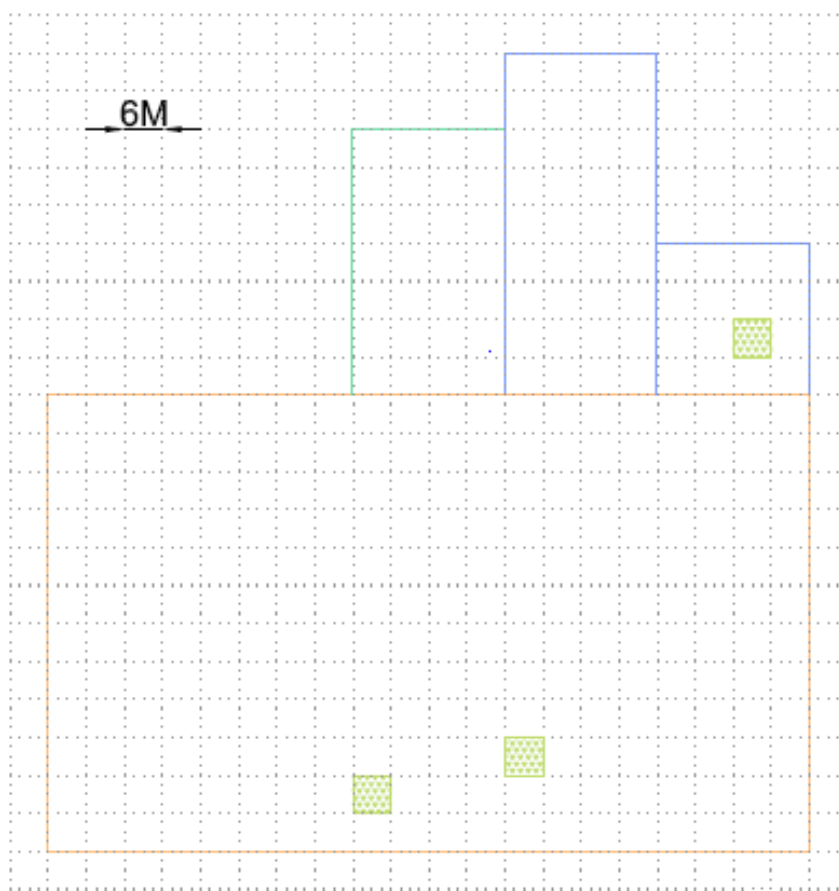


Figura 4. 30 - Possível Localização de Caixas de Visita: Fases 1, 2 e 3.

No que concerne às fundações, aquando da montagem dos módulos na sua localização final, estas já terão sido realizadas. As sapatas poderão ser betonadas *in situ* ou pré-fabricadas. Contudo, a última hipótese apresenta uma grande desvantagem: o elevado peso do elemento, o que dificulta, não só o processo de transporte, mas também o de montagem.

Ainda assim, e tratando-se de uma habitação modular, cujos módulos podem ser reposicionados em qualquer local durante o seu período de vida útil, optou-se por uma solução arrojada de sapatas.

As fundações *Sure Safe*⁷ (figura 4.31) são constituídas por um saco geotêxtil (que será preenchido com betão) e uma estrutura de suporte onde serão apoiados os módulos da habitação.

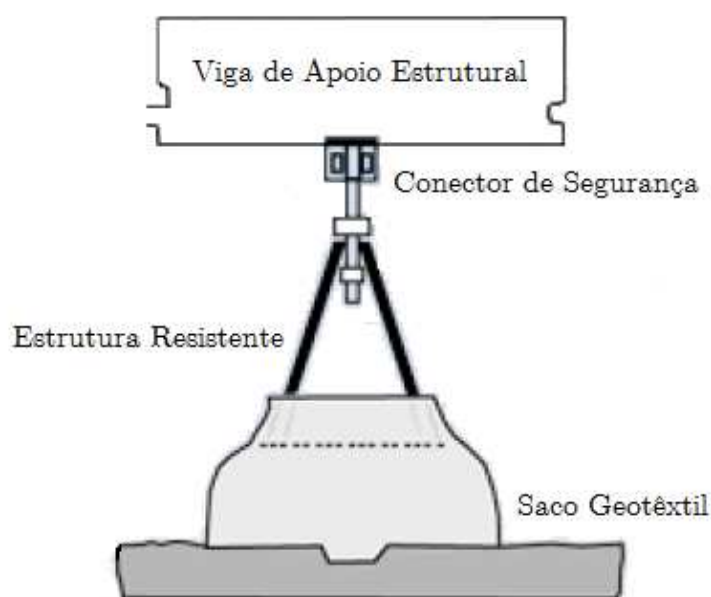


Figura 4. 31 - Fundação *Sure Safe*.

⁷ In *Sure Safe – Strong Foundations*. <http://www.suresafe.com/>. Data de acesso: 28-08-2013.

4.7 – SUSTENTABILIDADE APLICADA AO PROJECTO

Conforme Figuerola (2008) (aludido por Campos, 2009) uma edificação para ser sustentável “*deve considerar desde o projecto, o ciclo de vida dos materiais utilizados, a água e energia incorporadas, desde a sua construção, operação e manutenção, quantificando os impactos causados no meio ambiente e saúde humana.*”.

Assim, desde o início que a habitação foi idealizada por forma a incorporar, tanto quanto possível, materiais e soluções que preservem e protejam o meio ambiente. Exemplo disso é a reutilização de CM (e dos próprios módulos com eles construídos), bem como a opção pelo uso da cortiça – material 100% natural e totalmente renovável – nos revestimentos.

O reaproveitamento de águas pluviais é também uma opção em aberto.

Poder-se-á considerar a colocação de um reservatório de águas (a título de exemplo, sob os módulos, no espaço existente entre a habitação e o terreno), para onde seriam conduzidas as águas provenientes da cobertura, pelos tubos de queda.

A água armazenada será útil para a irrigação, ou sendo devidamente tratada, poderá servir para consumo interno (descargas dos autoclismos).

4.8 – PENSAMENTO *LEAN* APLICADO AO PROJECTO

O grande objectivo do pensamento *Lean* é a criação de valor (produzir mais, usando menos).

A habitação foi projectada, estipulando-se de imediato o processo de construção, de modo a minimizar erros e omissões que embaracem o processo de execução. Desta forma cria-se valor, com a metódica eliminação de desperdício: evitam-se actividades que consomem recursos e não agregam valor.

Parte dos onze princípios de Koskela para a melhoria do fluxo contínuo puderam ser associadas a práticas características da construção modular da habitação, tal como se demonstra no quadro 4.14.

Princípios de Koskela	Habitação Modular Evolutiva
Princípio 1 Aumentar Valor do Produto Considerando Necessidades dos Clientes	Módulos são produzidos quando cliente efectua pedido; Recursos não são consumidos em produção antecipada.
Princípio 2 Reduzir Tempo de Ciclo	Dimensão padrão racionaliza e eleva grau de industrialização; Com a industrialização reduz-se tempo de fabrico e montagem dos elementos.
Princípio 7 Reduzir a Variabilidade	Uniformização de dimensões e materiais; Realização de actividades sempre do mesmo modo e na mesma sequência.
Princípio 9 Aumentar Flexibilidade do Resultado Final	Reutilização e versatilidade dos módulos.

Quadro 4. 14. - Princípios de Koskela Aplicados na Habitação Modular.

4.9 – VIABILIDADE TÉCNICA DO SISTEMA

A viabilidade técnica do projecto resultará da avaliação da aptidão ao uso do sistema modular proposto. A análise considerada recai essencialmente sobre três requisitos, a saber:

- Requisitos de segurança;
- Requisitos de habitabilidade;
- Requisitos de durabilidade.

A cada um dos requisitos enunciados são atribuídas exigências de desempenho, expectáveis de serem cumpridas.

Os quadros 4.15 a 4.17 listam as exigências em estudo, ao mesmo tempo que se comenta as soluções propostas.

De salientar que uma análise técnica, por si só, se revelaria longa, dada a minuciosidade das exigências de desempenho inerentes a cada um dos requisitos. Tendo presente que o objectivo do trabalho é a idealização de uma habitação modular, não será possível detalhar todas as questões intrínsecas à mesma.

Justifica-se assim, a apresentação breve dos resultados da viabilidade técnica do sistema.

Requisitos de Segurança	Exigência de Desempenho	Análise da Solução
	Segurança Estrutural	Garantida pela estrutura resistente dos contentores marítimos e pelos reforços projectados para a cobertura.
	Segurança Contra Riscos de Incêndio	A simplicidade do projecto permite a evacuação dos utentes em condições de segurança e em tempo útil, facilitando ainda, a intervenção de serviços de socorro; Inclusão de materiais com elevada resistência ao fogo (ex.: cortiça).
	Segurança na Utilização	Assegurada pela simplicidade do projecto e pela qualidade da construção: inexistência de saliências perigosas, arestas cortantes e rebarbas ou rugosidades que causem lesões por atrito.
	Segurança Contra Intrusão	Vãos devidamente protegidos (portas e envidraçados) o que complica a intrusão de pessoas, animais e insectos; O corte/arrombamento das paredes é dificultado pela estrutura dos contentores marítimos.

Quadro 4. 15 - Exigência de Desempenho e Análise da Solução: Requisitos de Segurança.

Requisitos de Durabilidade	Exigência de Desempenho	Análise da Solução
	Facilidade de Limpeza e Manutenção	Assegurado pela qualidade dos revestimentos; Colocação de azulejos em áreas que requerem limpeza frequente (casas de banho, cozinha e área de serviço).
	Durabilidade	Garantida pela estrutura típica dos contentores marítimos.
	Sustentabilidade	Assegurada pela inclusão de materiais e soluções que preservam e protegem o meio ambiente.

Quadro 4. 16 - Exigência de Desempenho e Análise da Solução: Requisitos de Durabilidade.

Requisitos de Habitabilidade	Exigência de Desempenho	Análise da Solução
	Estanquidade à Água e ao Ar	Existência de tela de impermeabilização (no telhado verde) impede penetração da água pela cobertura; Qualidade do sistema vidro + caixilho garante estanquidade à água e ao ar nos vãos; Correcta execução de revestimentos exteriores garante estanquidade à água e ao ar pelas fachadas.
	Conforto Térmico e Poupança de Energia	Assegurado pela qualidade dos revestimentos; Corroborado com estudo conciso.
	Pureza do Ar	Assegurado pela existência de sistema de exaustão e pela ventilação natural da habitação.
	Conforto Acústico	Assegurado pela qualidade dos revestimentos; Corroborado com estudo conciso.
	Conforto Visual	Garantido pela utilização de contentores marítimos beneficiados, revestimento exterior incomum e pela homogeneidade das superfícies.
	Conforto Táctil	Assegurado pela qualidade dos revestimentos (texturas lisas e homogéneas).

Quadro 4. 17 - Exigência de Desempenho e Análise da Solução: Requisitos de Habitabilidade.

4.10 – VIABILIDADE ECONÓMICA DO SISTEMA

O quadro 4.18 resume a estimativa dos custos alusivos à estrutura e demais materiais a incorporar na habitação, em cada fase do processo evolutivo.

A massa considerada para galvanização corresponde à soma das massas dos elementos metálicos a galvanizar (cantoneiras e perfil tubular) com um acréscimo de 7%. Esta percentagem é alusiva ao remanescente em zinco, que decorre do processo de galvanização por imersão a quente.

	Fase 1 (86,4m ²)			Fase 2 (18,7m ²)			Fase 3 (10,1m ²)		
	Qtd	Preço Unit	Total (€)	Qtd	Preço Unit	Total (€)	Qtd	Preço Unit	Total (€)
Asnas (kg)	1030,9	2,5	2577,3	300,5	2,5	751,3	120,5	2,5	301,3
Galvanização (kg)	1103,1	0,6	678,4	321,5	0,6	197,7	128,9	0,6	79,3
Telhado Verde (m ²)	86,4	61,5	5313,6	18,7	61,5	1150,1	10,1	61,5	621,2
Contentor (unid)	3,0	3505,5	10516,5	1,0	3505,5	3505,5	1,0	3505,5	3505,5
<i>MDFACHADA</i> (m ²)	94,9	44,9	4258,7	43,9	44,9	1971,8	17,6	44,9	791,9
<i>GYPCORK</i> (m ²)	381,0	27,7	10558,2	105,1	27,7	2911,4	46,7	27,7	1294,4
Alumínio + Vidro (m ²)	20,3	98,4	2001,5	2,9	98,4	283,4	2,2	98,4	212,5
TOTAL (€/m²)	415,6 €/m ²			575,9 €/m ²			673,9 €/m ²		
TOTAL	35 904 €			10 771 €			6 806 €		

Quadro 4. 18 - Estimativa Orçamental.

Do quadro 4.18, pode-se inferir que os preços associados à habitação modular em estudo são inferiores aos praticados na construção tradicional.

Aos valores apresentados há ainda que acrescentar os equipamentos, a aquisição do terreno, assim como a realização das fundações e infra-estruturas.

Realizando uma pesquisa no mercado, conclui-se que comparativamente com a construção pré-fabricada em madeira⁸, os valores da habitação apresentada, continuam a ser inferiores. O quadro 4.19 estabelece uma comparação entre os custos da habitação modular e a pré-fabricação em madeira, tendo em consideração a tipologia e a área da habitação; deste modo conclui-se que também há o ganho em termos de área da habitação.

Tipologia	Habitação Modular			Pré-Fabricação Madeira		
	Área	Custo	€/m ²	Área	Custo	€/m ²
T1	86,4m ²	35 904 €	415,6	40m ²	36 741 €	918,5
T2	105,1m ²	46 675 €	444,1	72m ²	64 174 €	891,3
T3	115,2m ²	53 481 €	464,2	93m ²	76 032 €	817,6

Quadro 4. 19 - Comparação de Custos: Habitação Modular vs. Pré-fabricação em Madeira.

O quadro 4.20 estabelece os preços da habitação por metro quadrado de área útil para uma construção tradicional fixados na Portaria n.º 358/2012 de 31 de Outubro, para o ano de 2013. As zonas indicadas são esclarecidas na referida Portaria.

Construção Tradicional	
Zona do País	€/m ²
Zona I	793,21
Zona II	693,38
Zona III	628,19

Quadro 4. 20 - Construção Tradicional: Preços da Habitação a Vigorar em 2013.

⁸ In *Novo Habitat*: <http://www.novohabitat.com.pt/index.html>. Data de acesso: 19-08-2013.

Da análise comparativa dos quadros 4.19 e 4.20 conclui-se que a habitação modular apresenta custos por metro quadrado inferiores aos recomendados na Legislação Portuguesa para a construção tradicional, independentemente da zona do país.

4.11 – EPÍTOME DO CAPÍTULO

A construção modular evolutiva visa contrariar a falta de dinamismo inerente à construção tradicional. A habitação aqui proposta foi idealizada por forma a poder evoluir de tipologia T1 até T3, considerando as dimensões e áreas regulamentares.

A dimensão base modular M considerada foi de 0,10m, tal como adoptado por Portugal. Toda a estrutura da habitação foi pensada para incorporar CM; o uso destes permite a construção com custos mais baixos.

Como forma de minimizar o efeito pernicioso da construção sobre o meio ambiente, ao mesmo tempo que se proporciona conforto térmico e acústico, foi considerada a inclusão de uma solução de coberturas verdes. A sustentabilidade não foi descurada na idealização do projecto, considerando-se o uso de materiais e soluções pensadas em prol do ambiente. Exemplo disso é a aplicação de cortiça – produto natural e 100% renovável, com óptimas características térmicas e acústicas – nos revestimentos.

O planeamento dos trabalhos foi baseado numa *WBS*, complementado com fluxogramas do planeamento, fabrico, transporte e montagem, bem como com fichas de procedimentos.

Sempre que possível, estabeleceu-se um paralelismo entre o pensamento *Lean* e a construção modular.

Do estudo apresentado pode ainda concluir-se, que a construção modular é uma alternativa economicamente viável, quando comparada com a construção tradicional (análise com base nos preços fixados em Portaria), ou mesmo, com a pré-fabricação em madeira (análise comercial com base nos preços de mercado).

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adaptação do “mundo” que nos envolve, à medida das nossas crescentes necessidades, é sem dúvida, o resultado da sede de conhecimentos aliada à constante carência que o Homem tem de evoluir.

Exemplo disso é a possibilidade de flexibilizar o ambiente construído, adequando-o de acordo com o desenvolvimento do meio circundante.

No termo deste trabalho, torna-se importante salientar não só as conclusões que o estudo proporcionou, assim como suscitar desenvolvimentos futuros que se considerem pertinentes.

Todavia, em primeira análise é indicada uma abordagem sucinta, do estado relativo à pré-fabricação em Portugal referindo-se um caso tipo.

5.1 – A PRÉ-FABRICAÇÃO EM PORTUGAL: CASO TIPO

O acto de industrializar confere à construção um contributo evidente quer em termos de qualidade, quer em termos económicos e ambientais. O aperfeiçoamento dos materiais e a utilização de novas tecnologias conduziram a uma notória evolução da pré-fabricação.

Contudo, questões com um carácter não tão técnico levam a uma extrema necessidade de repensar a construção, independentemente da forma como esta possa ser materializada.

Neste contexto, a *Uchi* desenvolvida sob o conceito de “Casa Caracol” surge como uma resposta para o comportamento social e económico em que vivemos, de acordo com o seu criador, Eurico Silva. Foi desenvolvido um módulo com 21m², económico, ecológico e com uma elevada componente de versatilidade (figura 5.1).



Figura 5. 1 - Módulo *Uchi*. Facultado por Eurico Silva, 2013.

Uma visita ao espaço onde se encontra o modelo *Uchi* permitiu conhecer um módulo realizado com um “esqueleto” metálico, sendo depois revestido com placas de contraplacado marítimo. O módulo encontra-se assente sobre sapatas de betão. No seu interior, que se apresenta como uma área ampla, estão bem delimitados os espaços destinados a receber as instalações sanitárias, assim como a pia lava-louças, sem que existissem no entanto, as respectivas ligações às infra-estruturas.

A *Uchi* constitui então, uma das aplicações da pré-fabricação e da construção modular em Portugal. Os módulos são preparados em fábrica (existindo um determinado grau de liberdade, de modo a que o cliente possa personalizar o seu interior), sendo depois transportados para qualquer lugar.

5.2 – DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Apesar da construção modular constituir um recurso indubitável na racionalização do edificado, algumas considerações não poderão ser descuradas.

De modo a tirar o maior partido dos princípios da coordenação modular, será necessário verificar a compatibilidade dos diversos elementos e componentes existentes no mercado da construção civil. A análise dessa compatibilidade deverá ser suficientemente abrangente por forma a equacionar factores como o desperdício, a produtividade e os custos associados à sua aplicação.

A revisão das dimensões dos lotes de construção em função da coordenação modular e a criação de módulos-base cujas dimensões tenham em linha de conta o uso de meios de transporte correntes (sem que necessitem de emissão de licenças especiais), constituem outros factores que não devem ser negligenciados.

No âmbito do pensamento *Lean*, estudos futuros podem ser concretizados como forma de implementação de certos princípios no sector da construção modular, assim como, na construção tradicional. Como exemplo, aponta-se a produção de elementos com uma dimensão modular padrão, o aumento da flexibilidade do resultado final e a consideração das necessidades dos clientes (imediatas e futuras).

Por último, mas não menos importante, a procura incessante de materiais e técnicas construtivas alternativas, que fomentem a redução do impacto ambiental originado pelo acto de construir.

5.3 – CONCLUSÃO

A idealização de uma habitação modular com características evolutivas foi o objectivo crucial deste trabalho. A ideia surgiu como forma de solucionar os entraves inerentes à construção tradicional: edificações que se mantêm inalteráveis ao longo do tempo. Foram então estudados os princípios da coordenação modular, cuja história foi evoluindo ao longo dos tempos e cujo intuito é a racionalização da construção.

Tendo em conta o módulo base adoptado por Portugal, a dimensão modular M considerada foi de 0,10m. Assim, foi (quase sempre) possível, uniformizar as dimensões dos componentes e dos espaços, tendo sido criada uma habitação modular de tipologia T1 com possibilidade de evolução até à tipologia T3.

Definido o projecto da habitação, com recurso a uma *WBS*, o trabalho foi planificado. A produção de todos os elementos e dos módulos-base passou por um conjunto de etapas (planeamento, fabrico, transporte e montagem) previamente elucidados com recurso a fluxogramas e fichas de procedimento.

Os materiais considerados, desde a produção dos módulos-base com recurso a CM, até aos revestimentos e demais soluções a incorporar, foram fruto da tentativa de conceber uma habitação, na qual se encontrassem patentes soluções sustentáveis.

Do emprego dos princípios da construção modular – utilização de uma dimensão modular, sistemas de referência – os custos, desperdícios e o tempo foram racionalizados, o que comprova a viabilidade económica do sistema. Após a realização de uma estimativa dos custos associados à solução proposta concluiu-se que são inferiores aos praticados na construção tradicional, assim como, na construção pré-fabricada em madeira.

Pese embora a repetição do módulo-base ao longo de todo o processo produtivo, a construção modular não deve ser observada como um entrave à flexibilidade estética e criativa. O objectivo é tão-somente a criação de um sistema mais eficiente que possa ser visto como uma alternativa e que colmate determinados lapsos inerentes à construção tradicional. O fabricante e/ou o cliente têm uma liberdade quase total de personalização do ambiente construído.

Do retorno da investigação bibliográfica implementada para a realização deste estudo, transpareceu a ideia de que os princípios em análise não são aplicados a uma escala notável em Portugal.

Muito embora os resultados teóricos sejam considerados positivos, o seu real efeito só poderá ser analisado aquando da efectiva concretização de pelo menos um módulo-base. Certo será que na prática determinados detalhes necessitem ser ajustados. No entanto, é expectável que o sistema proposto para a habitação modular possua grande aceitação por parte da população e que possa ser aplicado a outro tipo de edifícios. Por um lado, por ser de (relativa) fácil execução e por outro, devido à boa relação obtida entre custos/benefícios (quer sejam estes, de carácter ambiental ou de carácter prático para os utilizadores das estruturas).

Como nota final, importa salientar que a solução exposta, ainda que tente ser suficientemente abrangente, não abriga todos os pormenores e condições a ter em conta (exemplo disso, o processo de licenciamento de edifícios evolutivos). É apenas um ponto de partida.

A busca de novas soluções deve ser permanente.

BIBLIOGRAFIA

Azevedo, P. M. F., 2011. Montagem de Laboratório para Estudo Experimental de Coberturas Verdes. Universidade de Aveiro, pp 4-18.

(Dissertação de Mestrado).

Baldauf A., 2004. Contribuição à Implementação da Coordenação Modular da Construção no Brasil. Porto Alegre, Brasil, pp 60-61.

(Dissertação de Mestrado).

Bregatto P. R., 2008. Coordenação modular – Parte I, II e III.

(Disponível em <http://bregatto.blogspot.pt> [Data de acesso: 16-03-2013]).

Bruna P. J. V., 1976. Arquitectura, Industrialização e Desenvolvimento. São Paulo: Perspectiva.

Campos A., 2009. Projecto de Habitação de Interesse Social Segundo a Coordenação Modular e os Princípios do Ecodesign. Universidade Estadual de Londrina. Paraná, Brasil, pp 29-30; 41.

(Dissertação de Mestrado).

Castelo J. L., 2008. Desenvolvimento de Modelo Conceptual de Sistema Construtivo Industrializado Leve Destinado à Realização de Edifícios Metálicos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pp 57.

(Dissertação de Mestrado).

Chemillier P., 1980. Industrialización de la Construcción. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.

Chiebao, F., 2011. Cortiça e Arquitectura. Edição da Euronatura, Lisboa, pp 14-34.

Ching F. D. K., 1998. Arquitectura: Forma, Espacio y Orden. México: GG.

Couto A. B. & Couto J. P., 2007. Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-fabricação. Universidade do Minho, pp 1-4.

Eurocódigo 3 – Projecto de Estruturas de Aço; Parte 1-1: Regras Gerais e Regras para Edifícios. NP EN 1993-1-1, 2010.

Ferreira, A. R. P. C., 2007. Soluções Técnicas para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação. Instituto Superior Técnico, pp 1.

(Dissertação de Mestrado).

Ferreira M. A., 2003. A Importância dos Sistemas Flexibilizados, pp 8.

(Apontamentos Universidade Federal de São Carlos).

Figuerola V., 2008. Projecto Sustentável – Arquitectura com Foco na Sustentabilidade Requer Integração de Equipes e Coordenação de um Profissional Especializado. Revista Techne, nº133. Editora Pini Ltda, Abril 2008.

Fradinho M., 2011. Arq. & Design. Edição nº 1, Março/Abril 2011.

(Disponível em <http://oquequeroserquandoforgrande.blogspot.pt/2011/03/2011-arq-edicao-n1-marcoabril-c-arq.html> [Data de acesso: 21-04-2013]).

Gonçalves W. K. F., 2009. Utilização de Técnicas *Lean* e *Just in Time* na Gestão de Empreendimentos e Obras. Universidade Técnica de Lisboa, pp 6-8; 18-25.

(Dissertação de Mestrado).

Greven H. A. & Baldauf A., 2007. Introdução à Coordenação Modular da Construção no Brasil: Uma Abordagem Actualizada. Coleção Habitare. Porto Alegre, Brasil: Associação Nacional do Ambiente Construído – ANTAC, pp 12-53.

Grisotti M. A., 1971. A Industrialização da Construção em Relação à Primeira e à Segunda Revolução Industrial. A industrialização da construção, FAUUSP, v.2, Setembro 1971.

Koskela L., 2000. An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction. Espoo, Finlândia: VTT Publications.

(Disponível em <http://www.leanconstruction.org/pdf/P408.pdf> [Data de acesso: 06-04-2013]).

Lawson M., 2007. Technical: Building using modules, New Steel Construction, Volume 10, n.5, Outubro 2007.

Mascaró L. E. R. de, 1976. Coordinación Modular? Qué és? Summa, Buenos Aires, n°103, pp 20-21, Agosto 1976.

Mateus R., 2004. Novas Tecnologias Construtivas com Vista à Sustentabilidade da Construção. Universidade do Minho, pp 11-12.

(Dissertação de Mestrado).

Minguet, J. M. & Mira, O., 2010. Roofs, Cubiertas, Coberturas. Instituto Monsa de Ediciones. Barcelona, Espanha.

Nunes I. J. D., 2010. Aplicação de Ferramentas *Lean* no Planeamento de Obras. Instituto Superior Técnico, pp 8-18.

(Dissertação de Mestrado).

Ordonéz J. A. F., 1974. Pre-fabricacion: Teoria y Prática. v.1. Barcelona: Editores Técnicos.

Patinha S. M., 2011. Construção Modular – Desenvolvimento da Ideia: Casa Numa Caixa. Universidade de Aveiro, pp 1-2; 7-25; 46-47.
(Dissertação de Mestrado).

Pereira, H. A., Forte, R. D. B. & Magalhães, S. M., 2006. Sistema Modular Prefabricado em Betão: Passeios Prefabricados. Instituto Superior de Engenharia do Porto, pp 18.
(Seminário II, Licenciatura em Engenharia Civil).

Pigozzo B., Serra S. M. & Ferreira M., 2005. A Industrialização na Construção e o Estudo de uma Rede de Empresas em Obra de Pré-fabricados em Concreto Armado. XII SIMPEP – Bauru. São Paulo, Brasil, pp 2-5.

Pina dos Santos, C. A. & Matias, L. M. C., 2006. Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente de Edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Portaria n.º 358/2012, de 31 de Outubro de 2012.

Raynsford N., 2000. Building a Better Quality of Life. Department of the Environment, Transport and the Regions. London, Abril 2000, pp 7.

Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 80 de 4 de Abril de 2006.

Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes. Decreto-Lei n.º 235 de 31 de Maio de 1983.

Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 96 de 9 de Junho de 2008.

Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Decreto-Lei n.º 38 382 de 7 de Agosto de 1951.

Regulamento Geral do Ruído. Decreto-Lei n.º 9 de 17 de Janeiro de 2007.

Revel M., 1973. *La Prefabricacion em La Construcion*. 1.ed. Bilbao: Urmo, pp 457.

Rôla E. S., 2010. *Princípios da Lean Construction e Critérios Competitivos da Produção: Existe Alguma Relação Entre Eles?* Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Brasil, pp 18-20.

Rosso T., 1976. *Teoria e Prática da Coordenação Modular*. São Paulo: FAUUSP.

Sabbatini F. H., 1989. *Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos: Formulação e Aplicação de uma Metodologia*. USP-PCC São Paulo, Brasil.
(Tese de Doutorado).

Silva, N. C., 2011. *Telhado Verde: Sistema Construtivo de Maior Eficiência e Menor Impacto Ambiental*. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil, pp 13-30.

Silva, P. C. P., 2006. *Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais Através de Simulação em Visual IDOE*. Universidade do Minho, pp 39.
(Dissertação de Mestrado).

Sirgado, J., F., C., 2010. Análise do Impacto dos Vãos Envidraçados no Desempenho Térmico dos Edifícios. Instituto Superior Técnico, pp 15-16.

(Dissertação de Mestrado).

Vasconcellos A. C., 2002. O Concreto no Brasil – Pré-fabricação, Monumentos, Fundações. Volume III. São Paulo: Studio Nobel.

Womack J. & Jones D., 2003. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. 2^a ed. UK: Free Press Business

Yeang K., 1999. Projectar com la Natureza: Bases Ecológicas para el Proyecto Arquitectónico. Barcelona: GG.

ANEXO I

TELHADOS VERDES

♦ Introdução aos Telhados Verdes

Com a crescente preocupação de mitigar o impacto ambiental resultante das acções que o homem exerce, novas alternativas às soluções tradicionais devem ser consideradas.

A implementação de uma camada de vegetação sobre as coberturas dos imóveis beneficia significativamente tanto a sociedade como as edificações. Esta solução de cobertura caracteriza um telhado verde.

A informação que a seguir se explana (quadros I.1 e I.2) resulta de uma sucinta pesquisa bibliográfica, com especial ênfase nos trabalhos de Silva (2011) e Azevedo (2011).

Telhados Verdes: Vantagens	
Económicas	Economia de energia
	Diminuição das ilhas de calor
	Aproveitamento de águas pluviais
	Incremento da vida útil da cobertura
	Produção de alimentos
Ambientais	Melhoria da qualidade do ar
	Isolador natural do som
	Redução da poluição
	Aumento da biodiversidade local
	Aumento de áreas verdes em centros urbanos
Estéticas e Sociais	Natureza visual mais atraente
	Variedade possível de usos (parque infantil, campo de golfe, ...)

Quadro I. 1 – Benefícios dos Telhados Verdes.

Telhados Verdes: Tipos e Características	
Extensivo	Cultivo de plantas rasteiras
	Necessidade de menor volume de água
	Baixa manutenção
	Baixa sobrecarga
Intensivo	Cultivo de plantas de porte médio a grande
	Necessidade de volume de água considerável
	Elevada manutenção
Semi-intensivo	Elevada sobrecarga
	Reúne características do tipo extensivo e intensivo

Quadro I. 2 – Tipos de Telhados Verdes e suas Características.

♦ Composição dos Telhados Verdes

Independentemente do tipo de telhado verde ser intensivo ou extensivo, a sua constituição é realizada por camadas com uma função específica. A figura I.1, adaptada de *Sociedade Verde*⁹, evidencia um esquema geral da composição própria de um telhado verde.

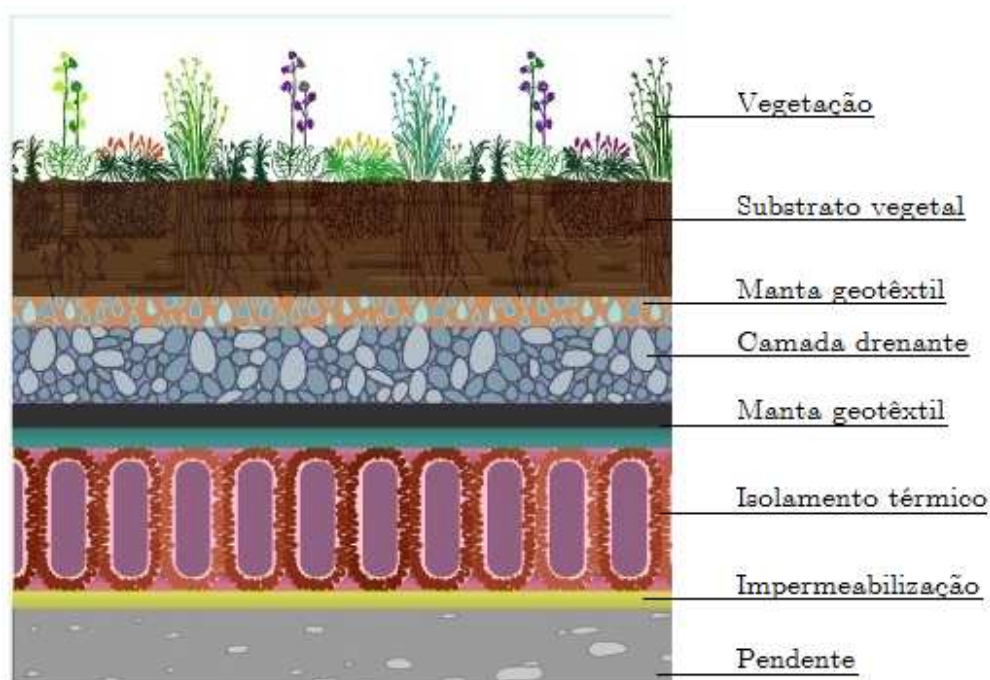


Figura I. 1 – Composição de Telhados Verdes.

⁹ In *Sociedade Verde*. <http://sociedadeverde.org/br/telhado-verde/>. Data de acesso: 31-05-21013.

Tendo presente o estudo de Minguet & Mira (2010) indicam-se a seguir, as funções atribuídas às diferentes camadas.

✓ **Pendente:** usada para formar inclinações que permitam escoar a água da chuva. Deverá ter uma espessura entre 2 a 30cm, com uma inclinação mínima de 2%.

✓ **Impermeabilização:** camada de protecção contra as infiltrações. Especial cuidado deve ser tido na fase de construção (e posterior eventual manutenção), de modo a manter intactas as características de estanquidade de águas. Existem numerosas soluções, mas normalmente são usadas lâminas betuminosas que são estendidas, sobrepostas e soldadas em obra, de modo a conseguir-se uma perfeita continuidade.

✓ **Isolamento térmico:** camada com uma espessura de 6 a 8cm que contribui para a redução da carga térmica. É instalada sob a forma de placas que podem ser de lã de rocha, fibra de madeira, cortiça, etc.

✓ **Manta geotêxtil:** é uma camada intercalada entre os elementos fundamentais para manter a eficácia do sistema, servindo ao mesmo tempo, como protecção.

✓ **Camada drenante:** auxilia no escoamento do excesso de água, ao mesmo tempo que favorece a separação de poluentes, funcionando como um filtro. Serve ainda como nivelamento da estrutura do telhado. A brita é um exemplo de um material que se pode usar.

✓ **Manta geotêxtil:** mesma funcionalidade que a descrita anteriormente.

✓ **Substrato vegetal:** é a camada responsável pelo desenvolvimento da vegetação. A sua espessura é variável consoante o tipo de cobertura. Numa cobertura do tipo extensivo,

em que a vegetação é de pequeno porte, a espessura do substrato vegetal situa-se entre 5 a 15cm. Nos casos em que a espessura da terra vegetal seja superior a 30cm, anula-se a necessidade de colocação de isolamento térmico, pois a camada de terra trará esse efeito. Ainda assim, a aplicação de uma camada de isolamento térmico, ainda que com uma espessura reduzida (de 4 a 6cm) é muitas vezes aconselhada.

✓ **Vegetação:** numa cobertura do tipo extensivo são usadas grama ou plantas tipo trepadeiras.

ANEXO II

SOLUÇÃO PARA ASNA

♦ **Acções**

Como se pretende a idealização da construção de uma habitação modular, desconhece-se de antemão a sua eventual zona de implementação. Tal condicionante implica que o cálculo da acção do vento, neve e sismo, fruto da sua especificidade, deva ser analisado caso a caso. Deste modo, não foi considerada a actuação destas acções no cálculo dos esforços. Nas asnas e madres da cobertura, apenas foram contabilizados os esforços relativos ao peso próprio bem como à sobrecarga, tal como disposto no Artigo 34º do Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA).

Cargas Admitidas na Cobertura	
Carga Telhado Verde	1,5kN/m ² ($\gamma_G=1,35$)
Sobrecarga	0,5kN/m ² ($\gamma_Q=1,5$)

Quadro II. 1 – Cargas na Cobertura..

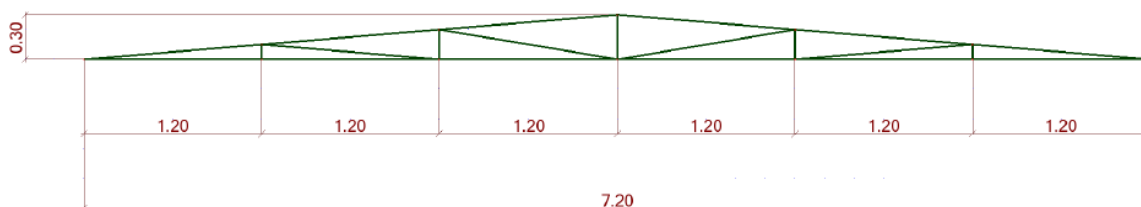


Figura II. 1 – Dimensões das Barras da Asna da Cobertura.

✓ Combinação de acções de acordo com o RSA:

$$N_{sd} = \gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q \quad (1)$$

$$N_{sd} = 1,35 \times 1,5 + 1,5 \times 0,5 = 2,78 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} R_A + R_B - 2,78 \times 3 \times 7,2 &= 0 & \rightarrow R_A &= 30 \text{ kN} \\ R_B \times 7,2 - 2,78 \times 3 \times 7,2 \times 3,6 &= 0 & \rightarrow R_B &= 30 \text{ kN} \end{aligned}$$

♦ **Esforços**

Considerando uma distribuição de cargas com base em áreas de influência e um espaçamento de 3m entre asnas, obtém-se as cargas aplicadas de acordo com a figura II.2:

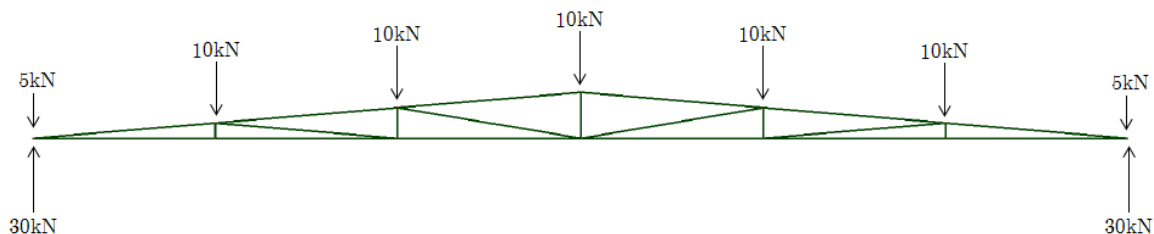


Figura II. 2 – Cargas Aplicadas na Asna da Cobertura.

Os esforços nas barras foram determinados com recurso ao método de equilíbrio dos nós. Os resultados obtidos encontram-se no quadro II.2, bem como a indicação de barras traccionadas (T) ou comprimidas (C).

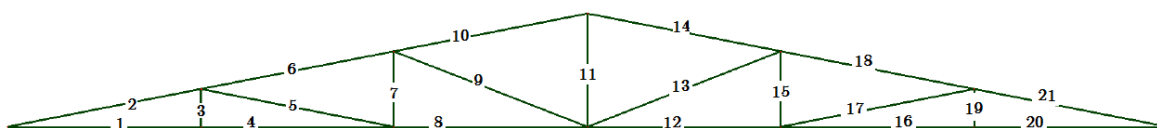


Figura II. 3 – Numeração das Barras da Asna da Cobertura.

Esforços nas Barras (kN)					
Barra 1	297,7 (C)	Barra 8	238,1 (C)	Barra 15	5 (C)
Barra 2	298,8 (T)	Barra 9	60,5 (T)	Barra 16	297,7 (C)
Barra 3	0	Barra 10	179,1 (T)	Barra 17	59,8 (T)
Barra 4	297,7 (C)	Barra 11	20 (C)	Barra 18	239 (T)
Barra 5	59,8 (T)	Barra 12	238,1 (C)	Barra 19	0
Barra 6	239 (T)	Barra 13	60,5 (T)	Barra 20	297,7 (C)
Barra 7	5 (C)	Barra 14	239 (T)	Barra 21	298,8 (T)

Quadro II. - 2 Resultados dos Esforços nas Barras da Asna da Cobertura.

♦ **Pré-Dimensionamento da Asna**

De acordo com a distribuição de esforços atrás indicada adoptam-se três secções distintas para os perfis a incorporar na asna: cordas superior e inferior, diagonais e madres. No caso das cordas superior, inferior e diagonais, a solução é tomada com base na área necessária para o perfil (equação 2) recorrendo a uma tabela de perfis metálicos. Para as madres, a solução vem em função do momento plástico resistente (equação 5), recorrendo-se também neste caso, a uma tabela de perfis metálicos. Admite-se que as secções serão ligadas por soldadura.

✓ Dimensionamento das barras de acordo com o Eurocódigo 3, Parte 1-1:

$$N_{Ed} \leq N t_{Rd} = \frac{A_x \times f_y}{\gamma_{M0}} \text{ onde,} \quad (2)$$

$$\gamma_{M0} = 1,0 \text{ e } f_y (S275) = 275 \text{ N/mm}^2$$

• **Cordas Superior e Inferior:**

$$N_{Ed} = 298,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N t_{Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} \leftrightarrow 298,8 = \frac{A \times 275 \times 10^3}{1,0} \leftrightarrow A \geq 10,87 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 10,87 \text{ cm}^2$$

▪ **Solução:** L 80x80x7 → $A = 10,9 \text{ cm}^2$

• **Diagonais:**

$$N_{Ed} = 60,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N t_{Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} \leftrightarrow 60,5 = \frac{A \times 275 \times 10^3}{1,0} \leftrightarrow A \geq 2,2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 2,2 \text{ cm}^2$$

▪ **Solução:** L 30x30x4 → $A = 2,27 \text{ cm}^2$

• **Madres:**

$$p = (\gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q) \times l_{\text{influência}} \quad (3)$$

$$p = (1,35 \times 1,5 + 1,5 \times 0,5) \times 1,2 = 3,33 \text{ kN/m}$$

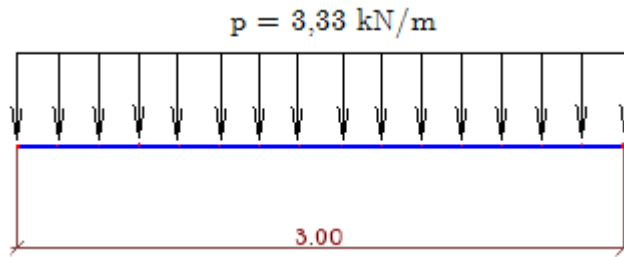


Figura II. 4 – Cargas Aplicadas nas Madres da Cobertura.

$$M_{Ed} = \frac{p \times L^2}{8} \quad (4)$$

$$M_{Ed} = \frac{3,34 \times 3^2}{8} = 3,75 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5)$$

$$3,75 = \frac{W_{pl} \times 275 \times 10^3}{1,0} \leftrightarrow W_{pl} = 1,36 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

▪ **Solução:** RHS 60x40x4 → $W_{pl} = 1,38 \times 10^{-5} \text{ m}^3$

♦ **Esquema e Pormenores da Solução**

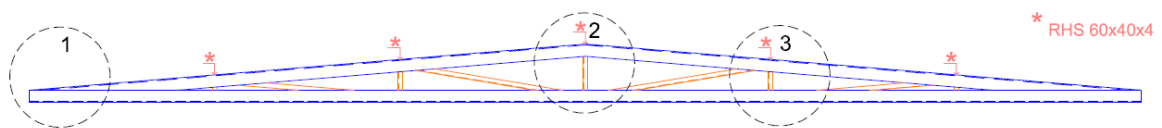
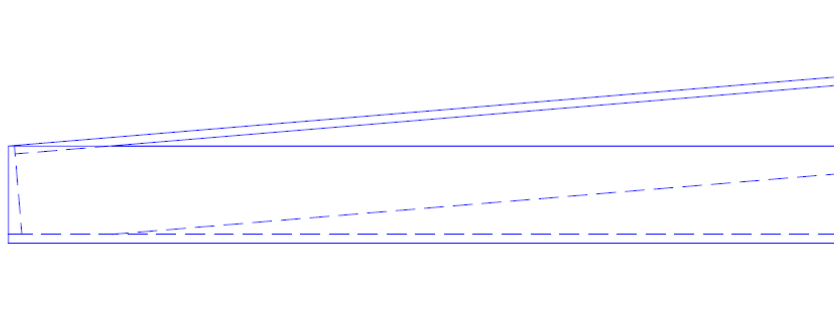


Figura II. 5– Esquema da Solução da Asna da Cobertura.

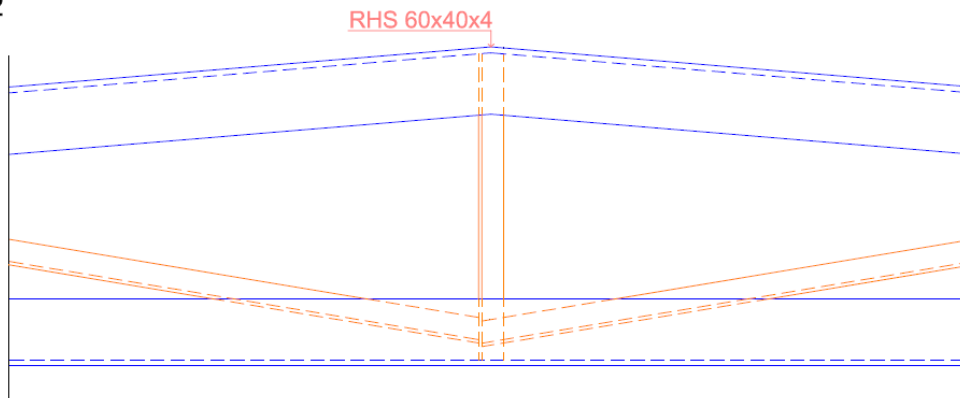
1



Cantoneira L80x80x7

Figura II. 6 – Pormenor 1: Ligação Cordas Superior e Inferior.

2



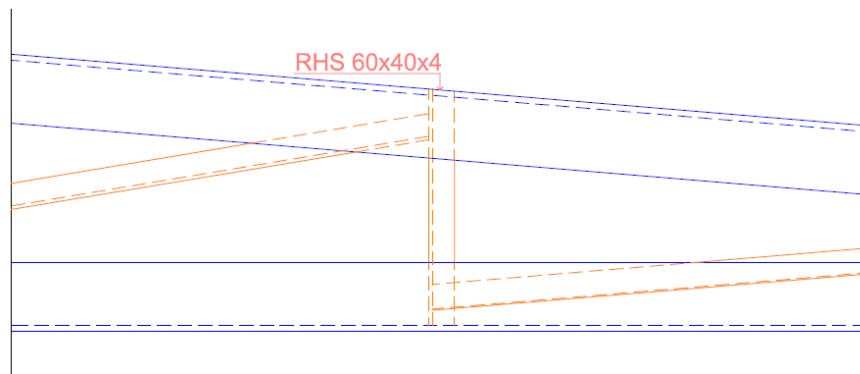
Cantoneira L30x30x4

Cantoneira L80x80x7

Perfil Tubular Rectangular RHS 60x40x4

Figura II. 7 – Pormenor 2: Ligação Cordas Superior e Inferior e Diagonais.

3



Cantoneira L30x30x4

Cantoneira L80x80x7

Perfil Tubular Rectangular RHS 60x40x4

Figura II. 8 – Pormenor 3: Ligação Diagonais.

ANEXO III

RESUMO TÉCNICO *GYPCORK*

RESUMO TÉCNICO *MDFACHADA*

PLACA GYPCORK

A nova placa GYPCORK reúne dois produtos portugueses de excelência: as placas de gesso laminado Gyptec produzidas na Figueira da Foz, utilizando matérias primas ecológicas e métodos não poluentes e o aglomerado de cortiça expandida, excelente isolamento térmico e acústico produzido pela Amorim Isolamentos, através de um processo 100% natural e sem desperdícios.

Principais Vantagens

- Aumenta o conforto interior;
- Contribui para a poupança de energia;
- Aumenta o isolamento acústico a sons aéreos e de percussão;
- Sistema de aplicação rápida e fácil;
- Suporta todo o tipo de revestimentos (tinta, papel de parede ou azulejos);
- Mantém o acabamento perfeito sem fissuras ou deformações.



Largura (mm)
1200

Espessura (mm)
42,5 / 52,5 / 69,5 / 72,5

Comprimento (mm)
2000 / 2400

Alto desempenho térmico e acústico para aplicação no interior

Reabilitação Sustentável

GYPCORK é um produto de baixa energia incorporada, com elevada percentagem de subprodutos de outras indústrias e materiais renováveis que contribuem para a absorção de CO2.

Esta nova solução construtiva multicamada para paredes com recurso a subprodutos sustentáveis, resulta de um estudo que a Gyptec Ibérica está a desenvolver com o Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons), no âmbito de um Vale I&DT.

O produto final, desenvolvido internamente pela Gyptec Ibérica, cumpre as exigências da norma EN-14190.



DESCUBRA MAIS

<http://www.gyptec.eu/reabilitacao.php>



AMORIM

Amorim Isolamentos S.A.

Rua da Corticeira, nº 66, Meladas
4535-173 Moselos, VRF - Portugal
T (+351) 227 419 100 - F (+351) 227 419 101
geral.aisol@amorim.com - www.amorim.com



GESSO LAMINADO | YESO LAMINADO | DRYWALL

Parque Ind. e Emp. da F. da Foz, Lt. 3 - S. Pedro
3090-380 Figueira da Foz - Portugal
T (+351) 233 403 050 - F (+351) 233 430 126
geral@gyptec.eu - www.gyptec.eu

Fixação com Cola

As placas GYPCORK são coladas diretamente à parede. Neste processo de forma a garantir uma execução correta de todo o sistema, aconselha-se o uso de cola adesiva GA Gyptec.

DOC 07/01-14-REV00



Aplicar os pontos de cola afastados 40 cm, reforçando no perímetro de cada placa. A cola pode ser aplicada na placa ou diretamente na parede.

Dependendo das condições do suporte, o consumo de cola varia entre os 2,5 e os 5 kg/m².

Vantagens

- Aumenta o conforto interior;
- Contribui para a poupança de energia;
- Mantém o acabamento perfeito sem fissuras ou humidades;
- Versatilidade de aplicação;
- Ideal para superfícies irregulares.

Fixação Mecânica

Aparafusar perfis auxiliares à parede para fixação posterior das placas. Neste processo de forma a garantir uma execução correta de todo o sistema, aconselha-se o uso de acessórios Gyptec.



Aplicar os perfis Omega na vertical ou horizontal seguindo um afastamento máximo de 60 cm.



Podem-se aplicar nas zonas superior e inferior perfis horizontais para facilitar a aplicação de remates e rodapés.

Vantagens

- Aumenta o conforto interior;
- Contribui para a poupança de energia;
- Mantém o acabamento perfeito sem fissuras ou humidades;
- Melhor suporte mecânico;
- Facilidade de instalação de condutas;
- Maior fixação em paredes degradadas.


AMORIM
Amorim Isolamentos S.A.



 **Gyptec**
IBÉRICA
GESSO LAMINADO | YESO LAMINADO | DRYWALL

Aplicação

Quando não é possível ou aconselhável intervir pelo exterior, o isolamento pelo interior apresenta-se como uma opção adequada e eficaz para reabilitar os edifícios e aumentar o conforto térmico e acústico no seu interior.

A solução passa pela aplicação de placa composta de gesso laminado Gypotec com aglomerado de cortiça expandida Amorim Isolamentos.

Vantagens:

- Aumenta o conforto interior
- Contribui para a poupança de energia
- Aumenta o isolamento acústico a sons aéreos e de percussão
- Sistema de aplicação rápida e fácil
- Suporta todo o tipo de revestimentos (tinta, papel de parede ou azulejos)
- Mantém o acabamento perfeito sem fissuras ou deformações



Fixação com Cola

As placas Gypotec são coladas diretamente à parede. Neste processo, de forma a garantir uma execução correta de todo o sistema, aconselha-se o uso de cola adesiva GA Gypotec.



Pontos de Cola

Aplicar os pontos de cola afastados 40 cm, reforçando no perímetro de cada placa. A cola pode ser aplicada na placa ou diretamente na parede.



Dica: Dependendo das condições do suporte, o consumo de cola varia entre os 2,5 e os 5 kg/m².

Colocação da placa

Aplicar a placa na parede encostando-a ao teto. Depois do assentamento, pressionar os painéis para garantir uma boa aderência ao suporte, verificando se a superfície está plana e desempenada com uma régua.

Dica: Afastar a placa 1 cm do pavimento utilizando calços, para garantir que não haja contacto com humidades. Retirar os calços após a secagem.



Gypotec IBÉRICA – Gessos Técnicos, S.A.

Parque Ind. e Emp. da F. da Foz, Lote 3 – S. Pedro, 3090-380 Figueira da Foz, PORTUGAL
T (+351) 233 403 050 F (+351) 233 430 126 E geral@gypotec.eu W www.gypotec.eu



Fixação mecânica

Aparafusar perfis auxiliares à parede para fixação posterior das placas. Neste processo, de forma a garantir uma execução correta de todo o sistema, aconselha-se o uso dos acessórios:

- Perfis Omega
- Buchas Tapit
- Parafusos PM



Fixação da estrutura

Aplicar os perfis Omega na vertical ou horizontal seguindo um afastamento máximo de 60 cm.

Dica: Podem aplicar-se perfis horizontais nas zonas superior e inferior para facilitar a aplicação de remates e rodapés.



Fixação da placa

Aparafusar a placa ao perfil Omega com parafusos autorroscantes tipo PM.



Tratamento de juntas

Aplicar a banda de papel e massa para juntas. Depois de seca, a parede está apta a receber o acabamento final.

Dica: Existem massas de secagem rápida, normal ou lenta, conforme as condições climáticas.



Nova placa composta de gesso laminado com isolamento incorporado em aglomerado de cortiça expandida

INTRODUÇÃO

O isolamento pelo interior dos edifícios contribui inequivocamente para a sustentabilidade na construção, representando a escolha das soluções construtivas um factor chave nesta matéria.

O desenvolvimento deste produto pretende dar resposta à crescente solicitação de soluções que incorporem materiais sustentáveis e que contribuam para uma maior eficiência acústica, térmica e energética dos edifícios existentes e a construir.

Nesta nova solução reúnem-se dois produtos portugueses de excelência: as placas de gesso laminado Gypotec produzidas na Figueira da Foz, utilizando matérias-primas ecológicas e métodos não poluentes e o aglomerado de cortiça expandida, excelente isolamento térmico e acústico produzido pela Amorim Isolamentos, por um processo 100% natural e sem desperdícios.

A placa composta GYPCORK é um produto de baixa energia incorporada, com elevada percentagem de incorporação de subprodutos de outras indústrias e de materiais renováveis que contribuem para a absorção de CO₂.

O produto alia as propriedades da cortiça (isolamento térmico, acústico e antivibrático, elevada inércia térmica, durabilidade ilimitada, estabilidade dimensional e bom comportamento ao fogo) com as da placa de gesso laminado (isolamento acústico, baixa condutividade térmica, regulador de humidade, incombustível e eficaz em barreiras corta-fogo, durável e resistente ao impacto).

O resultado combina as propriedades de ambos os materiais, aumentando o conforto higrotérmico e acústico no interior dos edifícios, contribuindo para a poupança energética e em última análise para a sustentabilidade dos edifícios.

CARACTERIZAÇÃO DA SOLUÇÃO

Na construção a chave para a sustentabilidade está ligada à necessidade de um aumento acentuado e eficaz da poupança de energia em todas as fases do processo. Neste contexto, devido à adaptabilidade, facilidade de aplicação, desempenho e benefícios ao nível da eficiência de custos, o isolamento pelo interior é altamente recomendado sendo considerado uma solução bastante competitiva.

Neste sentido, e apostando nas soluções sustentáveis em reabilitação, surge o desenvolvimento desta nova placa composta de gesso laminado com isolamento incorporado em aglomerado de cortiça expandida.



Figura 1: Placa composta de gesso laminado com isolamento incorporado em aglomerado de cortiça expandida

Gypotec IBÉRICA – Gessos Técnicos, S.A.

Parque Ind. e Emp. da F. da Foz, Lote 3 – S. Pedro, 3090-380 Figueira da Foz, PORTUGAL
T (+351) 233 403 050 F (+351) 233 430 126 E geral@gypotec.eu W www.gypotec.eu



As placas compostas GYPCORK são fabricadas em conformidade com os critérios definidos na norma europeia EN 14190:2005 "Gypsum Plasterboard products from reprocessing. Definitions, requirements and test methods". Esta norma especifica as características e as prestações das placas compostas, de placas de gesso laminado contempladas na norma europeia EN 520, mediante processos secundários. A operação de transformação por processo secundário, que dá origem à nova placa, GYPCORK, envolve a colagem do aglomerado de cortiça expandida, produzido pela Amorim Isolamentos, no dorso da placa de gesso laminado Gypotec. Por outro lado, sempre que sejam necessários e se prevejam usos específicos das placas compostas mediante processos secundários, esta norma europeia também contempla essas características técnicas adicionais que são de importância para o uso e aceitação do produto na indústria da construção, assim como os métodos de ensaio de referência para comprovar estas características. Assim sendo, e tendo em conta o uso previsto das placas compostas GYPCORK, os requisitos essenciais aplicáveis passam pela verificação da resistência à flexão, expressa como carga de rotura à flexão, das placas de gesso laminado utilizadas para fabricar do produto placa GYPCORK e pela determinação da resistência térmica e acústica. Ao desenvolver a nova placa, GYPCORK, a Gypotec Ibérica estabeleceu um sistema de Controlo de Produção em Fábrica capaz de garantir que as placas são conformes as características de prestações declaradas.

COMPORTAMENTO ACÚSTICO

No âmbito do estudo de soluções construtivas multicamada para paredes, em desenvolvimento no Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons), foram realizadas uma série de ensaios acústicos.

Pretendia-se obter a contribuição da placa composta de gesso laminado com isolamento incorporado em aglomerado de cortiça expandida, para uma solução de reabilitação e melhoria funcional dos edifícios.

Nesse sentido, foram montadas no laboratório duas paredes com tipologias que refletissem grande parte do edificado dos últimos 30 anos: uma solução de alvenaria simples em tijolo comum de 22 e uma solução de parede dupla em tijolos de 11 +15, sem qualquer isolamento na caixa de ar.

Estas paredes base foram ensaiadas, nas câmaras acústicas do ITeCons, de forma a obterem-se a curva de isolamento a sons aéreos normalizada e o índice de isolamento sonoro para sons de condução aérea R_w , de acordo com normas EN ISO 10140-3 e ISO 717-1.

Sobre cada um destes provetes foram então aplicadas as soluções de reforço e novamente ensaiados nas câmaras acústicas.



Figura 2: Aplicação da placa composta de gesso laminado com isolamento incorporado em aglomerado de cortiça expandida

Gypotec IBÉRICA – Gessos Técnicos, S.A.

Parque Ind. e Emp. da F. da Foz, Lote 3 – S. Pedro, 3090-380 Figueira da Foz, PORTUGAL
T (+351) 233 403 050 F (+351) 233 430 126 E geral@gypotec.eu W www.gypotec.eu



Os resultados obtidos nos ensaios acústicos realizados [1] são apresentados nos gráficos comparativos 3 e 4. Em ambas as soluções de partida, obteve-se um considerável aumento do isolamento acústico a sons aéreos após a aplicação da solução composta com 4 cm de ICB. No caso da parede simples em tijolo 22, o índice R_w passou de 47 dB para 56 dB. A colocação de uma segunda placa de gesso laminado fez subir o índice para 59 dB.

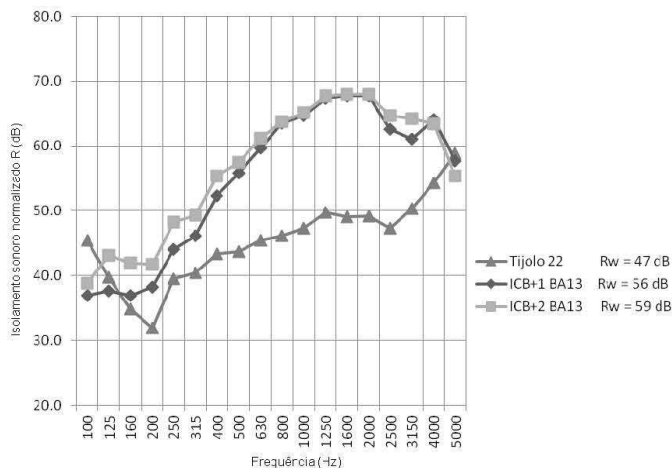


Figura 3: Parede simples tijolo 22

No caso da parede dupla em tijolo 11+15, os ganhos são semelhantes. O índice R_w passou de 52 dB para 59 dB e a colocação de uma segunda placa de gesso laminado fez subir o índice para 61 dB.

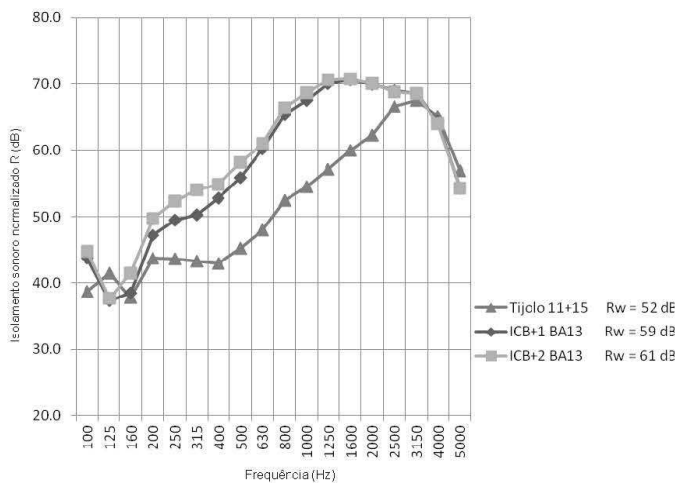


Figura 4: Parede dupla tijolo 11+15

[1] Relatórios de Ensaios ACU254, ACU255, ACU260 e ACU261, ITeCons, (2011).

COMPORTAMENTO TÉRMICO

O desempenho térmico das soluções foi determinado numericamente pelos métodos simplificados preconizados no RCCTE [2] e considerando os valores de condutibilidade térmica dos materiais declarados pelos fabricantes.

Os valores do coeficiente de transmissão térmica U, das soluções de reforço com a placa composta de gesso laminado com isolamento incorporado em aglomerado de cortiça expandida, são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Verifica-se que os resultados obtidos estão dentro dos valores de referência expressos no RCCTE para todas as zonas climáticas e que a utilização da solução com 4 cm de ICB reduz praticamente para metade o coeficiente U.

Tabela 1: Parede simples tijolo 22

Camada	λ (W/m.°C)	e (m)	R (m ² .°C/W)
Rse			0,040
reboco tradicional	1,30	0,015	0,012
tijolo 22 Preceram	-	0,220	0,580
reboco tradicional	1,30	0,015	0,012
ICB	0,04	0,040	1,000
Placa Gypotec (standard)	0,25	0,0125	0,050
Rsi			0,130

Coefficiente de transmissão térmica $U = 0,55 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ (sem isolamento $U = 1,29 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$)

Tabela 2: Parede dupla tijolo 11+15

Camada	λ (W/m.°C)	e (m)	R (m ² .°C/W)
Rse			0,040
reboco tradicional	1,30	0,015	0,012
tijolo 15 Preceram		0,150	0,420
caixa de ar		0,040	0,180
tijolo 11 Preceram	-	0,110	0,290
reboco tradicional	1,30	0,015	0,012
ICB	0,04	0,040	1,000
Placa Gypotec (standard)	0,25	0,0125	0,050
Rsi			0,130

Coefficiente de transmissão térmica $U = 0,47 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ (sem isolamento $U = 0,92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$)

[2] Decreto-Lei n.º 80/2006 (4 de Abril), Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios – RCCTE, (2006).



AMORIM

Amorim Isolamentos, S.A.



ESPECIAL MDFACHADA (EXPANDIDO)

Características Técnicas

- Densidade: 140/160 Kgs/m³
- Coeficiente de condutibilidade térmica: 0,040 / 0.042 W/mk
- Comportamento à compressão a 10%: 180 Kpa
- Absorção de água por imersão parcial: 0,30 Wp (Kg/m²)
- Reacção ao fogo: Euroclasse E
- Estes valores são o resultado dos ensaios, conforme Norma Europeia 13170

Vantagens

- Matéria prima natural e renovável
- Processo industrial 100% natural (sem aditivos)
- Não perde características
- Excelente isolamento térmico/acústico
- Totalmente reciclável
- Óptimo comportamento em situações de grandes amplitudes térmicas.

O Aglomerado de Cortiça Expandida Especial MDFACHADA, recomendado para aplicações de Exterior, tem como obra de referência a sua aplicação na fachada principal do pavilhão de Portugal na Expo em Hannover, e desde 2002 em Coimbra sem qualquer anomalia aparente...muitas outras em Portugal e já na exportação.

Este histórico, embora recente, permite-nos garantir que a sua durabilidade quando exposta seja superior a 10 anos já que em outras aplicações existe material sem perda de características com mais de 50 anos.

A sua fixação, dependendo do elemento estrutural, deverá ser mecânica (parafuso) ou adesivo com características impermeabilizantes.

UNIDADE DE DISTRIBUIÇÃO:
Rua da Corticeira, 66
4535-173 MOZÉLOS VFR – PORTUGAL
Telef: 22 741 9100 - Fax: 22 741 9101

UNIDADE INDUSTRIAL DE SILVES:
Vale de Lama – Apartado 27
8300-999 SILVES – PORTUGAL
Telef: 282 440 720 • Fax: 282 440 721

UNIDADE IND. DE VENDAS NOVAS - SEDE:
Estrada de Lavre, Km 6 – Apartado 7
7084-909 VENDAS NOVAS – PORTUGAL
Telef: 265 809 220 - Fax: 265 809 221

Capital Social: EUR 100.000,00
Registo C.R.C.P. Vendas Novas e
Contribuinte N.º PT 502 863 145

ANEXO IV

ANÁLISE TÉRMICA E ACÚSTICA

♦ **Análise Térmica**

- ✓ Quantificação dos parâmetros térmicos de acordo com o RCCTE:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \text{ onde,} \quad (1)$$

U = Coeficiente de Transmissão Térmica

R_{se} e R_{si} = Resistência térmica superficial exterior e interior, respectivamente

R_j = Resistência térmica da camada

$$R_j = \frac{Esp_{camada}}{\lambda_j} \text{ onde,} \quad (2)$$

λ_j = Valor de cálculo da condutibilidade térmica do material

Valores de Cálculo de Condutibilidades Térmicas (λ)*		
<i>MDFACHADA</i>	0,04 W/(m.°C)	
Contraplacado Marítimo	0,13 W/(m.°C)	
Chapa Aço (Contentor Marítimo)	50 W/(m.°C)	
<i>GYPCORK</i>	ICB	0,04 W/(m.°C)
	Gesso Laminado	0,25 W/(m.°C)

Quadro IV. 1– Condutibilidades Térmicas: Valores de Cálculo.

* Os valores indicados foram consultados no Manual de Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente de Edifícios (ITE 50), assim como nos documentos técnicos dos materiais indicados.

A caixa-de-ar conferida pelo canelado típico da chapa dos contentores marítimos foi considerada desprezível, uma vez não ter desenvolvimento contínuo ao longo de toda a estrutura.

O contributo conferido pela cobertura verde, não foi considerado para a análise que aqui se apresenta, dado não ser obrigatória nem garantida a sua execução.

Resistência Térmica Superficial (R) - m.°C/W		
Sentido do Fluxo de Calor	Exterior R _{se}	Interior R _{si}
Horizontal (Paredes)	0,04	0,13
Vertical (Ascendente)	0,04	0,10
Vertical (Descendente)	0,04	0,17

Quadro IV. 2– Resistência Térmica Superficial: RCCTE, Quadro VII.I.

Paredes Exteriores:

Parede Exterior Camada de Material e Espessura		
<i>MDFACHADA</i>		0,1m
Chapa Aço		0,003m
<i>GYPCORK</i>	ICB	0,04m
	Gesso	0,0125m
	Laminado	

Quadro IV. 3 – Parede Exterior: Materiais e Espessuras.

A espessura de *MDFACHADA* considerada (100mm) foi aconselhada por parte da *Amorim Isolamentos, S.A.*.

$$U_{\text{Parede Exterior}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,1}{0,04} + \frac{0,003}{50} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,0125}{0,25} + 0,04} = 0,29 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Pavimentos:

Pavimentos		
Camada de Material e Espessura		
Contraplacado Marítimo		0,06m
	ICB	0,06m
<i>GYPCORK</i>	Gesso	0,0125m
	Laminado	

Quadro IV. 4– Pavimentos: Materiais e Espessuras.

A espessura de contraplacado marítimo considerada (60mm) foi assumida mediante as informações recolhidas sobre os contentores marítimos.

$$U_{\text{Pavimento (Inverno/Descendente)}} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,06}{0,13} + \frac{0,06}{0,04} + \frac{0,0125}{0,25} + 0,04} = 0,45 \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{\text{Pavimento (Verão/Ascendente)}} = \frac{1}{0,10 + \frac{0,06}{0,13} + \frac{0,06}{0,04} + \frac{0,0125}{0,25} + 0,04} = 0,46 \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Cobertura:

Cobertura		
Camada de Material e Espessura		
Chapa Aço		0,003m
	ICB	0,06m
<i>GYPCORK</i>	Gesso	0,0125m
	Laminado	

Quadro IV. 5 – Cobertura: Materiais e Espessuras.

$$U_{\text{Cobertura (Inverno/Ascendente)}} = \frac{1}{0,10 + \frac{0,003}{50} + \frac{0,06}{0,04} + \frac{0,0125}{0,25} + 0,04} = 0,59 \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Cobertura (Ver\tilde{a}o/Descendente)} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,003}{50} + \frac{0,06}{0,04} + \frac{0,0125}{0,25} + 0,04} = 0,57 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Dos resultados obtidos conclui-se que os valores dos coeficientes de transmiss\~{a}o t\~{e}rmica, qualquer que seja o elemento e qualquer que seja a zona clim\~{a}tica, s\~{a}o inferiores ao m\~{a}ximo regulamentar, tal como se indica no quadro V.6.

Coeficiente Transmiss\~{a}o T\~{e}rmica M\~{a}ximo Regulamentar (U) - W/m ² .°C		
Zona Clim\~{a}tica	Vertical Exterior	Horizontal Exterior
I1	1,8	1,25
I2	1,6	1
I3	1,45	0,9

Quadro IV. 6 – Coeficiente de Transmiss\~{a}o T\~{e}rmica M\~{a}ximo Regulamentar: RCCTE, Quadro IX.I.

♦ **An\~{a}lise Ac\~{u}stica**

A habita\~{c}\~{a}o em estudo (terminada a terceira fase do processo evolutivo) \u00e9 composta por um piso \u00fanico, no qual existem tr\~{e}s quartos, duas casas de banho, um escrit\u00f3rio, uma cozinha e uma sala, e ainda, uma \u00e1rea de servi\~{c}o.

Pretende-se que os valores de incomodidade, devidos ao n\u00edvel sonoro do ru\u00eddo ambiente e ao isolamento das paredes e envidra\~{c}ados, sejam conforme a Legisla\~{c}\~{a}o Portuguesa em vigor, nomeadamente o RGR e o RRAE.

Uma vez que se desconhece a localiza\~{c}\~{a}o onde o edif\u00edcio se situar\~{a}, desconhece-se tamb\~{e}m o mapa de ru\u00eddo do local. Tratando-se de um edif\u00edcio de habita\~{c}\~{a}o poder-se-\u00e1 considerar que a zona \u00e9 pouco ruidosa. Contudo, face \u00e0 legisla\~{c}\~{a}o em vigor, adopta-se como sendo uma zona mista.

O estudo realizado recaiu sobre o quarto (principal), considerado como amostra da restante habita\~{c}\~{a}o: constitui a zona mais sens\u00edvel do edif\u00edcio (zona de estar e de descanso) ao mesmo tempo que existe uniformidade da parede exterior deste compartimento com os

restantes do edifício. Como se trata de uma moradia com um único piso, a análise aos sons aéreos cinge-se à parede exterior, dado ser este o ponto mais sensível.

A análise faz referência às características dos materiais, com vista ao reforço do isolamento à transmissão de sons aéreos das envolventes da habitação. A composição da envolvente exterior é explicitada na figura IV.1.

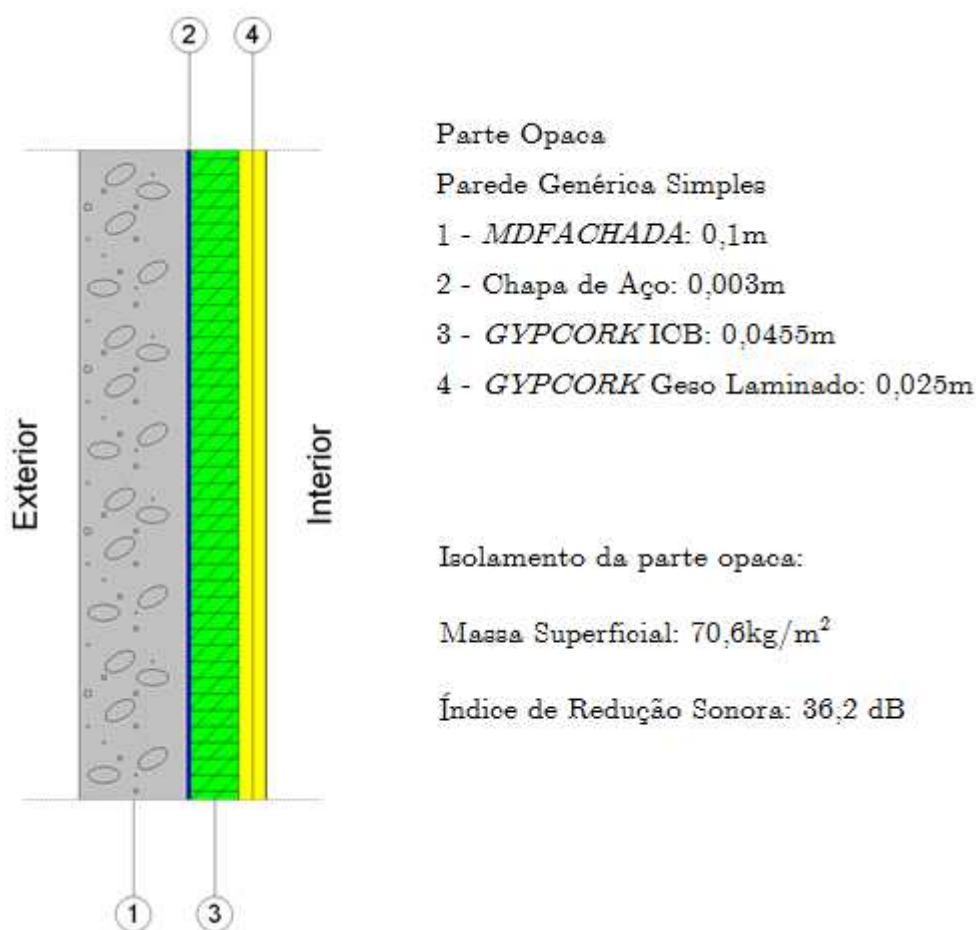


Figura IV. 1 – Envolvente Opaca Exterior

- ✓ Quantificação dos parâmetros acústicos de acordo com o RRAE:

O isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, é a diferença entre o nível sonoro exterior (medido a 2m da fachada do edifício) e o nível de pressão sonora medido no local de receção, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor, de acordo com a equação (3):

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ (dB) onde,} \quad (3)$$

$D_{2m,nT}$ = Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado

$L_{1,2m}$ = Nível sonoro exterior, medido a 2 metros da fachada do edifício

L_2 = Nível de pressão sonora medido no local de recepção

T = Tempo de reverberação do compartimento receptor (s)

T_0 = Tempo de reverberação de referência (s)

Área de Absorção Sonora Equivalente	$A = 3,56\text{m}^2$
Tempo de Reverberação de Referência*	$T_0 = 0,50\text{s}$
Tempo de Reverberação**	$T = 1,68\text{s}$

Quadro IV. 7 – Tempo de Reverberação e Tempo de Reverberação de Referência.

* Para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis.

** Intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado, se reduza a um milésimo do seu valor inicial.

O estudo do isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas foi calculado pela Lei da Massa. A Lei da Massa é um método estimativo que estabelece que a redução de intensidade acústica através de um determinado elemento, é função do quadrado do produto da massa unitária (m) pela frequência considerada (f). O resultado desta equação (4) expressa-se em decibel (dB).

$$a \cong 10 \log(f \cdot m)^2 \text{ (dB)} \quad (4)$$

Matematicamente deduz-se assim que, para uma frequência fixa, o isolamento aumenta tão só 6 dB quando se duplica a massa. Analogamente, para uma dada massa fixa, o isolamento cresce 6 dB ao duplicar a frequência. Esta análise permite que na prática se utilizem divisões constituídas por vários elementos para aumentar o isolamento sonoro sem

ter que recorrer a um aumento excessivo da massa. A representação gráfica para as divisões homogêneas, isto é, paredes simples, é uma recta logarítmica que mostra a evolução do isolamento sonoro em função da massa superficial.

O valor global do índice de redução sonora a sons de condução aérea foi obtido pela expressão seguinte (5):

$$R_T = 10 \log \left(\frac{\sum S_i}{\sum (S_i / 10^{R_i/10})} \right) (dB) \text{ onde,} \quad (5)$$

R_T = Isolamento total resultante

S_i = Área da superfície i

R_i = Isolamento sonoro de i

O índice de redução sonora é dado pela expressão (6):

$$R'W = -10 \log(10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum 10^{-R_{Fd,w}/10}) (dB) \text{ onde,} \quad (6)$$

$R'W$ = Índice de redução sonora

$R_{Dd,w}$ = Índice de redução sonora para a transmissão directa (dB)

$R_{Ff,w}$ = Índice de redução sonora por via marginal para o caminho de transmissão Ff (dB)

$R_{Df,w}$ = Índice de redução sonora por via marginal para o caminho de transmissão Df (dB)

$R_{Fd,w}$ = Índice de redução sonora por via marginal para o caminho de transmissão Fd (dB)

Transmissões Marginais							
Referência	Tipo	m'	R'w	m's/m'f	KFf	KFd	KDf
Parede Exterior	(1)	70,6	36,2	1,0	0	-3,0	-3,0

Quadro IV. 8- Transmissões Marginais.

(1) - Parede com junção em canto

m' - Massa superficial (kg/m²)

R'w - Índice de Redução Sonora (dB)

m's/m'f - Relação entre densidades superficiais

KFf - Índice de Redução Sonora do mesmo elemento secundário (dB)

KFd - Índice de Redução Sonora do elemento secundário relativamente ao elemento principal (dB)

KDf – Índice de Redução Sonora do elemento principal relativamente ao elemento secundário (dB)

K – Correção ao valor do índice de isolamento a sons de percussão, devido à transmissão marginal (dB)

Depois de definidas as transmissões marginais, calculam-se os respectivos índices de acordo com a fórmula (7):

$$D_{nT,w} = R_w + 10 \log \left(\frac{A_0}{S} \right) - TR_{aéreo} \text{ (dB), onde} \quad (7)$$

A_0 = Área de absorção sonora de referência do recinto receptor ($A_0 = 10m^2$)

S = Superfície do elemento separador (m^2)

TR = Transmissão marginal

Coeficiente de Absorção Sonora			
Referência	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Parede Exterior	0,040	0,060	0,060
Ar	0	0,003	0,011

Quadro IV. 9 – Coeficiente de Absorção Sonora.

Área de Absorção Sonora (m^2)				
Referência	Superfície	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Parede Exterior	$A = 7,3m^2$	0,29	0,44	0,44
Ar	$V = 36m^3$	0	0,11	0,4
TOTAL		0,29	0,55	0,84

Quadro IV. 10 – Área de Absorção Sonora.

Área de Absorção Sonora por Frequências do Mobiliário (m^2)				
Referência	Unidade	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Mobiliário de Quarto	10 unidades	2,50	3,00	3,50
TOTAL		2,50	3,00	3,50

Quadro IV. 11 – Área de Absorção Sonora por Frequências do Mobiliário.

Descrição	Área Opaca %	Rw Global (dB)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Tempo de Reverberação de Referência (s)
Quarto:					
Parede	100	36,2	7,3	36	0,50
Exterior					
$D_{2m,nT,w,min}$ (dB)		33	$D_{2m,nT,w,calculado}$ (dB)		33,4

Quadro IV. 12 – Resultados da Parede Opaca Exterior do Quarto.

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos está verificado: é superior ao mínimo regulamentar tal como disposto no artigo 5.º do RRAE. De referir ainda que, o isolamento sonoro médio foi determinado pela Lei da Massa. Os resultados aqui apresentados foram obtidos com recurso ao programa de cálculo *CYPEVAC III* (Decreto-Lei n.º96/2008) - Versão 2013.

ANEXO V

RESUMO TÉCNICO VIDRO DUPLO “*CONFORTO 4 ESTAÇÕES*”

SGG CLIMAPLUS® 4S

Vidro duplo "Conforto 4 estações"

www.saint-gobain-glass.com

Portugal

SAINT-GOBAIN GLASS COMFORT

SGG CLIMAPLUS® 4S

Vidro duplo “Conforto 4 estações”

Descrição do produto

SGGCLIMAPLUS 4S é um vidro duplo em que um dos vidros, SGGPLANISTAR, tem a propriedade de ser simultaneamente de baixa emissividade e de controlo solar.

Este vidro confere ao vidro duplo as funções de Elevado Rendimento no Inverno e de protecção solar no verão. SGGCLIMAPLUS 4S é fabricado pelo processo CLIMALIT da SAINT-GOBAIN GLASS. Os dois vidros estão separados por um espaço hermético preenchido com gás de isolamento ou ar desidratado.

Aplicações

O vidro duplo SGGCLIMAPLUS 4S está recomendado para paredes envidraçadas expostas ao sol, em construção nova ou renovada:

- janelas e portas envidraçadas;
- janelas de tecto;
- marquises;
- terraços envidraçadas;
- fachadas.

O seu aspecto neutro permite ser aplicado indistintamente no sector da habitação como em edifícios não residenciais:

- vivendas;
- edifícios de apartamentos;
- escolas;
- hospitais;

Vantagens

No inverno

SGGCLIMAPLUS 4S garante um isolamento térmico 3 vezes superior ao de um vidro duplo corrente:

- redução dos encargos com aquecimento;
- conforto acrescido na proximidade de superfícies envidraçadas;
- redução da condensação no lado interior do vidro;
- possibilidade de envidraçar grandes superfícies respeitando as exigências da regulamentação térmica em vigor.
- protecção do ambiente graças a uma redução da emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa (CO₂).

Vantagens .../...

No verão

SGGCLIMAPLUS 4S reduz para metade a transmissão directa de calor solar através do vidro:

- melhoria do conforto pela manutenção de uma temperatura interior agradável;
- limitação dos custos derivados do ar condicionado ou de uma protecção solar suplementar;
- diminuição da transmissão de raios UV.

Durante todas as estações

SGGCLIMAPLUS 4S permite uma entrada significativa de luz natural (transmissão luminosa superior a 70%).

O aspecto do SGGCLIMAPLUS 4S é neutro quer em reflexão quer em transmissão (aspecto semelhante ao de um vidro duplo corrente).

SGGCLIMAPLUS 4S pode-se combinar com outros vidros e oferecer funções suplementares:

- facilidade de manutenção (vidro auto-limpeza SGG BIOCLEAN);
- isolamento acústico;
- segurança de bens e pessoas;
- decoração;
- preservação da intimidade.

SGGCLIMAPLUS 4S confere às janelas com caixilhos (alumínio de rotura térmica, madeira, PVC) a capacidade de satisfazer as exigências da regulamentação térmica nacional.



't Pandreitje, Bruges
Arquitectos: Haverhals & Heylen

Gama

O vidro duplo standard SGGCLIMAPLUS 4S integra o vidro de baixa emissividade SGGPLANISTAR e é proposto com uma câmara com gás isolante ou ar desidratado.

O isolamento térmico na periferia do vidro pode ser melhorado por meio dum intercalars SGGSWISSPACER, em substituição do intercalars metálico habitual.

Através duma escolha judiciosa dos vidros que integram SGGCLIMAPLUS 4S, é possível obter vidros “multi-funções” que respondem à maior parte dos requisitos. Ver tabela abaixo

Composições multifunções de SGG CLIMAPLUS 4S			
Funções	Vidro exterior*	Vidro interior	Nome do vidro duplo
Protecção de bens e pessoas	SGG PLANISTAR	SGG STADIP	SGG CLIMAPLUS 4S SAFE
			SGG CLIMAPLUS 4S PROTECT
Isolamento	SGG PLANISTAR	SGG STADIP SILENCE	SGG CLIMAPLUS 4S SILENCE
Decoração e protecção da intimidade	SGG PLANISTAR	SGG DECORGLASS	SGG CLIMAPLUS 4S DESIGN
		SGG MASTERGLASS	
		SGG SATINOVO	
Facilidade de manutenção	SGG BIOCLEAN PLANISTAR**	Indiferente	SGG CLIMAPLUS 4S BIOCLEAN

(1) Capa SGG PLANISTAR em face 2

(2) Capa SGG BIOCLEAN na face 1 e SGG PLANISTAR em face 2

2/4 SGG CLIMAPLUS® 4S

Portugal

Performances

O isolamento térmico do vidro duplo SGG CLIMAPLUS 4S é cerca de 3 vezes superior ao de um vidro duplo comum (coeficiente U podendo atingir 1,1 W/m².K contra 2,9 W/m².K para um vidro duplo comum).

Valores espectrofotométricos e térmicos						
Produto	Composição	Factores Luminosos		UV	Factor Solar	Coefficiente U
	mm	TI %	Rl ext %	Tuv%	g	W/m ² .k
SGG CLIMALIT	4(12)4	81	14	44	0.76	2.9
SGG CLIMAPLUS 4 S**	4(15)4 c/árgon 90/Font	71	12	12	0.42	1.1
SGG CLIMAPLUS 4 S	4(15)4 c/árgon 90	69	15	10	0.41	1.1

(1) Valores segundo as normas EN 410 e EN 673

(2) Capa SGG PLANISTAR na face 2, SGG BIOCLEAN na face 1

Valores para outras composições disponíveis na tabela abaixo

Vidro duplo						
Vidro exterior			SGG PLANISTAR			
Vidro interior			SGG PLANILUX			
Composição	(mm)	4(12)4	4(16)4*	6(12)4	6(16)4*	6(16)6*
Espessura	(mm)	20	24	22	26	28
Peso	Kg/m ²	20	20	25	25	30
Factores luminosos						
TI	%	71	71	70	70	69
Rle	%	12	12	12	12	12
Rli	%	13	13	13	13	13
TUV	%	12	12	11	11	10
Factores energéticos						
Te	%	39	39	38	38	37
Re ext	%	33	33	29	29	29
AE1	%	26	26	31	31	31
AE2	%	2	2	2	2	3
Factor solar g		0.42	0.42	0.42	0.41	0.41
Coef. de Sombreamento		0.49	0.48	0.48	0.47	0.47
Coef. U ar	W/(m ² .K)	1.6	1.4	1.6	1.4	1.4
Coef. U argon	W/(m ² .K)	1.3	1.1	1.3	1.1	1.1

* Valores idênticos para um intercalar de 15 ou 16mm.

Aspecto estético em reflexão

Todos os vidros com capa, mesmo os mais neutros, podem apresentar ligeiras variações de aspecto quando observados em reflexão. Trata-se de uma característica inerente ao produto. Depende da distância, do ângulo de observação, da relação entre os níveis de iluminação interior e exterior do edifício e da natureza dos objectos reflectidos sobre a fachada.

3/4 SGG CLIMAPLUS® 4S

Portugal

Mise en oeuvre sur chantier

O vidro duplo sggCLIMAPLUS 4S deve ser montado com a capa sggPLANISTAR sempre na face 2.
Para mais informações: ver « Montagem »



Casa particular

Regulamentação

Os vidros duplos sggCLIMAPLUS 4S cumprem os requisitos da norma EN 1279 e exibem marcação CE.



Saint-Gobain Glass Portugal, Vidro Plano S.A
EN 10 - Apartado 1713
2691-652 Santa Iria de Azoia
Portugal
Tel : +351 21 953 4626
Email : glassinfo.pt@saint-gobain-glass.com
www.saint-gobain-glass.com

Distribuidor

