

ANÁLISE DE DIFERENTES SISTEMAS DE COFRAGEM PARA REALIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS COM ESTRUTURA PAREDE

RUI PEDRO OLIVEIRA PIRES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Hipólito José Campos de Sousa

JUNHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a Mestrado Integrado em Engenharia Civil – 2014/2015 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

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

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

À minha estimada família

The two most important days in your life are the day you are born and the day you find out why.

Mark Twain

AGRADECIMENTOS

Acima de qualquer agradecimento pretendo salientar a importância de minha mãe e minha avó no meu desenvolvimento como ser humano e estudante. O apoio incondicional destas duas figuras ímpares foi essencial no auxílio prestado por ambas e sem o qual ser-me-ia de todo impossível completar esta tão almejada etapa da minha vida.

Manifesto o meu maior apreço ao meu orientador científico professor Hipólito Sousa pela sua colaboração na estruturação dos conteúdos da presente dissertação e à sua disponibilidade e motivação constantes.

Uma gratificação ainda aos docentes da Faculdade de Engenharia, nomeadamente aos pertencentes ao domínio da engenharia civil pelos ensinamentos transmitidos, que me prepararam oportunamente para o mercado laboral.

Como última ressalva um agradecimento a todos os meus semelhantes, estudantes do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da FEUP, que desempenharam participação ativa no meu percurso académico, com especial reconhecimento ao meu promissor amigo João Macedo.

RESUMO

A realidade atual em alguns países em desenvolvimento gera uma problemática que consiste numa ampla necessidade de nova habitação, sendo que as restrições económicas se revelam muito importantes. Os responsáveis dos governos destes países pretendem que o seu povo tenha habitação condigna optando por contratualização de propostas de construção em larga escala. Na perspetiva de um empreiteiro português a oportunidade de negócio proporcionada só o será de facto se as empresas tiverem soluções competitivas, sendo importante manter um baixo custo e alto ritmo de construção para níveis de qualidade médias.

Uma escolha correta do sistema construtivo a adotar, assim como a adoção de algumas medidas optimizadoras do processo construtivo, permitem que os orçamentos possam ter a competitividade internacional desejada e recolher uma margem de lucro aceitável por parte de um empreiteiro.

Uma das soluções mais eficientes consiste na execução da modulação de edifícios com sistema parede em betão armado. Para o sucesso na perspetiva económica deste tipo de solução é crucial perceber como é feita a moldagem dos elementos a betonar, dado que na prática grande parte do investimento em todo edificado será tomado pelos constituintes do betão, aço e cofragens. De maneira a diminuir as operações a opção de uma laje maciça que se liga monoliticamente às paredes resistentes em betão armado é a solução mais evidente.

A cofragem consiste num molde para betonagem *in situ* que tem como grande potencialidade para casos de produção em massa a sua reutilização intensiva. Esta opção é exequível através de cofragem recuperável racionalizada. Uma das maiores vantagens que advém do uso deste tipo de cofragem é o facto de estes edifícios serem normalmente modelados, ou seja, recorrem a um *standard*. Assim, apesar dos elementos de cofragem terem um elevado custo de investimento inicial, este é amortizado no número de utilizações que lhe é dado no seu período de vida útil. Uma cofragem racionalizada tem elevada capacidade de reutilização, o que amortiza o investimento inicial na aquisição de cofragem para valores muito atrativos.

Palavras-chave: Parede; Laje; Betão; Cofragem Recuperável ; Standard.

ABSTRACT

The Construction reality in some developing countries creates a problem that is a wide need for new housing, and economic constraints are revealed very important. The heads of the governments of these countries want their people to have decent housing opting for contracting large-scale construction proposals. In a Portuguese contractor perspective that provided business opportunity had to be done with the right solutions in order to be competitive, constructing with low cost and high rhythm construction with medium quality level.

The importance of a correct choice in adoption of the building system, as well as some optimization measures in the construction process, allow budgets may have the desired international competitiveness and collect an acceptable profit margin.

One of the most efficient solutions is the implementation of modulation in buildings with reinforced concrete wall system. In order to successes in economic perspective in this type of solution is crucial to realize how is the molding of the elements concreting, once the great part of the investment in all buildings will be taken by the concrete components, steel and formwork. In order to reduce operations the option of a slab that is monolithically bound to resistant reinforced concrete walls is the most obvious solution.

The mold consists in a formwork for concrete *in situ* which has as great potential for mass production of cases to its full reuse. This option is achievable through streamlined recoverable formwork. One major advantage that arises from the use of this formwork is that these buildings are usually shaped, or resort to a standard. Thus, despite the formwork elements have a high initial investment cost, this is amortized over the number of uses given to it in your working life. A streamlined casing has high reusability, which amortizes the initial investment in acquiring formwork for very attractive values.

Keyword: Wall; Slab; Concrete; Recoverable formwork; Standard.

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURA DA TESE	2
OPORTUNIDADE DE CONSTRUÇÃO EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	5
2.1. CRESCIMENTO POPULACIONAL E A NECESSIDADE DE HABITAÇÃO EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	5
2.2. DIFICULDADES DE CONSTRUÇÃO EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	8
2.3. TIPOLOGIA E URBANISMO NA CONSTRUÇÃO “LOW-COST”	10
2.4. INTERVENÇÕES DE CONSTRUÇÃO EM MASSA EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO.....	11
2.4.1. CASO BRASILEIRO.....	11
2.4.2. CASO ANGOLANO	12
2.4.3. CASO VENEZUELANO.....	13
A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO	15
3.1. ORIGEM E CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	15
3.2. A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO	16
3.3. STANDARDS	17
3.3.1. STANDARDS NA SOCIEDADE	17
3.3.2. QUALIDADE NA GESTÃO, ISO 9001	19
3.3.3. ICS 91, STANDARD EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E EDIFÍCIOS.....	20
SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO MODULADOS	21
4.1. MODULAÇÃO	21
4.1.1. REFERENCIAIS.....	21
4.1.2. MALHAS MODULARES	22
4.2. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	23
4.2.1. MATERIAIS NÃO-ESTRUTURAIS.....	23
4.2.2. MATERIAIS ESTRUTURAIS	24
4.3. SISTEMAS ESTRUTURAIS	24
COFRAGENS	27
5.1. INTRODUÇÃO	27

5.2. CARACTERÍSTICAS E EVOLUÇÃO DAS COFRAGENS.....	28
5.3. SISTEMAS DE COFRAGEM	28
5.3.1. COFRAGENS RECUPERÁVEIS TRADICIONAIS	29
5.3.2. COFRAGENS RECUPERÁVEIS SEMI-RACIONALIZADAS	30
5.3.3. COFRAGENS RECUPERÁVEIS RACIONALIZADAS	31
5.3.3.1. COFRAGENS LIGEIRAS OU DESMEMBRÁVEIS.....	31
5.3.3.1.1 SISTEMA EM PAINÉIS	31
5.3.3.1.2 SUPERFÍCIE COFRANTE VIGADA.....	36
5.3.3.2. COFRAGENS SEMI-DESMEMBRÁVEIS.....	37
5.3.3.2.2. PAINEL PAREDE	38
5.3.3.2.3. COFRAGEM TREPANTE.....	39
5.3.3.3 COFRAGENS PESADAS OU MONOLÍTICAS	40
5.4. DIMENSIONAMENTO DE COFRAGENS	41
5.4.1 PRESSÃO VERTICAL	41
5.4.2. PRESSÃO LATERAL	43
5.4.2.1. DENSIDADE DO BETÃO.....	44
5.4.2.2. VELOCIDADE DE ENCHIMENTO DO BETÃO	44
5.4.2.3. TEMPERATURA.....	45
5.4.2.4. FLUIDEZ DO BETÃO.....	45
5.4.2.5. CÁLCULO DA PRESSÃO LATERAL DO BETÃO FRESCO DE UMA PAREDE SOBRE COFRAGEM.....	46
5.4.3. TOLERÂNCIAS DE DEFORMAÇÃO.....	50
5.5. MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO DE COFRAGENS	50
CASO DE ESTUDO	55
6.1. INTRODUÇÃO	55
6.2. EDIFÍCIO DE ESTUDO	56
6.3. COFRAGENS COM INSTALAÇÕES EMBUTIDAS.....	57
6.4. ABERTURAS NO BETÃO ARMADO.....	59
6.5. SOLUÇÕES DE COFRAGEM.....	59
6.5.1 SOLUÇÃO 1 – 12 TÚNEIS COM 8 PLATAFORMAS TREPANTES.....	59
6.5.2. SOLUÇÃO 2 – PAINÉIS PARA LAJES E PAREDES COM 12 PLATAFORMAS TREPANTES	59
6.6. PLANEAMENTO DA CONSTRUÇÃO	60
6.6.1 PLANEAMENTO DA SOLUÇÃO 1	62
6.6.2. PLANEAMENTO DA SOLUÇÃO 2	62

6.6.3. COMPARAÇÃO DO PLANEAMENTO DAS SOLUÇÕES.....	63
CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	65
7.1. CONCLUSÕES.....	65
7.2. TRABALHO FUTURO	65
BIBLIOGRAFIA	68
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Mapa hipsométrico das taxas de variação da população.....	6
Fig.2 – Gráfico elucidativo da ordem de grandeza das taxas de crescimento populacional.....	7
Fig.3 – Palhota em aldeamento africano	8
Fig.4 – Construção de habitação com recurso a adobe.....	9
Fig.5 – Habitações brasileiras executadas em autoconstrução dirigida.. Erro! Marcador não definido.	
Fig.6 – Favela da Rocinha no Brasil.....	10
Fig.7 – Habitação low-cost no Brasil: Fig.7a – habitação multifamiliar; Fig.7b – habitação unifamiliar	12
Fig.8 – Apresentação do projeto habitacional de baixo custo da <i>Opway Angola</i>	13
Fig.9 – Construção de baixo custo na Venezuela pelo Grupo Lena	13
Fig.10 – Colocação de contentor portuário em camião	18
Fig.11 – <i>Standard Keyboard</i>	18
Fig.12 – Selo de qualidade da gestão na construção ISO 9001	19
Fig.13 – Exemplo de um sistema referencial Baldauf, A. (2004)	22
Fig.14 – Sistema geométrico de referência segundo Baldauf, A. (2004)	22
Fig.15 – Exemplo de malhas quadriculadas modulares em Baldauf, A. (2004).....	23
Fig.16 – Sistemas estruturais em pórtico: Fig. 16a) – Pórticos metálicos <i>Pelagos Homes</i> ; Fig. 16a) – Pórticos em betão armado da <i>Dania Cebus</i> ;.....	25
Fig.17 – Estrutura parede em betão armado cofrada por sistema <i>UNO</i> da <i>Peri</i>	26
Fig.18 – Gráfico circular dos custos associados a uma parede de betão de 30cm de espessura facultado por Peri	27
Fig.19 – Exemplo de cofragem tradicional	30
Fig.20 – Utilização de elementos semi-racionalizados (viga principal de cofragem)	30
Fig.21 – Subclassificação das cofragens racionalizadas.....	31
Fig.22 – Painéis de cofragem: Fig.18a) painel de cofragem em contraplacado com quadro em aço galvanizado modelo TRIO da Peri; Fig.18b) painel de cofragem em contraplacado com quadro em alumínio modelo ALU-FRAMAX LIFE da DOKA; Fig.18c) painel de cofragem alumínio modelo UNO da Peri.....	32
Fig.23 – Esquema de montagem com acessórios dos painéis Framax Xife da Doka.....	33
Fig.24 – Ancoragens entre painéis de cofragem: Fig.24a – Colocação predefinida de ancoragens <i>Doka</i> ; Fig.24b – Esquema de uma ancoragem <i>Doka</i>	33
Fig.25 – Grampo BFD da Peri: Fig.19a) – Aplicação de grampos na solidarização de cofragens; Fig.19a) – modo de colocação de grampos na solidarização de cofragens.....	34
Fig.26 – Elementos de fecho de cofragem: Fig.26a) – cofragem de canto interior <i>Doka</i> ; Fig.26a) – cofragem de em forma T <i>Doka</i>	34
Fig.27 – Esquema de aplicação escoras ajustáveis de aprumo.	35
Fig.28 – Sistema em painéis para lajes.....	35
Figura 29 – Cabeçal de saída SKYDECK da Peri.....	36
Fig.30 – Sistema de cofragem duplamente vigado escorado MULTIFLEX da Peri	36
Fig.31 – Remoção de uma mesa de cofragem GT 24 da Peri através de grua	37
Fig.32 – Carro para translação de mesa de cofragem Peri	38
Fig.33 – Movimentação de painel parede TRIO da Peri através de grua e recurso a correntes	38
Fig.34 – Sistema de cofragem trepante CB da Peri: Figura 29a – Movimentação de cofragem trepante CB da Peri acoplado a painéis DOMINO; Figura 29a – Esquema de fixação de sistema CB da Peri para painéis MAXIMO ou TRIO	39
Fig.35 – Remoção de túnel de cofragem para habitação da Outinord.....	40

Fig.36 – Sistema de deslizamento de túnel de cofragem <i>Outinord</i>	40
Fig.37 - Esquema de colocação de vigas e prumos em sistema MULTIFLEX da Peri	42
Fig.38 – Comparação das pressões exercidas na cofragem com alturas de cofragem diferentes.....	44
Fig.39 – Relação da pressão lateral sobre cofragem de parede e velocidade de enchimento a 15°C (correia 2008).	45
Fig.40 – Pressões laterais de betões com diferentes consistências e velocidades de enchimento: Figura 40a) – Pressão do betão fresco para uma temperatura de 15°C e sem agentes retardadores; Figura 40b) – Pressão do betão fresco para uma temperatura de 15°C e com agentes retardadores de 5h; Figura 40c) – Pressão do betão fresco para uma temperatura de 5°C sem agentes retardadores; Fig.40d) – Pressão do betão fresco para uma temperatura de 5°C e com agentes retardadores de 5h.....	49
Fig.41 – Equipamentos para armazenamento e transporte: Fig.41a) – Estrutura TRIO Stacking da Peri; Fig.41a) – Estrutura crate Pallet da Peri.....	51
Fig.42 – Agentes descofrantes comercializados pela Peri e Doka	52
Fig.43 – Reparação de painel <i>Trio</i> da <i>Peri</i>	54
Fig.44 – Gráfico relativo aos custos	55
Fig.45 – Planta do piso térreo (maior pormenor no anexo A).....	56
Fig.46 – Instalações de abastecimento de água e residuais	58
Fig.47 – Colocação das instalações elétricas amarradas às armaduras	58
Fig.48 – negativo para a abertura de uma porta em túnel <i>Outinord</i>	59

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – População e taxa de crescimento populacional no mundo	6
Quadro 2 – Classificação dos sistemas de cofragem	29
Quadro 3 – Tabela de dimensionamento do vão das vigas principais e necessidade de resistência à compressão dos prumos.....	42
Quadro 4 – Resistência à compressão dos perfis <i>PEP</i> da <i>Peri</i>	43
Quadro 5 – classificação do tipo de trabalhabilidade	45
Quadro 6 – Valores do coeficiente relacionado com o peso do betão, <i>C_w</i>	46
Quadro 7 – Valores do coeficiente químico, <i>C_c</i>	47
Quadro 8 – Graus de consistência do betão segundo a DIN 18218.....	48
Quadro 9 – Quadro resumo dos fatores que influenciam a pressão lateral em paredes.....	50
Quadro 10 – Tolerâncias de deformação de superfícies de betão DIN 18212	50
Quadro 11 – Constituintes do contraplacado.....	52
Quadro 12 – Tipos de contraplacado.....	53
Quadro 13 – Classificação do contraplacado	53
Quadro 14 – Pressões obtidas para a parede do caso de estudo.	61
Quadro 15 – Síntese da duração das tarefas de um ciclo de betonagem	63

1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

O setor da construção em Portugal tem vindo a regredir principalmente no setor da habitação devido à mudança do paradigma que existiu em décadas anteriores, que consistia em construção nova em grandes quantidades, provocando uma saturação do mercado no número de habitações, tendo em conta o estado de estagnação populacional. Esta realidade aliada à crise financeira que o país atravessa provocou uma redução do investimento privado no setor da construção. O risco no setor imobiliário aumentou e afasta os investidores, sendo que não se perspetiva no futuro imediato a necessidade de construção a larga escala.

Ao contrário do que sucede em Portugal, existem países com um crescimento populacional bastante acentuado. Verificam-se em alguns países em desenvolvimento taxas de crescimento populacional da ordem dos 5%, que levam à duplicação da sua população num período de 15 anos. Estas taxas de crescimento provocam uma necessidade de construção em massa que pode envolver milhões de habitações a curto período.

As soluções adotadas para construção de habitação de grande escala nestes países têm como principais restrições o seu custo e planeamento. Os países em desenvolvimento sofrem de desigualdades sociais, sendo que a classe mais carenciada se encontra em situações precárias do ponto de vista habitacional e sem capacidade financeira para obter condições de habitação razoável. Os governos destes países têm assim uma responsabilidade social significativa e procuram suprir as insuficiências do seu povo através de programas de habitação social.

Uma outra razão para o recurso à construção de larga escala é a ocorrência de catástrofes naturais que assolam populações inteiras e retiram a habitação de inúmeras famílias que têm de ser realojadas de forma a poder recuperar esses países. Nos últimos anos os casos mais mediáticos foram porventura os terremotos em Sumatra (2004), Chile (2010) e Japão (2011).

A construção de baixo custo não é alvo de exigências tão rígidas quanto as que se praticam em países desenvolvidos, ou em zonas de climas frios, pelo que as soluções adotadas podem ser mais compassivas. Sendo o custo e os prazos minimizados as soluções procuram um ritmo de trabalho acelerado, de maneira a obter um baixo custo por metro quadrado de construção. Várias soluções foram projetadas e executadas nos últimos anos em todo mundo com este paradigma e no presente trabalho pretende-se aprofundar algumas das possibilidades.

Uma das soluções mais eficientes consiste na execução da modulação de edifícios com sistema parede e laje em betão armado. Para o sucesso na perspetiva económica deste tipo de solução é crucial perceber

como é feita a moldagem dos elementos a betonar, dado que na prática grande parte do investimento em todo o edificado será tomado pelos constituintes do betão, aço e cofragens.

A cofragem consiste num molde para betonagem *in situ* que tem como grande potencialidade para casos de produção em massa a sua reutilização exaustiva. Uma das maiores vantagens é ainda o facto de que os edifícios serem normalmente modelados, ou seja, recorrem a um padrão. Assim, apesar dos elementos de cofragem terem um elevado custo de investimento inicial, este é amortizado no número de utilizações que lhe é dado no seu período de vida útil. Uma cofragem racionalizada tem por norma a capacidade de reutilização superior a uma centena de vezes, o que amortiza o investimento inicial na aquisição de cofragem para valores muito atrativos.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Tendo em conta a justificação do trabalho a desenvolver importa enunciar quais os principais objetivos que são propostos neste trabalho. Assim sendo os objetivos a aprofundar nesta dissertação encontram-se de seguida listados:

- Compreensão da necessidade e limitação de construção a baixo custo em países em desenvolvimento e oportunidade de negócio na perspetiva das empresas portuguesas;
- Importância da industrialização no processo construtivo a implementar em obras de baixo custo;
- Análise dos sistemas construtivos mais rentáveis e realistas para as empresas portuguesas no estrangeiro, de maneira a serem competitivas;
- Análise de sistema de estrutura em paredes e lajes maciças de betão armado para habitação de baixo custo;
- Análise da gama de cofragens atualmente comercializados pelas principais empresas de cofragens.
- Análise comparativa de caso de estudo nas componentes técnicas e planeamento de diferentes tipos de cofragem.

1.3. ESTRUTURA DA TESE

A estruturação da tese redigida consiste num capítulo inicial introdutório, seguido de 5 outros capítulos, nomeadamente:

- O segundo capítulo, elucidando as evidências de crescimento populacional em algumas zonas do globo com especial necessidade à prática da construção residencial em larga escala. Os casos de habitação social fomentados pelos governos de certos países e a oportunidade de negócio que advêm para as empresas portuguesas.
- O terceiro capítulo, com a caracterização da indústria da construção, a diferenciação desta indústria em comparação com outras, partindo para um conjunto de características industrializadas para garantir soluções competitivas na construção de habitação de baixo custo.
- No quarto capítulo pretende-se apresentar os sistemas construtivos mais apelativos para a construção de baixo custo e justificar a escolha do sistema construtivo de paredes e lajes estruturais em betão armado.

- No quinto capítulo pretende-se estudar as cofragens disponíveis no mercado de maneira a optar por algumas soluções para moldagem do betão.
- No sexto capítulo apresenta-se um conjunto de procedimentos técnicos e o planeamento para um dado projeto de maneira a comprar e encontrar a melhor solução possível.
- No sétimo e último capítulo

2

OPORTUNIDADE DE CONSTRUÇÃO EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

2.1. CRESCIMENTO POPULACIONAL E A NECESSIDADE DE HABITAÇÃO EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

A população mundial está em crescimento e desta realidade não se pode dissociar a necessidade de habitação para este acréscimo populacional. Apesar de alguns países com poder económico estarem a ter crescimento populacional, este fenómeno demográfico requer especial atenção nos países em desenvolvimento. Estes países possuem escassez de habitação e, tendo em conta as taxas de crescimento populacional que se registam nestas nações, evidencia-se que a procura de habitação é bastante superior à oferta disponível.

A pobreza afeta grande parte da população destes países e atualmente a consternação em volta das condições de vida precárias é cada vez maior, sendo que o desenvolvimento socioeconómico do estrato social mais desfavorecido revela um maior relevo. Algumas medidas têm sido estimuladas por organizações internacionais tais como a Organização das Nações Unidas (ONU). Depois da declaração universal dos direitos humanos, esta organização procedeu à assinatura de um documento denominado de Declaração do Milénio. Os principais valores defendidos em primeira instância foram assim reforçados, nomeadamente no que diz respeito aos direitos de liberdade, igualdade, solidariedade, tolerância, respeito pela Natureza e repartição de responsabilidade social. Os chefes de estado e líderes governamentais que participaram deste acordo comprometeram-se assim a uma obrigatoriedade na participação ativa na diminuição das disparidades sociais.

Os acordos realizados entre países reduzindo ou amortizando dívidas de algumas nações, ajudas internacionais e planos de resgate representam os ideais definidos pela ONU. Os países que usufruem destes auxílios têm assim maior capacidade de adotar políticas de combate à pobreza e de apoio às condições de habitação.

Os países em desenvolvimento têm genericamente crescimento demográfico acentuado e habitação diminuta e sobrelotada, havendo portanto tendência para o agravamento da situação. Existe a necessidade de construção de novo edificado para efeito de habitação. Uma das possibilidades mais exequível consiste na solidariedade ou ações sociais para obtenção das condições mínimas humanas para as populações desfavorecidas.

Segundo dados estatísticos da ONU apresenta-se no Quadro 1 a seguinte informação acerca do crescimento populacional nas últimas décadas e as estimativas da taxa de população de 2010 a 2015, baseados em dados de 2012.

Quadro 1 – População e taxa de crescimento populacional no mundo

Grandes Áreas e Regiões	Estimativa da população para meio do ano (Milhões de pessoas)							Taxa de crescimento anual, i (%)
	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2012	2010-2015
Total mundial	3026,0	3691,2	4449,0	5320,8	6127,7	6916,2	7080,1	1,1
África	285,3	366,5	478,5	630,0	808,3	1031,1	1083,5	2,5
América Latina e Central	220,4	287,6	364,2	445,2	526,3	596,2	609,8	1,1
América do Norte	204,4	231,4	254,8	282,3	315,4	346,5	352,5	0,8
Ásia	1694,6	2128,6	2634,2	3213,1	3717,4	4165,4	4254,5	1,0
Europa	605,5	657,4	694,5	723,2	729,1	740,3	742,0	0,1
Oceânia	3026,0	3691,2	4449,0	5320,8	6127,7	6916,2	7080,1	1,4

A partir da tabela é possível retirar algumas conclusões acerca do crescimento populacional tal como as maiores taxas se registarem em África, Oceânia e América do Sul, bastante conhecidas por zonas ocupadas por países desenvolvimento. De uma forma mais detalhada é possível observar através do mapa hipsométrico da fig.1 a distribuição das taxas de variação populacional.

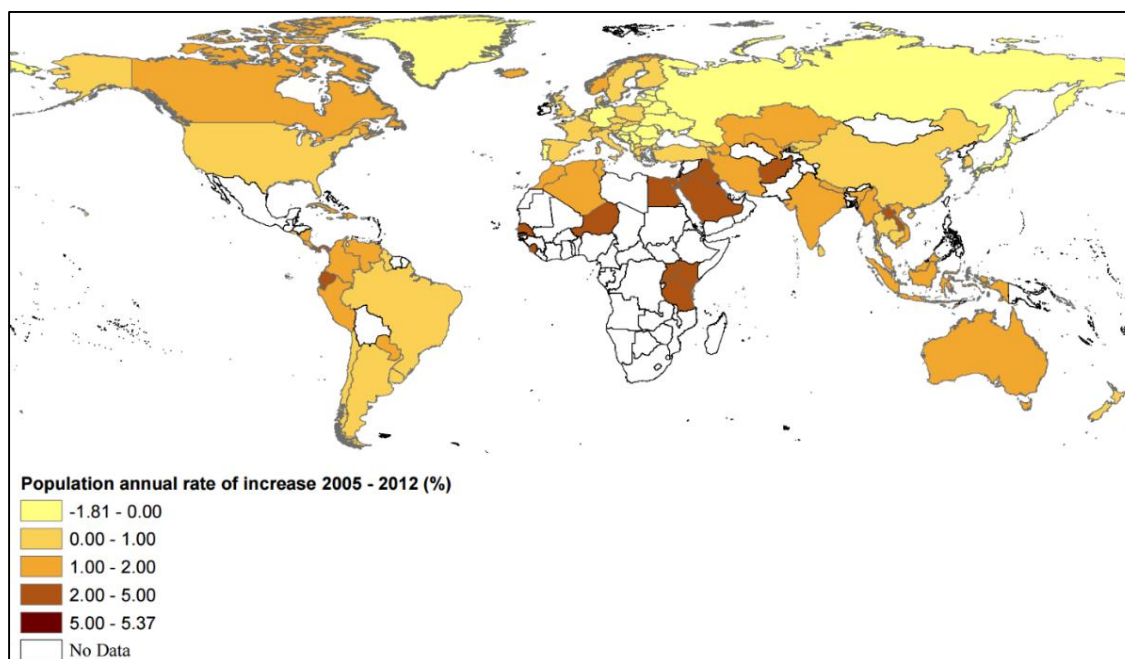


Fig.1 – Mapa hipsométrico das taxas de variação da população

Uma população pode ser estimada para um determinado ano horizonte através da equação 1:

$$P(t) = P_0(1 + 0,01i)^t \quad (1)$$

$P(t)$ estimativa da população para o ano t ;

P_0 população no ano 0;

i taxa de crescimento anual para uma população em %;

t ano para o qual é calculada a estimativa da população.

Como P_0 é constante, $(1 + i)^t$ pode ser considerado um fator que será multiplicado todos os anos pela população inicial P_0 , obtendo-se a população $P(t)$. A equação permite assim retirar independentemente da população inicial o crescimento que esta terá num período de tempo em forma de um fator de multiplicação fm .

Na fig.2 apresenta-se um gráfico seguinte estão representados esses fatores para um período de 30 anos e com taxas de crescimento populacional i positivas a variar de 1 a 5%.

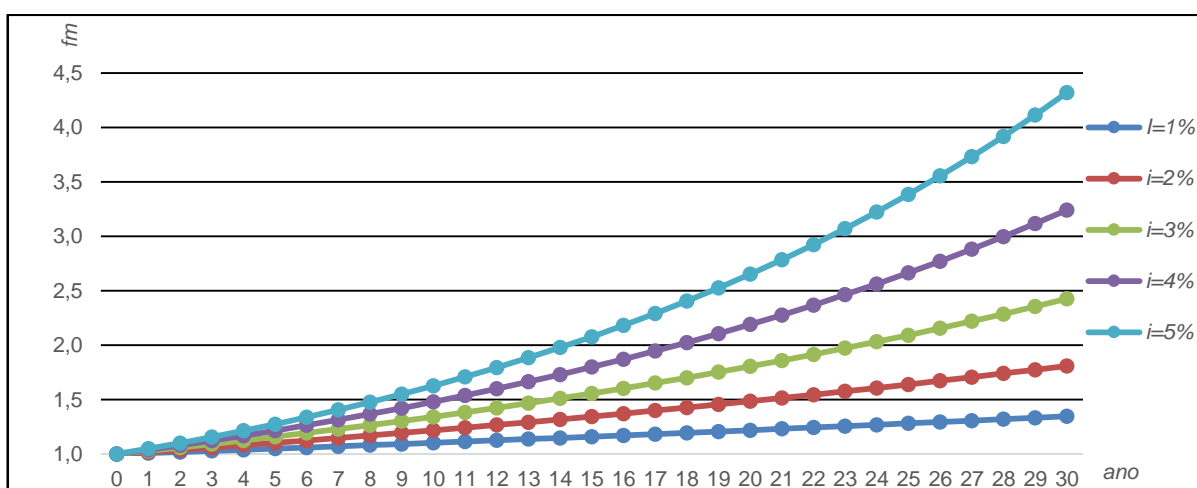


Fig.2 – Gráfico elucidativo da ordem de grandeza das taxas de crescimento populacional

Um dos fatores que mais convém destacar é o valor 2, que significa que a população inicial terá sido duplicada num determinado período de tempo. Esse valor acontece quando as curvas apresentadas no gráfico interseam o eixo dos fatores de multiplicação de 2, antes do ano 15, 18 e 24 para as curvas de com taxas de crescimento $i = 5\%$, $i = 4\%$, e $i = 3\%$, respetivamente.

Algo que está patente em muitos países em desenvolvimento é a existência de taxas de crescimento populacional na ordem dos 4%, pelo que pela análise gráfica verificamos que a população inicial duplica num período inferior a 18 anos. Numa população total de 20 milhões de pessoas conclui-se então que terão de ser construídas habitações para um excesso de outros 20 milhões nesse período de 18 anos, o que poderá corresponder a uma construção de 5 milhões de fogos (considerando como média 4 pessoas numa habitação). Para dar cobertura a uma necessidade tão extrema em termos habitacionais é seguramente necessário aplicar planos especiais e recorrer a paradigmas de construção racionais.

2.2. DIFICULDADES DE CONSTRUÇÃO EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

As dificuldades de construção nos países em desenvolvimento devem-se essencialmente à falta de recursos económicos da maioria da população local. Ao longo dos últimos anos os habitantes tiveram de recorrer a soluções de recurso por forma a garantir a sua subsistência. A precariedade leva ao conceito do *low-cost housing*, baseado no conceito do baixo custo e na rapidez de execução de novas habitações.

Além da falta de capital evidenciada pela população, os recursos são escassos e a necessidade imediata de habitação é colmatada através do uso de materiais locais, dando origem a construções limitadas do ponto de vista tecnológico, sendo as exigências quase nulas.

Em aldeamentos africanos é comum a construção de habitação sem água canalizada, eletricidade e saneamento básico. Esta é uma realidade inevitável para algumas famílias que têm de recorrer a esta construção artesanal bastante frágil e rudimentar.

Este tipo de habitação colmata exclusivamente as necessidades mais básicas do ser humano, correspondendo a um abrigo protetor do meio envolvente. Na fig.3 podemos ver uma palhota que tipicamente é construída pelo proprietário.



Fig.3 – Palhota em aldeamento africano

Em populações com um pouco mais de recursos disponíveis para a construção existe algum melhoramento nas soluções construídas. Neste tipo de construção existe o recurso a materiais de construção mais comuns como argamassas, o tijolo ou outros materiais cerâmicos, dando origem a habitações de maior qualidade, mais sólidas.

A dinâmica de construção atual em países em desenvolvimento procura evitar a possibilidade de importação de materiais, sendo que o recurso a materiais locais é a melhor maneira de conseguir concorrer em termos de custos da construção.

O emprego na construção do adobe é sobejamente conhecido em vários países subdesenvolvidos. Esta solução de paredes estruturais em tijolo argiloso justaposto permite uma grande economia para casos singulares, devido à facilidade no acesso da matéria-prima e a economia de obtenção do tijolo de barro compactado quando misturado com pequenas quantidades de argamassa. Estes blocos prescindem de reboco ou pintura e têm bom comportamento térmico. Na fig.4 é possível observar a construção de moradia em alvenaria estrutural em tijolo adobe.



Fig.4 – Construção de habitação com recurso a adobe

Um dos conceitos mais utilizados nos últimos anos consiste num procedimento em que o proprietário com o auxílio de familiares ou amigos executa a construção de uma habitação, sendo este fenómeno conhecido por *autoconstrução*. A este conceito pode estar associado a introdução de instalações elétricas, de água e saneamento, dando origem a habitação condigna, aquando da existência de um maior número de recursos.

A título de exemplo, em Angola e Brasil foram tomadas medidas no sentido de auxiliar as famílias mais desfavorecidas e outras prejudicadas por fenómenos naturais na obtenção de habitação. Em Angola a decisão mais importante foi a de providenciar terrenos e fazer a delimitação de terrenos para a população e disponibilizar engenheiros e técnicos para um processo de *autoconstrução dirigida*. Este conceito permitiu que os proprietários fossem auxiliados nas soluções adotadas na medida em que estes seriam geridos, acompanhados e fiscalizados por profissionais qualificados no processo de construção de moradias pessoais (ver moradias na fig.5).



Figura 5 – Moradias angolanas no âmbito da autoconstrução dirigida

No caso angolano pode-se enunciar o caso da Província de Cabinda em que a construtora local Profi-Urb desenvolveu o loteamento de 10 mil lotes de terreno. O programa iniciou-se com a “requalificação e urbanização de terrenos em que a empresa angolana de projetos, fiscalização e urbanização e as

entidades políticas locais. A segunda etapa contemplou a preparação dos espaços para a autoconstrução dirigida supervisionada pela administração municipal e a Profi-Urb. Um dos responsáveis Armando Carmo definiu aspetos essenciais acerca do projeto: “A tipologia de construção tem dependido da administração municipal que orienta o tipo de construção a ser feita em determinadas zonas. A Profi-Urb constitui os documentos para a obtenção de licenças que são emitidas pela administração de Cabinda, que por sua vez define o tipo de construção em cada sector. Desde que iniciámos este programa, as populações ganharam o espírito de construírem de forma organizada, por isso, vamos continuar a trabalhar com o governo da província, no programa de requalificação e urbanização de terrenos para construções modernas, no processo de acompanhar e fiscalização das obras de construção”.

Com as declarações prestadas depreendem-se claramente os principais traços nesta ação social promovida em Angola. De salientar ainda a instalação de infraestruturas, como energia elétrica, água potável e vias de comunicação completamente asfaltadas.

2.3. TIPOLOGIA E URBANISMO NA CONSTRUÇÃO “LOW-COST”

Um dos aspetos mais diferenciativos das construções é o planeamento urbano de uma dada zona a edificar, sendo que nos países em desenvolvimento a desorganização é total e a construção variadas vezes existe sem qualquer licença. O melhor exemplo da desorganização é a típica favela ou bairro de lata que é caracterizado em qualquer país por uma grande densidade populacional, precariedade habitacional e serviços básicos escassos. Na fig.6 é possível observar a favela da Rocinha no Brasil, uma imagem exemplificativa das características enunciadas.



Fig.6 – Favela da Rocinha no Brasil

O urbanismo deve decorrer no pressuposto de um planeamento sustentável do ponto de vista ambiental, paisagístico, sociocultural e económico. A preponderância do tema da habitação amplia-se quando se pensa num planeamento harmonioso, em que além das moradias existe um conjunto de estruturas físicas elementares à vida condigna do homem: infraestruturas mínimas evolutivas, serviços e instalações, espaços públicos e áreas verdes. Como é possível observar a maioria destas regras são violadas nestes bairros, que se devem às dificuldades em construir, citadas no capítulo anterior.

A tipologia urbana tem uma grande ligação com o planeamento urbano. A tipologia avalia essencialmente a escala de um edifício, ou seja a sua dimensão. Assim sendo a maior distinção dentro da construção habitacional do ponto de vista da tipologia é a diferenciação entre habitação unifamiliar e multifamiliar.

Na habitação unifamiliar a execução de um projeto pressupõe o alojamento de uma única família num determinado terreno. Uma das principais potencialidades deste tipo de soluções para a construção de baixo custo é a repetição de projetos em construção geminada ou em banda.

No que respeita à habitação multifamiliar a formulação é distinta, sendo que num terreno se pretende construir com maior cêrcea, podendo agregar nesse terreno um maior número de alojamentos.

Ambas as tipologias são utilizadas em países em desenvolvimento. Como foi referido no capítulo anterior existem zonas em que os terrenos cedidos para construção por parte do Estado, ou mesmo o baixo custo de terreno, permitem que as famílias possam ter habitações unifamiliares sem que o custo seja incomportável. No entanto a habitação multifamiliar cumpre de forma muito eficaz o propósito económico e de celeridade do processo construtivo.

A tipologia em altura que resulta numa solução mais económica num país em desenvolvimento consiste num edifício de 5 pisos (rés-do-chão mais 4 pisos), pois genericamente este é o número de pisos máximo que permite prescindir do elevador. A eliminação do elevador suprime os gastos em consumo energético e manutenções. Esta é também a solução a estudar devido ao facto de ser mais apelativa na perspetiva da oportunidade de negócio proporcionada a empresas que pretendam executar obras rentáveis no estrangeiro.

2.4. INTERVENÇÕES DE CONSTRUÇÃO EM MASSA EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

O âmbito deste trabalho tem vindo a ser justificado e o reforço dessa ideia surge através dos planos governamentais de construção de larga escala que foram acionados em alguns países em desenvolvimento. Além de medidas de incentivo à construção, por vezes, os líderes políticos de alguns países são obrigados a contruir habitação social apara colocar a população mais carenciada ou a distribuir subsídios para que a população obtenha acesso a habitação. Alguns exemplos de construção em massa a baixo custo podem ser apontados nos últimos anos.

2.4.1. CASO BRASILEIRO

No Brasil o projeto deu-se pelo nome de “Minha casa, minha vida” e é possível ver na figura exemplos do que foi edificado neste projeto. A presidente Dilma Rousseff destacou a contratação de 2,74 milhões de casas e apartamentos em 2014 desde o início do seu mandato. O projeto consistiu na construção de habitação nova em meio urbano ou rural. A solução adotada em ambiente urbano passa pela tipologia

multifamiliar, mais racional em termos de espaço e economia das soluções, como se observa na fig.7a. A construção unifamiliar também foi utilizada em meios mais rurais, sendo esta opção mais válida em ambiente rural, exemplificado pela fig.7b.



a)

b)

Fig.7 – Habitação low-cost no Brasil: Fig.7a – habitação multifamiliar; Fig.7b – habitação unifamiliar

2.4.2. CASO ANGOLANO

Em Angola o programa habitacional adotado foi o da construção de um milhão de casas num período de 4 anos, tendo terminado em 2012. A estimativa de custos dada pelo ministro das Finanças Severim de Morais foi de 50 mil milhões de dólares. A obtenção de crédito com maior facilidade por parte do seu povo foi o ponto mais focado pelo político para a obtenção do sucesso das medidas implementadas. O governo considerou este projeto essencial devido a metade da população não ter acesso a habitação condigna e apenas 35% da população ter acesso a água canalizada e energia.

Um caso que serve de exemplo para as oportunidades que surgem em Angola para empresas portuguesas é o projeto associado à *Opway Angola* (resultado da parceria do Grupo *ESCOM* e o Grupo *OPWAY*) que propôs construir habitações de baixo custo destinadas à população com inferior poder económico. O projeto desenvolveu-se segundo o Programa Nacional de Urbanismo e Habitação do Governo de Angola anteriormente referido.

A solução da construtora *Opway Angola* para edifícios *low-cost* foi apresentada na Feira Constrói Angola 2009, em Luanda. Os pressupostos base passaram pela racionalização e industrialização do processo construtivo. A empresa recorreu a parcerias com fornecedores de materiais e equipamentos locais e formação de mão-de-obra local. Com o recurso a este tipo de medidas foi possível: reduzir o custo de construção em custos de materiais, equipamentos e mão-de-obra, fomentar o desenvolvimento das empresas fornecedoras e contribuir para a criação de emprego local.

Em termos estruturais destaca-se o emprego de paredes dos edifícios em alvenaria estrutural e as lajes pré-fabricadas. As medidas de racionalização do processo construtivo passam pelo uso modular uniformizando as dimensões dos vãos de portas e janelas e a sua coordenação com a modulação das paredes, adotando também uma forte componente de pré-fabricação. A fig.8 ilustra uma demonstração apresentada pelo Grupo *Opway* para o seu projeto habitacional de custo controlado com apartamentos T2, T3 e T4.



Fig.8 – Apresentação do projeto habitacional de baixo custo da *Opway Angola*

2.4.3. CASO VENEZUELANO

No âmbito do projeto “Gran Misión Vivienda Venezuela” foi estabelecida uma parceria de âmbito social entre o governo venezuelano e o Grupo Lena, entre outras empresas, proporcionando alojamento condigno a muitas famílias venezuelanas (ver fig9). O projeto adjudicado a esta construtora consistiu num total de 12300 apartamentos em duas localizações na periferia de Caracas, nomeadamente em Valles del Tuy, no estado de Miranda: Ocumare e Cúa.

Em Dezembro de 2013 foram concluídos os primeiros 840 apartamentos num total de 42 edifícios em Cúa, tendo sido entregues às populações pela mão do Presidente da República Nicolás Maduro. Ao longo de 2014 entregou-se um total de 1260 apartamentos correspondentes a 63 edifícios, dos quais 660 apartamentos localizados em Cúa e 600 em Ocumare.

O contrato entre o Grupo Lena e o Governo da Venezuela, além da construção de habitação social, previu ainda a construção e implementação de duas fábricas e a transferência tecnológica referente à fabricação de painéis pré-fabricados em betão, condições necessárias à adjudicação do contrato de maneira a salvaguardar tecnologia, desenvolvimento e emprego ao país em questão.



Fig.9 – Construção de baixo custo na Venezuela pelo Grupo Lena

3

A INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

3.1. ORIGEM E CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

A indústria da construção é a mais antiga das indústrias devido ao facto de necessidade de construir com finalidade de suprir uma necessidade imperativa do homem. O termo indústria pressupõe uma atividade económica com recurso a matéria-prima, mais ou menos modificada, para obtenção de um produto final, utilizando para esse fim maquinaria e mão-de-obra.

O tradicionalismo na construção foi uma realidade até ao final da idade média. As construções eram executadas com base na experiência empírica e evitando os erros do passado, sendo que os mestres das construções eram responsáveis por todo o processo construtivo. Neste período não existia uma diferenciação devida à fase de projeto e construção.

Na era renascentista surgiram os primeiros arquitetos, começando-se implementar uma fase de projeto prévia à conceção. Esta foi uma época de grande desenvolvimento na construção e a análise e cálculo das soluções construtivas foram o passo seguinte. Hoje é sobejamente conhecida a importância da fase de projeto, vital na decisão e clarificação das soluções construtivas, estimativas dos custos e previsão dos recursos necessários como mão-de-obra, materiais e equipamentos.

O setor da construção é em Portugal, à semelhança de outros países, uma indústria com rendimentos de trabalho inferiores às restantes indústrias. Tal facto deve-se à singularidade de cada projeto e à falta de pormenorização e devido a falhas de comunicação provocadas pela enorme quantidade de informação a transmitir entre os diversos intervenientes. As condições em que são executadas as tarefas de construção são também bastante particulares do ponto de vista climatérico e bastante pesadas, o que torna o processo construtivo bastante moroso. Por estas razões a dificuldade de produção é maior e mais difícil a introdução de automatismos do que em outros tipos de indústria justificando os rendimentos inferiores. De maneira a combater esta ineficácia do processo construtivo é essencial a introdução de novas tecnologias que promovam a inovação. A sua implementação geralmente é complicada devido ao envolvimento de pessoal pouco qualificado na execução de uma obra, apesar de orientado por superiores de maior capacidade.

Outro aspeto bastante peculiar no processo construtivo é o papel desempenhado pelo promotor de uma construção, o designado dono de obra. Este agente contrata uma equipa de projetistas de maneira a dar

corpo a uma ideia que foi formulada. Quando termina o projeto a obra é adjudicada a uma entidade executante. Os interesses do dono de obra e empreiteiro são contraditórios sendo que o dono de obra pretende a melhor obra possível pelo mínimo custo e do empreiteiro pretende obter o máximo lucro possível com uma empreitada, sem que prejudique de forma considerável o pretendido pelo dono de obra. Por este facto existe desacordo e cria-se por vezes um clima de grande tensão entre as partes envolvidas que dificulta o processo construtivo. Este é o modelo tradicional adotado, apesar de por vezes a entidade executante acumular nas suas funções a execução do projeto. No caso de habitação de baixo custo por parte de empresas portuguesas em países em desenvolvimento é importante o envolvimento desde a fase inicial do projeto, de maneira a poder ter maior controlo das operações e a proposta ser mais competitiva.

O setor da construção tem um grande impacto na economia devido ao fator multiplicativo e ao impacto no Produto Interno Bruto e na taxa de emprego, quer no processo construtivo, quer na fase de exploração. Por esse facto é de salientar que no caso do aproveitamento de uma oportunidade de construção no estrangeiro num país em desenvolvimento por parte de uma empresa portuguesa com celebração de contrato com representantes do Estado, a adjudicação só se verifica normalmente com garantia de da utilização de mão-de-obra local. A subcontratação para determinadas tarefas é de igual modo importante para o estabelecimento de parcerias que são saudáveis para uma empresa e apesar de poder não ser obrigatória, pode ser a possibilidade mais compensatória, tanto a curto, como a longo prazo.

3.2. A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A indústria da construção tem na sua tradição um estatuto artesanal em comparação com as principais indústrias com construções mais otimizadas de produção em massa. O pioneiro na introdução da produção em massa foi Henry Ford, fundador da *Ford Motor Company* com a introdução da linha de montagem em série. A maior revolução verificada após os métodos de Henry Ford foi o denominado de *Lean production*, baseado no modelo de produção da *Toyota Motor Company*, também da indústria automóvel. Este conceito surgiu a partir da reformulação do modelo de produção em massa de Henry Ford com alguns novos paradigmas e conceitos de otimização e de eliminação de desperdícios no processamento do produto. Apesar das características distintas da indústria da construção verificou-se a tentativa da adaptação do *Lean Production* à construção, dando origem ao *Lean Construction*.

No final da Segunda Guerra Mundial existiu uma maior preocupação com os problemas associados à construção de maneira a reerguer alguns países mais afetados da melhor forma. Na década de 70 com o efeito da globalização e proliferação da informação a competitividade aumentou de forma exponencial. As empresas que pretendessem manter-se saudáveis necessitaram orientar esforços na procura de desenvolver soluções e otimizar processos. A industrialização, as tecnologias da informação e a gestão de qualidade com planeamento e controlo mais cuidados foram fomentados de maneira a permitir alcançar melhores rendimentos.

A filosofia *Lean*, apesar de derivar de uma indústria automóvel em fábrica pode surgir como base ao processo construtivo e ver adaptados os seus paradigmas com alguma flexibilidade. Mais recentemente uma publicação denominada de *Application of the new production philosophy in the construction industry (1992)* de Koskela tornou-se referência neste tipo de filosofia. Este autor foi ainda criador do - *International Group for Lean Construction*.

Dentro do conceito de *Lean Construction* as duas vertentes mais defendidas para redução da heterogeneidade contra produtiva são:

- A minimização das particularidades aproveitando a tecnologia, a técnica e os métodos de manufaturação.
- Controlo do processo construtivo através da adoção de métodos evolutivos do ponto de vista técnico.

No primeiro ponto destaca-se a possibilidade de introdução de maior pré-fabricação e normalização do processo construtivo para obter maior repetição de processos através de *standards*. No relatório Egan (1998) foi defendido este ideal como medida imprescindível na implementação da construção *Lean*. Contudo Ballard e Howell (1998) defenderam a viabilidade destas ideias para construção de pequenas dimensões mas destacaram a extrema dificuldade em conseguir resultados em projetos mais complexos e dinâmicos com maior imprevisibilidade. No caso em estudo nesta dissertação é possível fazer simplificações aceitáveis pelo que os ideais defendidos no relatório Egan parecem verosímeis.

No segundo ponto é defendido um dos principais conceitos do *Lean Production*. A antecipação de problemas e a capacidade de planear reduz o desperdício e aumenta o rendimento, sendo que o processo deve-se manter constantemente evolutivo.

3.3. STANDARDS

O ponto mais tangível na construção industrializada a estudar é a importância do padrão na construção de baixo custo. Internacionalmente conhecido como *standard* podemos defini-lo como uma convenção ou norma aplicada a um determinado produto de maneira a que a qualidade seja otimizada, cumprindo de forma mais eficaz as exigências para as quais determinado produto é concebido. Não existe uma única maneira de executar um produto ou serviço, sendo que a variedade provoca erros no produto final quando algumas características não são alcançadas. Assim sendo o *standard*, apesar de não ser a única solução possível, quando solicitado corretamente deverá ser capaz de dar resposta a uma determinada exigência e apresentar qualidade suficiente para que exista a satisfação do cliente.

Existe uma organização internacional fundada em 1947 em Génèbra na Suíça denominada de ISO – International Organization for Standardization – que categoriza a padronização e organiza de maneira a que esta esteja disponível numa ampla gama de países. Segundo esta organização o *standard* é um documento que fornece exigências, especificações, orientações ou características de modo a que um material, um produto, um processo ou um serviço seja o mais adequado para um objetivo pretendido. Os benefícios da introdução dos *standards* são a garantia da segurança, confiança e qualidade de um produto ou serviço. No mundo dos negócios este tipo de padronização providencia ferramentas estratégicas de redução de custos, através da minimização dos erros e desperdícios, aumentando a produtividade.

Considerando que a ISO contempla um código que é internacionalmente reconhecido, as normas estabelecidas fomentam o acesso a novos mercados como os países em desenvolvimento.

3.3.1. STANDARDS NA SOCIEDADE

Para se ter ideia da importância que os *standards* têm noutros setores que não a indústria de construção são indicados dois exemplos de implementação de padrões nos transportes e serviços. Estes dois

exemplos podem se considerar revolucionários, dado que aquando da sua implementação marcaram de facto um ponto de viragem no seu setor. Os casos apresentados passam pelo uso de contentores com dimensões *standard* no sistema portuário ou o teclado *standard* de um computador pessoal.

A introdução de *standards* no caso do transporte de mercadorias permitiu maior facilidade de acomodação e organização. Com esta norma introduzida nas dimensões dos contentores foi possível baixar os valores do custo do transporte principalmente, além de haver diminuição do tempo de transporte devido à maior organização. Na fig.10 é possível observar a forma como uma grua móvel coloca um contentor que se encontrava armazenado num porto sobre um camião que fica preparado de imediato a levar a carga ao seu destino final.



Fig.10 – Colocação de contentor portuário em camião

No caso do teclado de um computador pessoal (fig.11), algumas disposições das teclas agradavam alguns utilizadores em detrimento de outras, mas, a uniformização por uma das soluções foi a melhor solução para que todos os utilizadores agora tenham comodidade quando acedem a um computador diferente no seu dia-a-dia. Mais importante que a qualidade da solução foi a adoção de uma das soluções e a aprovação como um padrão.



Fig.11 – “Standard Keyboard” – Teclado

3.3.2. QUALIDADE NA GESTÃO, ISO 9001

Os clientes promotores de obras estão conscientes da importância da qualidade na execução da empreitada e não só no custo da mesma. De maneira a ter garantias da qualidade de produtos e serviços um cliente pode recolher antecipadamente essa informação exigindo a certificação do Sistema de Gestão da Qualidade de acordo com a norma ISO 9001, que permite demonstrar o compromisso das Organizações com a Qualidade e satisfação dos seus clientes, reforçando a imagem institucional e acompanhamento do mercado em constante evolução. A ISO 9001 está baseada em oito princípios de gestão da qualidade:

- Focalização nos Clientes
- Liderança
- Envolvimento das Pessoas
- Abordagem por Processos
- Abordagem à Gestão através de um Sistema (SGQ)
- Melhoria Contínua
- Abordagem à Tomada de Decisões Baseada em Factos
- Relações com Fornecedores com Benefícios Mútuos

O maior benefício da certificação de empresas está na reputação da ISO e o reconhecimento internacional do Sistema de Gestão da Qualidade de acordo com a ISO 9001 que prestigiam e dão uma boa imagem a qualquer organização. Não só em termos de imagem e propaganda, mas também a nível de qualidade de serviço a melhoria contínua dos processos e Sistemas de Gestão de Qualidade traduz-se na melhoria geral da performance e influencia positivamente os resultados da organização. O certificado ISO 9001 (fig.12) é um dos melhores passaportes na construção, pelo reconhecimento internacional que lhe é atribuído.



Fig.12 – Selo de qualidade da gestão na construção ISO 9001

3.3.3. ICS 91, STANDARD EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E EDIFÍCIOS

Além dos sistemas de gestão da qualidade o ICS (Internacional Classification for Standards) 91 contempla uma enorme lista de documentos no campo da construção com normas aplicáveis. Os documentos de maior interesse a destacar são os seguintes categorias ICS:

- 91.010, Indústria da Construção;
- 91.020, Planeamento urbano;
- 91.040, Edifícios;
- 91.060, Elementos para edifícios;
- 91.080, Estruturas de edifícios;
- 91.090, Estruturas externas (como garagens, portões, arcos, cercas, etc);
- 91.100, Materiais de Construção (apesar de alguns materiais deverem ser consultados em outras categorias ICS como vidro em 81.040.20, ferro e aço em 77.140, plásticos em 83.140, metais não ferrosos em 77.150, painéis à base de madeira em 79.040);
- 91.120, Proteção dos edifícios;
- 91.140, Instalações em Edifícios;
- 91.160, Iluminação;
- 91.180, Acabamentos interiores;
- 91.190, Acessórios em edifícios (como fechaduras, campainhas, parafusos, caixas de correio, etc);
- 91.200, Tecnologias construtivas (incluindo métodos de medição, locais de construção, etc);
- 91.220, Equipamentos de construção (incluindo estruturas provisórias, andaimes, vibradores de betão, gruas ou maquinaria de movimentação de terras).

4

SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO MODULADOS

4.1. MODULAÇÃO

O conceito da padronização da construção através de *standards* tem um maior significado desde o conceito implementado da construção modulada. De seguida são enunciados alguns autores que sugeriram definições sobre este assunto.

Segundo Castelo, J. (2008) “A coordenação dimensional modular, é uma metodologia, que visa criar uma dimensão padrão, que racionalize a conceção e a construção de edifícios, o que permite elevar o grau de industrialização da construção, mantendo no entanto a liberdade de conceção arquitetónica dentro de valores aceitáveis”. Enquanto para Thanoon, W. [et al.] (2003) “A coordenação modular é um sistema coordenado unificado para o dimensionamento de espaços, componentes, juntas, etc. de modo a que todos os elementos possam ser encaixados sem recorrer a cortes ou extensões, mesmo quando os componentes são produzidos por fornecedores diferentes”.

Estes dois conceitos referidos pelos dois autores permitem entender a otimização provocada pela implementação do conceito de construção modular.

A fase de projeto é o início da implementação da modulação em qualquer projeto, sendo que a simplificação imediata permitida nesta fase embrionária de qualquer projeto pode ser maximizada através de uma malha quadriculada. A economia de custos é maior e a versatilidade das soluções é bastante aceitável. A construção em massa que este processo permite diminuir a singularidade das ações, sendo assim os rendimentos superiores e o controlo da qualidade do produto mais facilitado.

4.1.1 Referenciais

A organização espacial dos componentes construtivos é auxiliada por um sistema referencial. Este tipo de sistema é composto por pontos, planos e linhas que permitem representar os elementos necessários à construção modular. A fig.13 expõe um exemplo de representação de um ponto A através da sua projeção nos planos xy, xz, e yz, ou seja criando os pontos auxiliares $x'y'$, $x'z'$ e $y'z'$.

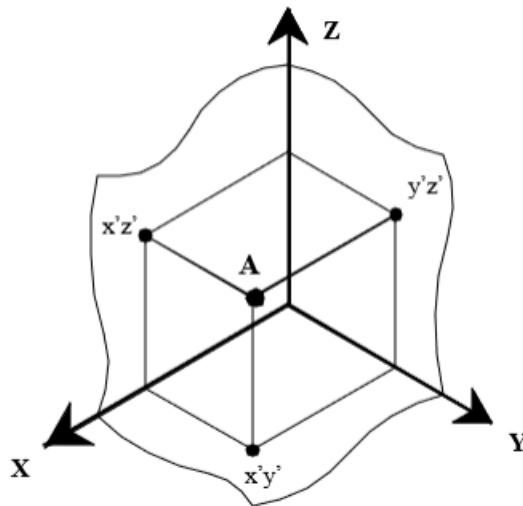


Fig.13 – Exemplo de um sistema referencial Baldauf, A. (2004)

Uma variante sobejamente conhecida é o sistema geométrico de referência, que se diferencia do sistema referencial corrente pela representação das linhas de interseção dos planos distados de um comprimento módulo predefinido. Na fig.14 observa-se o sistema referido segundo Baldauf, A. (2004).

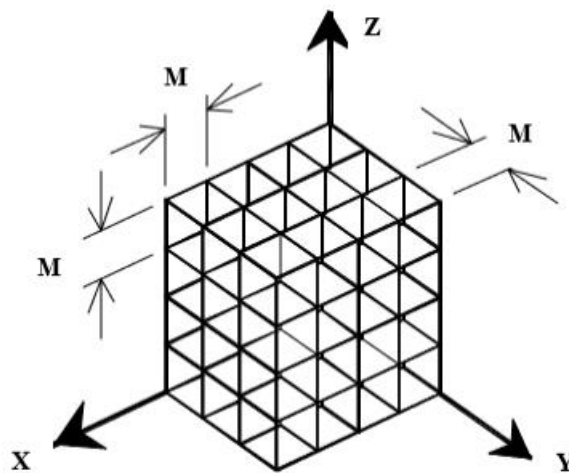


Fig.14 – Sistema geométrico de referência segundo Baldauf, A. (2004)

4.1.2. MALHAS MODULARES

Devido à complexidade do modelo tridimensional do sistema geométrico de referência em obra ou projeto, é normal utilizar-se uma simplificação através da representação bidimensional. Quando representado a duas dimensões, o sistema geométrico transforma-se numa malha, que pode ser mais ou menos refinada de acordo com os componentes construtivos a identificar, juntas, acabamentos e

lançamento de medidas em obra, de acordo com Patinha, S. (2011). Este autor, baseado no trabalho de Baldauf, A e Greven, H (2007) e G. Tenca-Montini (1971) sugere três tipos de malhas a utilizar:

- Malha modular base – padrão básico do sistema para reprodução dos componentes e detalhes.
- Malha modular do projeto – para conceção do projeto geral de edificação.
- Malha modular estrutural – auxiliadora do posicionamento dos elementos estruturais.

Ainda é considerada por alguns dos autores uma quarta malha modular, que não é consensual entre os estes, que é a malha modular de obra. Este tipo de malha facilita a localização e orientação do edifício, além de auxiliar na montagem dos componentes. A fig.15 demonstra os três tipos de malhas quadriculadas supracitadas.

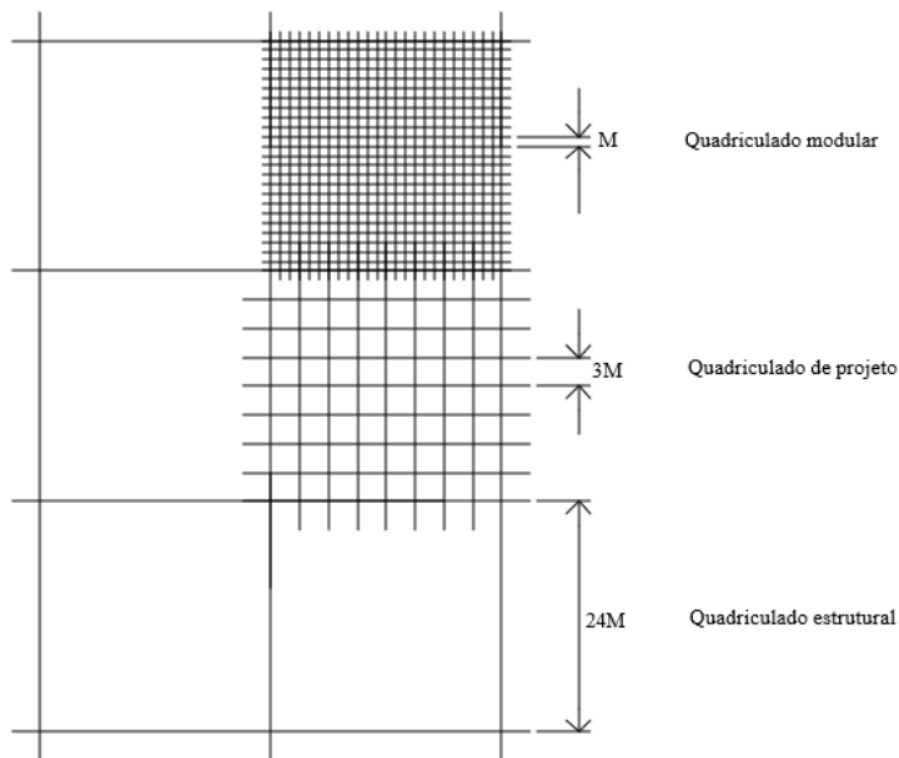


Fig.15 – Exemplo de malhas quadriculadas modulares em Baldauf, A. (2004)

4.2. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Existe uma enorme variedade de materiais de construção no que respeita à arquitetura contemporânea. Desde os materiais convencionais até aos produzidos industrialmente, a gama de materiais têm evoluído quantitativa e qualitativamente.

4.2.1. MATERIAIS NÃO-ESTRUTURAIIS

Dentro dos materiais não-estruturais surgem facilmente como exemplo os painéis de betão, madeira ou metálicos que assumem especial popularidade devido à sua consistência em termos de qualidade e economia de produção. De acordo com as características físicas e mecânicas dos materiais em questão

estes podem desempenhar diferentes funções na construção de um edifício, desde paredes interiores ou exteriores, ou como revestimentos de fachada. Estes são tipos de materiais que têm características mecânicas capazes de suportar ações consideráveis, apesar de não serem considerados no suporte estrutural do edifício. Outros elementos convencionais como o tijolo, além de possuírem características térmicas ou acústicas que podem também ser importantes em outras especialidades da construção, permitem construções robustas e duráveis ao preencher os espaços necessários.

A importância de materiais muito usuais como o vidro, plástico e alumínio é imensa, predominante na execução da envolvente do edifício verifica-se na execução de pormenores arquitetónicos como caleiras, janelas, portas, entre outros.

4.2.2. MATERIAIS ESTRUTURAIS

Desde o início da revolução industrial no início do século XIX que o aço tem vindo a ser produzido em grandes quantidades, não só para fins industriais como material de construção. A introdução do aço na construção deu origem a uma revolução no processo construtivo, pelas propriedades que este material possui. O aço é um material elástico que funciona bem à tração ou compressão e pode ser carregado acima do seu limite de elasticidade, a partir do qual se comporta de forma plástica, adquirindo uma deformação residual irreversível. Devido à elevada resistência é possível construir com vãos consideráveis que permitem espaços bastante amplos, mas a principal característica a seu favor para fins de construção modelada está na elevada precisão dos perfis que são prefabricados industrialmente. A montagem é feita de forma rápida devido ao desenvolvimento das ligações standardizadas que as peças adquiriram e permitem uma fácil estabilidade temporária durante o período de construção. Neste momento o aço é um material estrutural de relativa economia e portanto sempre uma hipótese a considerar no dimensionamento estrutural.

O betão é o material mais utilizado atualmente para efeitos estruturais na construção. Apesar de ser um material heterogéneo composto por cimento, agregados e água, com possibilidade de integração de aditivos tem um ótimo comportamento de resistência à compressão, que quando combinado com o aço a trabalhar normalmente à tração dá origem ao betão armado. Este material é extremamente económico e portanto uma solução possível bastante óbvia quando se procura construção de baixo custo. Desde a moldagem *in situ* de pórticos, até à prefabricação dos mesmos ou painéis, variadas soluções já foram encontradas para a utilização deste material. Uma outra possibilidade está na construção não só de um esqueleto estrutural como o desenvolvimento da construção com paredes e lajes em betão. Quer seja através de prefabricação ou betonagem *in situ* a técnica de produção das peças de betão é bastante divulgada e exequível em qualquer local. As peças prefabricadas em betão armado pressupõe alguma tecnologia ou indústria suplementar em relação às betonagens *in situ*, o que pode dificultar a sua utilização em países menos desenvolvidos.

4.3. SISTEMAS ESTRUTURAIS

Como foi possível evidenciar no capítulo anterior, uma das soluções mais eficientes para a construção de habitações sociais em países em desenvolvimento passa por uma tipologia multifamiliar até 4 pisos, de maneira a poder haver um bom aproveitamento da área bruta de construção e não haver necessidade da introdução de um elevador que acarreta custos energéticos demasiado relevantes para a realidade de

muitos países em desenvolvimento e em que não pode existir um conceito de condomínio de moradores. O tipo de construção e mais especificamente no caso de apartamentos modulares pressupõe, de um modo geral, três tipos de solução quanto aos sistemas estruturais:

- Pórticos em betão armado;
- Pórticos metálicos;
- Sistema em parede resistente de betão armado.

No caso dos pórticos estruturais existem alguns tipos de soluções que podem ser analisadas economicamente. Para edifícios em altura a opção de utilização de madeiras é pouco recomendada, sendo a estrutura metálica (fig.16a) e estrutura em betão armado (fig.16b) as mais recorrentes pelo seu alto desempenho e custo tolerável.

Contudo este tipo de sistema estrutural não contempla as paredes interiores e de fachada de um edifício. As várias alvenarias não resistentes efetuadas *in situ* têm normalmente associados custos avultados, além de prolongados. Apesar de poder ser pensado um método industrializado, nomeadamente através de prefabricação e processos de colocação adequados existem ainda assim outras possibilidades mais viáveis.



Fig.16 – Sistemas estruturais em pórtico: Fig. 16a) – Pórticos metálicos *Pelagos Homes*; Fig. 16b) – Pórticos em betão armado da *Dania Cebus*;

No que diz respeito aos sistemas de parede resistente para construção em altura pressupõe-se soluções de betonagem em massa (fig.17). Os custos da estrutura são genericamente superiores às opções anteriores, mas a possibilidade de introduzir o conceito de betão à vista diminui os custos das paredes divisórias e de fachada. A arquitetura bem formulada, aliada a um processo de cofragem adequado permite ter um custo por metro quadrado muito apelativo. Esta solução será analisada no presente trabalho de forma mais aprofundada nos capítulos subsequentes.

O sistema parede de betão armado contempla a componente estrutural e a componente de preenchimento das divisórias e envolvente. Para construções com exigências reduzidas esta solução, quando implementada com técnicas eficientes, permite um acabamento instantâneo de suficiente qualidade. A possibilidade de incorporar no sistema de cofragem as instalações do edifício ou reservar espaço para que estas possam ser instaladas permite diminuir os custos destas tarefas.

O tipo de sistema a ser estudado tem como principais custos associados o preço do betão e aço mas também o custo da sua moldagem. O preço do betão e do aço é pouco variável, dado ser uma componente

de cálculo do domínio das estruturas e que é otimizado no seu cálculo. Na construção convencional as cofragens são uma parcela pouco relevante e os métodos utilizados são um pouco artesanais. Numa construção em sistema parede e laje de betão armado o tipo de cofragem toma especial importância porque a sua otimização torna-se essencial para a qualidade da proposta. Assim sendo é de interesse discutir quais os métodos mais adequados que foram desenvolvidos nos últimos anos para moldar estruturas deste tipo e identificar os sistemas de cofragem comercializados pelos fabricantes.



Fig.17 – Estrutura parede em betão armado cofrada por sistema *UNO* da *Peri*.

5

COFRAGENS

5.1. INTRODUÇÃO

A solução em estudo baseia-se no uso de betão colocado *in situ*, ou seja o betão fresco é colocado no seu estado fluído para que este ganhe presa. Este tipo de processo implica o uso de um molde para atribuir a forma desejada ao betão e ao qual se atribui correntemente o nome de *cofragem*. Este molde e todo o sistema cofrante, além de ser concebido de maneira a assegurar a sustentação das pressões exercidas pelo betão, deve garantir o suporte das cargas permanentes como o seu peso próprio, o peso do betão fresco e possíveis cargas não permanentes como a ação de trabalhadores e equipamentos, vento ou acidentes. Caso seja salvaguardada esta condição é garantida a estabilidade local e global da estrutura enquanto é feita a betonagem e no período de cura e consequente autossustentação do betão. Esta é uma condição essencial a nível de segurança de trabalho.

A importância do estudo das cofragens mais indicadas para este tipo de projeto em estrutura parede é de interesse para a engenharia civil dado que os custos de mão-de-obra representam uma fatia muito grande na execução de betão. As empresas produtoras de cofragens têm desenvolvido os seus sistemas de maneira a minimizar o trabalho em obra. A diminuição do número de componentes minimiza as tarefas de colocação e remoção uma cofragem determinam praticamente, multiplicado o tempo pelo honorário de um funcionário o custo de mão-de-obra. Como exemplo, a *Peri* baseou-se em dados de execução de uma parede de 30cm de espessura obtendo os resultados representados graficamente na fig.18.

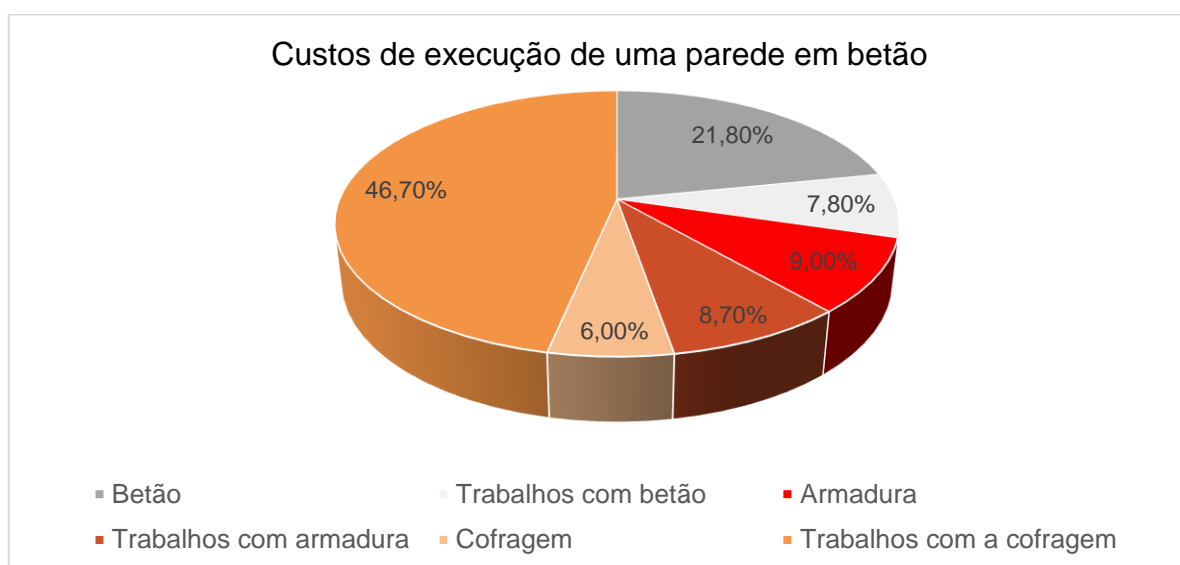


Fig.18 – Representação dos custos com parede de betão de 30cm de espessura facultado pela *Peri*

De realçar a importância de quase 50% atribuída aos trabalhos com cofragem constatada por uma das empresas de referência no fabrico de cofragens para um caso simples mas demonstrativo da preponderância da otimização das cofragens num projeto em que grande parte do investimento é dada à componente do betão armado.

5.2. CARACTERÍSTICAS E EVOLUÇÃO DAS COFRAGENS

Quando nos referimos a uma cofragem deve estar implícito um conjunto de características gerais das quais se podem destacar:

- Rápida montagem e desmontagem;
- Fácil betonagem;
- Preenchimento efetivo de todos os espaços vazios destinados ao betão;
- Acesso fácil dos meios de vibração e compactação do betão;
- Resistência às tensões provocadas pela betonagem, vibração e bombagem;
- Indefinibilidade e desempenho;
- Estanquidade ao betão fresco;
- Baixa permeabilidade de absorção da água e outros constituintes do betão;
- No caso de betão à vista a superfície deve ser tratada por forma a ter o acabamento desejado;
- Capacidade de reutilização;
- Fácil limpeza.

O processo evolutivo das cofragens nos últimos anos permitiu que estas características fossem melhoradas essencialmente na rapidez de montagem e desmontagem das cofragens e no custo da parcela destinada à moldagem do betão. Os principais atributos aperfeiçoados pelas principais marcas de cofragem foram:

- Aumento da durabilidade dos materiais e elementos de cofragem;
- Minimização do tempo de montagem e desmontagem;
- Diminuição da mão-de-obra necessária;
- Melhorias de segurança;
- Aumento da rotatividade de equipamento;
- Melhorias do acabamento no betão à vista;

5.3. SISTEMAS DE COFRAGEM

Depois de uma análise generalista das características de uma cofragem é de especial importância diferenciar quais os principais sistemas de cofragens existentes. Um sistema de cofragem consiste num conjunto de materiais que interagem de forma a moldar o betão dando-lhe o suporte necessário através da superfície cofrante, elementos de suporte e contraventamento, apoios ao solo e elementos de ligação. O principal destaque a diferenciar está no facto de que a cofragem pode ser recuperável, perdida ou descartável. No primeiro caso, ao utilizarmos uma cofragem recuperável podemos ter reutilização da mesma, mas, pelo contrário, nas cofragens perdidas ou descartáveis apenas usufruímos por uma vez do seu serviço. A diferenciação pode ainda sugerir uma subdivisão de acordo com a sofisticação da solução no caso das cofragens recuperáveis. No Quadro 2 surge uma classificação proposta que esquematiza e contextualiza de forma clara o assunto a expor baseado nos conteúdos do sítio construlink.com. As

cofragens perdidas ou descartáveis não são aprofundadas neste trabalho devido à incapacidade de reutilização das mesmas.

Quadro 2 – Classificação dos sistemas de cofragem

Cofragens Recuperáveis	Tradicionais	Madeira	
	Semi-racionalizadas ou tradicionais recuperáveis	Madeira complementada	
	Racionalizadas	Ligeiras ou desmembráveis	
		Semi-desmembráveis	
		Pesadas ou monolíticas	
	Especiais	Vigas de lançamento	
		Carro de avanço	
		Pneumáticas	
	Cofragens perdidas	Estruturais ou colaborantes	Pré-lajes
			Pavimentos aligeirados
Chapas de aço galvanizado			
Não-estruturais ou não-colaborantes		Abobadilhas	
		Blocos de material expandido	
		Cofragens plásticas	
Cofragens Descartáveis			

5.3.1. COFRAGENS RECUPERÁVEIS TRADICIONAIS

As cofragens tradicionais são executadas em barrotes e tábuas de madeira maciça e ligadas sobretudo por pregos (ver fig.19). Esta é uma solução que possui como maior atributo a sua versatilidade, mas com recurso a mão-de-obra exaustiva.

A versatilidade deste tipo de cofragem está na possibilidade em realizar formas geométricas mais complicadas de executar. Através do corte da madeira pode-se atribuir um pormenor à cofragem que através das peças racionalizadas pode ser impraticável executar.

Tendo em conta o tipo de obra em estudo este tipo de sistema revela debilidades devido a ter um número de reutilizações muito baixo, além de um elevado tempo despendido no processo de cofragem e descofragem e revelar um acréscimo na dificuldade de limpeza em relação a outras soluções.

Assim deduzimos que não deve ser uma das soluções a considerar na execução de uma cofragem para betonagens de larga escala.



Fig.19 – Exemplo de cofragem tradicional

5.3.2. COFRAGENS RECUPERÁVEIS SEMI-RACIONALIZADAS

As cofragens recuperáveis semi-racionalizadas têm por base as cofragens convencionais, mas às quais se introduz alguns elementos de carácter racionalizado como vigas metálicas ou madeira (fig.20) e painéis de contraplacado, entre outros elementos.



Fig.20 – Utilização de elementos semi-racionalizados (viga principal de cofragem)

Os elementos racionalizados utilizados permitem melhorar e otimizar um pouco o desempenho dos elementos tradicionais e obter maior rapidez nos processos de cofragem e descofragem. Ainda assim, este tipo de cofragem apesar de conseguir melhores rendimentos e reutilizações é ainda ineficaz para os propósitos a que se destina o presente estudo.

5.3.3. COFRAGENS RECUPERÁVEIS RACIONALIZADAS

As cofragens recuperáveis racionalizadas são estruturas provisórias de sustentação produzidas em fábrica, sendo constituídas por elementos normalizados e executadas em materiais fortemente reutilizáveis. As ligações entre os constituintes de uma cofragem deste tipo são muito otimizadas para uma fácil montagem e desmontagem. Estas características são essenciais para obras de baixo custo e com necessidades de cofragem tão expressivas como o tipo que está em estudo neste trabalho.

Uma divisão possível dentro da classe de cofragens recuperáveis utiliza como critério o peso dos sistemas, exposto através da fig.21.

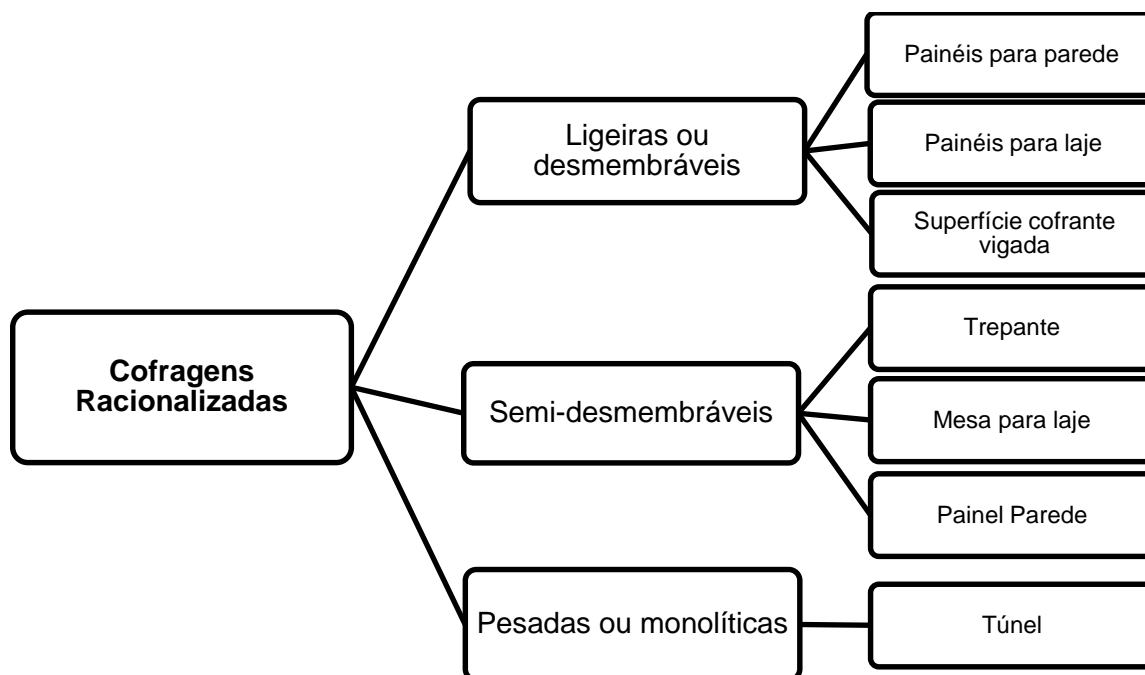


Fig.21 – Subclassificação das cofragens racionalizadas

5.3.3.1. Cofragens ligeiras ou desmembráveis

Este tipo de cofragem diferencia-se dentro da sua classe devido à separação que a cofragem tem dos elementos de suporte e o conjunto dos painéis é composto por módulos. Este tipo de sistema tem maior flexibilidade e versatilidade, é de fácil transporte e colocação. Com um bom ritmo de cofragem e descofragem pode ser uma solução a considerar no sistema parede e laje de betão armado.

5.3.3.1.1 Sistema em painéis

No mercado existe grande variedade de painéis de cofragem (fig.22) para paredes que permitem colmatar as necessidades de qualquer projeto. Um painel consiste numa peça de cofragem que é capaz de suportar pressão, que normalmente é um dado fornecido pelo fabricante.

Existem diferentes tipos de painéis sendo que o mais corrente é o painel com superfície cofrante em contraplacado com revestimento em filme fenólico e quadro em aço galvanizado. Esta não é, no entanto, o único tipo de painel comercializado. Devido ao peso do contraplacado e do aço têm sido desenvolvidos outras soluções destacando-se os seguintes painéis:

- Contraplacado com quadro de aço galvanizado (fig.22 a);
- Contraplacado com quadro de alumínio (fig.22 b);
- Superfície em alumínio apenas (fig.22 c).

Este tipo de painéis têm capacidade de sustentar a pressão do betão fresco de $80kN/m^2$, no caso de contraplacado com quadro em aço galvanizado e $60kN/m^2$ em painéis de contraplacado com quadro de alumínio e em superfície em alumínio (segundo dados dos principais fabricantes como Peri e Doka). Estes valores permitem uma margem confortável para a execução dos trabalhos.

Uma parte essencial está na forma como é feita a ligação entre painéis. Para além de segura a ligação deve permitir a correta moldagem, não permitindo espaços entre painéis que podem provocar a perda do betão fresco para o exterior da cofragem. A absorção de água pela superfície cofrante deve ser limitada de forma a garantir as características pretendidas do betão.

Ainda de ressaltar a importância que tem a rapidez com que é feita a ligação, essencial para diminuição dos custos com mão-de-obra e melhoria do planeamento.

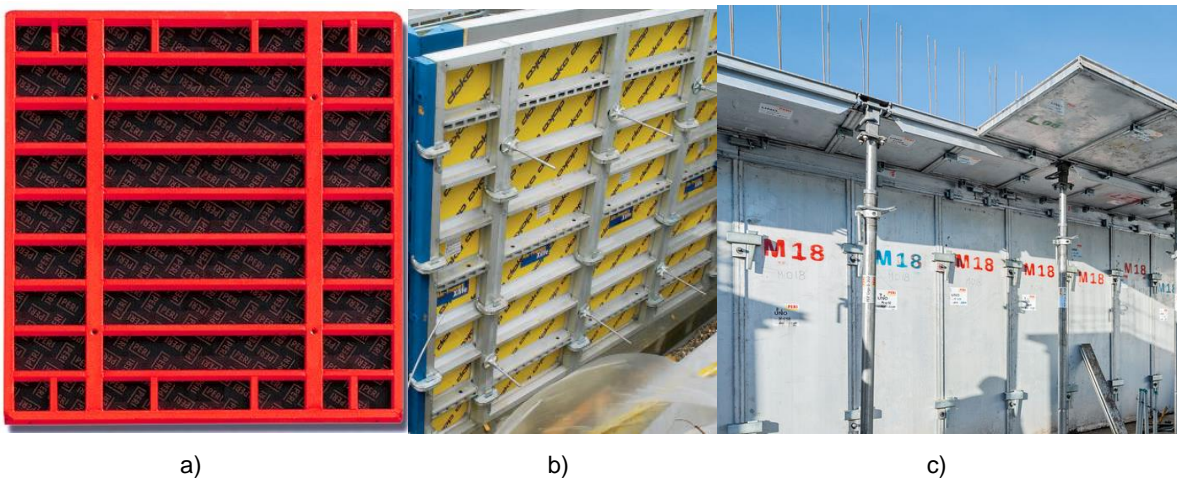


Fig.22 – Painéis de cofragem: Fig.22a) painel de cofragem em contraplacado com quadro em aço galvanizado modelo TRIO da Peri; Fig.22b) painel de cofragem em contraplacado com quadro em alumínio modelo ALU-FRAMAX LIFE da DOKA; Fig.22c) painel de cofragem alumínio modelo UNO da Peri.

i) Sistema em painéis para paredes

O sistema em painéis desmembráveis para paredes pressupõe a colocação vertical dos painéis de cofragem de maneira a conter o impulso exercido pelo betão durante o processo de betonagem e solidificação do betão. Para que uma parede possa ser betonada é necessário que exclusivamente uma das faces (a superior) esteja livre. Como tal é necessário que a laje do piso inferior esteja previamente betonada e que, até à altura desejada de parede exista uma superfície que impeça a saída do betão nas laterais.

O sistema de painéis contém um conjunto de elementos associados à sua colocação, que se apresentam na fig.23.

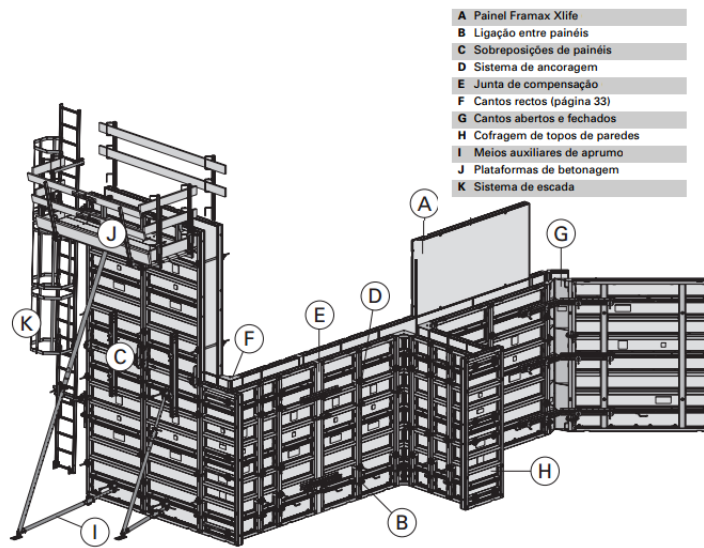


Fig.23 – Esquema de montagem com acessórios dos painéis Framax Xife da Doka

A colocação da cofragem inicia-se colocando na vertical um painel de cofragem na dimensão de maior desenvolvimento e posteriormente um painel paralelo, sendo a distância entre as superfícies de cofragem igual à espessura da parede. De maneira a conseguir implementar a espessura pretendida na cofragem e que esta se mantenha aprumada durante a betonagem, o betão necessita de ancoragens que mutuamente anulam os impulsos (ver fig.24). Estas ancoragens são roscadas no quadro metálico em pontos predefinidos em cada painel, como se expõe na fig.24a. O esquema da fig.24b ilustra o aspeto de uma ancoragem *Doka* de 15mm de diâmetro envolvida num tubo de PVC e cone universal de 22mm, com aperto das porcas superiores ao quadro.

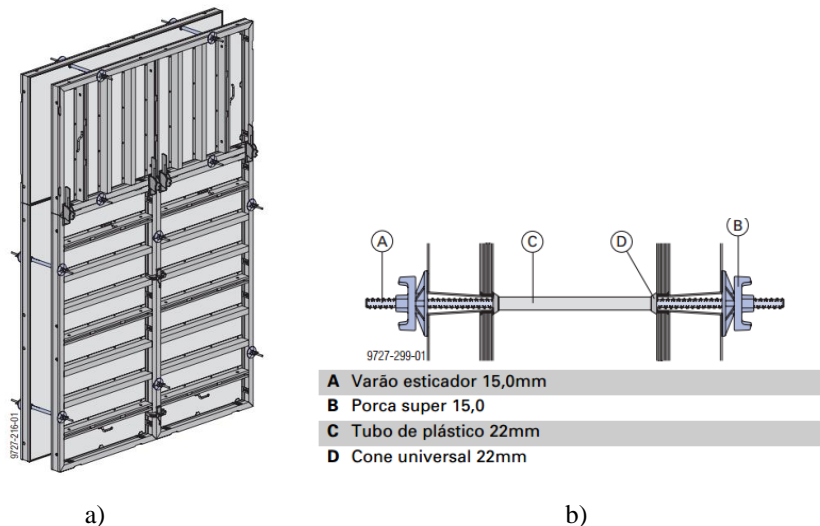


Fig.24 – Ancoragens entre painéis de cofragem: Fig.24a – Colocação predefinida de ancoragens *Doka*; Fig.24b – Esquema de uma ancoragem *Doka*.

As cofragens desmembráveis compostas por painéis necessitam ser ligadas de maneira a cofrar uma área razoável de parede. A ligação é estabelecida através de um grampo ou ferrolho e possivelmente, se

necessário, com o auxílio de cintas. Este tipo de acessórios tem algumas variantes dependendo do fabricante e vários modelos num mesmo fabricante. Entre painéis pode ser necessário utilizar juntas de compensação de maneira a obter as dimensões pretendidas. Na fig.25 é possível observar a aplicação de grampos e cintas na solidarização de painéis Doka a) e o modo de colocação de um grampo BFD da Peri em b).

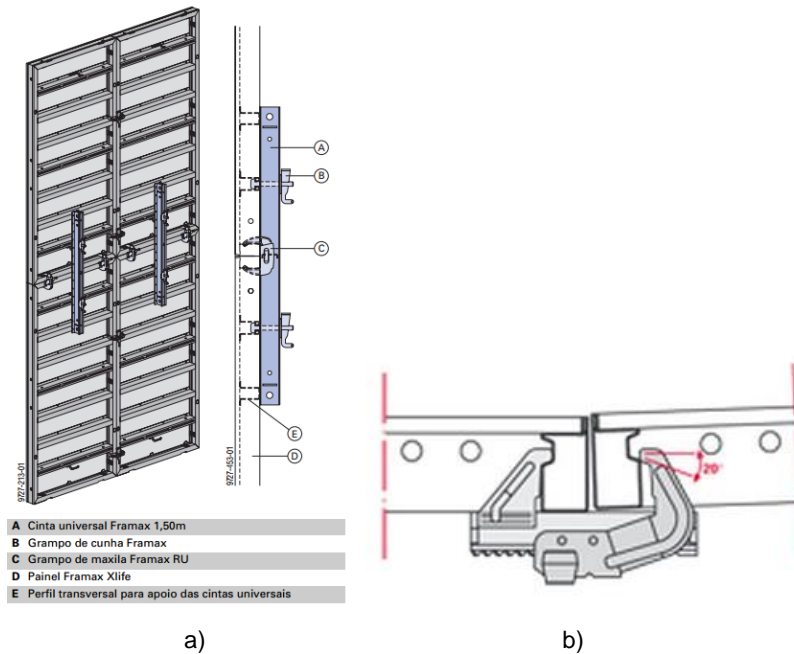


Fig.25 – Grampo BFD da Peri: Fig.19a) – Aplicação de grampos na solidarização de cofragens; Fig.19a) – modo de colocação de grampos na solidarização de cofragens

De maneira a terminar o molde é necessário fechar a menor dimensão da parede. Este processo é garantido através da aplicação de cantos interiores e cantos exteriores (fig.26a) ou cantos interiores e painéis, como no exemplo em união em T (fig.26b). Os cantos interiores e exteriores podem ser reguláveis de forma a obter ângulos oblíquos, não necessariamente retos.

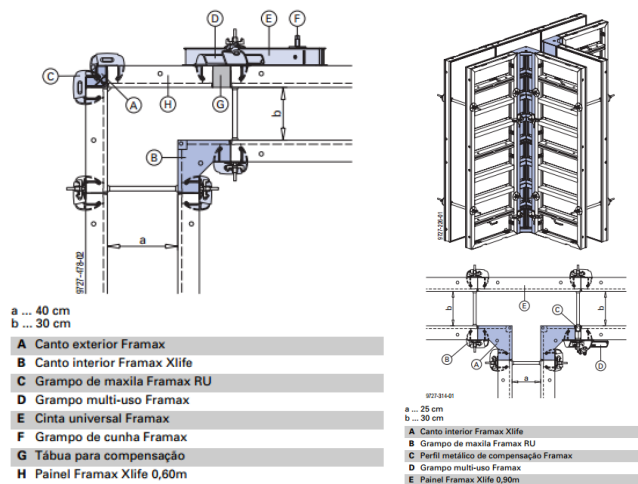


Fig.26 – Elementos de fecho de cofragem: Fig.26a) – cofragem de canto interior Doka; Fig.26b) – cofragem de em forma T Doka.

De maneira a obter a verticalidade desejada é necessário utilizar auxiliares de aprumo que funcionam como escoras (normalmente ajustáveis). Normalmente são utilizadas duas escoras com ângulos de aproximadamente 60° e 20° em relação ao plano horizontal. Na fig.27 está representado um exemplo de esquema de aplicação.

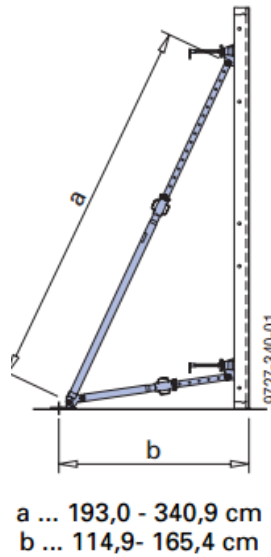


Fig.27 – Esquema de aplicação escoras ajustáveis de aprumo.

ii) Sistema em painéis para lajes

A nível das lajes de piso o sistema de painéis também é comercializado pelas principais empresas de cofragens. Para colocação de painéis para betonagem de laje é necessário assegurar que os mesmos assentem sobre uma viga principal (por exemplo viga SLT 225 da Peri), que descarrega a carga em prumos verticais. Um exemplo deste tipo de sistema é o SKYDECK da Peri (fig.28).



Fig.28 – Sistema em painéis para lajes

Um acessório interessante neste tipo de cofragem é o cabeçal de saída (fig.29) que fica em contacto com o betão uma vez que permite a descofragem mais rápida dos painéis (cerca de 1dia), desde que sejam conservados os prumos por algum tempo suplementar. Este acessório pode ser encaixado na parte superior de um prumo.

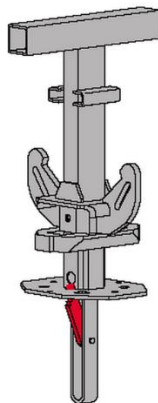


Fig.29 – Cabeçal de saída SKYDECK da Peri

5.3.3.1.2 Superfície cofrante vigada

Uma dos meios mais utilizados para cofrar lajes é o duplo vigamento escorado com recurso a placas de contraplacado ou outros tipos de superfícies cofrantes. De maneira a incrementar a rigidez destas estruturas é aconselhável utilizar algum contraventamento, por exemplo, através de tripés na base de alguns prumos como se observa na fig.30.

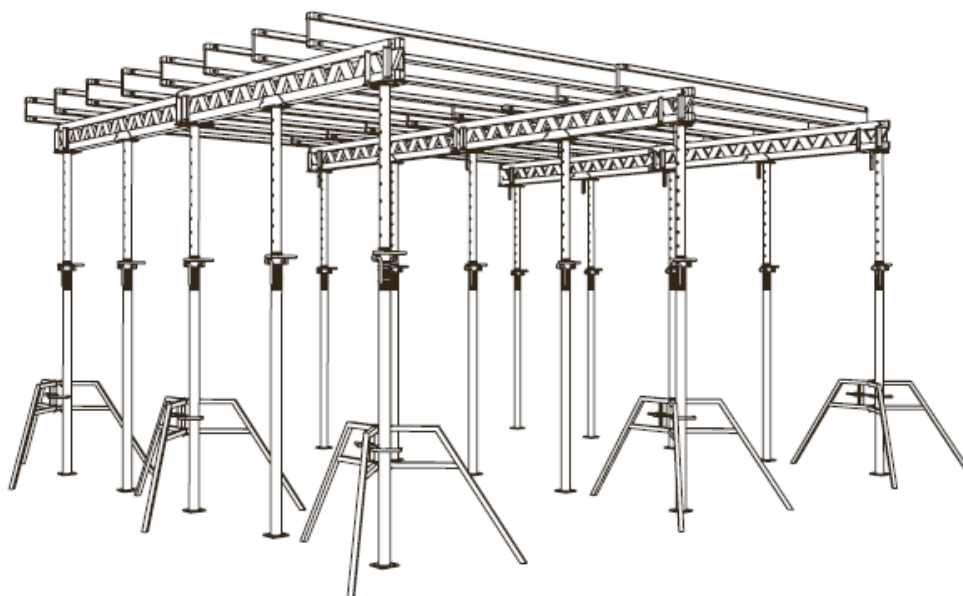


Fig.30 – Sistema de cofragem duplamente vigado escorado MULTIFLEX da Peri

5.3.3.2. Cofragens semi-desmembráveis

Este tipo de sistemas surge do acoplamento de painéis por meio dos elementos de ligação necessários. Esta variante é apresentada de forma diferenciada devido ao facto destas cofragens serem de maior porte e geralmente a colocação necessitar de trabalho mecânico ou acessórios para facilidade de deslocação. Este tipo de sistema baseia-se em dois tipos de sistema: Mesas para laje; painel parede e sistema trepante.

5.3.3.2.1. Mesas para cofragem de laje

No sistema mesa (fig.31) é utilizado um tipo de sistema duplamente vigados mas com ligações permanentes entre a superfície cofrante, vigas primárias e secundárias e prumos (normalmente podem rodar para facilitar algumas manobras), o que permite eliminar a quantidade de tarefas de desmembramento do sistema de cofragem, tornando o processo de descofragem mais rápido.



Fig.31 – Remoção de uma mesa de cofragem GT 24 da Peri através de grua

Necessariamente a colocação e remoção da mesa de cofragem (fig.26) deve ser feita através do uso de uma grua. Para isso é necessário que esteja acoplado ao gancho da grua uma plataforma treliçada. Essa peça facilita o movimento descendente na colocação e a movimentação horizontal na recolha da cofragem. Ainda para a descofragem, após aliviar as escoras, as mesas de cofragem que não se encontrem nas extremidades podem ser retiradas através do auxílio de dispositivos deslizantes como carros (fig.32).



Fig.32 – Carro para translação de mesa de cofragem Peri

5.3.3.2.2. Paineis Parede

O sistema paineis parede consiste numa solução de cofragem em que a solidarização de vários painéis permite cofrar uma parede inteira, ou uma área de grande dimensão. Ao evitar o desmembramento de uma placa o tempo de descofragem diminui, diminuindo o custo com mão-de-obra e acelerando o processo construtivo. A colocação destes painéis é efetuada através de grua com recurso a 2 correntes com ganchos (fig.33).



Fig.33 – Movimentação de paineis parede TRIO da Peri através de grua e recurso a correntes

5.3.3.2.3. Cofragem trepante

O sistema de cofragem trepante consiste de forma geral em um painel parede com suporte e plataforma de trabalho metálica. Os painéis podem ser subidos em paralelo no caso de a laje superior não estar ainda cofrada. Este tipo de cofragem é bastante utilizado em estruturas altas em betão, como edifícios, pontes ou barragens. No que respeita a edifícios este é um tipo de cofragem com qualidade na perspetiva da execução das paredes de fachada, mas que só pode trepar na face exterior (fig.34a)). A moldagem estará completa ao ligar este painel com um interior.

Devido ao facto de o sistema ter uma estrutura metálica rígida é possível trabalhar em segurança, desde que haja uma boa fixação da plataforma que se materializa através ancoragens ao betão das paredes do piso inferior (esquema na figura 34b)).

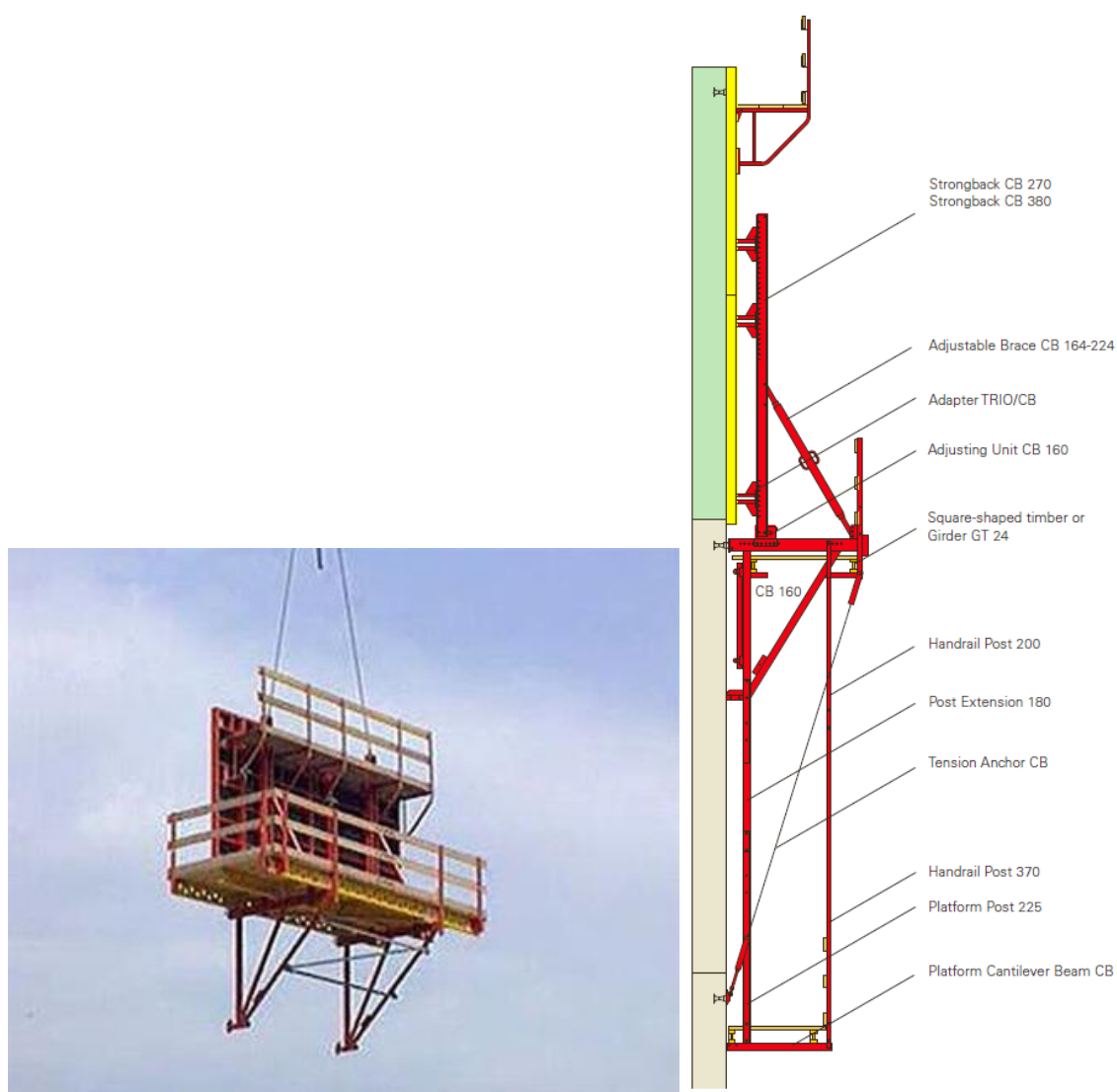


Fig.34 – Sistema de cofragem trepante CB da Peri: Figura 29a – Movimentação de cofragem trepante CB da Peri acoplado a painéis DOMINO; Figura 29a – Esquema de fixação de sistema CB da Peri para painéis MAXIMO ou TRIO

5.3.3.3 Cofragens Pesadas ou monolíticas

O sistema de cofragem em questão constituiu uma peça única, em que os painéis e suporte são indissociáveis. O tempo de montagem e desmontagem da cofragem é de longe o principal ponto a favor neste tipo de soluções, devido à grande rapidez destas operações através de meios mecânicos. O ponto mais delicado em seu desfavor é a necessidade de remoção por um dos topos (ver fig.35), sendo portanto necessário deixar umas das 4 paredes por betonar.



Fig.35 – Remoção de túnel de cofragem para habitação da Outinord

A estrutura de suporte neste tipo de sistemas é necessariamente metálica, de forma a resistir ao seu peso próprio. Os túneis podem ser formados por painéis e escorados através de prumos telescópicos para aliviar a tensão no processo de descofragem. Estes túneis de grande dimensão são colocados facilmente através de conexões materializadas por dispositivos de encaixe como furos e parafusos de acerto deixados na laje inferior. Para maior facilidade de remoção o sistema pode ter rodas na parte inferior do escoramento (ver fig.36).

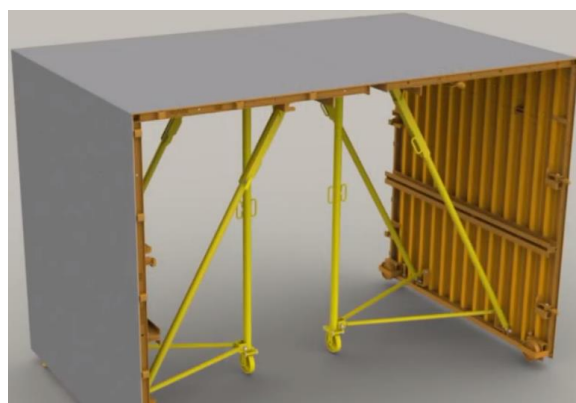


Fig.36 – Sistema de deslizamento de túnel de cofragem *Outinord*

5.4. DIMENSIONAMENTO DE COFRAGENS

O dimensionamento de uma cofragem é geralmente bastante desconsiderado a nível da sua importância no processo construtivo. Em construções de carácter corrente a moldagem do betão é feita de forma tradicional com moldagem personalizada para cada peça. Este é um método que se revela ineficaz nos principalmente nos seguintes aspetos:

- Elevado custo pela pouca reutilização;
- Elevado custo em mão-de-obra pela personalização da cofragem;
- Sobredimensionamentos com acréscimos desnecessários de gastos em cofragem;
- Aumento da sinistralidade devido a segurança estrutural pouco cuidada com maior risco de aluimento e outros acidentes.

Devido a estes fatores o dimensionamento destes sistemas provisórios, nomeadamente o cálculo dos seus componentes, deve ser tão cuidado quando o dimensionamento das estruturas finais.

De acordo com a escolha de um sistema de betonagem de lajes e paredes em betão armado o sistema de cofragem terá de ser dimensionado para este tipo de solução.

5.4.1 PRESSÃO VERTICAL

A pressão vertical exercida pelo betão fresco sobre uma cofragem horizontal, nomeadamente na betonagem de uma laje corresponde à componente do peso próprio do betão.

O cálculo da carga atuante sobre a superfície de cofragem segundo a DIN 4421 é dado pela equação

$$q = g + b + p \quad (2)$$

- q carga distribuída total kN/m^2 ;
- g carga distribuída permanente de valor $0,4kN/m^2$;
- b carga distribuída devido ao peso do betão de valor $26 kN/m^3 * d kN/m^2$;
- p carga distribuída variável de valor 20% de b em kN/m^2 ;
- d espessura da laje em m .

As lajes correntes maciças têm uma espessura bastante fina, normalmente não superior a 20 centímetros. Na betonagem com recurso a superfícies cofrantes, vigas principais e secundárias e prumos os espaçamentos destes elementos são essenciais para que a carga aplicada não provoque a rotura ou flexão exagerada da superfície cofrante (limitada a $1/500$).

Como exemplo pode ser tomado o caso seguinte exposto no catálogo MULTIFLEX da Peri Formworks da fig. 37.

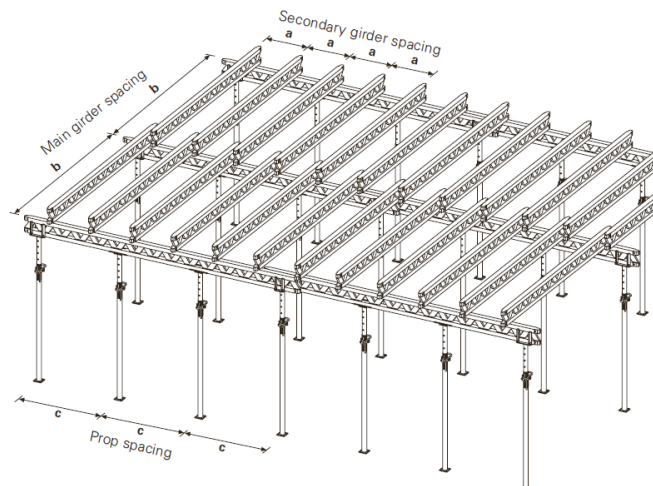


Fig.37 – Esquema de colocação de vigas e prumos em sistema MULTIFLEX da Peri

O sistema MULTIFLEX é composto por dois tipos de vigas apoiadas em prumos espaçados a uma certa distância. Os vãos das vigas e a distância entre prumos podem ser dimensionados.

O dimensionamento do espaçamento das vigas decorre da necessidade de limitar a carga aplicada aos painéis de contraplacado. No caso do *Plywood 21mm* a flecha máxima, f e o momento máximo, M são os seguintes:

- $f = \frac{0,0068 * q * L^4}{E * I}$;
- $M = 0,1071 * q * L^2$

Baseado nestes dois valores a Peri elaborou uma tabela representada no Quadro 3, com a carga máxima atribuída a um prumo e espaçamento máximo das vigas principais. Para tal é necessário utilizar uma dada espessura de laje (com uma carga q correspondente calculada através da equação 2), espaçamentos entre os 0,50 e 0,75m da viga secundária e espaçamento de prumos entre os 0,60 e 2,40m.

Quadro 3 – Tabela de dimensionamento do vão das vigas principais e necessidade de resistência à compressão dos prumos

Espessura da laje (m)		0,10			0,12			0,14			0,16			0,18			0,20		
Carga q* (kN/m ²)		4,5			5,0			5,5			6,1			6,6			7,1		
Espaçamento da viga secundária (m)		0,75	0,625	0,5	0,75	0,625	0,5	0,75	0,625	0,5	0,75	0,625	0,5	0,75	0,625	0,5	0,75	0,625	0,5
Espaçamento entre prumos (m)	0,60	3,79	4,03	4,34	3,60	3,82	4,12	3,44	3,65	3,93	3,30	3,51	3,78	3,18	3,38	3,64	3,08	3,27	3,53
		10,2	10,9	11,7	10,8	11,5	12,4	11,4	12,1	13,1	12,0	12,7	13,7	12,6	13,4	14,4	13,1	13,9	15,0
	0,90	3,79	4,03	4,34	3,60	3,82	4,12	3,44	3,65	3,93	3,30	3,51	3,78	3,18	3,38	3,55	3,08	3,27	3,29
		15,4	16,3	17,6	16,3	17,3	18,6	17,1	18,2	19,6	18,0	19,1	20,6	18,9	20,0	21,6	19,7	20,9	22,5
	1,20	3,79	4,03	4,34	3,60	3,82	4,12	3,44	3,65	3,93	3,30	3,51	3,78	3,18	3,38	3,55	3,08	3,27	3,29
		20,5	21,8	23,5	21,7	23,0	24,8	22,8	24,3	26,1	24,0	25,5	27,5	25,1	26,7	28,0	26,3	27,9	28,0
	1,50	3,79	4,03	4,15	3,60	3,72	3,72	3,37	3,37	3,37	3,08	3,08	3,08	2,84	2,84	2,84	2,63	2,63	2,63
		25,6	27,2	28,0	27,1	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
	1,80	3,18	3,18	3,18	2,85	2,85	2,85	2,58	2,58	2,58	2,36	2,36	2,36	2,18	2,18	2,18	2,02	2,02	2,02
		28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
	2,10	2,43	2,43	2,43	2,17	2,17	2,17	1,97	1,97	1,97	1,80	1,80	1,80	1,66	1,66	1,66	1,54	1,54	1,54
		28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
	2,40	2,07	2,07	2,07	1,86	1,86	1,86	1,68	1,68	1,68	1,54	1,54	1,54	1,42	1,42	1,42	1,31	1,31	1,31
		28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0

De acordo com a capacidade necessária para o escoramento pode-se escolher, por exemplo dentro do modelo PEP a solução mais adequada. No Quadro 4 encontra-se a resistência à compressão fornecida pela *Peri Formworks* dos seus prumos de cofragens metálicos *PEP*.

Quadro 4 – Resistência à compressão dos perfis *PEP* da *Peri*

Comprimento (m)	PEP 20 N 260* L = 1.51 – 2.60 m		PEP 20-300 L = 1.71 – 3.00 m		PEP 20-350 L = 1.96 – 3.50 m		PEP 20-400 L = 2.21 – 4.00 m		PEP 20-500 L = 2.71 – 5.00 m	
	Tubo exterior	Tubo Interior	Tubo exterior	Tubo Interior	Tubo exterior	Tubo Interior	Tubo exterior	Tubo Interior	Tubo exterior	Tubo Interior
1.60	35.0	35.0								
1.70	35.0	35.0								
1.80	35.0	35.0	36.4	36.4						
1.90	35.0	35.0	36.4	36.4						
2.00	33.5	35.0	36.1	36.4	36.4	36.4				
2.10	31.9	35.0	33.2	36.4	36.4	36.4				
2.20	30.9	35.0	31.4	36.4	36.4	36.4				
2.30	29.8	35.0	29.9	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4		
2.40	28.6	35.0	28.7	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4		
2.50	27.1	32.9	27.7	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4		
2.60	24.8	29.4	26.9	36.3	34.8	36.4	36.4	36.4		
2.70			25.7	32.7	33.4	36.4	36.4	36.4		
2.80			24.0	29.3	32.1	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4
2.90			22.3	26.5	31.1	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4
3.00			20.5	23.9	30.1	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4
3.10					28.3	35.7	34.6	36.4	36.4	36.4
3.20					26.5	32.5	33.5	36.4	36.4	36.4
3.30					24.8	29.7	32.1	36.4	36.4	36.4
3.40					23.1	27.2	30.5	36.4	36.4	36.4
3.50					21.3	24.8	28.7	34.9	36.4	36.4
3.60							26.9	32.1	36.4	36.4
3.70							25.3	29.8	36.4	36.4
3.80							23.7	27.6	36.4	36.4
3.90							22.3	25.5	36.4	36.4
4.00							20.7	23.5	35.3	36.4
4.10									33.3	38.4
4.20									31.5	36.4
4.30									29.8	35.0
4.40									28.2	32.9
4.50									26.8	30.8
4.60									25.3	28.9
4.70									24.1	27.2
4.80									22.8	25.7
4.90									21.5	24.1
5.00									20.3	22.1

5.4.2. PRESSÃO LATERAL

A pressão lateral exercida pelo betão sobre a cofragem pode ser quantificada e foi analisada por diferentes autores, sendo que o seu dimensionamento se vai alicerçar em alguns princípios defendidos por estes. A pressão lateral é considerada no dimensionamento de elementos verticais.

A pressão exercida pelo betão deve-se ao facto deste ser um material plástico composto por substâncias líquidas e sólidas que têm um comportamento fluido, sendo o carregamento aproximadamente triangular e máximo na base, como é normal nos impulsos de fluidos. Com o decorrer do tempo após a betonagem o betão perde a sua fluidez e começa um processo de solidificação. Este fenómeno representa o início de presa e as pressões exercidas pelo betão começam a diminuir sobre a cofragem, podendo iniciar-se o processo de descofragem. A justificação deste processo de presa está na reação química de hidratação do cimento, que aumenta a ligação entre os constituintes e consequentemente atribui resistência ao material.

Os fatores que influenciam principalmente a pressão exercida pelo betão fresco sobre a cofragem na fase de betonagem são os seguintes:

- Densidade do betão
- Velocidade de enchimento do betão
- Temperatura
- Fluidez do betão
- Forma, dimensões e superfície de cofragem

5.4.2.1. Densidade do betão

A densidade do betão utilizado normalmente depende das proporções dos seus constituintes, mas de forma mais preponderante dos agregados utilizados na mistura. Um betão utilizado genericamente tem um peso de $24kN/m^3$.

Os betões leves, geralmente com menor resistência, têm um peso volúmico na ordem dos 8 a $20kN/m^3$. Um betão pesado tem normalmente uma densidade superior a $26kN/m^3$.

No caso do betão armado o aço que se acrescenta ao betão representa um acréscimo de $1kN/m^3$.

5.4.2.2. Velocidade de enchimento do betão

Dentro dos sistemas de cofragem modulares, constituídos por uma estrutura metálica que suporta a superfície cofrante em contacto com o betão a capacidade de suporte já está predefinida pelo fabricante. A capacidade resistente de painéis situa-se entre os 70 e $90kN/m^2$ em painéis correntes. A capacidade resistente de uma cofragem tem na pressão lateral um importante papel por limitar a altura de betonagem livre e a velocidade de enchimento.

As pressões exercidas pelo betão fresco numa superfície de cofragem são maiores para uma velocidade de enchimento superior. Para alturas maiores é recomendável maior número de ancoragens de maneira a distribuir as pressões. Na fig.38 é possível ilustrar as capacidades dos painéis DOMINO da Peri para alturas inferiores e superiores a 3 metros. Estas pressões são assim controladas, pelo que a velocidade do enchimento pode ser aumentada.

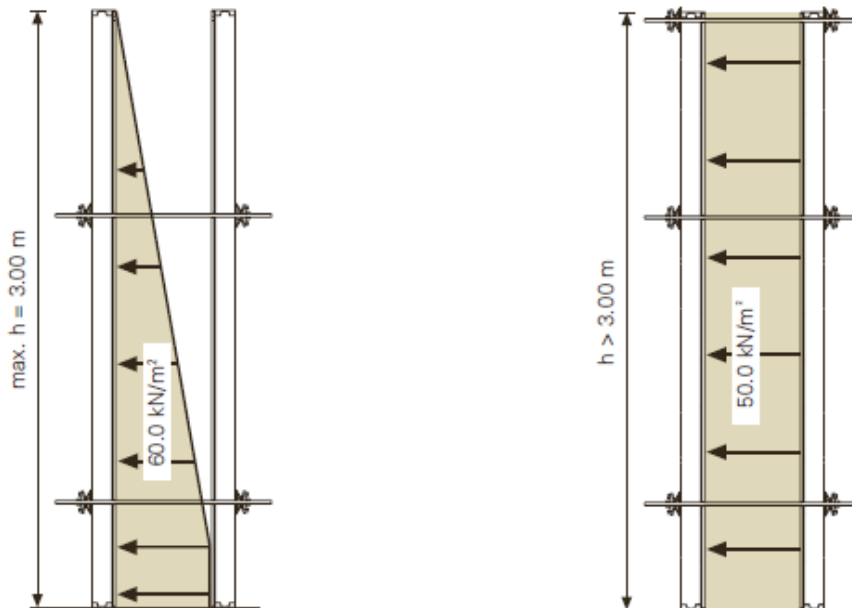


Fig.38 – Comparação das pressões exercidas na cofragem com alturas de cofragem diferentes.

Segundo alguns autores e regulamentos, que posteriormente estão expostos de forma mais detalhada, é possível observar no gráfico da fig.39 o aumento da pressão com o aumento da velocidade de enchimento em altura por hora.

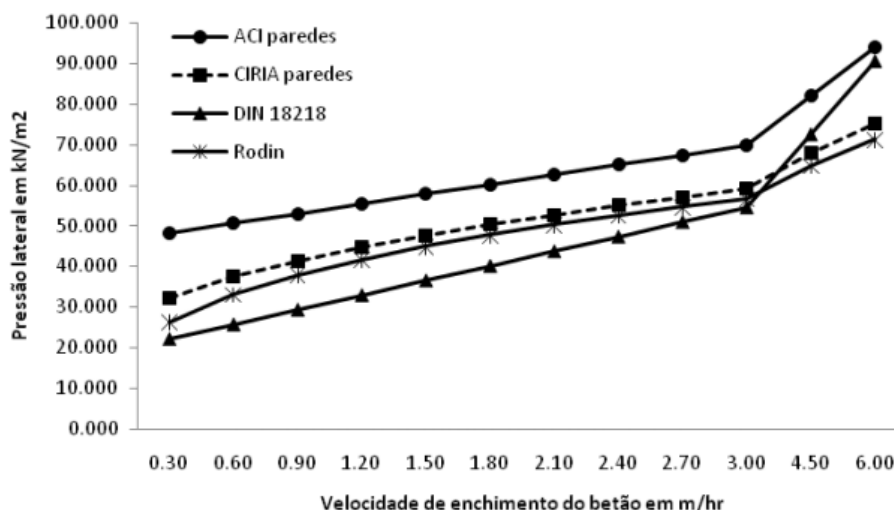


Fig.39 – Relação da pressão lateral sobre cofragem de parede e velocidade de enchimento a 15°C (correia 2008).

5.4.2.3. Temperatura

A temperatura a que se executa a betonagem tem influência na pressão lateral exercida pelo betão sobre a cofragem na medida em que a temperatura influencia o tempo necessário ao fim do processo de endurecimento do betão. As temperaturas mais altas aceleram o processo de solidificação do betão e portanto diminuem as pressões laterais exercidas pelo betão.

Segundo Correia (2008) apoiado em estudos da PCA – Portland Cement Association, Maxton e ACI em média a pressão lateral diminui cerca de 25% para uma temperatura de 37,5°C e aumenta mais de 50% para uma temperatura de 7,5°C, em relação a uma temperatura de referência de 21°C.

5.4.2.4. Fluidez do betão

A fluidez do betão está relacionada com um conceito sobejamente conhecido como a trabalhabilidade. A trabalhabilidade é a facilidade com que se executam as operações de transporte, colocação e vibração sem que este desagregue ou segregue. O método experimental mais usado para determinar a sua consistência é o do abaixamento do cone de Abrahms. A sua classificação é a presente no Quadro 5.

Quadro 5 – classificação do tipo de trabalhabilidade

Trabalhabilidade	Meios de Compactação	Abaixamento do cone (mm)
Plástica	Vibração normal	0 a 40
Mole	Apiloamento	40 a 150
Fluída	Peso próprio	>150

A maior fluidez do betão aumenta a pressão sobre as cofragens devido ao comportamento ser semelhante a um fluido. Um betão com maior consistência têm maior atrito entre as partículas e portanto o atrito entre as partículas diminui a pressão exercida sobre a cofragem. A pressão exercida inicialmente e máxima é um valor entre a pressão hidrostática de um líquido com a mesma densidade do betão e pressão que resultaria na sua componente horizontal nos seus materiais sólidos e secos.

5.4.2.5. Cálculo da pressão lateral do betão fresco de uma parede sobre cofragem

Existem alguns autores que estudaram experimentalmente e formularam equações sobre as pressões do betão em cofragens, além de alguns regulamentos sobre o assunto. O cálculo das pressões laterais sobre cofragens de paredes foi baseado no exposto em Correia (2008).

Algumas das mais importantes equações pertencem ao American Concrete Institute – ACI (2001), Construction Industry Research and Information Association – CIRIA (1985), e Rodin (1952).

i) Método ACI (2001)

Segundo ACI (2001) a pressão lateral pode ser calculada através da equação 3:

$$p = w * h \quad (3)$$

p é a pressão lateral em kN/m^2 ;

w é o peso do betão em kN/m^3 ;

h é a altura do elemento de betão fresco em m.

Quando outras características acerca da betonagem forem conhecidas além do peso do betão e a altura, tais como a velocidade de enchimento e temperatura do betão pode-se utilizar para betonagem de paredes a equação 4 para analisar o tempo de betonagem em paredes.

$$p = C_w * C_c * \left(7,2 + \frac{1156}{T+17,8} + \frac{244*R}{T+17,8} \right) \quad (4)$$

p é a pressão lateral em kN/m^2 ;

C_w é um coeficiente relacionado com o peso do betão representado no quadro 6;

C_c é um coeficiente químico representado no quadro 7;

T é a temperatura do betão durante a betonagem em °C;

R é a velocidade de enchimento do betão fresco m/h .

Quadro 6 – Valores do coeficiente relacionado com o peso do betão, C_w

Peso do Betão, w (kN/m^3)	C_w
$<22,5$	$0,5 * \left[1 + \left(\frac{w}{23,2} \right) \right] \geq 0,8$
$22,5 \leq w \leq 24$	1
>24	$\frac{w}{23,2}$

Quadro 7 – Valores do coeficiente químico, C_c

Tipo de cimento ou mistura	C_c
Tipo I e III sem retardador	1,0
Tipo I e III com um retardador	1,2
Outros tipos ou misturas que contêm menos de 70% de escórias ou 40% de cinzas volantes e retardadores	1,2
Outros tipos ou misturas que contêm menos de 70% de escórias ou 40% de cinzas volantes com um retardador	1,4
Misturas que contêm mais de 70% de escórias ou 40% de cinzas volantes	1,4

O cimento de tipo I é o cimento Portland (CE I) e o cimento de tipo III é o cimento Portland composto (CE III) que devem satisfazer os requisitos expressos na norma NP 206-1 (2005).

A Equação 4 tem de respeitar valor máximo de $100 C_w * C_w \text{ kN/m}^2$ e um valor mínimo de $30 C_w \text{ kN/m}^2$, mas não superior a $w*h$ referido na equação 3.

Considera-se uma parede um elemento vertical com pelo menos uma dimensão em planta superior a 2m.

ii) Método CIRIA (1985)

Segundo o método CIRIA (2001) a pressão lateral é o menor valor entre as equações 5 e 6 e com um máximo de 90 kN/m^2 :

$$P_{max} = W * H \quad (5)$$

$$P_{max} = W * \left(C_1 * \sqrt{R} + C_2 * K * \sqrt{H - C_1 * \sqrt{R}} \right) \quad (6)$$

P_{max} é a pressão lateral em kN/m^2 ;

W é o peso específico do betão em kN/m^3 . O valor considerado é 25 kN/m^3 ;

H é a altura vertical da cofragem em m .

R é a velocidade de enchimento do betão fresco m/h ;

C_1 um coeficiente que depende da secção da cofragem que toma o valor de 1,0 para paredes (seria 1,5 para pilares);

C_2 é um coeficiente que depende dos aditivos misturados, ou não, no betão que toma o valor de 0,30 para betão normal e 0,45 para betão com retardadores.

K é um coeficiente que relaciona a temperatura expresso por $\frac{36}{T+16}$, T em $^{\circ}\text{C}$.

iii) Método DIN 18218 (1980)

A equação (7) aplica-se a betões com consistência K2/K3, referida na tabela 3, e temperaturas entre os 5°C e os 30°C, sendo independente da altura de betonagem.

A pressão do betão pode também ser retirada dos gráficos da DIN 18218 (ver figura 27, figura 28, figura 29 e figura 30), conforme a temperatura e o uso, ou não, de agentes retardadores. O uso destes gráficos pressupõe que o peso do betão fresco são 25 kN/m^3 , o tempo de assentamento do betão é de 5h e a compactação é feita através de vibração interna.

A pressão máxima para paredes é limitada a 80 kN/m^2 .

$$P_{max} = W * C_2 * K * (0,48 * R + 0,74) \quad (7)$$

$$C_2 = 0,065 * T_v + 1 \quad (8)$$

$$K = \frac{145 - 3 * T}{100} \quad (9)$$

P_{max} é a pressão lateral em kN/m^2 ;

W é o peso específico do betão em kN/m^3 . O valor considerado é 25 kN/m^3 ;

R é a velocidade de enchimento do betão fresco m/h ;

C_2 é um coeficiente que depende da utilização de aditivos expresso na equação (7);

T_v é o tempo de atuação do retardador em h ;

K é um coeficiente de temperatura expresso na Equação (8);

T é a temperatura do betão em °C.

Quadro 8 – Graus de consistência do betão segundo a DIN 18218

Graus de consistência		Slump, a (cm)	Compactação segundo Walz. v
Dura	K1	-	1,45 a 1,26
Plástica	K2	1 a 5	1,25 a 1,11
Mole	K3	6 a 15	1,10 a 1,04

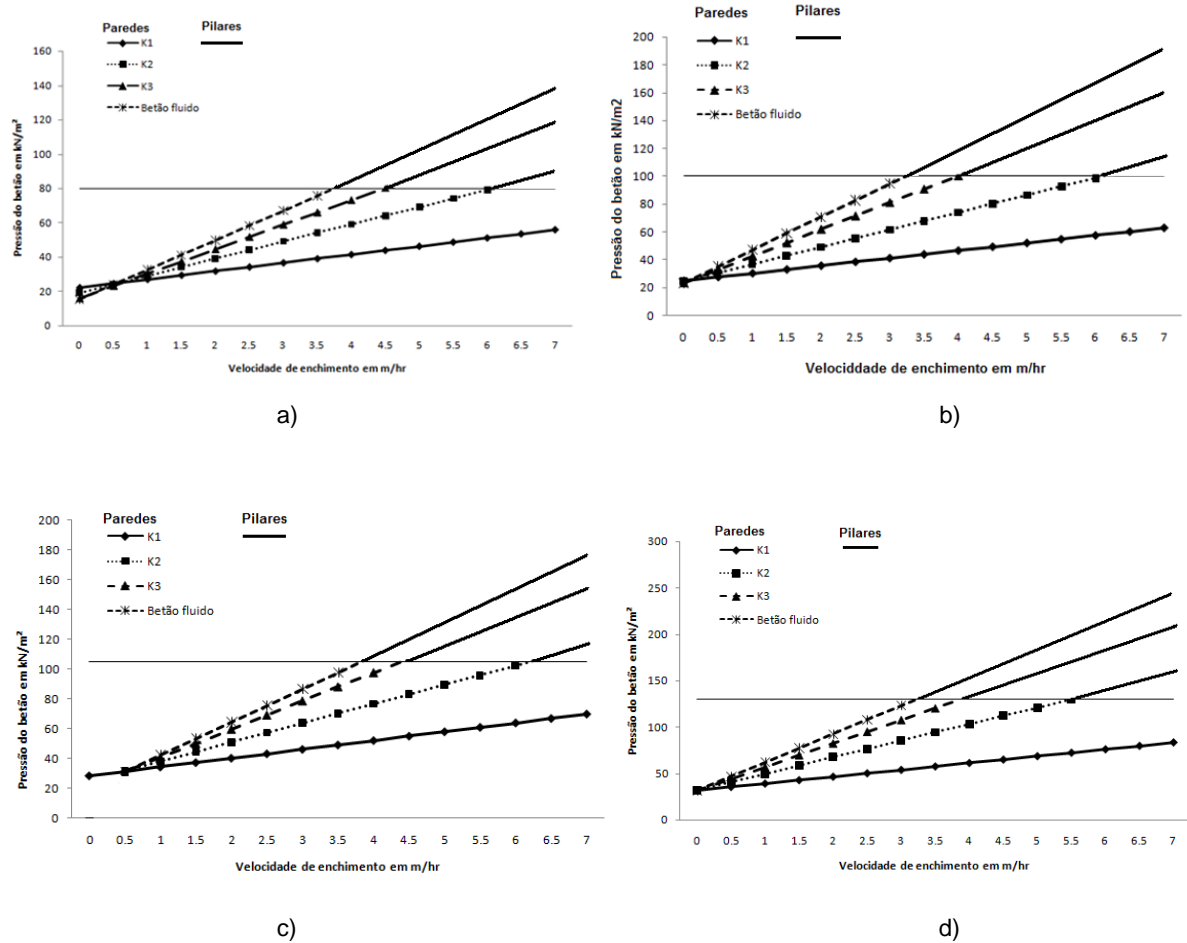


Fig.40 – Pressões laterais de betões com diferentes consistências e velocidades de enchimento: Figura 40a) – Pressão do betão fresco para uma temperatura de 15°C e sem agentes retardadores; Figura 40b) – Pressão do betão fresco para uma temperatura de 15°C e com agentes retardadores de 5h; Figura 40c) – Pressão do betão fresco para uma temperatura de 5°C sem agentes retardadores; Fig.40d) – Pressão do betão fresco para uma temperatura de 5°C e com agentes retardadores de 5h

iv) Método Rodin (1952)

Para betão compactado com vibrador, a expressão da pressão lateral segundo Rodin é a expressa na equação (10).

$$P_{max} = 39,2 * R^{1/3} \tag{10}$$

P_{max} é a pressão lateral em kN/m^2 ;

R é a velocidade de enchimento do betão fresco m/h ;

No quadro 9 que estão indicados os fatores que influenciam a pressão lateral sobre uma cofragem de uma parede de betão de acordo com os seus autores ou regulamentos.

Quadro 9 – Quadro resumo dos fatores que influenciam a pressão lateral em paredes.

Fatores de influência	Regulamento/Autor			
	ACI	CIRIA	DIN 18218	Rodin
Temperatura	X	X	X	
Velocidade de enchimento	X	X	X	X
Peso do betão	X	X	X	
Aditivos	X	X	X	

5.4.3. TOLERÂNCIAS DE DEFORMAÇÃO

As tolerâncias de deformação do betão cofrado por cofragens racionalizadas normalmente são exigenciais de acordo com a DIN 18212, de maneira a quando dimensionado, o sistema de cofragem seja capaz de cumprir os requisitos de empeno do grupo desejado. O quadro 10 foi retirado do documento DIN 18212.

Quadro 10 – Tolerâncias de deformação de superfícies de betão DIN 18212

Grupo	Aplicado a	Valores limite da distância entre dois pontos de medida (mm)				
		0,1	1*	4*	10*	15*+
1	Pavimentos não acabados, camadas de base e suporte em betão	10	15	20	25	30
2	Como grupo 1 mas com requisitos mais rigorosos (como pavimentos industriais, em betonilha,	5	8	12	15	20
3	Pavimentos não acabados	2	4	10	12	15
4	Como o grupo 3 mas com requisitos mais rigorosos	1	3	9	12	15
5	Paredes e tetos não acabados	5	10	15	25	30
6	Paredes acabadas e tetos (por exemplo paredes engessadas e tetos falsos)	3	5	10	20	25
7	Como o grupo 6, mas sujeito a requisitos mais rigorosos	2	3	8	15	20

5.5. MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO DE COFRAGENS

Para obter uma grande reutilização de uma cofragem, podendo assim amortizar o custo do investimento inicial, é necessário tomar precauções na utilização das cofragens. O transporte e armazenamento das cofragens em estaleiro deve ser executado de forma correta, com equipamentos apropriados como os ilustrados na fig.41.



Fig.41 – Equipamentos para armazenamento e transporte: Fig.41a) – Estrutura TRIO Stacking da Peri; Fig.41a) – Estrutura crate Pallet da Peri

Ainda no âmbito da correta manutenção é de destacar os agentes descofrantes visto possuem importância essencial aquando da colocação dos moldes de betão pelo papel que desempenham na preservação das cofragens. Este produto permite a dessolidarização do betão e do equipamento mais eficaz, conferindo um acabamento liso ao betão que se revela ainda mais valioso quando o betão é betonado para ser à vista. Além do aspeto estético e da maior facilidade de descofragem os agentes descofrantes também aumentam a durabilidade dos equipamentos de cofragem. A aplicação destas substâncias não acarreta um grande tempo de aplicação dado apenas ser preciso pulverizar e garantem as suas características até duas semanas sensivelmente.

A mistura de produtos descofrante de diferentes marcas é de todo desaconselhável e os diferentes materiais de uma cofragem devem ser sujeitos aos produtos mais apropriados, nomeadamente madeiras, aços e plásticos.

Os agentes descofrantes são sobretudo de dois tipos de óleos:

- Minerais – constituídos por substâncias não degradáveis e nocivas.
- Vegetais – constituídos por substâncias degradáveis

Os óleos vegetais são então a versão mais correta a aplicar e o desenvolvimento das gamas de agentes deste tipo tem sido maior. As vantagens mais visíveis são a de maior saúde dos trabalhadores; meio ambiente salvaguardado no caso por ser proveniente de fonte renovável e biodegradável; não é volátil e portanto reduz o perigo de incêndio.

Nas fig.42 encontram-se expostos agentes descofrantes de duas das maiores marcas internacionais de cofragens.



Fig.42 – Agentes descofrantes comercializados pela Peri e Doka

As superfícies em contraplacado são as mais utilizadas sendo a sua reutilização de um mínimo de 30 vezes, podendo alcançar até 80 reutilizações, dependendo do tratamento e cuidado com que é utilizada. Este é o material mais degradado no processo de cofragem.

Nos quadros seguintes estão representados os constituintes (Quadro 11), tipos de contraplacado (Quadro 12) e uma classificação possível (Quadro 13), segundo Barroso (2000).

Quadro 11 – Constituintes do contraplacado

Camadas ou Folhas	Lâmina de madeira destinada a ser colada na direcção perpendicular a outra adjacente para o fabrico de contraplacados ou revestimentos (folheado);	
Folhas	Desenrolada	obtida por desenrolamento de um toro de madeira em rotação;
	ao cutelo	obtida por corte com lâmina de uma peça de madeira segundo um plano longitudinal;
	Serrada	obtida por serragem de uma peça de madeira segundo um plano longitudinal;
Alma	Camada central de espessura superior à das folhas que a revestem; pode ser constituída por um só pano ou por duas folhas sobrepostas, coladas com os fios paralelos (tábuas, régua ou lamelas de madeira, justapostas no mesmo plano coladas ou não entre si; placas de outro material);	
Cola	Material para ligar intimamente as superfícies dos elementos de um contraplacado (Exemplo: “MUF” - melamina, ureia e formaldeído);	
Revestimento	Acabamento superficial para um melhor acabamento e protecção (Exemplo: filme fenólico na face exterior dos contraplacados para cofragens);	

Quadro 12 – Tipos de contraplacado

com alma de madeira	alma constituída por madeira maciça ou folhas de madeira;
Tabuado	alma constituída por tábuas de madeira maciça coladas ou não entre si;
Fasquiado	alma constituída por fasquias de madeira coladas ou não entre si;
Lamelado	alma constituída por lamelas de madeira dispostas a cutelo, coladas entre si;
Misto	alma ou algumas camadas são constituídos por materiais diferentes de madeira maciça ou folha de madeira;
Moldado	não plano, obtido por prensagem sobre um molde;
Homogéneo	Constituído por camadas da mesma espécie de madeira;
Heterogéneo	todas ou algumas das camadas internas são de espécie de madeira diferente das extremas;
Para exterior	resiste às intempéries e à água, para emprego em locais não abrigados e no exterior;

Quadro 13 – Classificação do contraplacado

Quanto à constituição da placa	Contraplacado folheado;
	Contraplacado com alma folheada;
	Contraplacado com alma lamelada;
	Contraplacado com alma alveolada;
	Contraplacado misto;
Quanto ao tipo de colagem	Contraplacado para interior;
	Contraplacado para exterior;
Quanto a superfície	Contraplacado com superfície natural;
	Contraplacado com superfície lixada;
	Contraplacado com superfície raspada;
	Contraplacado com superfície revestida com folha decorativa de madeira;
Quanto ao tratamento	Contraplacado com superfície revestida com outros materiais pré-fabricados;
	Contraplacado tratado;
Quanto à forma	Contraplacado não tratado;
	Contraplacado moldado;
Quanto ao campo de aplicação	Contraplacado plano;
	Contraplacado corrente;
	Contraplacado especial;

Quando os painéis se encontram danificados é possível proceder à sua reparação, por exemplo trocando a superfície de cofragem e rebarbando e soldando partes metálicas danificadas.

Na fig.43 observa-se a reparação de um painel TRIO da Peri por profissionais qualificados para o procedimento.



Fig.43 – Reparação de painel *Trio* da *Peri*

6

CASO DE ESTUDO

6.1. INTRODUÇÃO

O estudo do sistema de paredes em betão armado foi aprofundado ao longo do trabalho sendo demonstrado o seu potencial como solução de baixo custo para construção em países em desenvolvimento. O acabamento proporcionado pelo betão à vista ou simplesmente pintado é capaz de satisfazer as exigências de construção de países com grande precariedade a nível da construção.

O custo de um empreendimento tem assim especial importância neste caso, apesar de que a qualidade do edificado não podem ser desconsiderada da análise global. Uma construção de baixa qualidade pode acarretar custos de manutenção e reabilitação muito avultados, que se verificarão nos primeiros anos de construção. No caso dos danos se verificarem e forem reportados nos primeiros anos de uso do edifício a reparação é feita em período de garantia e os custos são comportados pelo empreiteiro. Mesmo que as manifestações patológicas sejam posteriores ao período de garantia prestado e contratualizado pelo empreiteiro, não lhe será atribuída uma boa imagem para futuros contratos uma construção de fraca qualidade no seu histórico.

O investimento na construção deve ser feito de forma eficaz, dando alguma importância à eliminação de erros e omissões para uma construção limpa. Assim além do custo associado à execução geral do projeto e execução da obra deve ser reservada uma parcela para estes custos de obtenção de qualidade (referido no capítulo 3), sendo que em construção modulada é possível diminuir um pouco a parcela do controlo por normalmente existirem menos erros em tarefas repetidas. Na fig.44 é possível analisar um exemplo do custo total da qualidade.

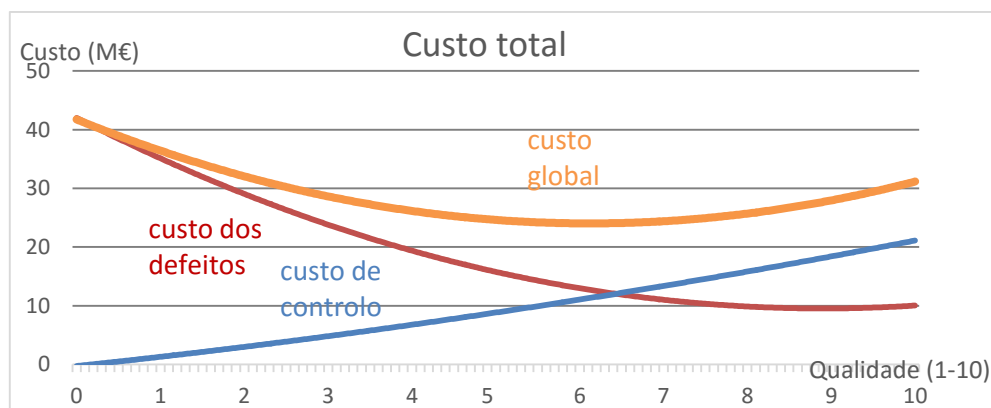


Fig.44 – Gráfico relativo aos custos

De um gráfico genérico de qualidade de produto, podemos aferir que os custos da qualidade advêm dos custos de defeitos, erros, omissões de informação, que são elevados quando a qualidade é baixa. A antecipação dos erros em fases anteriores e o controlo nas operações por responsáveis elevam a parcela do controlo, mas consequentemente o custo dos defeitos diminui. A partir de um certo ponto a qualidade exige um esforço demasiado forte do ponto de vista económico e o custo global volta a aumentar. Então o ponto onde se cruzam o custo dos defeitos e os custos de controlo é o ponto ideal onde se minimizam custos e onde as empresas retiram maiores dividendos.

6.2. EDIFÍCIO DE ESTUDO

O projeto a analisar neste capítulo foi estruturado com base em projetos semelhantes de habitação de baixo custo executadas em betão armado betonado *in situ*, estruturas metálicas e componentes prefabricados de betão. Este projeto foi formulado segundo as linhas generalistas de arquitetura de qualquer projeto semelhante e pensado de forma racional, apoiado em simetrias. A simetria permite a reutilização desejada das cofragens anteriormente referidas pelo que o aproveitamento obtido foi maximizado.

A planta do piso inferior dos edifícios a considerar no estudo pode ser vista na fig.45 e em maior detalhe no anexo A.

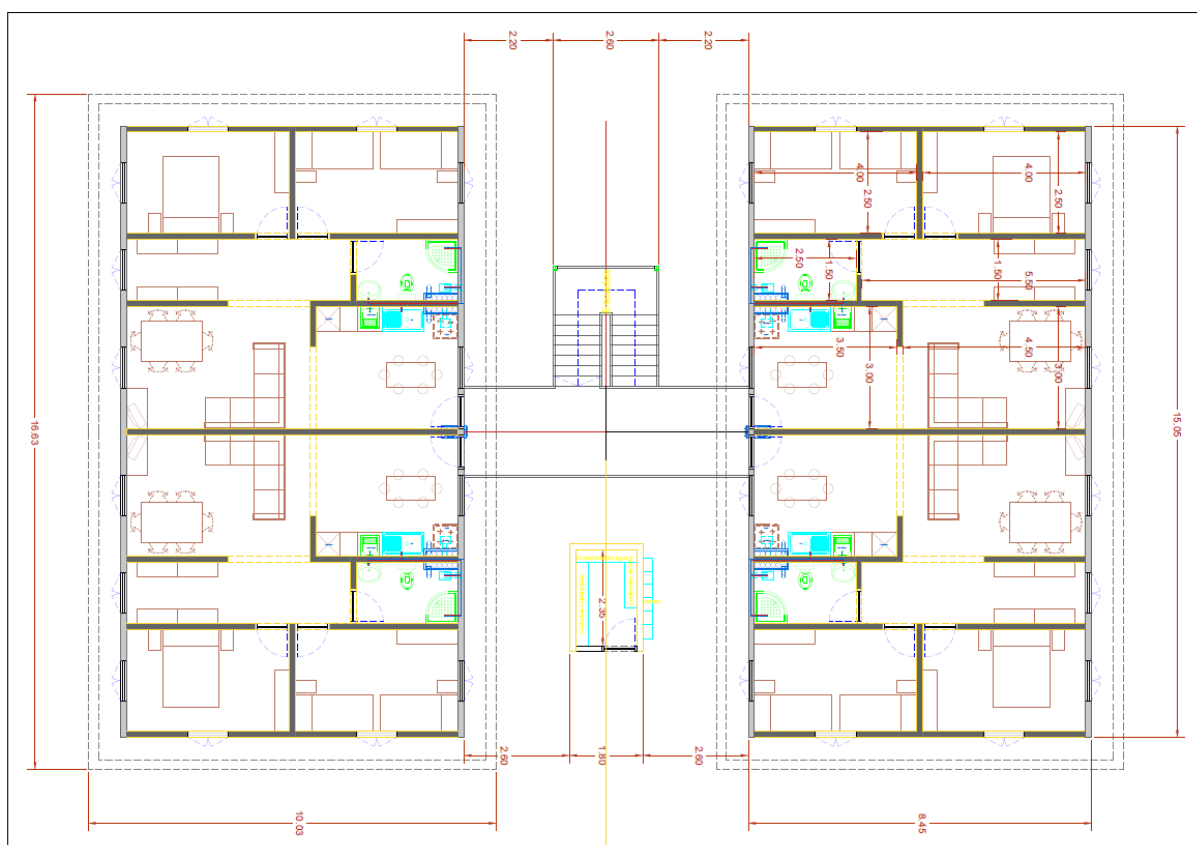


Fig.45 – Planta do piso térreo (maior pormenor no anexo A).

Os edifícios representados são compostos por apartamentos T2 sendo constituídos por dois quartos, uma cozinha, uma casa de banho e uma sala de estar e jantar sem divisão.

A compartimentação foi executada de forma ao maior aproveitamento possível do espaço, mas concebida sobretudo com intuito de o betão poder ser moldado por cofragens túnel. Apenas algumas das paredes de fachada foram pensadas para moldagem por painéis, por exemplo, eficazmente cofradas por sistema trepante. O desenho elaborado apesar de contemplar disposições em que os túneis podem ser retirados pelos topos também possibilitam outras escolhas de cofragem.

A caixa de escadas escolhida é exterior e metálica sendo capaz de exercer as suas funções para 4 apartamentos por piso. A cobertura do edifício é em painel sandwich conhecida pelas boas características térmicas para altas temperaturas e que é capaz de garantir a estanquidade ao ar e água.

A casa das máquinas, no rés-do-chão foi projetada de modo a poder ser betonada com um túnel utilizado para a construção do edifício.

6.3. COFRAGENS COM INSTALAÇÕES EMBUTIDAS

A rapidez de execução dos acabamentos de um edifício habitacional está em muito dependente da execução das instalações de água, saneamento, gás, eletricidade ou até ligações de televisão e internet.

A abertura de roços e o preenchimento na alvenaria convencional dão origem a um processo moroso e exaustivo de mão-de-obra, que acarreta elevados custos ao empreiteiro. Partindo deste princípio surge uma nova potencialidade deste tipo de solução de execução de paredes e lajes de betão armado: a possibilidade de incorporar estas redes no processo de cofragem de forma a ter uma construção com um acabamento mais imediato após betonagem.

A colocação de todas as infraestruturas deve ser feita aquando da preparação da moldagem, ou seja na fase em que a armação é colocada e amarrada à mesma. As aberturas para instalações são preferencialmente colocadas em paredes de topo que estão sujeitas a menor carga. No caso das lajes as instalações devem ser colocadas na parte inferior, de forma a evitar zonas em que o betão esteja comprimido.

Começando pela rede de saneamento pode-se observar a existência de uma corete embutida numa parede entre a casa de banho e a cozinha, podendo evacuar as águas de sabão e negras provenientes destes dois compartimentos. Para iniciar a recolha foi previsto um sistema com ramais de descarga individuais para cada aparelho, encontrando-se numa caixa e levados até ao tubo de queda a partir daí por ramais de descarga coletivos.

O abastecimento de água inicia-se na parede entre a cozinha e a casa de banho e é possível observar as tubagens na fig.46. Ainda na mesma figura evidencia-se a azul as coretes embutidas na laje.

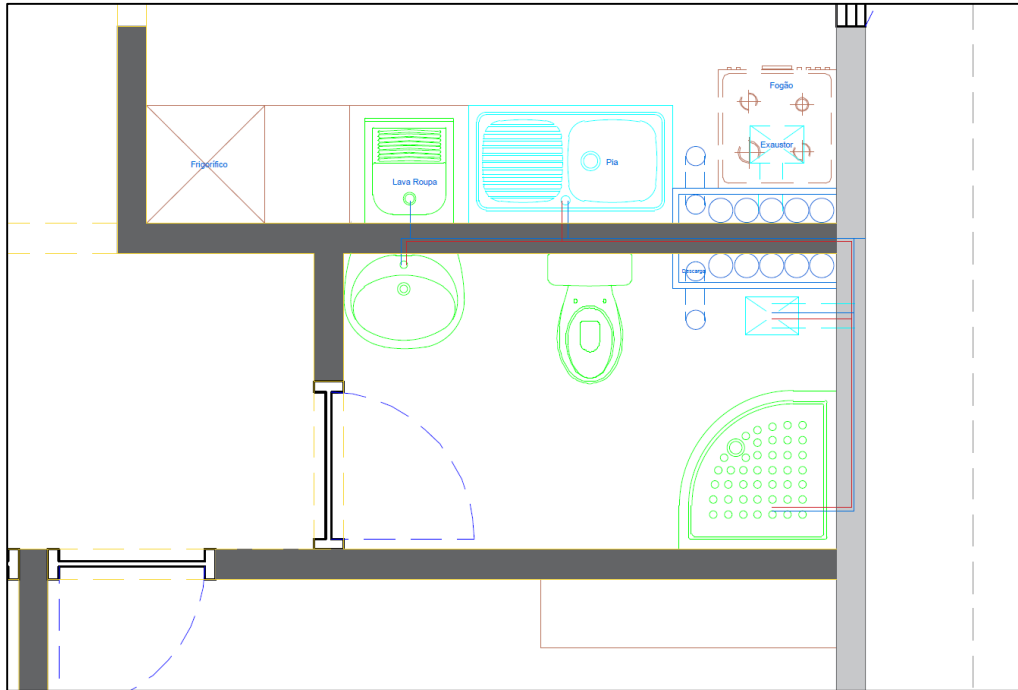


Fig.46 – Instalações de abastecimento de água e residuais

Quanto às instalações elétricas e de comunicação podemos a forma como é executada em obra através da fig.47. A colocação dos tubos amarrados à cofragem anteriormente à betonagem é assim facilmente executada. A geometria não está explícita nas plantas anexas apesar da sua importância não ser inferior à das outras especialidades.



Fig.47 – Colocação das instalações elétricas amarradas às armaduras

6.4. ABERTURAS NO BETÃO ARMADO

A abertura no betão armado podem ser materializadas em qualquer tipo de sistema de cofragem, com recurso a um negativo colocado entre as duas superfícies de cofragem de um molde. Este tipo de artifício utilizado permite a concretização de portas e janelas, em paredes verticais ou furos em laje para coretes e tejadilhos, entre outros. Na fig. 48 vemos um esquema de um negativo para uma porta numa cofragem em túnel da *Outinord*.

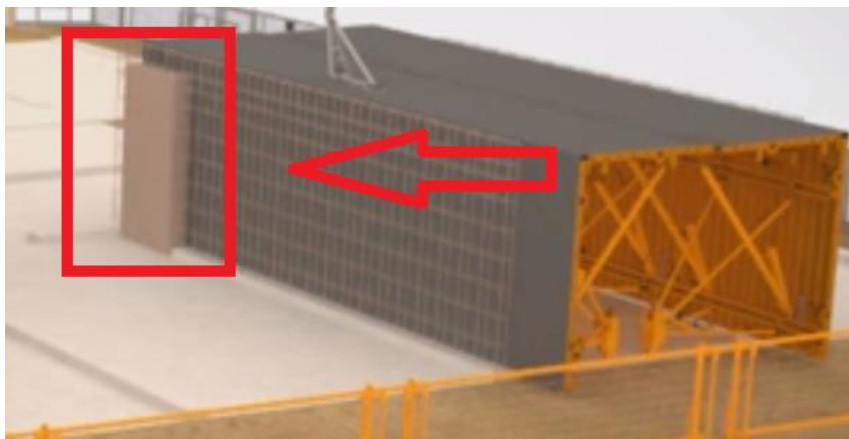


Fig.48 – negativo para a abertura de uma porta em túnel *Outinord*.

6.5. SOLUÇÕES DE COFRAGEM

6.5.1 SOLUÇÃO 1 – 12 TÚNEIS COM 8 PLATAFORMAS TREPANTES

O tipo de cofragem que mais se adequa a ser utilizada para este tipo de projeto é a cofragem túnel, complementada por cofragem de parede trepante. Esta não é a única opção viável, mas certamente uma das soluções com melhores rendimentos.

A cofragem túnel com 12 túneis e 8 plataformas trepantes permite cofrar de uma só vez os dois apartamentos, incluindo todas as paredes laterais e a laje superior. As paredes de topo por onde são retirados os túneis podem ser posteriormente betonadas. Quando estes 12 túneis terminam a sua função de sustentação do betão, no final do processo de solidificação e autossustentação do betão, podem ser retirados para completar um piso do edifício diametralmente oposto, muito rapidamente.

6.5.2. SOLUÇÃO 2 – PAINÉIS PARA LAJES E PAREDES COM 12 PLATAFORMAS TREPANTES

Uma solução de painéis também pode ser uma solução para betonagem simultânea de laje e paredes, para uma estrutura em betão armado monolítica.

O principal entrave poderá estar nos rendimentos proporcionado por estes painéis, que podem não ser tão competitivos quanto a solução de cofragem em túnel, com melhores tempos de cofragem e descofragem. A Área a cofrar, contemplando a superfície da laje e todas as paredes interiores, com auxílio de plataformas trepantes no desenvolvimento de todas as fachadas do edifício teria um processo um pouco mais moroso, mesmo que utilizando painéis mais leves e com poucas ligações.

6.6. PLANEAMENTO DA CONSTRUÇÃO

Como foi possível constatar o processo de cofragem é preponderante no custo final do edifício em estudo pelo facto de grande parte do custo total ser assumido pela estrutura em betão armado. O investimento em cofragens deve ser regrado e otimizado de maneira a que uma mesma cofragem possa estar em constante reutilização e com períodos de paragem muito curtos. Este processo é possível devido à translação e colocação da cofragem no edifício diametralmente oposto a cofrar.

De acordo com as temperaturas altas e a espessura bastante fina de betão (apenas 15cm), é possível descofrar por vezes o betão num período de 12 horas, dado este já ser autoportante. Assim sendo um ciclo poderá demorar menos de 1 dia, caso a soma dos processos de cofragem e descofragem seja inferior a 12 horas. Enquanto uma cofragem está a ser realizada e durante o processo de solidificação do betão é importante instalar a armadura das paredes a betonar no próximo ciclo no edifício oposto.

A obtenção de um determinado número de cofragens irá ter por base a construção simultânea dos dois edifícios unidos por caixa de escada comum. De salientar que caso o número de edifícios a construir num dado período de tempo seja muito elevado a possibilidade de adquirir equipamentos deve ser na mesma proporção de modo a aumentar o ritmo dos trabalhos, sendo que se possível esta hipótese deve ser evitada para uma maior amortização dos custos com a obtenção de cofragens.

A duração de um ciclo de betonagem pode se limitar à soma dos tempos de:

- Solidificação do betão;
- Montagem da cofragem;
- Colocação de armadura de laje e instalações;
- Betonagem;
- Descofragem;
- Translação da cofragem.

O tempo de solidificação para que o betão seja descofrado não tem uma grande dependência do tipo de cofragem (à exceção de sistemas que mantenham prumos por mais algum tempo, depois da remoção das superfícies de cofragem) pelo que se assume invariável independente da solução a adotar, com estimativa de 12 horas. Neste período outras tarefas devem ser executadas pelos trabalhadores, como a preparação do próximo apartamento a betonar, colocando armaduras, marcações e instalações necessárias para o próximo ciclo.

O tempo de aplicação de armadura e instalações é cerca de 2 horas, independentemente do tipo de sistema a utilizar.

Quanto ao tempo de betonagem para uma temperatura de 15°C, em primeira fase é necessário calcular as pressões admissíveis. Através do método mais rigoroso para obtenção de pressões em paredes (CIRIA) os resultados foram os referentes ao quadro 14.

Quadro 14 – Pressões obtidas para a parede do caso de estudo.

Velocidade de enchimento (m/h)	C _w	C _c	P (kN/m ²)
0,3	1,078	1,000	42,800
0,6	1,078	1,000	50,547
0,9	1,078	1,000	52,952
1,2	1,078	1,000	55,356
1,5	1,078	1,000	57,761
1,8	1,078	1,000	60,166
2,1	1,078	1,000	62,571
2,4	1,078	1,000	64,976
2,7	1,078	1,000	67,381
3	1,078	1,000	69,786
3,3	1,078	1,000	72,190
3,6	1,078	1,000	74,595
3,9	1,078	1,000	77,000
4,2	1,078	1,000	79,405
4,5	1,078	1,000	81,810

Verifica-se que para velocidades de enchimento de 3m/h o valor da pressão exercida é inferior a 70kn/m². Como os painéis ou túneis permitem com segurança este tipo de pressões, uma velocidade de enchimento de 3m/h é um valor razoável para a betonagem. O volume a preencher de betão para paredes é cerca de 40m³, que pode ser betonado sensivelmente numa hora, devido ao pé-direito ser 2,85m, próximo dos 3m/h referidos. Para tal efeito é necessário regular a bomba betonadora para os 14m³/h. A betonagem da laje com cerca de mais 20m³ de betão pode ser realizada num período de 1 hora, estando prevista 1 hora adicional para vibração do betão fresco e alisamento da superfície da laje, considerando uma equipa de 2 oficiais e 1 servente.

6.6.1 PLANEAMENTO DA SOLUÇÃO 1

A construção de laje e parede simultânea com recurso a cofragem em túnel é uma solução com características próprias no que respeita à desmoldagem do betão. Este tipo de equipamento contempla um escoramento interior de grandes dimensões que somente quando recuperado por um dos topos possui rendimentos interessantes do ponto de vista económico. Por esta razão sempre que uma cofragem túnel termina a sua função de suporte ao betão, no momento em que este garante a sua sustentação, esta terá de ser retirada por um dos topos que deve impreterivelmente estar livre.

Para a betonagem de um apartamento de um edifício em causa é necessário utilizar 6 túneis:

- 2 túneis com 4,0m x 2,5m;
- 1 túnel com 2,5m x 1,5m
- 1 túnel com 2,5m x 5,5m;
- 1 túnel com 3,0m x 3,5m;
- 1 túnel com 3,0m x 4,5m.

A montagem de um túnel, incluindo as operações de translação em grua, colocação e ligação não excede os 10 minutos. Para montagem dos 12 túneis seria necessário para tal um operador de grua e uma equipa de 4 oficiais e 2 serventes, estando estimado o processo em 2 horas. A subida dos painéis laterais trepantes recorreria à mesma grua, pelo que teria de ser feita de seguida com tempo estimado de 1 hora, com painéis parede de grandes dimensões. Assim sendo o processo de cofragem de um piso teria uma duração estimada de 3 horas.

O processo de descofragem dos túneis tem uma duração inferior à montagem, pelo que o tempo de remoção esperado é de 5 minutos para cada túnel, perfazendo um total de uma hora.

Quanto ao processo de translação entre a descofragem e a nova colocação em ciclo seguinte, pode-se considerar nula, por esta estar embarcada no tempo do processo de descofragem e cofragem do ciclo seguinte.

Assim sendo o tempo total requerido é de $12+3+2+3+1+0=21$ horas, desde que cumpridas as tarefas necessárias para a colocação de armaduras e outros componentes verticais por outras equipas durante o processo de cofragem. Este planeamento possibilitaria a execução de 1 piso de 1 edifício por dia, por estar abaixo das 24 horas de duração.

6.6.2. PLANEAMENTO DA SOLUÇÃO 2

A construção de laje e parede simultânea com recurso a painéis é uma solução com alguma morosidade na moldagem e desmoldagem do betão. Alguns desenvolvimentos têm sido feitos por forma a aumentar os rendimentos como o aumento da ligeireza e a facilidade de ligação de painéis. Apesar de as paredes de fachada poderem ser executadas por painéis paredes de grandes dimensões, os painéis têm de ser desmantelados para conseguirem ser retirados e reutilizados.

De acordo com estimativas da *Peri* e *Doka* para os seus mais avançados sistemas de painel de cofragem os tempos de montagem são de 6 horas para cerca de 20m² de construção, com recurso a 4 oficiais e 2 serventes. Com uma área a cofrar de sensivelmente 120m² por piso implicaria 36 horas de trabalho, o

que significa que seria 12 vezes maior o esforço em mão-de-obra ou a previsão da duração. Um número plausível de equipas de 4 oficiais e 2 serventes para uma área destas dimensões seria de 3 equipas. O que mesmo assim diminuiria para 12 horas o tempo de cofragem.

O processo de descofragem dos painéis tem uma duração inferior à montagem, sendo que a razão é de aproximadamente 1/3 para o tempo despendido na colocação, ou seja as 3 equipas terminariam a descofragem em aproximadamente 4 horas.

Quanto ao processo de translação entre a descofragem e a nova colocação em ciclo seguinte, é necessário acrescentar um período de 2 horas para movimentação dos painéis,

Assim sendo o tempo total requerido é de $12+12+1+3+4+2=34$ horas, desde que cumpridas as tarefas necessárias para a colocação de armaduras e outros componentes verticais por as equipas em questão ou por outras.

6.6.3. COMPARAÇÃO DO PLANEAMENTO DAS SOLUÇÕES

De acordo com o planeamento de cada tarefa do ciclo de betonagem foi possível chegar aos valores do quadro 15 para a duração total de um ciclo de betonagem. De salientar que a solução 2 foi estimada para uma equipa que é tripla da solução 1. Apesar de o recurso a meios mecânicos através de grua de elevação e um gruista, o recurso a mão de obra é quase nulo.

Quadro 15 – Síntese da duração das tarefas de um ciclo de betonagem

Sol.	Solidificação	Montagem da cofragem	Armaduras e instalações	Betonagem	Descofragem	Translação da cofragem	Total
S.1	12	3	2	3	1	0	21
S.2	12	12	1	3	4	2	34

7

Conclusões e trabalho futuro

7.1. CONCLUSÕES

O dimensionamento de soluções construtivas de baixo custo é algo de complexo, surgindo vários fatores, principalmente a nível dos recursos muito singulares, dependendo do local em que se pretende construir. No caso dos países em desenvolvimento os materiais, equipamentos e tecnologias são um pouco débeis e portanto não podem ser consideradas soluções construtivas de um grau demasiado elevado.

A necessidade que alguns países em desenvolvimento têm de adquirir habitação a um custo baixo é enorme e portanto os governantes promovem programas de habitação social a larga escala e a oportunidade de negócio pode ser aproveitada pelos empreiteiros portugueses.

De acordo com estes dois pressupostos, a solução de betonagem em sistema parede, com o cimento e agregado de fácil acesso, mas também o ferro para as armaduras torna-se muito apelativa.

Além destes materiais poderem ser adquiridos a um bom preço de mercado nos países a edificar, a possibilidade de incorporar instalações e que o betão executado possa ficar à vista diminui o custo de construção drasticamente. Aliando a estes fatores a adoção de cofragem reutilizável e racionalizada os custos podem ainda ser mais minimizados, devido à amortização do investimento inicial em cofragens.

Dentro das duas soluções de cofragem apresentadas aquela que revelou melhor desempenho foi a solução 1 com um sistema composto por túneis de grandes dimensões. Para um mesmo projeto a mão-de-obra utilizada foi 1/3 da solução 2 e a duração do ciclo de betonagem muito inferior (de 34 para 21 horas). Esta é uma diferença significativa, mesmo estando a ser referidas duas soluções racionalizadas, e certamente melhores do que os métodos tradicionais de cofragem.

7.2. TRABALHO FUTURO

O trabalho realizado, apesar de contemplar um devido enquadramento dos sistemas de cofragem a utilizar em sistemas parede resistente em betão armado, pormenorizando os componentes e procedimentos a utilizar, pode ainda ser melhorado. O dimensionamento do ponto de vista do planeamento foi conseguido, dando ideia das potencialidades de alguns tipos de sistema de cofragem, mas não foi conseguido recolher informações suficientemente plausíveis acerca dos custos dos sistemas de cofragem. Num futuro trabalho de desenvolvimento do assunto abordado, a análise económica de todos os custos com o processo de cofragem, desde a obtenção do sistema, mão-de-obra, aluguer de

equipamentos como guias e transporte poderia dar origem a um aprimorar da análise de diferentes sistemas de cofragem para realização de edifícios em estrutura parede.

BIBLIOGRAFIA

ACI Committee 347. Guide to Formwork for Concrete, 2001.

Anon. 1988. GUIDE TO FORMWORK FOR CONCRETE. *ACI Structural Journal*, 85, 530-562.

Baldauf, Alexandra - Contribuição à implementação da coordenação modular da construção no Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

Baldauf, Alexandra; Greven, Hélio - Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada. Coleção Habitare. Vol. 9. (2007).

Ballard, G. e Howell, G. (1998a). *What Kind of Production is Construction?*. Proc. 6th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Constr., IGLC-6, Aug 13-15, Guarujá, Brasil.

Ballard, G. e Howell, G. (1998b). *Implementing Lean Construction: Understanding and Action*. Proc. 6th Annual Conf. of the Int'l. Group for Lean Constr., IGLC-6, Aug 13-15, Guarujá, Brasil.

Barroso, Duarte Lopes. 2000. Universidade do Minho. Cálculo de cofragens segundo o Eurocodigo 5.

Caporioni, Garlatti; Tenca-Montini - La coordinación modular. Barcelona: Instituto Universitário de Arquitectura de Venecia, Editorial Gustavo Gili, SA. (1971).

Castelo, João - Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

Contractors, American Concrete Institute and the American Society of Concrete. 2008. *The Contractor's Guide to Quality Concrete Construction*.

Correia, Joana Inês Ribeiro de Sá. 2008. Universidade de Aveiro. *Dimensionamento de Cofragens para Estruturas de Betão Armado*.

Egan, J., Sir. (1998). *Rethinking construction: the report of the Construction Task Force*. Department of Environment, Transport and Regions, Londres, Reino Unido.

Faria, Francisco - Análise dos sistemas construtivos portugueses. Universidade do Porto. 2013.

Manso, Armando Costa. 2012. LNEC. Informação sobre custos: fichas de atualização – dez 2012.

Patinha, Sérgio - Construção modular-desenvolvimento da ideia: casa numa caixa. Universidade de Aveiro, 2011.

SCAFFOLDING, SHORING AND FORMING INSTITUTE, INC. 2006. *Safety Procedures for Vertical Formwork*.

Thanoon, WA; Peng, Lee Wah; Kadir, Mohd Razali Abdul; Jaafar, Mohd Saleh; Salit, Mohd Sapuan - The essential characteristics of industrialised building system. 2003.

<http://unstats.un.org>

www.peri.pt

www.doka.com

www.ulmaconstruction.com

www.iso.org

www.pelagoshomes.com

ANEXOS

ANEXO 1 – PLANTA DO PISO TÉRREO DO EDIFÍCIO DE ESTUDO

ANEXO 2 – PLANTA E ALÇADOS DO EDIFÍCIO DE ESTUDO

