



Sistemas de Cofragens Racionalizadas e Especiais para Edifícios

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nuno Duarte Barreto de Freitas

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

Outubro | 2011

T/M UMA

70503

62

FRE SCS

Sistemas de Cofragens Racionalizadas e Especiais para Edifícios

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nuno Duarte Barreto de Freitas

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

UNIVERSIDADE DA MADEIRA
SECTOR DE DOCUMENTAÇÃO
E ARQUIVO

ORIENTAÇÃO

Paulo Miguel de Macedo França

CO-ORIENTAÇÃO

Paulo Renato Camacho da Silva Lobo

ÍNDICE GERAL

| | |
|--|------|
| AGRADECIMENTOS | II |
| RESUMO | III |
| ABSTRACT | IV |
| SIMBOLOGIA | V |
| APRESENTAÇÃO E OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO | VI |
| ÍNDICE DE TABELAS | XIII |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | XIII |
| ÍNDICE..... | XIV |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO | 2 |
| 3. CÁLCULO DA PRESSÃO DE BETÃO FRESCO | 81 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 105 |
| 5. BIBLIOGRAFIA | 107 |

AGRADECIMENTOS

Não obstante o carácter individual deste trabalho, a sua concretização não teria sido possível sem a orientação, colaboração, incentivo e apoio de algumas pessoas. Por isso, gostaria de expressar os meus agradecimentos a todos que me acompanharam ao longo de todo este percurso.

Ao meu orientador, o Prof. Paulo França e, em especial ao meu co-orientador, o Eng. Paulo Silva Lobo, por todo o apoio, incentivo, tempo despendido, motivação e pela ajuda na superação dos obstáculos encontrados, principalmente neste último ano.

A todo o restante corpo docente da Universidade da Madeira por todo o conhecimento e competências transmitidos.

Em especial aos meus Pais e Irmã, por todo o incentivo, carinho e amor... também vos adoro!

À Dulce, minha namorada, pelo apoio, paciência e amor demonstrados nesta longa etapa, principalmente nos momentos mais difíceis.

Não posso deixar de mencionar os meus Tios Maternos, em especial o Virgílio e a Sónia por toda a ajuda, colaboração, amizade e motivação ao longo destes cinco anos.

RESUMO

Com este trabalho pretende-se dar a conhecer os diferentes sistemas de cofragens, principalmente as cofragens recuperáveis, dando maior ênfase às racionalizadas e às características que estas oferecem ao betão.

Abordam-se as características de cada sistema e as vantagens apresentadas pelos mesmos, principalmente quanto à sua montagem, número de peças e rapidez de execução.

Para o efeito, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o estado actual dos diferentes sistemas de cofragens e alguns dos componentes acessórios utilizados para que determinado sistema tenha uma melhor performance.

Por fim, realizou-se um estudo sobre uma força fundamental a considerar nas cofragens, a pressão lateral exercida pelo betão fresco. Neste estudo apresentam-se os factores que condicionam a pressão lateral do betão fresco e efectuou-se um levantamento histórico sobre as teorias apresentadas para o cálculo desta força, fazendo uma comparação entre quatro teorias diferentes.

Palavras-chave: cofragem, betão, cofragem trepante, cofragem deslizante, pressão lateral.

ABSTRACT

This work aims to raise awareness on different systems of formwork, especially recoverable formwork, placing greater emphasis on rationalized formwork and the features they offer to concrete, including concrete finish.

In the addressed systems, the characteristics of each system are discussed as advantages presented by them, especially as it is built with little manpower, number of parts and speed of execution.

For this purpose a literature review on the current status of the different systems of formwork components and some of the accessories used for those particular systems was carried out in order to obtain a better performance.

Finally, a study was carried out considering the lateral pressure of fresh concrete which is a fundamental force to the formwork. The factors that influence the lateral pressure of fresh concrete are reported. Moreover an historical survey of the theories to determine this force and a comparison between four different theories are investigated.

Keywords: formwork, concrete, climbing formwork, sliding formwork, lateral pressure.

SIMBOLOGIA

EPS – poliestireno expandido (esferovite);

H – profundidade limite máxima;

$\gamma_{\text{betão}}$ – peso específico do betão;

k_a – coeficiente de impulso activo;

P_m – pressão lateral máxima do betão fresco;

V – velocidade de colocação do betão;

T – temperatura do betão;

α – abaixamento no ensaio do cone de Abrams;

H_L – profundidade da zona de pressões constantes;

φ – ângulo de atrito interno;

d – menor dimensão da cofragem;

η – relação entre dimensões da secção transversal e longitudinal, igual ou inferior a 1;

T_v – profundidade da zona de transição, assumindo como a altura do último levantamento ou a imersão do vibrador, no máximo 1,0 m;

t_0 – tempo até ao início do endurecimento do betão;

P_{mH} – pressão máxima lateral do betão fresco sobre a cofragem na zona de pressões hidrostática;

P_{mG} – pressão máxima lateral do betão fresco sobre a cofragem na zona de pressões granulares;

H_T – profundidade máxima da zona de transição;

h_i – profundidade de vibração;

HP – potência de vibração;

% F – percentagem de cinzas volantes ou de escórias.

APRESENTAÇÃO E OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação apresenta cinco capítulos, sendo eles: introdução, enquadramento histórico, cálculo da pressão de betão fresco, considerações finais e bibliografia, sendo os capítulos do enquadramento histórico e do cálculo da pressão de betão fresco os capítulos com maior peso no trabalho.

No capítulo do enquadramento histórico pretende-se dar a conhecer os diferentes sistemas de cofragens existentes, sendo os sistemas divididos em dois principais grupos, as cofragens perdidas e as recuperáveis. Após uma breve introdução de cada sistema de cofragem são apresentados exemplos de sistemas e das suas utilizações.

No capítulo do cálculo da pressão de betão fresco apresentam-se diferentes teorias para o cálculo da mesma e analisam-se as quatro teorias mais recentes. Cada uma das teorias é analisada individualmente para diferentes valores de velocidade de colocação do betão e de abaixamento no ensaio do cone de Abrams, e, posteriormente, são comparadas mantendo fixo o valor da velocidade de colocação do betão, apresentando-se as respectivas conclusões.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1– Classificação dos sistemas de cofragem (Lança 2007). | 2 |
| Figura 2 – Pré-Lajes (Lança 2007). | 5 |
| Figura 3 – Chapa de cofragem de aço galvanizado (Lança 2007)..... | 6 |
| Figura 4 – Construção de uma piscina com cofragem perdida de pranchas de aço galvanizado (Lança 2007)..... | 6 |
| Figura 5 – Molde redondo em papelão (Revista Técnica, edição 137, Agosto de 2008). . | 8 |
| Figura 6 – Sapata cofrada com tijolo (Appleton 2008)..... | 8 |
| Figura 7 – Disposição de uma cofragem muro (Daliform Group s.d.). | 9 |
| Figura 8 – Cofragem tradicional de uma laje vista de baixo (Lança 2007). | 10 |
| Figura 9 – Cofragem tradicional de pilares (Lopes 2000). | 11 |
| Figura 10 – Cofragem tradicional de sapatas (Lopes 2000)..... | 11 |
| Figura 11 – Pormenor de uma viga e parte superior de uma laje em cofragem tradicional (Lopes 2000)..... | 12 |
| Figura 12 – Prumo metálico ajustável em altura e viga metálica extensível (Lança 2007)..... | 13 |
| Figura 13 – Placas lameladas plastificadas (Freitas 2010)..... | 13 |
| Figura 14 – Cofragem tradicional melhorada – introdução de prumos metálicos (Lança 2007)..... | 14 |
| Figura 15 – Painel de cofragem (Lança 2007). | 16 |
| Figura 16 – Cofragem racionalizada de um muro circular (Freitas 2010). | 16 |
| Figura 17 – Esquema de uma cofragem de uma parede (Lança 2007). | 17 |
| Figura 18 – Vigas rigidificadoras e ancoragens (Lança 2007)..... | 17 |
| Figura 19 – Cofragem para superfície de betão à vista (PERI s.d.)..... | 18 |
| Figura 20 – Sistema de ancoragens (PERI s.d.). | 18 |
| Figura 21 – Ferrolho TRIO BFD, painel de canto e pormenor inferior (PERI 2002). ... | 19 |
| Figura 22 – Painéis TRIO (PERI s.d.). | 19 |
| Figura 23 – Painéis disponíveis e um núcleo complexo sem ser desmontado (PERI s.d.). | 20 |
| Figura 24 – Painéis com duas alturas e duas larguras e pormenor de um ferrolho TRIO BFD (PERI 2002)..... | 20 |
| Figura 25 – Borracha para juntas e vários painéis ligados (PERI 2002). | 21 |
| Figura 26 – Transporte manual dos painéis de alumínio (PERI 2002)..... | 21 |

| | |
|---|----|
| Figura 27 – Cofragem com TRIO 330 com alturas até 3,30 m (PERI 2002)..... | 22 |
| Figura 28 – Estrutura TRIO (PERI s.d.). | 22 |
| Figura 29 – Plataforma TRIO com 8,10 m de altura e com três níveis de trabalho (PERI 2002)..... | 23 |
| Figura 30 – Montagem da plataforma (PERI 2002). | 23 |
| Figura 31 – Cofragem com ângulos oblíquos (PERI 2002). | 24 |
| Figura 32 – Painéis HANDSET e Clip HANDSET (PERI 2002). | 25 |
| Figura 33 – Cofragem RUNDFLEX (PERI 2002). | 25 |
| Figura 34 – Ajuste do painel ao raio pretendido com a bitola, o fuso e a respectiva chave (PERI 2002). | 26 |
| Figura 35 – Cofragem circular de grande raio e adaptados a plataformas trepantes (PERI 2002)..... | 26 |
| Figura 36 – Cofragem afunilada e pré montagem de uma cofragem com um diâmetro de 2,50 m (PERI s.d.)..... | 27 |
| Figura 37 – Sistema VARIO GT 24 (PERI 2002)..... | 27 |
| Figura 38 – Secções disponíveis (PERI s.d.)..... | 28 |
| Figura 39 – Esquema de uma cofragem de um pilar e painéis disponíveis (PERI s.d.). | 28 |
| Figura 40 – Cofragem SRS com plataforma de trabalho e as quatro alturas dos elementos (PERI s.d.)..... | 29 |
| Figura 41 – Cofragem TRIO para pilares e respectivos aumentos de secção transversal (PERI 2002). | 29 |
| Figura 42 – Cofragem RAPID, montagem manual e pormenor de colunas com variação da secção (PERI 2002). | 30 |
| Figura 43 – Consola para Viga UZ 40 e Calha Perfurada, sistema sem ancoragens e ligação rígida (PERI 2002). | 31 |
| Figura 44 – Ângulo AW fixado com pregos numa laje, numa viga e fixado com grampo (PERI 2002). | 31 |
| Figura 45 – Elementos de uma cofragem racionalizada para lajes (Lança 2007). | 32 |
| Figura 46 – Cabeçal de caída SKYDECK, posição de cofragem e posição de descofragem (PERI s.d.)..... | 33 |
| Figura 47 – Cantos desbastados e leveza dos componentes (PERI 2002). | 33 |
| Figura 48 – Cofragem com poucos prumos e capacidade de vencer consolas até 1,30 m (PERI 2002). | 34 |
| Figura 49 – Acesso com segurança para a colocação do contraplacado (PERI s.d.)..... | 34 |

| | |
|--|----|
| Figura 50 – Montagem de uma cofragem (PERI s.d.). | 35 |
| Figura 51 – Cofragem BEAMDECK e a montagem dos seus componentes (PERI s.d.). | 35 |
| Figura 52 – Encaixe da viga principal no cabeçal de caída, ajuste em comprimento e pormenor de uma viga para cofragem inclinada (PERI s.d.) | 36 |
| Figura 53 – Sistema MULTIFLEX (PERI s.d.) | 36 |
| Figura 54 – Viga treliçada GT 24, cofragem com grandes vãos e cofragem circular com 11,60 m de diâmetro (PERI 2002). | 37 |
| Figura 55 – Sistema Cofiber numa laje maciça (Metal Ibérica, S.A. 2011). | 37 |
| Figura 56 – Sistema Cofiber para cofragem de uma laje fungiforme de cocos (Metal Ibérica, S.A. 2011). | 38 |
| Figura 57 – Cofragem DOMINO para fundações (PERI 2002). | 38 |
| Figura 58 – Mesa modular pré-montada com protecção anti-quedas (PERI s.d.) | 40 |
| Figura 59 – Cabeçal basculante nas duas direcções, transporte das mesas e cofragem com mesas (PERI s.d.) | 40 |
| Figura 60 – Mesa UNIportal a ser transporta por grua e cofragem com a mesma (PERI s.d.) | 41 |
| Figura 61 – Forma trapezoidal, cabeçal que dobra numa direcção e grandes espaços entre vigas (PERI s.d.) | 41 |
| Figura 62 – Mesas de grandes dimensões retiradas com um movimento de grua (PERI s.d.) | 42 |
| Figura 63 – Ligação das vigas treliçadas com o pino simples e o contrapino, alavanca para o abaixamento da mesa e cofragem com altura de piso mais elevada (PERI s.d.) | 42 |
| Figura 64 – Ascensor para mesas PTL 1250 | 43 |
| Figura 65 – Mesa a ser descida/descofrada da laje (PERI s.d.) | 43 |
| Figura 66 – Mesa a ser transportada (PERI s.d.) | 43 |
| Figura 67 – Carro de transporte e descofragem para mesas de 2 t (PERI s.d.) | 44 |
| Figura 68 – Estrutura do carro de transporte regulável (PERI s.d.) | 44 |
| Figura 69 – Carro de transporte e descofragem estendido (PERI s.d.) | 44 |
| Figura 70 – Transporte de uma mesa para a extremidade da laje (PERI s.d.) | 44 |
| Figura 71 – Esquema de uma grua a transportar uma unidade completa (PERI s.d.) | 45 |
| Figura 72 – Suporte da grua mantido em posição quase horizontal (PERI s.d.) | 45 |
| Figura 73 – Esquema do transporte vertical de uma mesa de laje (PERI s.d.) | 45 |

| | |
|--|----|
| Figura 74 – Mesa a ser transportada para o piso seguinte (PERI s.d.). | 45 |
| Figura 75 – Carro de descofragem ASW 465 (PERI s.d.). | 46 |
| Figura 76 – Entrega compacta com apenas uma palete (PERI s.d.). | 46 |
| Figura 77 – Painel com escada, prumos e plataforma de betonagem (PERI 2002). | 47 |
| Figura 78 – Cofragem VARIO GT 24 com plataforma de trabalho com escadas de acesso (PERI 2002). | 48 |
| Figura 79 – Cofragem QUATTRO, transporte por grua e variação da sua secção transversal (PERI 2002). | 49 |
| Figura 80 – Inclusão do rodízio, descofragem manual e plataforma de trabalho com escada de acesso (PERI 2002). | 49 |
| Figura 81 – Esquema de cofragem com a longarina UZR e cofragem contínua (PERI s.d.). | 50 |
| Figura 82 – Sistema túnel (Bennett 2002). | 52 |
| Figura 83 – Montagem do sistema túnel (Bennett 2002). | 52 |
| Figura 84 – Colocação de unidade pré-fabricada e cofragem da fachada (PERI s.d.). | 52 |
| Figura 85 – Sistema de plataforma FB 180 (PERI s.d.). | 54 |
| Figura 86 – Elementos de ligação inseridos (PERI s.d.). | 54 |
| Figura 87 – Constituição do sistema FB 180 (PERI s.d.). | 54 |
| Figura 88 – <i>Bracket</i> (PERI s.d.). | 55 |
| Figura 89 – Plataforma utilizada como andaime universal de trabalho e com protecção para extremidades de telhados com barreira de segurança de 2,00 m de altura (PERI s.d.). | 55 |
| Figura 90 – Montagem dos guarda-corpos e colocação dos postes de extremidade (PERI s.d.). | 56 |
| Figura 91 – Plataforma intermédia FBZ 240 em andaime interior (PERI s.d.). | 56 |
| Figura 92 – Ancoragem para andaimes de trabalho (PERI s.d.). | 57 |
| Figura 93 – Ancoragem para cargas elevadas (PERI s.d.). | 57 |
| Figura 94 – Sistema trepante CB utilizado num edifício e em pilares de uma ponte (PERI s.d.). | 57 |
| Figura 95 – <i>Brackets</i> CB 240 e CB 160 (PERI s.d.). | 58 |
| Figura 96 – Núcleo formado pela cofragem e o andaime trepante (PERI s.d.). | 58 |
| Figura 97 – Betonagem de grandes alturas (PERI s.d.). | 58 |
| Figura 98 – Plataforma CB 240 completa (PERI s.d.). | 59 |
| Figura 99 – Espaço de 0,75 m de área de trabalho (PERI s.d.). | 59 |

| | |
|---|----|
| Figura 100 – As âncoras PERI (PERI s.d.). | 60 |
| Figura 101 – Retirada das âncoras que já não são necessárias (PERI s.d.). | 60 |
| Figura 102 – Ajuste em altura (PERI s.d.). | 61 |
| Figura 103 – Ajuste da inclinação (PERI s.d.). | 61 |
| Figura 104 – Ajuste com o carro de avanço (PERI s.d.). | 61 |
| Figura 105 – Sistema Trepante KG (PERI s.d.). | 61 |
| Figura 106 – Cofragem de um edifício com poço de elevador com altura de 45 m e vãos de escada (PERI s.d.). | 61 |
| Figura 107 – Unidade completa de cofragem transportada por grua e escadas de acesso (PERI s.d.). | 62 |
| Figura 108 – <i>Brackets</i> do sistema (PERI s.d.). | 63 |
| Figura 109 – <i>Brackets</i> desviadas para evitar saliências nas paredes (PERI s.d.). | 63 |
| Figura 110 – Área de trabalho com 0,75 m aproximadamente (PERI s.d.). | 64 |
| Figura 111 – Tipos de ancoragens (PERI s.d.). | 64 |
| Figura 112 – <i>Bracket</i> plana (PERI s.d.). | 65 |
| Figura 113 – <i>Bracket</i> utilizada em pilares circulares (PERI s.d.). | 65 |
| Figura 114 – Construção da barragem do Alqueva em Portugal (PERI s.d.). | 66 |
| Figura 115 – Construção de uma superfície inclinada (PERI s.d.). | 66 |
| Figura 116 – Construção de um túnel com o sistema de face única SKS (PERI s.d.). | 66 |
| Figura 117 – Cones de trepagem utilizados pelo sistema de face única SKS (PERI s.d.). | 66 |
| Figura 118 – Utilização da plataforma na construção de uma torre de escadas com 44 m de altura (PERI s.d.). | 67 |
| Figura 119 – Secção típica através do centro de um edifício com poços para elevadores (PERI s.d.). | 67 |
| Figura 120 – Apoio dobrável 25 (PERI s.d.). | 68 |
| Figura 121 – Apoio pela placa articula num vão (PERI s.d.). | 68 |
| Figura 122 – Apoio inserido no betão (PERI s.d.). | 68 |
| Figura 123 – Fixação através de cintas para ganchos (PERI s.d.). | 68 |
| Figura 124 – Sistema auto-trepante ACS (PERI s.d.). | 70 |
| Figura 125 – Utilização do sistema ACS R num edifício alto (PERI s.d.). | 70 |
| Figura 126 – Construção no mar com capacidade para suportar ventos até os 200 Km/h (PERI s.d.). | 71 |
| Figura 127 – Cerne (PERI s.d.). | 71 |

| | |
|---|----|
| Figura 128 – Ancoragens da PERI para os sistemas auto-trepantes (PERI s.d.)..... | 71 |
| Figura 129 – Plataforma ACS P (PERI s.d.)..... | 72 |
| Figura 130 – Paredes e lajes elevadas de uma única vez (PERI s.d.)..... | 73 |
| Figura 131 – Bomba de betão em conjunto com a cofragem (PERI s.d.)..... | 73 |
| Figura 132 – Esquema do sistema auto-trepante ACS G (PERI s.d.)..... | 74 |
| Figura 133 – Betonagem em simultâneo das lajes e paredes (PERI s.d.)..... | 74 |
| Figura 134 – Sistema ACS G utilizado num edifício circular (PERI s.d.)..... | 74 |
| Figura 135 – Sistema auto-trepante ACS S (PERI s.d.)..... | 75 |
| Figura 136 – Modelo ACS S em exposição (PERI s.d.)..... | 75 |
| Figura 137 – Sistema ACS S utilizado na construção de núcleos de serviços (PERI s.d.) | 75 |
| Figura 138 – Sistema auto-trepante ACS V utilizado em pilares inclinados de pontes (PERI s.d.)..... | 75 |
| Figura 139 – Sistema auto-trepante ACS V com os quatro níveis de trabalho (PERI s.d.)..... | 76 |
| Figura 140 – Kit de construção com componentes rentáveis e <i>standard</i> (PERI s.d.)... | 77 |
| Figura 141 – Combinação de vários sistemas para obtenção de uma cofragem rentável (PERI s.d.)..... | 77 |
| Figura 142 – Solução para arranques com pouco espaço inferiores para arco (PERI s.d.) | 78 |
| Figura 143 – Solução para arranques em <i>Bracket</i> (PERI s.d.)..... | 78 |
| Figura 144 – Solução para arranques com pouco espaço inferiores para arco (PERI s.d.) | 79 |
| Figura 145 – Solução para arranques em <i>Bracket</i> (PERI s.d.)..... | 79 |
| Figura 146 – Betonagem realizada às camadas (Bennett 2002)..... | 80 |
| Figura 147 – Combinação dos pontos de vibração (Bennett 2002)..... | 80 |
| Figura 148 – Esquema de pressão com zona granular – zona onde a pressão começa a ser constante (fib CEB - FIP 2009)..... | 81 |
| Figura 149 – Esquema de pressão com zona granular (fib CEB - FIP 2009)..... | 82 |
| Figura 150 – Pressões sobre cofragem inclinada (fib CEB - FIP 2009)..... | 91 |
| Figura 151 – Esquema de pressões na recomendação de J.M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja"..... | 94 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Pressão máxima da mistura de betão de acordo com a trabalhabilidade do mesmo (fib CEB - FIP 2009)..... | 89 |
| Tabela 2 – Factores a aplicar no cálculo da pressão máxima da mistura do betão no caso de utilização de retardadores (fib CEB - FIP 2009)..... | 90 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 1 – Relação da temperatura com o tempo de endurecimento do betão (fib CEB - FIP 2009)..... | 83 |
| Gráfico 2 – Relação entre o resultado das classes de abaixamento e a pressão máxima (fib CEB - FIP 2009)..... | 84 |
| Gráfico 3 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função da velocidade de colocação do betão no Código americano A. C. I. 347/04..... | 97 |
| Gráfico 4 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams na Norma alemã DIN 18218..... | 98 |
| Gráfico 5 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams na Recomendação de J. M. Palanca: “Instituto Eduardo Torroja”..... | 99 |
| Gráfico 6 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams no Estudo canadiano do N. J. Garner..... | 100 |
| Gráfico 7 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams nas três teorias, com a velocidade fixada em 1,5 m/h..... | 101 |
| Gráfico 8 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams nas três teorias, com a velocidade fixada em 2,5 m/h..... | 102 |
| Gráfico 9 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams nas três teorias, com a velocidade fixada em 3,5 m/h..... | 103 |

ÍNDICE

| | |
|--|----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO | 2 |
| 2.1. INTRODUÇÃO | 2 |
| 2.2. COFRAGENS PERDIDAS..... | 3 |
| 2.2.1. Estruturais ou Colaborantes | 4 |
| 2.2.1.1. Pré-lajes..... | 4 |
| 2.2.1.2. Chapas de Aço Galvanizado | 5 |
| 2.2.2. Não Estruturais ou Não Colaborantes | 7 |
| 2.2.2.1. Papelão | 7 |
| 2.2.2.2. Tijolo em Sapatas | 8 |
| 2.2.2.3. Cofragem Muro | 9 |
| 2.3. COFRAGENS RECUPERÁVEIS | 10 |
| 2.3.1. Cofragens Recuperáveis Tradicionais | 10 |
| 2.3.2. Cofragens Recuperáveis Tradicionais Melhoradas ou Semi- Racionalizadas | 12 |
| 2.3.3. Cofragens Recuperáveis Racionalizadas | 14 |
| 2.3.3.1. Ligeiras ou Desmembráveis | 16 |
| 2.3.3.1.1.Sistema em Painéis para Paredes, Pilares e Vigas..... | 17 |
| 2.3.3.1.2.Sistema em Painéis para Lajes | 32 |
| 2.3.3.1.3.Sistema em Painéis para Fundações | 38 |
| 2.3.3.2. Semi-Desmembráveis | 39 |
| 2.3.3.2.1.Mesas de Cofragem | 39 |
| 2.3.3.2.2.Painéis para Paredes | 46 |
| 2.3.3.2.3.Painéis para Pilares | 48 |
| 2.3.3.2.4.Sistema de Painéis para Vigas..... | 50 |
| 2.3.3.3. Cofragens Recuperáveis Pesadas ou Monolíticas | 51 |
| 2.3.3.3.1.Sistema Túnel..... | 51 |
| 2.3.4. Cofragens Recuperáveis Especiais..... | 53 |
| 2.3.4.1. Sistemas Trepantes | 53 |
| 2.3.4.2. Sistemas Auto-Trepantes | 69 |
| 2.3.4.3. Sistemas Deslizantes..... | 76 |

| | |
|---|------------|
| 3. CÁLCULO DA PRESSÃO DE BETÃO FRESCO | 81 |
| 3.1. FACTORES DE DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO DO BETÃO | 83 |
| 3.2. TEORIAS DA PRESSÃO DE BETÃO FRESCO SOBRE A COFRAGEM..... | 86 |
| 3.2.1. Código americano A.C.I. 347/04 | 86 |
| 3.2.2. Norma alemã DIN 18218 | 88 |
| 3.2.3. Recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja" | 90 |
| 3.2.4. Estudo canadiano de N. J. Garner | 95 |
| 3.3. ANÁLISE ÀS TEORIAS APRESENTADAS | 96 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 105 |
| 5. BIBLIOGRAFIA | 107 |

1. INTRODUÇÃO

O betão armado é um material com vasta aplicação na engenharia civil, sendo constituído por uma mistura compacta de agregados (finos e grossos) de diferentes granulometrias, cimento, água e armaduras (em geral sob a forma de varões redondos de aço) sendo um dos materiais mais importantes da arquitectura do século XXI.

O betão armado pode ser moldado com diversas formas: pilares, vigas, lajes, cascas, etc. Para se moldar o betão com a forma pretendida recorre-se a cofragens, as quais têm um papel determinante na garantia da geometria da peça, do aprumo, do nível, do alinhamento e da esquadria do elemento a executar.

Nos últimos anos o betão tem vindo a sofrer alterações, não apenas nos seus componentes de mistura mas também em todos os processos relacionados com o custo da construção, a qualidade e o meio ambiente. Para que o produto final respeitasse todos os componentes foi necessário que a cofragem acompanhasse a evolução do betão. Com esta evolução em paralelo foi possível construir obras a elevadas velocidades, devido à maior rentabilização dos processos de cofragem e descofragem e à qualidade que a própria cofragem dá ao acabamento, tratando de limitar a deformação dos elementos e cuidar da qualidade do aspecto da superfície acabada.

Um factor com impacto favorável a nível ambiental é o aumento da quantidade de reaproveitamento de cofragem, que permite economizar os componentes utilizados. Para que o betão jovem não apresente fissuras é necessário assegurar que a deformação não é excessiva quer na cofragem quer no seu escoramento.

Assim, evoluiu-se das cofragens constituídas por pranchas de madeira para as formadas a partir de derivados da madeira, como por exemplo o contraplacado, até às cofragens metálicas.

2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

2.1. Introdução

A cofragem, também denominada molde ou *fôrma* noutros países, é um elemento construtivo utilizado para o betão adquirir a forma desejada numa determinada estrutura ou construção. A cofragem de peças de betão tem de ser resistente ao ponto de respeitar as dimensões da peça projectada e deve ter capacidade para suportar o peso próprio do betão, a sua pressão lateral, as sobrecargas de circulação e dos equipamentos necessários, e ainda aquelas associadas ao processo de compactação. A sua estabilidade deve ser garantida através de escoramentos e contraventamentos. Assim, deve resultar uma cofragem apertada e todas as juntas entre painéis devem ser fechadas com um selante apropriado para eliminar a perda de betão.

A responsabilidade de decidir acerca da conformidade da cofragem é também do projectista. O sistema de cofragem utilizado em cada caso depende do número de vezes que o elemento se repete, da disponibilidade e do orçamento.

Os sistemas de cofragem podem ser esquematizados como mostra a Figura 1.

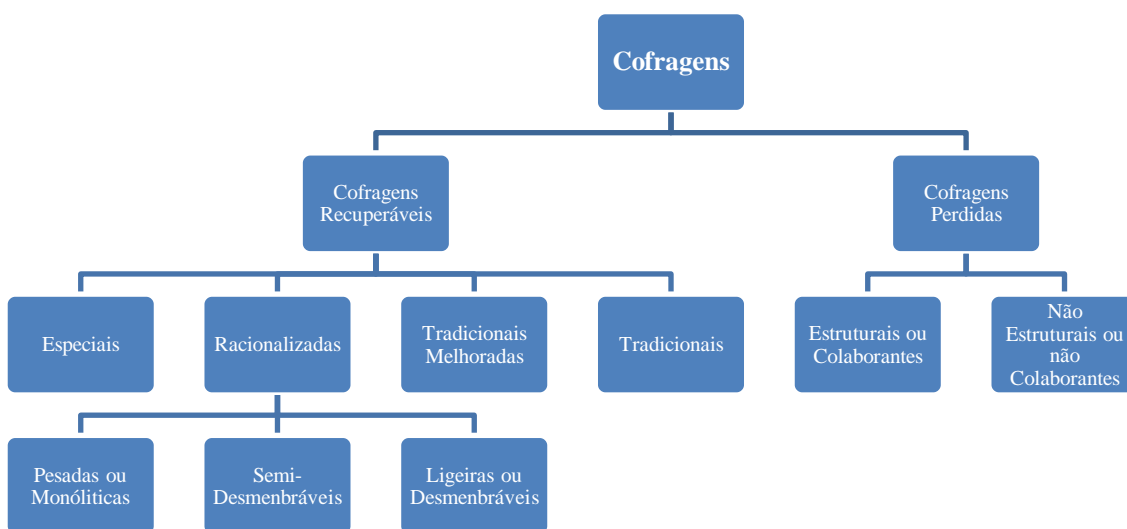


Figura 1– Classificação dos sistemas de cofragem (Lança 2007).

A montagem de uma cofragem exige o cumprimento de vários aspectos. Deste modo a cofragem deve ser (Mascarenhas 2009):

- Estanque;
- Fácil de montar (cofrar) e de desmontar (descofrar);
- Capaz de suportar o peso do betão armado, dos equipamentos e dos operários sem se deformar;
- Económica.

Devido às necessidades de se construir rapidamente e com segurança, as cofragens passaram a ser de metal (aço ou alumínio) em vez de madeira, principalmente no que respeita aos quadros e aos prumos.

Nas cofragens recuperáveis deve estar presente um agente descofrante, com ph neutro e anti-manchas, devendo também aderir à cofragem de forma eficaz sem causar manchas de descoloração, bolhas no acabamento superficial ou mais tarde transformar a superfície em pó (Bennett 2002).

Deve-se utilizar espaçadores nas lajes e em paredes para manter o recobrimento necessário para os requisitos de durabilidade considerados no projecto estrutural. Estes espaçadores devem ser de plástico e suficientemente rígidos para manter a suspensão da armadura para evitar que esta fique exposta na superfície de betão, sem causar a deformação da mesma (Bennett 2002).

2.2. Cofragens Perdidas

As cofragens perdidas são aquelas que, após a betonagem dos elementos de betão, ficam solidárias com os mesmos (Lança 2007), pelo que não são reutilizadas.

De acordo com o mesmo autor, estas cofragens podem ser classificadas de estruturais ou colaborantes e de não estruturais ou não colaborantes.

2.2.1. Estruturais ou Colaborantes

As cofragens estruturais são aquelas que para além de moldarem o betão durante a sua betonagem e cura também são tidas no cálculo como resistentes depois da cura do betão. Estas cofragens juntamente com o betão armado formam o elemento resistente. Normalmente este tipo de cofragens está restringido a lajes e também a pilares mistos e podem ser cofragens metálicas ou em betão armado.

2.2.1.1. Pré-lajes

As pré-lajes, esquematizadas na Figura 2, são prefabricadas, de betão pré-esforçado ou não, com armadura resistente, disposta em malha ortogonal e constituída por fios de aço pré-esforçados (armadura principal pré-esforçada) e por fios ou varões dispostos na direcção transversal (armadura de distribuição, não pré-esforçada) colocados sobre a armadura de pré-esforço e não soldados a esta armadura (Laboratório Nacional de Engenharia Civil 2007).

As pré-lajes são construídas em mesas metálicas e as suas faces laterais descrevem o seu limite e a altura do elemento a betonar. Estas mesas são conhecidas como mesas de moldagem e compostas por perfis metálicos deslocáveis que possuem negativos para colocação de armadura longitudinal ao nível definido no cálculo (Machado, et al. 2011).

O campo de aplicação das pré-lajes consiste nos edifícios de habitação ou noutro tipo de estruturas com ocupação e utilização semelhantes às que se verificam nesse tipo de edifícios e na construção de pontes.

As pré-lajes executam uma função tripla (Lança 2007):

- Servem de cofragem à camada de betão complementar;
- Têm uma função estrutural;
- Servem de superfície (tecto) acabada.

Assim, como as pré-lajes não necessitam de uma cofragem contínua, com exceção das zonas de bordadura, dos apoios e dos respectivos escoramentos, requerem uma menor quantidade de mão-de-obra, o que torna o processo construtivo mais rápido.

As pré-lajes também apresentam algumas desvantagens:

- Custo elevado;
- Transporte quando estas apresentam elevadas dimensões;
- Peso que dificulta a sua colocação em obra.

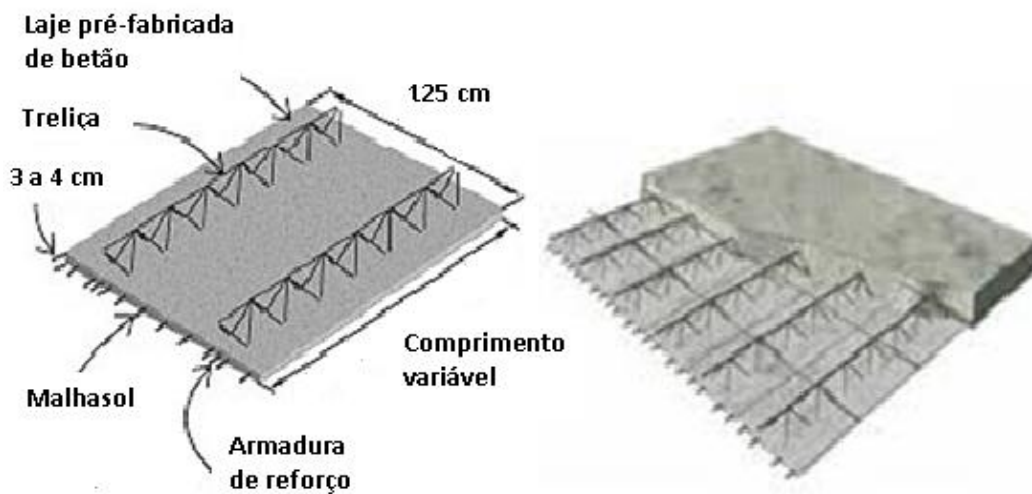


Figura 2 – Pré-Lajes (Lança 2007).

2.2.1.2. Chapas de Aço Galvanizado

As funções das chapas de aço galvanizado (ver Figura 3) são muito semelhantes às das pré-lajes (Lança 2007):

- Servem de cofragem à camada de betão complementar;
- Servem de armadura;
- Servem de superfície acabada.

O mesmo autor refere que as nervuras presentes nestas chapas, permitem aumentar a área de armadura e aumentar a superfície de aderência ao betão.



Figura 3 – Chapa de cofragem de aço galvanizado (Lança 2007).

Este tipo de cofragem é muito utilizado em piscinas (ver Figura 4). Como a cofragem é perdida torna-se muito mais fácil e rápido executar a cofragem das paredes das piscinas. Também com este sistema é possível definir o tamanho e forma do elemento, visto não ter interferência o corte porque a cofragem não é reutilizada.



Figura 4 – Construção de uma piscina com cofragem perdida de pranchas de aço galvanizado (Lança 2007).

2.2.2. Não Estruturais ou Não Colaborantes

A função das cofragens não estruturais é definir o limite do acesso do betão a determinadas áreas (para garantir o aligeiramento das peças) e que o betão não seja desaproveitado. Estas cofragens são compostas por materiais descartáveis.

2.2.2.1. Papelão

O papelão é um material que traz vantagens do ponto de vista económico, dado o seu baixo custo. Este tipo de material, após a cura do betão, é rasgado e descartado, fazendo com que o sistema se torne mais competitivo nas obras onde apenas está prevista uma utilização do molde.

Na construção de pilares redondos este material (ver Figura 5) devido à sua fácil colocação e remoção, é o mais utilizado, proporcionando um excelente acabamento final ao betão (Revista *Téchne*, edição 137, Agosto de 2008).

Estes moldes são fabricados em papel *kraft* e *semikraft* tratados com colas e resinas, e recebem uma camada de papel não aderente ao betão. Estes moldes estão disponíveis nos diâmetros de 100 mm a 1000 mm e espessuras variáveis de 3 mm a 8,5 mm, e são leves. Como exemplo, um molde de 150 mm de diâmetro interno pesa cerca de 1,4 kg/m. Os moldes de papelão podem também conter recheios de EPS para obter vários formatos de colunas, tais como rectangulares, quadradas ou hexagonais (Revista *Téchne*, edição 137, Agosto de 2008).

Note-se que quando há repetibilidade dos elementos estruturais torna-se vantajoso adoptar outras soluções recuperáveis.



Figura 5 – Molde redondo em papelão (Revista Técnica, edição 137, Agosto de 2008).

2.2.2.2. Tijolo em Sapatas

Nas sapatas, sendo elementos enterrados e frequentemente betonados contra o terreno, por vezes não é possível garantir a geometria pretendida apenas com a escavação. Uma solução para estes casos é recorrer a cofragens perdidas executadas com alvenaria de tijolo (ver Figura 6). Esta solução dispensa os escoramentos laterais que são indispensáveis nas cofragens de madeira.



Figura 6 – Sapata cofrada com tijolo (Appleton 2008).

2.2.2.3. Cofragem Muro

A Cofragem Muro, (ver Figura 7), foi concebida como alternativa às cofragens de madeira tradicionais, para permitir a betonagem de muros de elevação, vigas invertidas e sapatas de fundação, reduzindo drasticamente os tempos de realização das fundações (Daliform Group s.d.).

Esta cofragem perdida é constituída pela combinação de tubos, painéis, colares e suportes fabricados em polipropileno (Daliform Group s.d.), e tem o objectivo de facilitar a execução do trabalho de estaleiro aumentando a velocidade de execução. É caracterizada pelo reduzido número de peças de reduzido peso que permitem a sua fácil e rápida colocação.

Segundo a mesma fonte, outra vantagem desta cofragem é a possibilidade de executar em simultâneo as vigas de fundação e a laje, acelerando deste modo os trabalhos, com resultados económicos consideráveis.

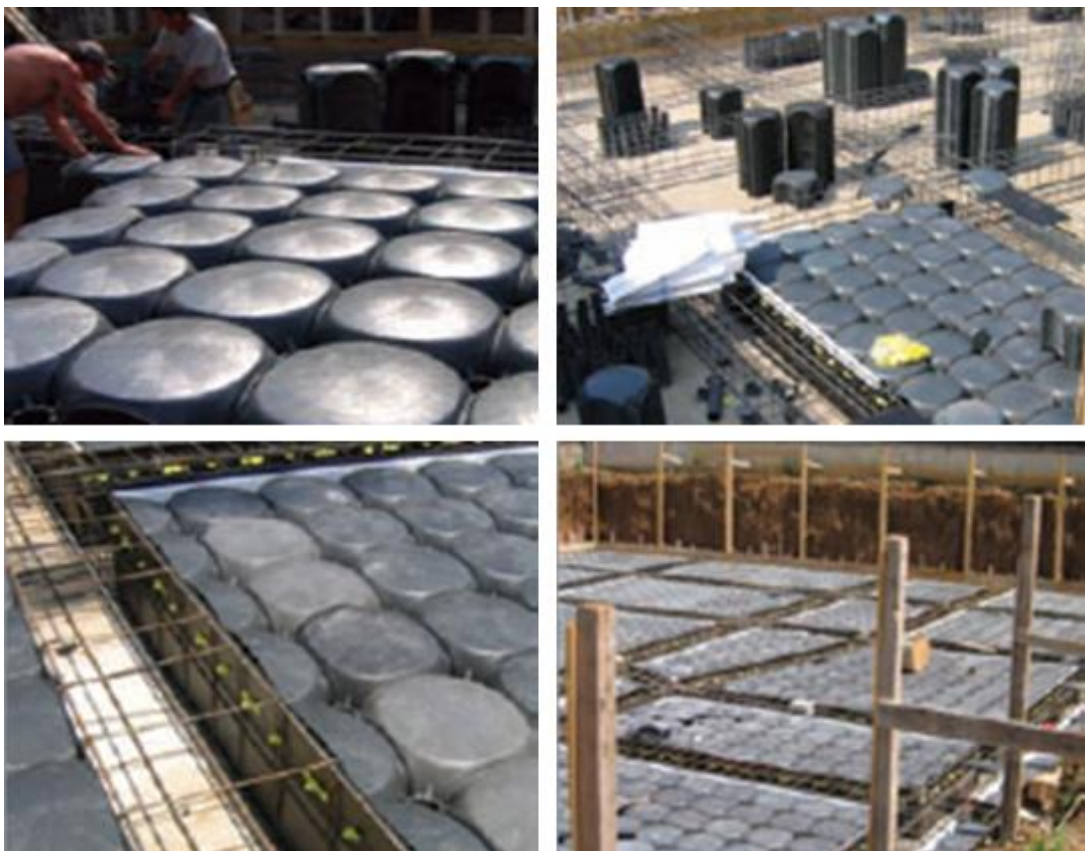


Figura 7 – Disposição de uma cofragem muro (Daliform Group s.d.).

2.3. Cofragens Recuperáveis

As cofragens recuperáveis são o maior grupo de sistemas de cofragens por permitirem rentabilizar melhor o investimento resultante da sua compra e fabrico.

Este grupo de sistemas de cofragem pode ser classificado de tradicional, tradicional melhorado, racionalizado ou especial.

2.3.1. Cofragens Recuperáveis Tradicionais

As cofragens tradicionais (ver Figura 8) podem ser aplicadas na execução de qualquer tipo de elemento em betão armado.

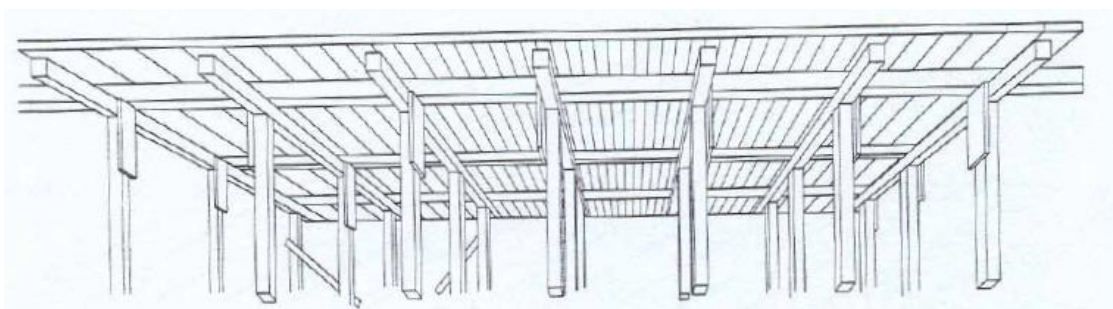


Figura 8 – Cofragem tradicional de uma laje vista de baixo (Lança 2007).

A madeira continua a ser o material mais utilizado em cofragens tradicionais pelas seguintes razões (Mascarenhas 2009):

- É abundante na natureza, mesmo em lugares pobres e isolados, estando normalmente apta a ser utilizada;
- É um material leve e com resistência significativa, o que facilita o seu transporte e circulação na obra;
- É fácil de cortar e de ligar;
- Tem a capacidade de formar moldes singulares e complexos (ver Figura 9);

- Permite obter bons acabamentos à vista;
- É relativamente acessível economicamente, mesmo considerando a mão-de-obra necessária;
- É susceptível de ser transfigurada industrialmente em outros materiais para cofragens (aglomerado de madeira e contraplacado marítimo);
- Garante um bom isolamento térmico ao betão fresco para que em dias de calor este não perca demasiada água por evaporação.



Figura 9 – Cofragem tradicional de pilares (Lopes 2000).

A madeira, mesmo apresentando todas estas características, por ter um número baixo de reutilizações e requerer alguma mão-de-obra tem perdido terreno em relação a outros materiais, nomeadamente ao nível dos elementos de suporte dos painéis de cofragem, por exemplo, quando comparada aos prumos tubulares metálicos.



Figura 10 – Cofragem tradicional de sapatas (Lopes 2000).

Algumas das razões para tal são (Mascarenhas 2009):

- A escassez e o custo elevado da mão-de-obra de carpintaria de toscos;
- A demorada preparação e montagem de cofragem de madeira maciça;
- Os custos elevados dos elementos de madeira de maior secção;
- A variabilidade do ponto de vista das características mecânicas dos diversos acessórios executados em madeira maciça;
- Desvalorização dos seus componentes devido a cortes sucessivos e à redução de rigidez, perda de estanquidade nas juntas e alteração da cor do betão (para mais escuro) devido ao número de reutilizações;
- Defeitos da madeira, tais como fendas, nós, empenos, etc.



Figura 11 – Pormenor de uma viga e parte superior de uma laje em cofragem tradicional (Lopes 2000).

2.3.2. Cofragens Recuperáveis Tradicionais Melhoradas ou Semi-Racionalizadas

As cofragens tradicionais melhoradas também são conhecidas como semi-racionalizadas. Este sistema de cofragem aparece como uma solução para modificar o processo de cofragem e descofragem de modo a tornar a sua execução mais fácil e rápida. Com a evolução dos sistemas de cofragem, houve necessidade de modular os seus componentes de modo a garantir uma maior produtividade (Lança 2007).

Os sistemas de cofragens tradicionais melhoradas introduziram alguns elementos de natureza diferente que não são utilizados nos sistemas tradicionais, tais como:

- Prumos metálicos ajustáveis em altura e vigas metálicas extensíveis para a substituição dos prumos e das vigas de madeira, respectivamente (ver Figura 12);
- Painéis de cofragem racionalizados;
- Painéis reforçados e/ou de outros materiais como, por exemplo, de contraplacado plastificado e de solho tosco revestido com fibras de madeira (ver Figura 13);
- Os sistemas de contraventamento e de fixação foram aperfeiçoados.



Figura 12 – Prumo metálico ajustável em altura e viga metálica extensível (Lança 2007).

A introdução destes novos elementos vem da necessidade de economizar madeira. No caso dos prumos de madeira, quando o pé direito varia o corte dos mesmos tem de ser efectuado por medida, enquanto com os prumos metálicos esse problema foi resolvido com o prumo metálico ajustável em altura, aumentando a produtividade.



Figura 13 – Placas lameladas plastificadas (Freitas 2010).

As cofragens tradicionais têm hoje aplicação muito limitada, visto utilizarem-se de forma generalizada prumos metálicos (ver Figura 14). Este é, provavelmente, um dos sistemas mais correntes em cofragens simples, as quais com a introdução dos prumos metálicos são sistemas tradicionais melhorados.



Figura 14 – Cofragem tradicional melhorada – introdução de prumos metálicos (Lança 2007).

2.3.3. Cofragens Recuperáveis Racionalizadas

As cofragens racionalizadas também conhecidas por modulares, são constituídas por elementos normalizados, elaborados a partir de materiais que possibilitam um elevado número de reutilizações, e ligados entre si de modo a possibilitarem uma fácil montagem e desmontagem (Dias, Gomes e Peneda 2004).

Os sistemas de cofragens racionalizadas ou modulares foram criados de forma a aumentarem a rentabilidade, sobretudo com base numa normalização de dimensões e processos de montagem e desmontagem (Lança 2007).

O mesmo autor afirma que em combinação com o peso crescente das unidades elementares que constituem os sistemas, têm-se as cofragens ligeiras ou desmembráveis, as semi-desmembráveis e as pesadas ou monolíticas.

Os materiais que são utilizados nas cofragens racionalizadas ou modulares são diversos e que a escolha dos materiais depende do método construtivo a empregar, do

tipo de projecto e da necessidade tanto das obras quanto das empresas fornecedoras, ou seja, do mercado (Freitas 2010).

As cofragens racionalizadas correntes não recorrem à madeira, mas sim a tipos diferentes de metais e plásticos, entre outras variantes.

Encontram-se frequentemente sistemas de cofragem mistos, como por exemplo painéis de um material e escoramentos e outros acessórios de outro.

A vantagem das cofragens racionalizadas está relacionada directamente com a versatilidade dos materiais empregues que, com o seu peso definem a sua categoria. Os materiais habitualmente empregues têm uma grande durabilidade e podem ser reutilizados diversas vezes. Num projecto bem executado a montagem torna-se fácil e os resultados são adequados. Tendo em conta tempos de cofragem e descofragem, que são curtos devido à sua fácil montagem e desmontagem mesmo quando as condições atmosféricas não são as melhores, os materiais ficam rapidamente disponíveis para o próximo ciclo de betonagem.

As superfícies finais obtidas com este sistema são mais lisas, o que faz diminuir a porosidade do betão, trazendo benefícios no desempenho estrutural da peça assim como no aspecto do acabamento final.

Os diferentes materiais utilizados podem estar associados a desvantagens, como por exemplo no que toca à ocorrência de reacções do material utilizado com o cimento incorporado no betão (como é o caso do alumínio), falta de aderência da superfície com o betão e fragilidade (frequente em alguns plásticos) (Freitas 2010).

Esses materiais, para manterem a qualidade ao longo da sua vida útil, necessitam de tratamento industrial e, conseqüentemente, existe um aumento do seu custo comercial que deve ser tido em conta na decisão de utilizar este sistema de cofragem.

2.3.3.1. Ligeiras ou Desmembráveis

Os sistemas de cofragens ligeiros apresentam elementos de suporte e cofragem independentes, sendo estes desmembrados em módulos (ver Figura 15).



Figura 15 – Pannel de cofragem (Lança 2007).

Dos três sistemas presentes nas cofragens racionalizadas ou moduladas este é o mais versátil e flexível, e é perfeitamente adaptável às mais variadas formas geométricas (Lança 2007) (ver Figura 16).



Figura 16 – Cofragem racionalizada de um muro circular (Freitas 2010).

2.3.3.1.1. Sistema em Painéis para Paredes, Pilares e Vigas

Para satisfazer todas as necessidades impostas pelas diversas obras ou mesmo numa única obra, existe uma gama vasta de medidas de painéis (ver Figura 17).

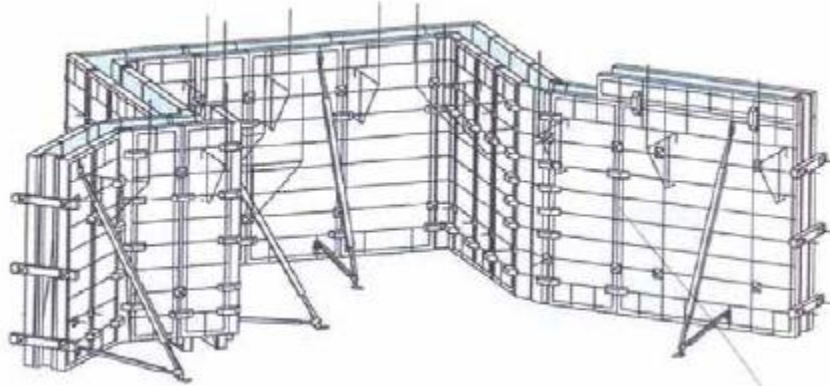


Figura 17 – Esquema de uma cofragem de uma parede (Lança 2007).

A conexão entre os painéis de parede no mesmo plano é feita com o recurso a vigas rigidificadoras (ver Figura 18). Já na construção de paredes entre painéis paralelos a ligação é feita através de ancoragens.



Figura 18 – Vigas rigidificadoras e ancoragens (Lança 2007).

A) Sistemas de cofragens para paredes disponíveis no mercado:

➤ PAINEL DE COFRAGEM MAXIMO

Este sistema de cofragem é de rápida aplicação devido à facilidade de disposição dos seus elementos, permite minimizar falhas no acabamento do betão e possibilita uma

disposição limpa das juntas e das ancoragens, sendo adequado ao trabalho de superfícies de betão à vista com uma qualidade assinalável (ver Figura 19).

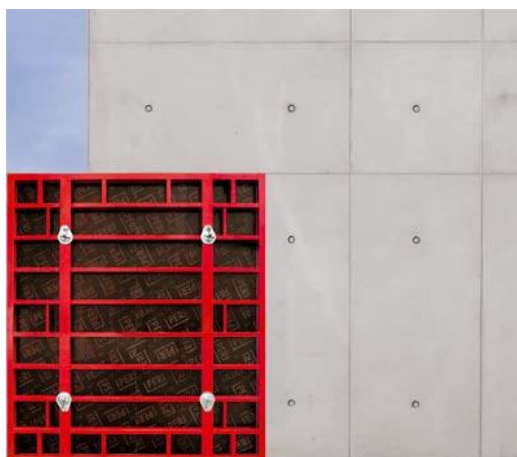


Figura 19 – Cofragem para superfície de betão à vista (PERI s.d.).

Graças a um sistema de ancoragens especialmente concebido para esse efeito, este sistema de cofragem não necessita dos convencionais espaçadores materializados com tubos de PVC e permite que o trabalho seja realizado apenas de um dos lados do elemento a executar (PERI 2002), o que possibilita uma redução no tempo de execução e nos recursos utilizados (ver Figura 20).



Figura 20 – Sistema de ancoragens (PERI s.d.).

Para garantir o aperto da junta é utilizado o ferrolho TRIO BFD (ver Figura 21), resultando também um perfeito acabamento do betão. As extensões dos painéis são realizadas utilizando o mesmo sistema de aperto (PERI s.d.). Este sistema apresenta

painéis de canto para facilitar a cofragem dessas zonas e apresenta uma ranhura no canto inferior para ajudar no seu alinhamento, como se pode ver na figura seguinte. Também os seus constantes pontos de ancoragem exigem o seu preenchimento, evitando assim erros durante a montagem.



Figura 21 – Ferrolho TRIO BFD, painel de canto e pormenor inferior (PERI 2002).

➤ Painéis de Cofragem TRIO

Este sistema de cofragem foi concebido tendo em conta os custos associados aos estaleiros e aos tempos de cofragem (PERI s.d.). Por isso, foi criado um sistema versátil que apresenta poucas peças, reduzindo assim as necessidades do estaleiro. O TRIO apresenta diversos subsistemas e pode ser utilizado quer em grandes projectos quer em pequenos projectos (ver Figura 22).



Figura 22 – Painéis TRIO (PERI s.d.).

- **TRIO**

Este é um sistema que compreende alturas entre os 2,70 e os 3,30 m e apresenta uma vasta escala de larguras conseguidas com somente seis larguras distintas de painéis (ver Figura 23) (PERI s.d.). Quando aplicados a núcleos completos, estes painéis são fácil e rapidamente descofrados e não é necessário desmontar qualquer peça para a continuidade do mesmo elemento.

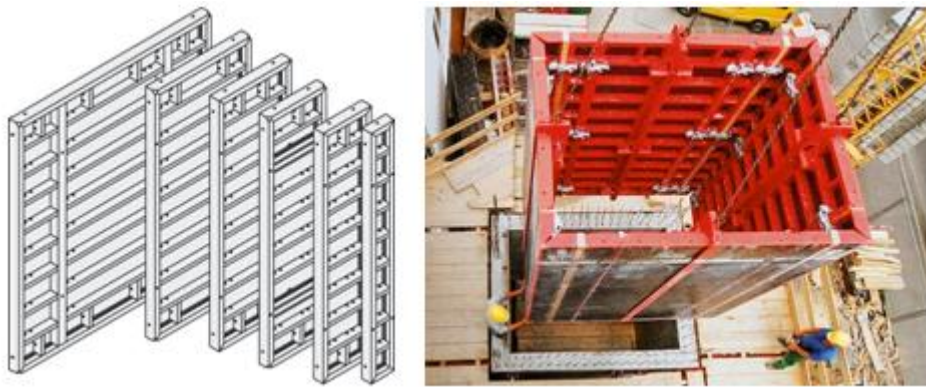


Figura 23 – Painéis disponíveis e um núcleo complexo sem ser desmontado (PERI s.d.).

O maior painel Trio, com 2,70 m por 2,40 m, apresenta algumas vantagens como a utilização mais eficiente de duas alturas e duas larguras (ver Figura 24) e apresenta um painel regular de juntas. A largura de 2,40 m é indicada pelo fabricante como ideal para o transporte. Para a união ou fecho entre os painéis é apenas utilizado um ferrolho - TRIO BFD (Figura 21) (PERI s.d.).

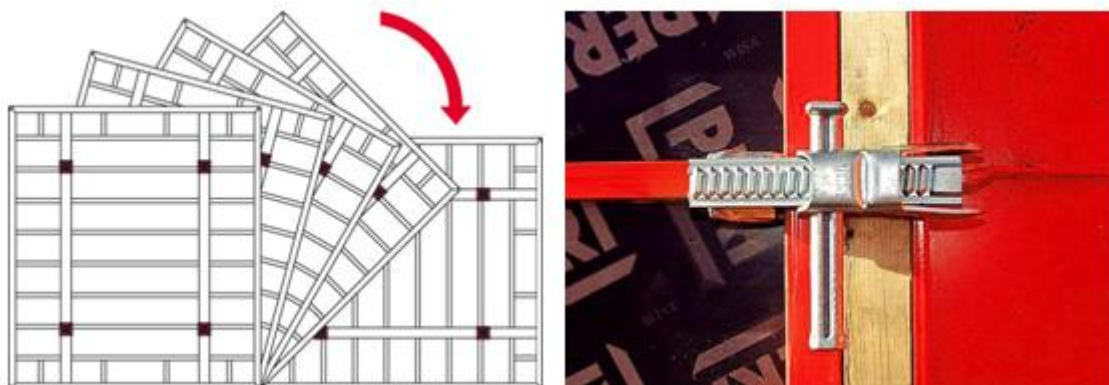


Figura 24 – Painéis com duas alturas e duas larguras e pormenor de um ferrolho TRIO BFD (PERI 2002).

Os painéis TRIO apresentam algumas soluções para aplicações particulares. Por exemplo, para formar juntas existe uma borracha na parte central que também evita o escoamento de betão e, para elevados rendimentos de betonagem, têm a capacidade de formar painéis de dimensões significativas bem seguros através do sistema de aperto referido anteriormente (ver Figura 25).



Figura 25 – Borracha para juntas e vários painéis ligados (PERI 2002).

- **TRIO-L Alumínio**

O sistema de alumínio apresenta um baixo peso dos seus componentes individuais e serve para complementar o sistema de aço, não sendo necessário usar grua durante a montagem, excepto nos painéis de maiores dimensões. A cofragem neste material contém uma camada amarela para o distinguir dos componentes de aço (ver Figura 26) sendo os acessórios comuns aos sistemas com os dois materiais.



Figura 26 – Transporte manual dos painéis de alumínio (PERI 2002).

- **TRIO 330**

É um painel de cofragem industrial e pode ser utilizado em paredes até aos 3,30 m (ver Figura 27) sem a necessidade de recorrer a extensões e com apenas duas ancoragens. A ligação é efectuada com o mesmo sistema de ferrolhos referido para o sistema anterior. É completamente compatível com o TRIO 270 e podem ser combinados (PERI 2002).



Figura 27 – Cofragem com TRIO 330 com alturas até 3,30 m (PERI 2002).

- **Estrutura TRIO**

A estrutura TRIO (ver Figura 28) é utilizada para a criação de acabamentos de superfícies de betão à vista de elevada qualidade (PERI s.d.). Depois da estrutura montada é empregue o contraplacado adequado ao acabamento superficial pretendido. É compatível com o TRIO e utiliza os mesmos acessórios. Pode, por exemplo, ser utilizada na construção de um encontro de uma ponte.



Figura 28 – Estrutura TRIO (PERI s.d.).

- **Plataforma TRIO**

De acordo com a empresa fabricante, estas plataformas oferecem condições de trabalho particularmente seguras. São montadas utilizando os elementos *standard* do sistema TRIO em conjunto com as plataformas de trabalho, escadas de acesso e corrimão (ver Figura 29) de maneira a se obterem unidades completas e passíveis de serem transportadas com recurso a grua.



Figura 29 – Plataforma TRIO com 8,10 m de altura e com três níveis de trabalho (PERI 2002).

A montagem é efectuada no solo em quatro etapas esquematizadas na Figura 30:

- Erguem-se os corrimãos;
- Desdobra-se a plataforma de betonagem;
- Montam-se os prumos;
- Fixam-se as escadas.



Figura 30 – Montagem da plataforma (PERI 2002).

➤ Cofragem DOMINO

É um sistema leve com elementos em alumínio ou em aço (ver Figura 31). Com apenas quatro larguras de painéis (0,25 m, 0,50 m, 0,75 m e 1,00 m) e com recurso a um único tipo de ligador (o ferrolho DRS, semelhante ao ferrolho BFD) possibilita a cofragem completa dos elementos (PERI 2002). Torna-se assim possível cofrar zonas com geometria complexa sem recurso a gruas. A limpeza entre utilizações é facilitada por uma camada lacada.



Figura 31 – Cofragem com ângulos oblíquos (PERI 2002).

➤ Painel de Cofragem HANDSET

É um sistema para pequenos trabalhos, apresentado como económico relativamente aos sistemas tradicionais. Existe em três formatos de altura e largura, os quais apresentam pesos reduzidos, podendo ser manuseados por um trabalhador apenas.

Os painéis HANDSET podem ser montados com painéis *standard*, com painéis em caso de relevos de altura ou largura ocorrentes na cofragem, em cantos internos e externos. Para a união destes painéis, este sistema só utiliza uma peça, o Clip HANDSET (ver Figura 32) que pode ser colocado a partir de qualquer das faces (PERI 2002).



Figura 32 – Painéis HANDSET e Clip HANDSET (PERI 2002).

➤ **RUNDFLEX Cofragem para muros/paredes circulares**

Estes sistemas são aplicados em cofragens de elementos com raios de curvatura superiores a 1 m, têm capacidade de adaptação a várias formas (ver Figura 33) e são caracterizados pela reduzida quantidade de trabalho despendida na fase de montagem.



Figura 33 – Cofragem RUNDFLEX (PERI 2002).

Os painéis podem ser continuamente ajustados ao raio e à curvatura solicitados usando uma bitola e adequando os fusos com a respectiva chave (ver Figura 34). Este ajuste é realizado através do aperto dos fusos que permitem aos painéis tomarem determinada curvatura sem serem danificados. Existem somente três larguras de painéis para todas as aplicações em cinco alturas, e todos os elementos são ligados com o ferrolho BFD (ver Figura 21).



Figura 34 – Ajuste do painel ao raio pretendido com a bitola, o fuso e a respectiva chave (PERI 2002).

➤ GRV Cofragem circular para muros/paredes

Este sistema é utilizado tanto para elementos de curvatura elevada como para elementos de curvatura reduzida (ver Figura 35) (PERI 2002). Para cofragens circulares fechadas funciona sem ancoragens, o que torna o sistema económico. Também pode ser utilizado em cofragens especiais como, por exemplo, em pilares de pontes, caso em que são adaptados a sistemas trepantes.



Figura 35 – Cofragem circular de grande raio e adaptados a plataformas trepantes (PERI 2002).

Segundo o fabricante, esta solução é rentável para qualquer formato de cofragem circular, semi-circular, em arco, entre outros. Com este sistema é possível realizar a pré-montagem completa da cofragem circular e depois aplicá-la em obra (ver Figura 36).



Figura 36 – Cofragem afunilada e pré montagem de uma cofragem com um diâmetro de 2,50 m (PERI s.d.).

➤ VARIO GT 24

Pode ser utilizado em diversos tipos de aplicações e formas. A cofragem pode atingir alturas significativas (ver Figura 37), é facilmente fixada através de treliças sem a necessidade de perfurar as vigas e permite uma montagem rápida (PERI 2002). Para a união são apenas necessárias duas peças a ligar através de porcas de orelhas. Os elementos são concebidos tendo em conta o tipo e o tamanho do contraplacado e das fixações, a largura e a altura dos elementos, a disposição vertical ou horizontal das ancoragens e a pressão exercida pelo betão fresco. Durante a betonagem, se ocorrer algum desvio, este sistema, através da sua união, permite ajustar esse desvio e alinhar os painéis de forma a corrigir essa falha.



Figura 37 – Sistema VARIO GT 24 (PERI 2002).

B) Sistemas de cofragem para pilares disponíveis no mercado:

➤ LICO - cofragem ligeira para pilares

Este é um sistema de cofragem ligeira para pilares onde as secções dos mesmos podem variar de 0,20 m x 0,20 m a 0,60 m x 0,60 m. É possível obter secções com o limite de 0,60 m x 1,30 m, resultando do acoplamento lateral de painéis, com ancoragem da zona central, como se pode ver na Figura 38.

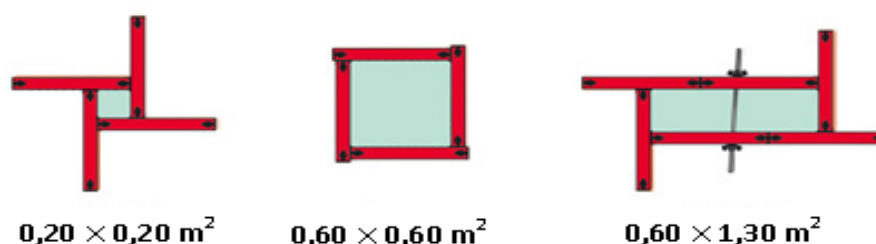


Figura 38 – Secções disponíveis (PERI s.d.).

Todos os elementos deste sistema de cofragem podem ser transportados manualmente e os elementos de ligação encontram-se solidarizados aos painéis. Neste sistema existem três alturas de painéis, 3,00 m, 1,00 m e 0,50 m, como esquematizado na Figura 39.

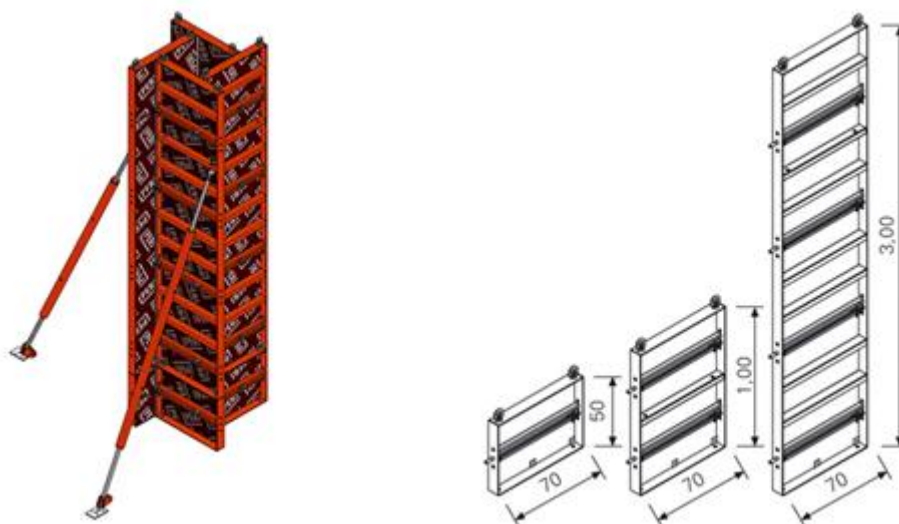


Figura 39 – Esquema de uma cofragem de um pilar e painéis disponíveis (PERI s.d.).

➤ Pilar circular metálico SRS

De acordo com o fabricante, este sistema confere ao betão um acabamento de significativa qualidade. Apresenta diâmetros compreendidos entre 0,25 m e 0,70 m e quatro alturas: 0,30 m, 1,20 m, 2,40 m e 3,00 m. É de rápida montagem, fácil de limpar porque apresenta um lacado que minimiza a aderência do betão, e pode ser-lhe acoplada uma plataforma de trabalho (ver Figura 40).

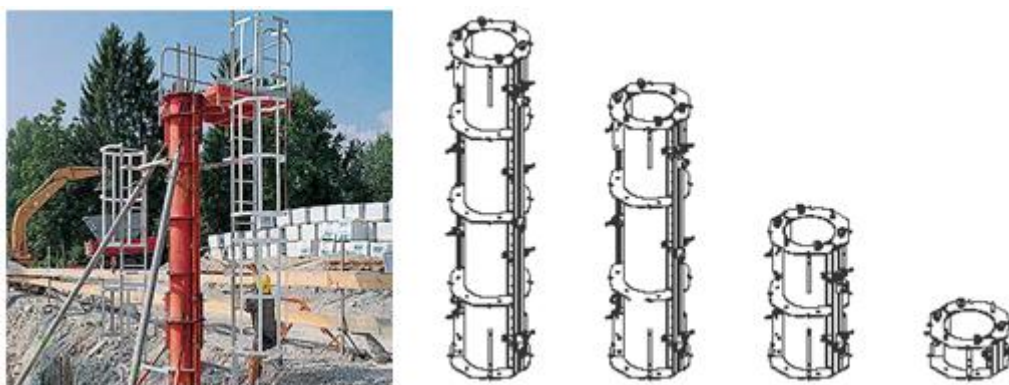


Figura 40 – Cofragem SRS com plataforma de trabalho e as quatro alturas dos elementos (PERI s.d.).

➤ Cofragem TRIO

Este sistema é utilizado em pilares com secção transversal até 0,75 m x 0,75 m, com incrementos de 0,05 m, e os elementos com 0,90 m de largura podem ser utilizados para a cofragem de paredes. O incremento de altura destes painéis é de 0,60 m. O sistema apresenta plataformas de trabalho e escada de acesso (ver Figura 41).

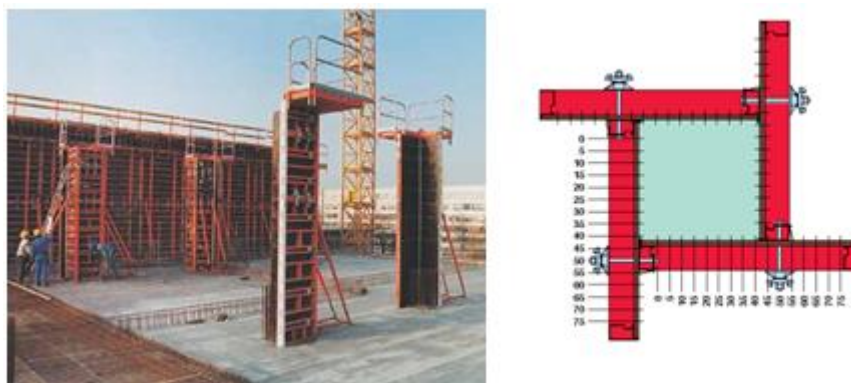


Figura 41 – Cofragem TRIO para pilares e respectivos aumentos de secção transversal (PERI 2002).

➤ **Cofragem RAPID**

Este sistema permite obter um acabamento para betão à vista. O contraplacado é preso à estrutura através de um sistema de fixação específico que permite evitar imperfeições devidas a pregos ou parafusos.

A sua secção transversal pode ser quadrada ou rectangular até a secção máxima de 0,60 m x 0,60 m sem necessidade de recorrer a ancoragens e a estrutura apresenta três alturas (0,60 m, 2,10 m e 3,00 m) com plataforma de trabalho e escadas de acesso. Pode ser montado manualmente, dado que os elementos de alumínio apresentam pesos reduzidos (ver Figura 42). Também o lacado presente facilita a limpeza, e a sua construção fechada e robusta permite resistir ao manuseamento das peças.



Figura 42 – Cofragem RAPID, montagem manual e pormenor de colunas com variação da secção (PERI 2002).

C) Sistemas de cofragens para vigas disponíveis no mercado:

Para a cofragem de vigas podem-se utilizar os sistemas aplicados em paredes, seleccionando a posição adequada dos painéis de forma a respeitar a definição geométrica da respectiva viga.

➤ **Cofragem UZ**

De acordo com a informação técnica disponibilizada pelo fabricante, este sistema de cofragem pode ser utilizado em elementos contínuos, mesmo em vigas de alturas elevadas. Permite cofrar vigas com 0,80 m de altura sem recurso a ancoragens.

O sistema é simplificado no que concerne ao planeamento e ao material, pois apenas necessita de dois componentes: a consola para vigas 40 e a calha perfurada UZ (ver Figura 43). Como a ligação com a calha perfurada é rígida esta permite aberturas maiores.

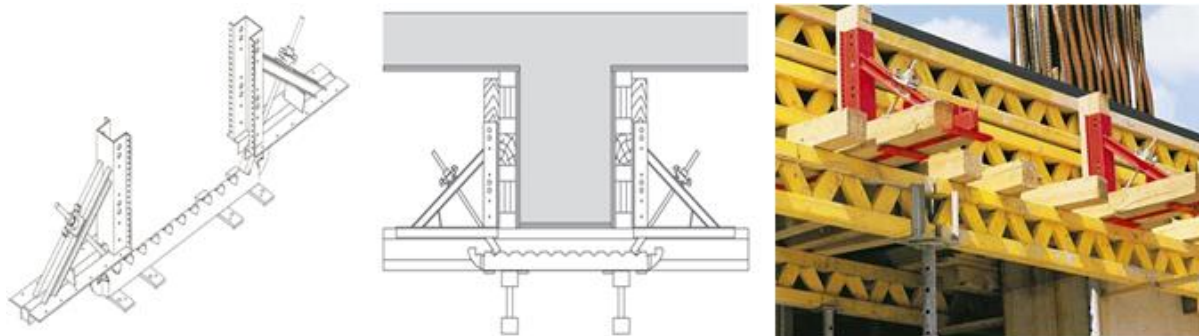


Figura 43 – Consola para Viga UZ 40 e Calha Perfurada, sistema sem ancoragens e ligação rígida (PERI 2002).

➤ Ângulo de cofragem AW

É utilizado em vigas leves com alturas até os 0,60 m. Também as lajes com alturas até os 0,40 m podem ser cofradas com os ângulos AW sem recorrer a ancoragens.

Para fixar o ângulo, até alturas de viga de 0,50 m basta recorrer a pregos utilizando os orifícios presentes no ângulo, e recorrer a grampos para alturas superiores, fixando-o ao contraplacado ou a vigas de madeira quer horizontalmente quer verticalmente, como apresentado na Figura 44. Os ângulos também podem ser fixados na extremidade de curvas ou na interligação de vigas.



Figura 44 – Ângulo AW fixado com pregos numa laje, numa viga e fixado com grampo (PERI 2002).

2.3.3.1.2. Sistema em Painéis para Lajes

Os sistemas racionalizados para a execução de lajes decompõem-se nos seguintes elementos, como explicado esquematicamente na Figura 45 (Dias, Gomes e Peneda 2004) :

- Prumos ou cimbrês para pés-direitos elevados;
- Longarinas ou vigas principais;
- Carlingas ou vigas secundárias;
- Painéis de cofragem.

Estes sistemas revelam-se economicamente vantajosos, sobretudo na realização de lajes fungiformes maciças ou aligeiradas, devido à sua rapidez e facilidade de montagem.

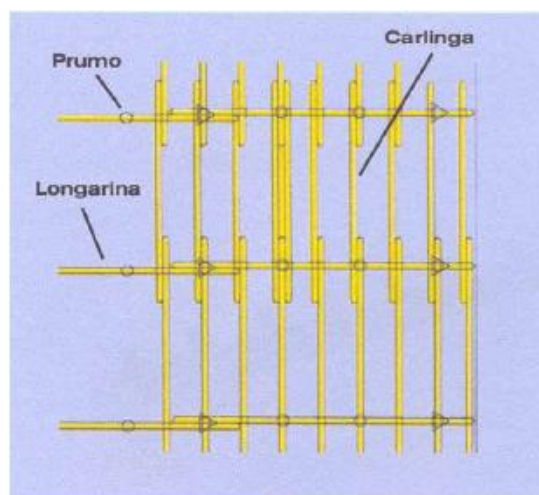


Figura 45 – Elementos de uma cofragem racionalizada para lajes (Lança 2007).

Sistemas de cofragens para lajes disponíveis no mercado:

➤ SKYDECK

É um sistema de cofragem modular para lajes com espessuras até os 0,95 m. Dependendo da espessura da laje e da consistência do betão utilizado, através do sistema de *cabeçal de caída* do SKYDECK pode ser possível descofrar a laje após um

dia da sua betonagem. O sistema de *cabeçal de caída*, esquematizado na Figura 46, é facilmente libertado com a ajuda de um martelo, fazendo a cofragem baixar cerca de 0,06 m o que é suficiente para a remoção dos painéis e transporte para um novo ciclo de betonagem.

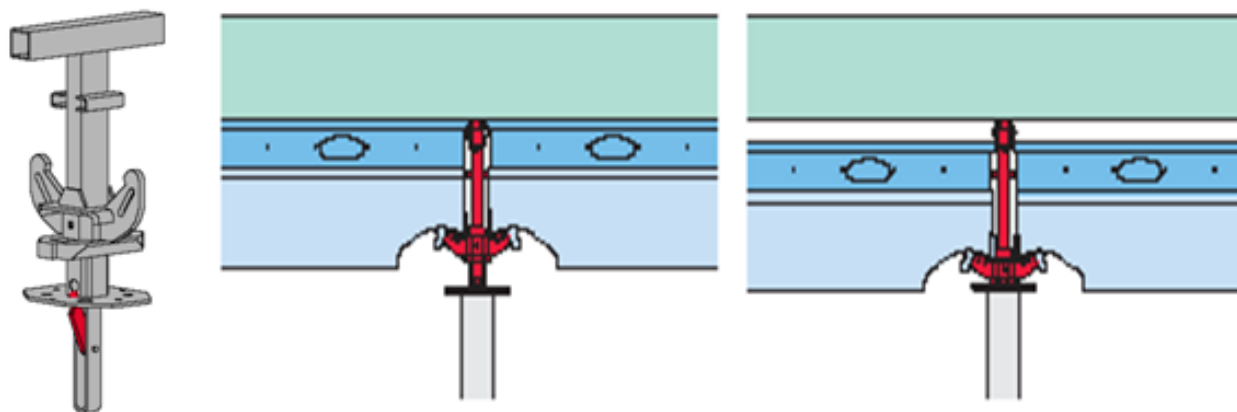


Figura 46 – Cabeçal de caída SKYDECK, posição de cofragem e posição de descofragem (PERI s.d.).

O seu transporte também é facilitado porque a robustez da viga principal deste sistema permite reduzir o número de prumos (para espessuras de 0,40 m, é necessário um prumo por cada 3,65 m² de laje).

Os painéis e as vigas principais apresentam cantos de escoamento e os cantos de painéis são desbastados para evitar que o betão penetre e dificulte a sua limpeza. Os elementos utilizados neste sistema são de alumínio e não ultrapassam os 15 Kg, (ver Figura 47).

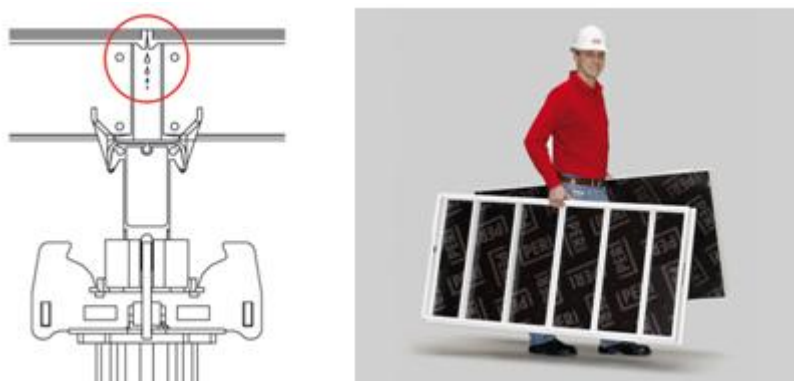


Figura 47 – Cantos desbastados e leveza dos componentes (PERI 2002).

A cofragem com este sistema é rápida e, de acordo com o fabricante, oferece um elevado nível de segurança numa montagem sistemática de bordos de lajes. É uma cofragem que consegue vencer consolas até 1,30 m, (ver Figura 48), e em obra conseguem-se obter grandes espaços para manuseamento de material por não ser necessário recorrer a muitos prumos.



Figura 48 – Cofragem com poucos prumos e capacidade de vencer consolas até 1,30 m (PERI 2002).

➤ GRIDFLEX

É um sistema de cofragem modular com grelha de vigas acessíveis. Os seus componentes são de alumínio e bastante leves, o que permite reduzir significativamente os tempos de cofragem. O sistema telescópico assegura uma flexibilidade máxima e permite o acesso em segurança, através do seu sistema de painel em grelha, para a colocação do contraplacado, como se pode ver na Figura 49.

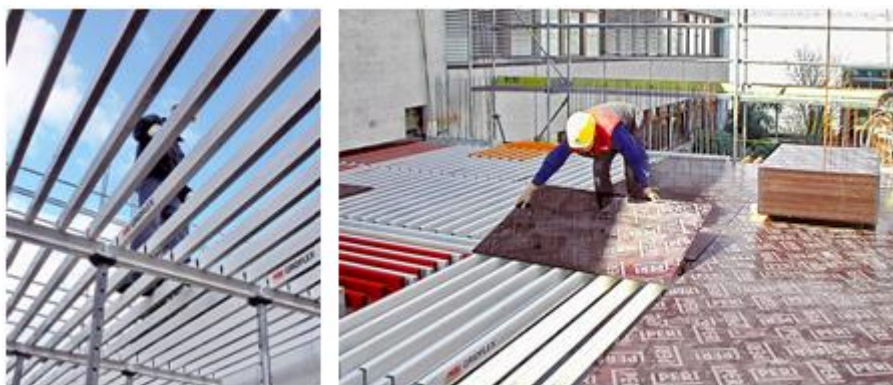


Figura 49 – Acesso com segurança para a colocação do contraplacado (PERI s.d.).

O sistema apresenta apenas três principais componentes: as vigas de suporte o contraplacado e os prumos (ver Figura 50). Pode ser utilizado em edifícios de qualquer geometria através do ajuste telescópico que permite adaptar as dimensões dos elementos transversais e longitudinais.

Dada a leveza e simplicidade deste sistema de cofragem, os elementos podem ser sistematicamente preparados no nível inferior e levantados até ao nível a cofrar.



Figura 50 – Montagem de uma cofragem (PERI s.d.).

➤ BEAMDECK

É uma cofragem de vigas de alumínio, o que faz com que as suas peças sejam leves, e também apresenta o cabeçal de caída para uma rápida descofragem. O sistema é composto por três componentes, o cabeçal de caída BD, a viga principal BD e a travessa BD, permitindo o fácil manuseamento dos elementos e, conseqüentemente, uma rápida preparação da cofragem (ver Figura 51).



Figura 51 – Cofragem BEAMDECK e a montagem dos seus componentes (PERI s.d.).

O sistema necessita apenas de 1 prumo por cada 5 m² de laje e pode ser utilizado em situações em que se pretenda um acabamento de betão à vista. A direcção da viga principal pode ser alterada uma vez que esta pode ser fixada quer ao cabeçal de caída quer a outras vigas principais, o que também permite o ajuste contínuo quer em comprimento quer em largura (ver Figura 52).



Figura 52 – Encaixe da viga principal no cabeçal de caída, ajuste em comprimento e pormenor de uma viga para cofragem inclinada (PERI s.d.).

➤ MULTIFLEX

Este sistema permite realizar cofragem de lajes com vigas. Pode ser utilizado para um significativo intervalo de espessuras de laje, qualquer pano e qualquer altura.



Figura 53 – Sistema MULTIFLEX (PERI s.d.).

Com a utilização da viga treliçada GT 24 (ver Figura 54) é possível vencer grandes vãos nas vigas principais, nas vigas secundárias ou nos escoramentos. Estas vigas permitem reduzir o número de peças a montar e a desmontar, como também transferir grandes cargas para os prumos. Este sistema pode ser adaptado a superfícies irregulares através da função telescópica das vigas que permite reduzir a quantidade de fechos e ajustes.



Figura 54 – Viga treliçada GT 24, cofragem com grandes vãos e cofragem circular com 11,60 m de diâmetro (PERI 2002).

➤ Sistema Cofiber

Este sistema de cofragem é utilizado em diversos tipos de lajes, acabando o seu todo por formar um conjunto estrutural sólido e resistente.

De acordo com o fabricante, este sistema permite uma montagem simples - logo económica, não existem desperdícios em madeira e os elementos podem ser reutilizados (Metal Ibérica, S.A. 2011). Os mesmos elementos podem também ser utilizados em vigas e adaptam-se a qualquer tipo de prumo metálico telescópico.



Figura 55 – Sistema Cofiber numa laje maciça (Metal Ibérica, S.A. 2011).

O sistema Cofiber (ver Figura 55) pode ser aplicado utilizando sempre os mesmos elementos, exceção feita à construção de lajes fungiformes de cocos, onde, de acordo com informação disponibilizada pelo fabricante, recorre-se a apenas dois elementos complementares: as régua recuperáveis e as régua de escoramento. A mesma fonte afirma que a segurança é mantida através de um jogo de cavilhas, o que permite a utilização de cocos (ver Figura 56) com qualquer dimensão.



Figura 56 – Sistema Cofiber para cofragem de uma laje fungiforme de cocos (Metal Ibérica, S.A. 2011).

2.3.3.1.3. Sistema em Painéis para Fundações

Estes sistemas são semelhantes aos empregados em paredes e pilares, sendo ligados por si só (Dias, Gomes e Peneda 2004).

O sistema DOMINO para paredes, apresentado nos sistemas de painéis para paredes, também pode ser utilizado em fundações, quer sejam isoladas quer sejam corridas, sendo facilmente montado.

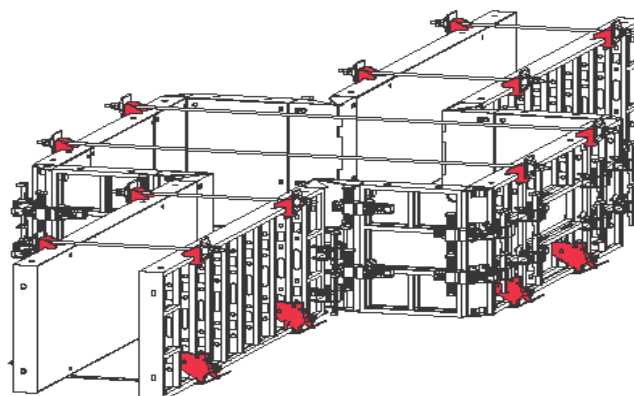


Figura 57 – Cofragem DOMINO para fundações (PERI 2002).

2.3.3.2. Semi-Desmembráveis

As cofragens semi-desmembráveis apresentam sistemas em que os seus componentes de suporte se confundem com os painéis de cofragem, sendo os próprios painéis os elementos de suporte e sendo necessárias algumas escoras em função da altura da betonagem em questão (Lança 2007). Estes sistemas incluem os sistemas mesa e parede, de pilares e de vigas.

2.3.3.2.1. Mesas de Cofragem

As mesas de cofragem são constituídas por uma superfície horizontal de cofragem ligada a outra vertical. Depois de realizar a betonagem da laje, no acto da descofragem da mesa esta tem de sair pela fachada do edifício, logo, todas as estruturas que não permitem betonar a laje sem as fachadas construídas não podem utilizar mesas de cofragem.

Sistemas de mesas de cofragem disponíveis no mercado:

➤ Mesas Modulares

Estas mesas estão completamente pré-montadas, incluindo a protecção anti-quedas nas consolas de extremidades, e prontas a utilizar (ver Figura 58). São apresentadas como um opção a considerar do ponto de vista económico e existem quatro medidas *standard* que permitem o ajuste adequado ao edifício (PERI s.d.):

- Mesa Modular VT 200/215 x 400;
- Mesa Modular VT 250/265 x 400;
- Mesa Modular VT 200/215 x 500;
- Mesa Modular VT 250/265 x 500.



Figura 58 – Mesa modular pré-montada com protecção anti-quedas (PERI s.d.).

Os prumos das mesas modulares podem ser dobrados nas duas direcções, o que permite realizar trabalhos quando existam vigas invertidas. Estas mesas são extremamente compactas, o que facilita o seu transporte e armazenamento em obra sem ocupar demasiado espaço (ver Figura 59). As mesas de 5 m já têm o cabeçal basculante, permitindo que estas sejam utilizadas como mesas de extremidade e as ancoragens são colocadas na parte inferior do cabeçal basculante.

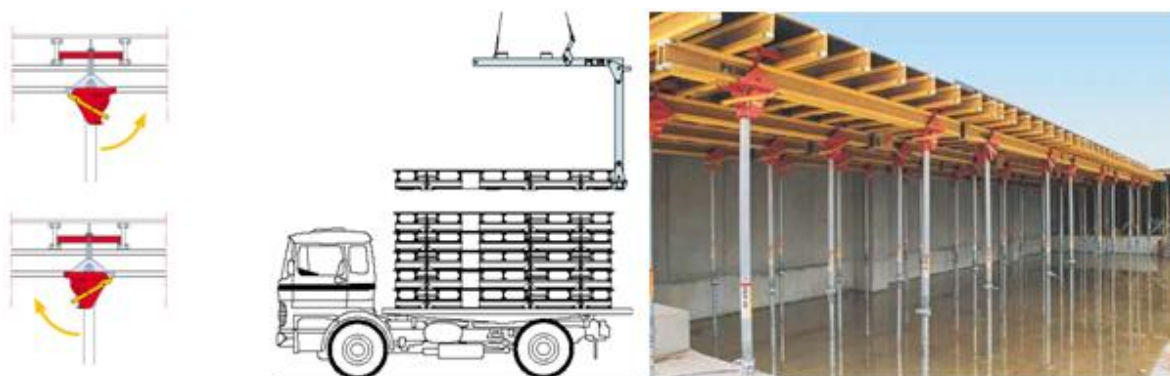


Figura 59 – Cabeçal basculante nas duas direcções, transporte das mesas e cofragem com mesas (PERI s.d.).

➤ Mesas de Losas UNIPORTAL

São utilizadas em projectos que requerem um grande número de utilizações, apresentam grandes dimensões e são transportadas com apenas um movimento de grua, (ver Figura 60). São criadas com o objectivo de serem aplicadas numa construção específica, sendo adaptadas de acordo com as especificidades dessa obra.



Figura 60 – Mesa UNIPORTAL a ser transporta por grua e cofragem com a mesma (PERI s.d.).

Este sistema consegue corresponder a várias geometrias de edifícios através de uma mesa de formato trapezoidal (ver Figura 61), sendo que as áreas a betonar sejam mínimas de maneira a que o ajuste à estrutura seja bem conseguido.

As mesas apresentam um elevado nível de estabilidade porque são compostas por duas vigas em cada eixo com um espaçamento de 0,50 m. Os prumos são dobrados numa direcção e permitem a fácil colocação de guarda-corpos.

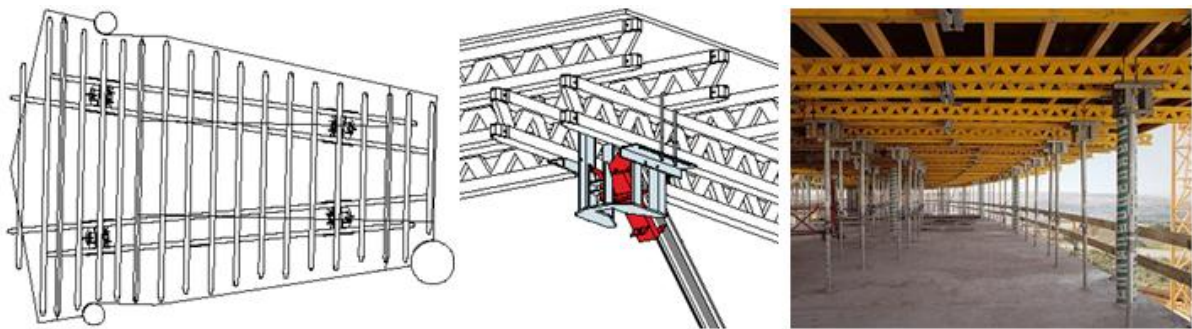


Figura 61 – Forma trapezoidal, cabeçal que dobra numa direcção e grandes espaços entre vigas (PERI s.d.).

➤ SKYTABLE

Esta mesa permite um transporte rápido e seguro, e pode ser utilizada em toda a largura de um edifício. Com apenas duas vigas treliçadas, pode atingir dimensões até 24,4 m x 6,10 m. Para a retirada da mesa do edifício basta um único movimento de grua (ver Figura 62), e o trabalho é realizado na extremidade da laje, deixando de ser necessária a presença dos trabalhadores junto da mesa.



Figura 62 – Mesas de grandes dimensões retiradas com um movimento de grua (PERI s.d.).

As vigas treliçadas são montadas de forma rápida e eficaz com a utilização do pino simples e do contrapino. O abaixamento da mesa é fácil e rápido, a partir de um sistema montado em cada prumo, bastando manejar uma alavanca para libertar a mesa e baixá-la cerca de 0,02 m (ver Figura 63).

Este sistema pode ser utilizado em edifícios com elevados ou com reduzidos pés-direitos.

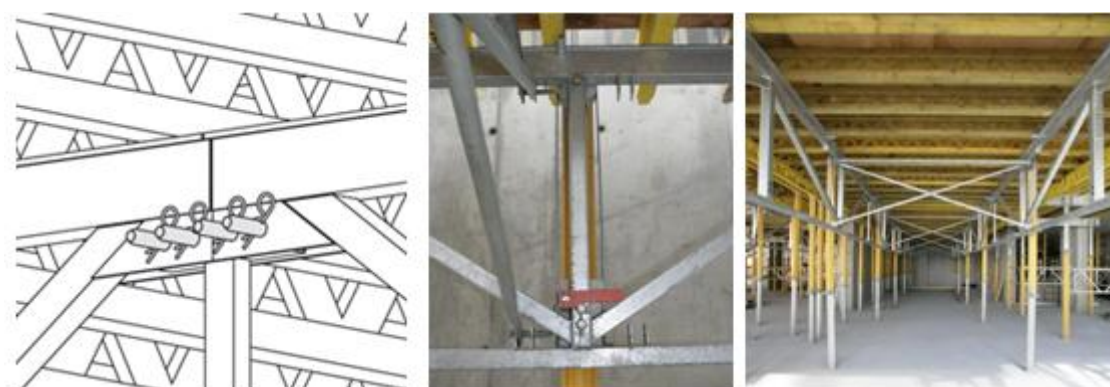


Figura 63 – Ligação das vigas treliçadas com o pino simples e o contrapino, alavanca para o abaixamento da mesa e cofragem com altura de piso mais elevada (PERI s.d.).

➤ **Acessórios para cofragem de lajes com mesas**

Referem-se agora os acessórios utilizados em paralelo com os sistemas de cofragens referidos anteriormente.

- **Ascensor para mesas PTL 1250**

É apresentado pelo fabricante como um ascensor fácil e rápido de utilizar, e que permite o transporte de mesas de lajes em espaços reduzidos (PERI s.d.).



Figura 64 – Ascensor para mesas PTL 1250 (PERI s.d.).

Manuseada por um único operário, que com recurso à unidade de elevação hidráulica efectua a elevação e descida das mesas.



Figura 65 – Mesa a ser descida/descofrada da laje (PERI s.d.).



Figura 66 – Mesa a ser transportada (PERI s.d.).

- **Carro de transporte e descofragem para mesas de 2 t**

Este equipamento (ver Figura 67) permite transportar horizontalmente as mesas de lajes. Dada a sua estrutura regulável (ver Figura 68) permite passar por zonas menos amplas.



Figura 67 – Carro de transporte e descofragem para mesas de 2 t (PERI s.d.).

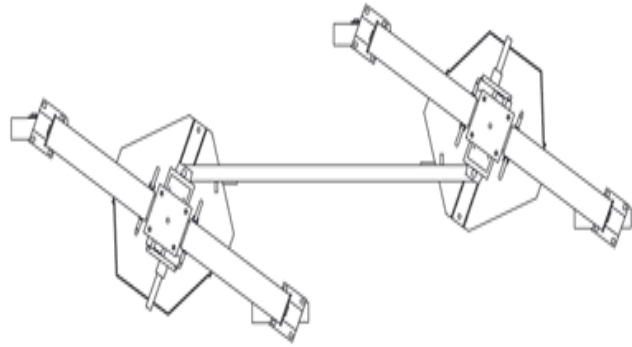


Figura 68 – Estrutura do carro de transporte regulável (PERI s.d.).

O funcionamento deste equipamento é relativamente simples. Com a sua utilização, as mesas podem ser descofradas e descidas através de dois guinchos. O carro tem uma largura de 0,90 m, o que possibilita a sua passagem através de aberturas de portas (PERI s.d.).

O carro, através de unidades de extensão, pode atingir uma altura máxima de 4,80 m (ver Figura 69). Os módulos das mesas podem ser transportados para a extremidade da laje e daí para o nível seguinte do edifício.



Figura 69 – Carro de transporte e descofragem estendido (PERI s.d.).



Figura 70 – Transporte de uma mesa para a extremidade da laje (PERI s.d.).

- **Grua de 1 t/5 m e 1,75 t/8 m**

Esta grua foi concebida para o transporte de mesas de lajes. A grua de transporte encontra-se sempre ligada à grua da obra numa posição horizontal (ver Figura 72) quer seja para transportar uma mesa de laje ou não, garantindo então que as mesas são transportadas no edifício sem qualquer risco e que os camiões são descarregados em segurança.

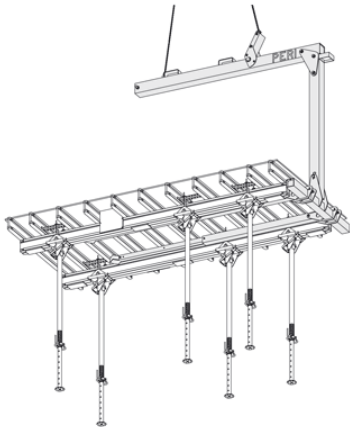


Figura 71 – Esquema de uma grua a transportar uma unidade completa (PERI s.d.).



Figura 72 – Suporte da grua mantido em posição quase horizontal (PERI s.d.).

O funcionamento destas gruas é facilitado por estas ficarem imediatamente operacionais devido à linga integrada. A grua pode ser rapidamente regulada, em comprimento e largura, de maneira a adaptar-se a cada mesa de laje. Para o transporte vertical das mesas, a grua não necessita das plataformas de transporte vulgares, e em conjunto com a cabeça articulada oferece um nível de segurança adequado. A grua fica apurmada no ponto de equilíbrio da mesa, sendo assim esta rapidamente transportada em módulo completo, de piso para piso (ver Figura 74).

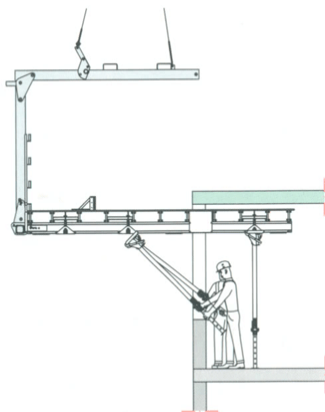


Figura 73 – Esquema do transporte vertical de uma mesa de laje (PERI s.d.).



Figura 74 – Mesa a ser transportada para o piso seguinte (PERI s.d.).

- **Carro de descofragem ASW 465**

Com este carro de descofragem (ver Figura 75) é possível montar níveis até aos 4,65 m, com incrementos de 0,30 m, sendo, segundo o fabricante, seguro trabalhar em alturas até aos 6,65 m (PERI s.d.).

O carro possui escadas de acesso integradas e a trepagem é realizada pela parte interior. O nível necessário é atingido por uma plataforma de acesso com portões que trancam automaticamente através de escoras que estão espaçadas de 0,30 m.

O carro de descofragem pode ser movido como elemento individual através de grua, uma vez que os seus componentes individuais se encontram rigidamente interligados. Todas as peças individuais são entregues numa única palete (ver Figura 76) o que permite uma distribuição eficiente das peças na obra, mesmo em diferentes níveis de construções.



Figura 75 – Carro de descofragem ASW 465 (PERI s.d.).

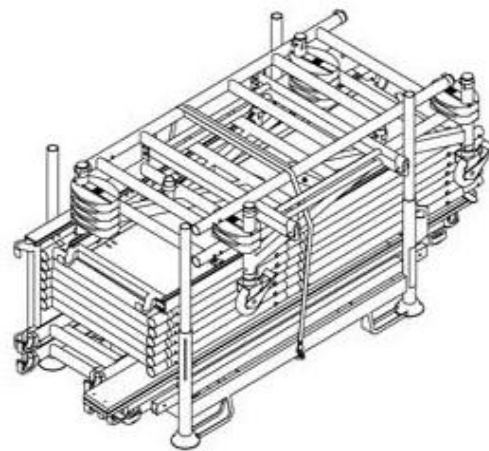


Figura 76 – Entrega compacta com apenas uma palete (PERI s.d.).

2.3.3.2.2. Painéis para Paredes

Os painéis utilizados em paredes são formados por um conjunto monolítico constituído pela superfície de cofragem vertical, pelos elementos de suporte e pela plataforma de trabalho. As suas dimensões geralmente variam de médias a elevadas e

são painéis normalmente metálicos, características estas que permitem reduzir o número de juntas (Lança 2007).

Sistemas de cofragens para paredes disponíveis no mercado:

➤ TRIO Housing

Os elementos que compõem este sistema já vêm equipados com as plataformas de trabalhos e com os prumos (ver Figura 77). Para a sua concepção não são necessárias ancoragens nem nos cantos interiores nem nos cantos exteriores e todas as ancoragens são colocadas apenas a partir de um dos lados.

Todas as acções são realizadas a partir do solo, o que possibilita um menor consumo de mão-de-obra e de tempo de cofragem. Este sistema traz integrada a engrenagem de elevação da grua, as ligações dos prumos e a plataforma de betonagem rebatível. A plataforma tem uma espessura de 0,80 m com um sistema traseiro de corrimão articulado e escada de acesso.

Nas construções residenciais, com a aplicação do sistema TRIO Housing 270, é apenas necessária uma ancoragem para alturas até os 3,30 m. Para construções industriais, com a aplicação TRIO Housing 360, são apenas necessárias duas ancoragens para betonagens até os 4,20 m.



Figura 77 – Painel com escada, prumos e plataforma de betonagem (PERI 2002).

2.3.3.2.3. Painéis para Pilares

Constituídos por um sistema único incluindo painel, prumos, plataforma de trabalho, escada de acesso e guarda-corpos.

Sistemas de cofragens para pilares disponíveis no mercado:

➤ Cofragem VARIO GT 24

Este sistema permite cofrar um significativo intervalo de alturas e a secção transversal pode ser quadrada ou rectangular até 0,80 m x 1,20 m. Com apenas duas ancoragens por posição de longarina, ou viga principal, é possível garantir a segurança transversal da cofragem. Para permitir segurança de trabalho a qualquer altura, este sistema apresenta uma plataforma de trabalho com escadas de acesso (ver Figura 78).



Figura 78 – Cofragem VARIO GT 24 com plataforma de trabalho com escadas de acesso (PERI 2002).

➤ Cofragem QUATTRO

Este sistema pode ser transportado todo de uma só vez como sendo uma unidade completa (ver Figura 79). As secções transversais variam de 0,20 x 0,20 m² a 0,60 x 0,60 m², sendo aumentadas em incrementos de 0,05 m, em secções quadradas ou

rectangulares. Os quatro elementos existentes com alturas de 3,50 m, 2,75 m, 1,25 m e 0,90 m permitem ajustes ideais com extensões em incrementos de 0,25 m.



Figura 79 – Cofragem QUATTRO, transporte por grua e variação da sua secção transversal (PERI 2002).

Na cofragem ou descofragem, o sistema não apresenta peças soltas o que permite que os elementos sejam facilmente abertos ou fechados. A cofragem e descofragem podem ser realizadas sem recorrer à grua, através de rodízios de transporte (ver Figura 80) o que facilita transporte das peças em obra. O sistema também apresenta escada de acesso incorporada e plataforma de trabalho que está sempre fixa à cofragem, mesmo quando a mesma é movimentada quer por rodízios quer por auxílio de grua para outra betonagem.



Figura 80 – Inclusão do rodízio, descofragem manual e plataforma de trabalho com escada de acesso (PERI 2002).

2.3.3.2.4. Sistema de Painéis para Vigas

Estes sistemas são montados e adaptados conforme as dimensões das respectivas vigas a betonar.

Sistemas de cofragens para vigas disponíveis no mercado:

➤ Longarina para vigas UZR

A longarina para vigas UZR, esquematizada na Figura 81, é utilizada para grandes vãos entre vigas, e possibilitam a betonagem das lajes e das vigas em simultâneo. As dimensões máximas de vigas são 0,60 m e 0,90 m de largura e altura, respectivamente.



Figura 81 – Esquema de cofragem com a longarina UZR e cofragem contínua (PERI s.d.).

2.3.3.3. Cofragens Recuperáveis Pesadas ou Monolíticas

As cofragens pesadas ou monolíticas são sistemas em que os seus elementos de suporte e os painéis de cofragem nunca se separam (Lança 2007), quer na montagem quer na desmontagem. Estas cofragens incorporam o sistema túnel.

2.3.3.3.1. Sistema Túnel

A cofragem túnel, apresentada na Figura 82, também é conhecida como cofragem apartamento. É feita de um sistema de cofragem de aço que permite que as paredes e lajes sejam construídas monoliticamente no mesmo dia e alcançam um ciclo de construção de um dia. Foi desenvolvido para uma construção rápida (ver Figura 83) de diversos tamanhos para projectos de habitação, blocos de apartamentos e hotéis (Bennett 2002).

Para este sistema ser utilizado e funcionar de forma eficiente, as suas dimensões não podem ultrapassar os 7,5 m de comprimento e os 3,5 m de altura. Este sistema apresenta uma taxa de produção de cerca de dois apartamentos por dia, equivalendo a 450 m² de parede e laje (Bennett 2002), e para a sua montagem necessita de uma equipa que varia entre sete a nove operários que fazem a montagem dos moldes, a colocação da armadura e à noite é realizada a betonagem. Durante a noite a resistência do betão é assegurada por aquecimento do ar no interior do túnel e na manhã seguinte a laje é apoiada por cimbres ao remover uma secção de meio túnel de cofragem.

“Este sistema proporciona um alto padrão de acabamento superficial e verticalidade, eliminando a necessidade de revestimento.” (Bennett 2002)

Este sistema oferece uma economia significativa quer no que concerne ao tempo quer ao custo, mas como o equipamento do sistema túnel não é barato, requer no mínimo uma reutilização de quarenta a cinquenta vezes para justificar a sua aquisição/utilização (Bennett 2002). Um exemplo apresentado, refere-se à construção de um hotel com noventa e seis quartos em Luton, Inglaterra, que à partida apresentava uma duração de construção de cerca de doze semanas e com a utilização do sistema túnel o tempo de construção foi reduzido para apenas cinco semanas.

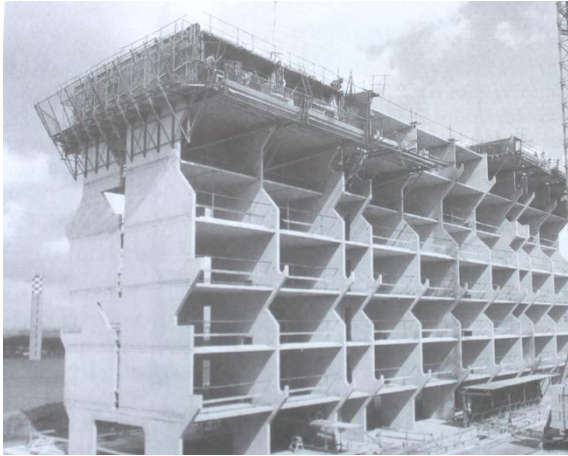


Figura 82 – Sistema túnel (Bennett 2002).

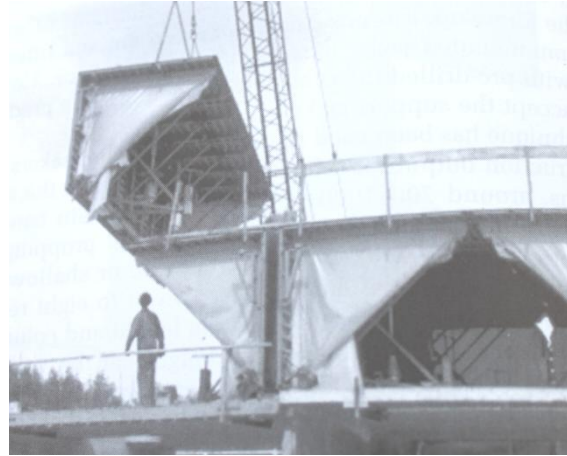


Figura 83 – Montagem do sistema túnel (Bennett 2002).

Sistemas de cofragem para fachadas disponíveis no mercado:

➤ Cofragem para fachadas FTF

Este sistema é utilizado na construção de fachadas de edifícios com elementos pré-fabricados e apresenta uma elevada capacidade de carga. A estrutura do sistema é estabelecida por duas consolas com reforços laterais e cofragem para vigas, se necessário, com andaime de trabalho. São poucos os elementos que complementam este sistema, o que facilita a realização de ajustes simples para edifícios com geometrias especiais. É um sistema seguro, visto apresentar plataforma de trabalho e guarda-corpos, e permite a utilização de unidades pré-fabricadas *standard* (ver Figura 84) sem a necessidade de dispor de muito tempo para tal.



Figura 84 – Colocação de unidade pré-fabricada e cofragem da fachada (PERI s.d.).

2.3.4. Cofragens Recuperáveis Especiais

Nos últimos anos presenciou-se uma evolução no dimensionamento das estruturas, nas tecnologias de construção e nos métodos de monitorização, de simulação e de planeamento disponíveis para cada fase da laboração da construção, permitindo o crescimento acentuado dos edifícios em altura, com economia e com prazos de construção cada vez menores. O sistema de cofragem especial é específico para determinadas estruturas não convencionais (Lopes 2000).

A economia da construção começa logo na fase de desenvolvimento do projecto e não apenas na obra, pois é naquela fase que são tomadas decisões que limitam ou definem as tecnologias de construção a utilizar para obter os rendimentos desejados, sendo que a cofragem é responsável por um peso muito importante no custo e no prazo de execução das estruturas.

A solução encontrada para a cofragem de grandes núcleos em altura foi a de criar sistemas capazes de simplificar e acelerar o processo: sistemas trepantes, sistemas auto-trepantes e sistemas deslizantes. Estes sistemas requerem um elevado investimento inicial para a sua aquisição. Contudo, estes também podem ser alugados, o que evita o elevado investimento inicial.

2.3.4.1. Sistemas Trepantes

Os sistemas de cofragem trepantes permitem que, após a betonagem e depois de um período mínimo de cura do betão, possam ser retirados e elevados para a posição seguinte mediante o recurso a uma grua.

Os painéis de cofragem estão ligados entre si formando uma unidade completa, o que permite que seja movido por grua todo de uma vez.

Sistemas trepantes disponíveis no mercado:

➤ Sistema de Plataforma FB 180

O sistema de plataforma FB 180, apresentado na Figura 85, apresenta inúmeras possibilidades de utilização na construção em betão. Estas plataformas podem ser montadas em edifícios com formas geometricamente rigorosas e apresentam soluções para os cantos interiores e exteriores. Os componentes de fixação relativos à dobragem são todos integrados, (ver Figura 86), o que apresenta a vantagem de não se perderem, e os restantes acessórios são simplesmente pendurados ou inseridos.

A plataforma pode ser utilizada com cofragens até 4,50 m de altura, dependendo dessa altura máxima da força do vento. Se a plataforma dobrável for utilizada como andaime de cofragem, as elevadas cargas de vento e operações de trabalho são transferidas de forma eficiente para o interior do edifício.



Figura 85 – Sistema de plataforma FB 180 (PERI s.d.).



Figura 86 – Elementos de ligação inseridos (PERI s.d.).

O sistema é constituído por, (ver Figura 87)
(PERI s.d.):

- Plataforma dobrável FB 180-3/300;
- Plataforma intermédia FBZ 240;
- *Bracket* dobrável FB 180-3;
- Plataforma dobrável para esquinas FEB 180-3/300.

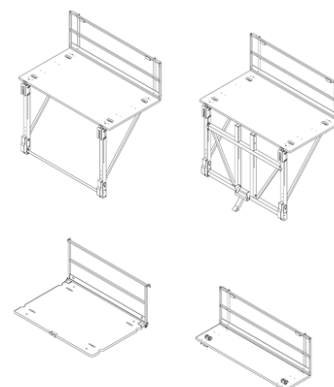


Figura 87 – Constituição do sistema FB 180 (PERI s.d.).

A palavra *Bracket* refere-se a um elemento de suporte ou elemento de apoio e é utilizada para referir, por exemplo, o elemento da Figura 88.

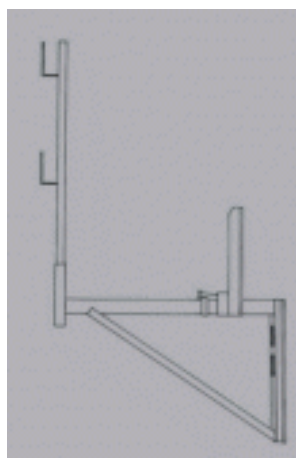


Figura 88 – Bracket (PERI s.d.).

A plataforma dobrável FB 180-3/300, plataforma principal, é constituída por *Brackets* dobráveis FB 180-3 e escoras de montagem fácil, e um guarda-corpos dobrável, apresentando um faseamento multi-nível em concordância com as normas de construção.

Esta plataforma pode ser utilizada quer do lado direito quer do lado esquerdo, apresenta um espaçamento uniforme e elevado entre elementos de suporte um reduzido número de componentes e acessórios, o que permite reduzir os custos de mão-de-obra e materiais. Permite trabalhar em segurança devido ao seu andaime universal de trabalho e também a plataforma dobrável é facilmente transformada em andaime de protecção para extremidades de telhados com uma barreira de segurança de 2,00 m de altura composta por tubos e redes (ver Figura 89).



Figura 89 – Plataforma utilizada como andaime universal de trabalho e com protecção para extremidades de telhados com barreira de segurança de 2,00 m de altura (PERI s.d.).

Os guarda-corpos da plataforma principal possuem orifícios para pregos que permitem a montagem fácil dos painéis nas áreas a betonar, bastando desdobrá-los e fixá-los. O acoplador universal da *Bracket* assegura a montagem fácil dos postes das extremidades ou dos elementos de ligação dos estabilizadores (ver Figura 90).



Figura 90 – Montagem dos guarda-corpos e colocação dos postes de extremidade (PERI s.d.).

A ligação da plataforma intermédia FBZ 240 (ver Figura 91) com uma única *Bracket* dobrável FB 180-3 produz a plataforma de extremidade, utilizada para andaimes de cantos interiores, que é ajustável para áreas com apoio de um lado e podem ser empurradas ao ritmo pretendido para as plataformas seguintes.

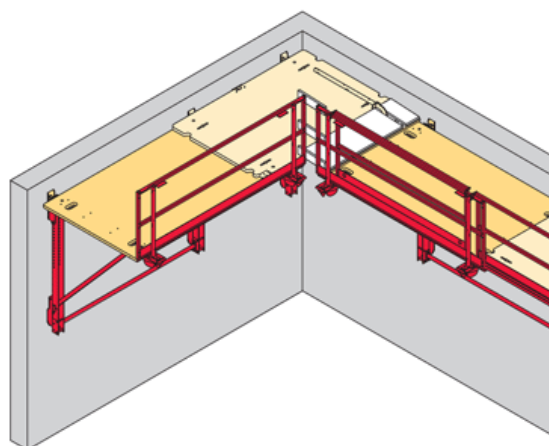


Figura 91 – Plataforma intermédia FBZ 240 em andaime interior (PERI s.d.).

Dependendo do tipo de trabalho e carga solicitada, as ancoragens da plataforma são feitas de duas maneiras:

- Com cabeça de montagem em gancho FB e 2 ganchos de ancoragem por ponto de ancoragem para andaimes de trabalho (ver Figura 92);

- Com cabeça de montagem FB e funda M24 encastrada no betão para cargas elevadas, por exemplo para utilizar como andaime de cofragem (ver Figura 93).

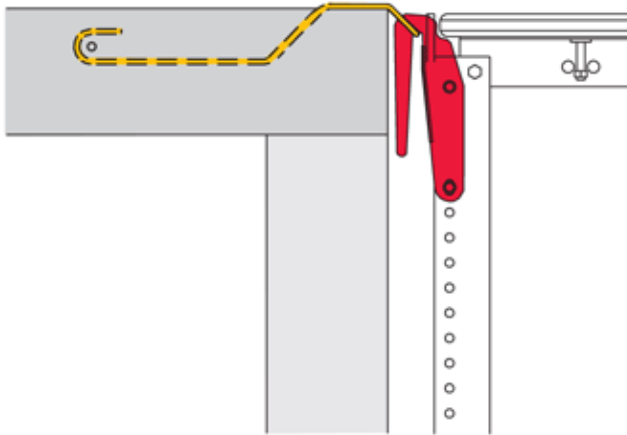


Figura 92 – Ancoragem para andaimes de trabalho (PERI s.d.).

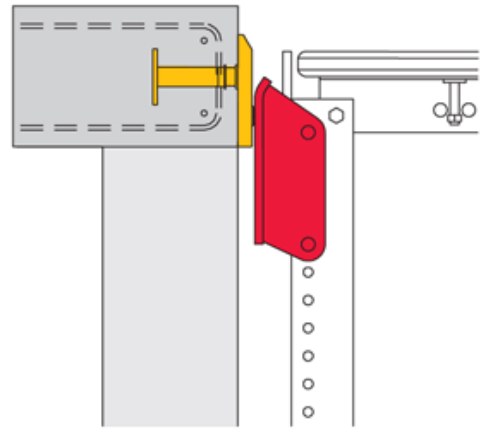


Figura 93 – Ancoragem para cargas elevadas (PERI s.d.).

➤ Sistema Trepante CB

É um sistema que pode ser utilizado em todos os tipos de construção, desde edifícios até pilares de pontes (ver Figura 94).



Figura 94 – Sistema trepante CB utilizado num edifício e em pilares de uma ponte (PERI s.d.).

Este sistema trepante está dividido em dois, o sistema trepante CB 240 e o CB 160 (ver Figura 95) que são consolas de cofragem para apoio de grandes áreas de muro. Este sistema apresenta um manuseamento simples, ajusta-se facilmente a construções com configurações mais exigentes e garante rápidos ciclos de betonagem.

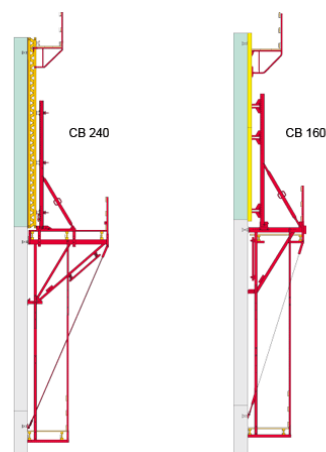


Figura 95 – *Brackets* CB 240 e CB 160 (PERI s.d.).

A cofragem trepante é formada pela junção entre a cofragem e o andaime trepante através de perfis verticais basculantes, formando um núcleo pronto para a cofragem. Este núcleo, através da sua forte ligação da cofragem ao andaime trepante, é transportado pela grua (ver Figura 96), permitindo economizar tempo neste processo.

Segundo o fabricante deste sistema, as *Brackets* apresentam uma elevada capacidade de carga, o que permite elevadas larguras de influência entre as *Brackets* e grandes unidades de andaimes, e a altura máxima, confirmada em ensaio, é de 5,40 m.



Figura 96 – Núcleo formado pela cofragem e o andaime trepante (PERI s.d.).



Figura 97 – Betonagem de grandes alturas (PERI s.d.).

A plataforma CB 240 de andaime trepante compõe-se basicamente por duas *Brackets* com contraventamentos, plataforma sobre vigas e corrimãos. Esta plataforma pode ser fabricada e utilizada novamente noutra obra.

Uma plataforma de acabamento pode ser ligada às *Brackets* por meio de postes de plataforma e guarda-corpos podendo ajustar-se à respectiva altura de betonagem em pequenos incrementos (PERI s.d.), estando acessível através das plataformas adjacentes por meio de acessórios, tais como as escadas de acesso.

A descofragem é feita sem recorrer à grua. O carro de avanço permite a descofragem de grandes dimensões de modo rápido e seguro. Quando descofrado, cria-se um espaço de cerca de 0,75 m de área de trabalho (ver Figura 99) que é suficiente para efectuar a limpeza do tabuleiro e colocar a armadura.

No sistema da plataforma CB 160, os perfis verticais basculantes são fixados por meio de um elemento de ajuste e por um tensor regulável. A plataforma tem uma largura de 1,60 m e a cofragem é apenas colocada em posição basculante.

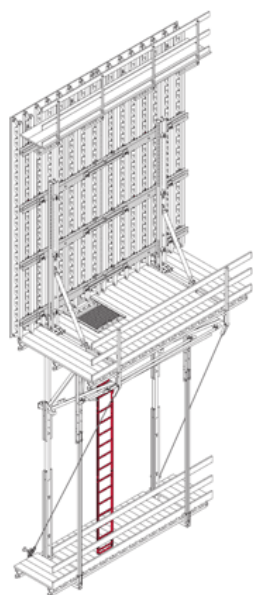


Figura 98 – Plataforma CB 240 completa (PERI s.d.).

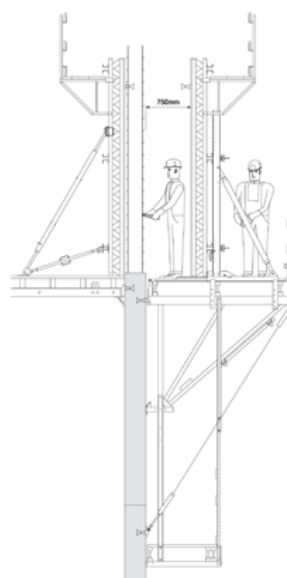


Figura 99 – Espaço de 0,75 m de área de trabalho (PERI s.d.).

Nos sistemas de cofragem trepante, a boa relação qualidade/preço e a segurança oferecida pelo sistema de ancoragem são características fundamentais. Além da questão de qualidade, é importante que estes sistemas de cofragem sejam concebidos para serem reutilizados o maior número de vezes possível.

Em conjunto com estes sistemas são utilizadas âncoras escalada, que são os componentes que aderem a cofragem à estrutura e são compostas por um anel de

montagem de andaime, uma rosca de cone com uma placa de ancoragem com rosca. Para cargas mais elevadas com profundidades variáveis de ancoragem, são utilizadas âncoras escalada cone com tirante e placa de ancoragem roscada (ver Figura 100) (PERI s.d.).

As âncoras de trepagem que já não são necessárias são removidas (ver Figura 101) a partir da plataforma de acabamento e os orifícios de ancoragem são selados com cones de betonagem e selante de modo a criar um acabamento uniforme.

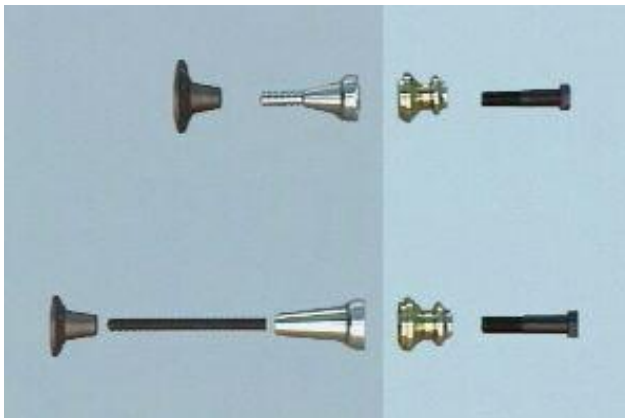


Figura 100 – As âncoras PERI (PERI s.d.).



Figura 101 – Retirada das âncoras que já não são necessárias (PERI s.d.).

Os acessórios utilizados na fixação da cofragem permitem manusear facilmente os sistemas de cofragem. A cofragem pode ser regulada em qualquer direcção (PERI s.d.):

- Regulação de altura com a unidade de regulação de altura (ver Figura 102);
- Transporte lateral da cofragem atenuando o elemento de ligação do perfil vertical basculante;
- Ajuste quanto à sua inclinação (ver Figura 103);
- Transporte fácil do carro de avanço (ver Figura 104). O bloqueamento do carro é assegurado por uma cunha fixada simplesmente com um martelo.



Figura 102 – Ajuste em altura (PERI s.d.).



Figura 103 – Ajuste da inclinação (PERI s.d.).



Figura 104 – Ajuste com o carro de avanço (PERI s.d.).

➤ Sistemas trepantes KGF / KG 180

Este sistema (ver Figura 105) pode ser adaptado a qualquer geometria de edifício. Mesmo em aplicações muito específicas, os sistemas KGF 240 e KG 180 são apresentados como capazes de garantir níveis elevados de segurança e flexibilidade a qualquer altura, poupando-se tempo durante o transporte com a grua devido às unidades estarem fixadas à cofragem.



Figura 105 – Sistema Trepante KG (PERI s.d.).



Figura 106 – Cofragem de um edifício com poço de elevador com altura de 45 m e vãos de escada (PERI s.d.).

A ligação da cofragem e andaime trepante é efectuada através de uma junta articulada na cofragem trepante, formando uma unidade completa e podendo ser transportada por grua (ver Figura 107). O ponto de ligação é uma junta articulada.

A cofragem pode ser regulada em qualquer direcção (PERI s.d.):

- Quanto ao seu ângulo de inclinação por meio de estabilizadores;
- Quanto à sua altura e transporte lateral através da junta articulada.

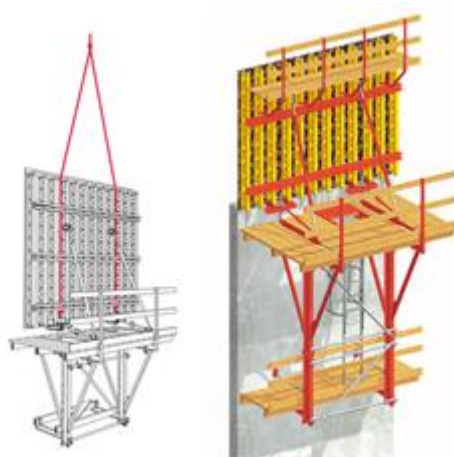


Figura 107 – Unidade completa de cofragem transportada por grua e escadas de acesso (PERI s.d.).

Os sistemas trepantes KGF 240 e KG 180 (ver Figura 108) servem de *Brackets* de cofragem para apoio da cofragem para paredes. Pode-se colocar uma viga de *Bracket* que também serve de elemento de suporte para apoio da *Bracket*. Para a formação deste elemento de suporte existem duas possibilidades (PERI s.d.):

- Uma viga de *Bracket* como elemento de suporte está directamente situada na *Bracket* e a plataforma de acabamento pode ser colocada sobre uma viga de cofragem adicional por baixo. Esta possibilidade caracteriza-se por larguras de influência mais elevadas;
- Apenas uma viga de *Bracket* é utilizada como elemento de suporte e, ao mesmo tempo, suporta a plataforma de acabamento montada sobre cimbres. Esta possibilidade permite fazer a ponte entre obstáculos, como é o caso das aberturas nas paredes.

As *Brackets* trepantes KG 180 e KGF 240 estão desviadas permitindo evitar saliências nas paredes, tais como os elementos de ligação de armaduras e *Brackets*.

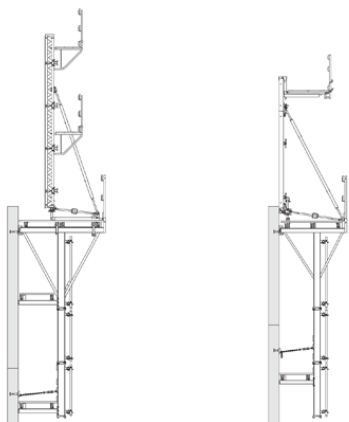


Figura 108 – *Brackets* do sistema (PERI s.d.).



Figura 109 – *Brackets* desviadas para evitar saliências nas paredes (PERI s.d.).

No sistema KGF 240, as juntas articuladas são fixadas às *Brackets* por meio de um carro com cremalheira, estabilizadores e tirantes. A cofragem tem a capacidade de retrair-se cerca de 0,75 m entre a cofragem e a armadura criando uma área de trabalho completamente segura (ver Figura 110). Este espaço é suficiente para efectuar a limpeza da cofragem e de todas as outras tarefas necessárias como, por exemplo, a fixação dos vãos e instalação das armaduras, sendo estes trabalhos realizados com a protecção oferecida pela cofragem retirada. Também podem ser armazenadas cargas nesta área, de armaduras por exemplo, devido à sua capacidade de carga de 500 Kg/m². A plataforma tem uma largura de 2,40 m.

No sistema KG 180, as juntas articuladas são fixadas às *Brackets* por meio de um equipamento de localização, mais acessórios, bem como estabilizadores e tirantes. A plataforma tem uma largura de 1,80 m e a cofragem é simplesmente inclinada.

Como a plataforma é colocada no topo, a *Bracket* do andaime de trepagem oferece duas vantagens importantes (PERI s.d.):

- Possui uma plataforma de andaime com protecção anti-queda que garante condições de trabalho adequadas, quer a cofragem seja realizada pela parte da frente, quer seja pela parte de trás;

- Pré-montagem das plataformas e assim todo o trabalho de montagem é realizado mais rapidamente e facilmente no estaleiro ou oficina poupando espaço de manuseamento na obra.



Figura 110 – Área de trabalho com 0,75 m aproximadamente (PERI s.d.).

É utilizada uma dobradiça no andaime para paredes que tem a vantagem de criar um espaço lateral suficiente de manobra para assegurar a realização de ligações rápidas. As ligações são garantidas através da dobradiça, de parafusos hexagonais, de cones roscados e trepantes bem como de tensores de ancoragem, sendo todos os elementos reutilizáveis (ver Figura 111).

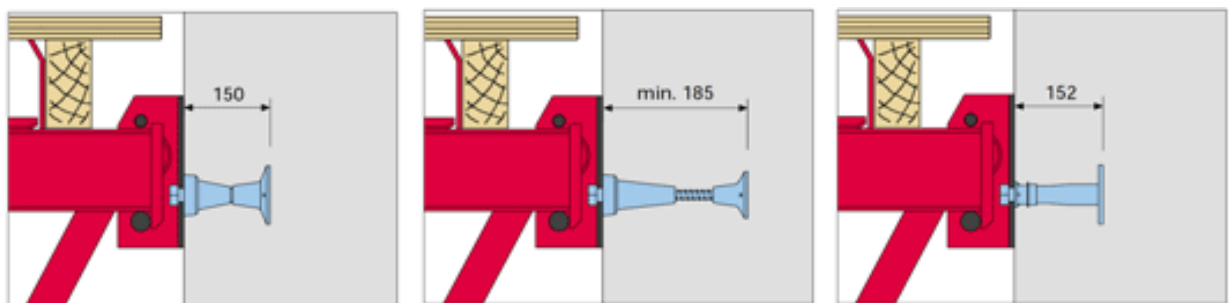


Figura 111 – Tipos de ancoragens (PERI s.d.).

➤ **Sistema Trepante de Face Única SKS:**

É um sistema de cofragem modular com aplicações trepantes e apenas apresenta uma face.



Figura 112 – *Bracket plana* (PERI s.d.).



Figura 113 – *Bracket utilizada em pilares circulares* (PERI s.d.).

São utilizados os sistemas trepantes de face única SKSF 240 e SKS 180 também aplicáveis em paredes inclinadas. Estes sistemas foram especialmente desenvolvidos para projectos de construção de barragens, comportas, torres de refrigeração, capitéis de pilares (ver Figura 113), túneis (ver Figura 116) e estruturas circulares, podendo também ser utilizados na construção de edifícios como plataformas estáveis de andaime trepante, sendo utilizado, por exemplo, para a transferência de cargas elevadas do peso do betão, quando necessário, através de *Brackets* por meio de perfis verticais basculantes e escoras de compressão para o interior das ancoragens do andaime. Graças a esta capacidade de transferência de cargas elevadas, os processos de planeamento não são demasiado complicados.

Para a realização de cofragens de superfícies inclinadas, como se pode ver na Figura 115, é possível montar *Brackets* adicionais à plataforma SKS que podem ser inclinadas até 45°, permitindo que os trabalhos sejam realizados, pelas respectivas equipas, sempre em plataformas niveladas.

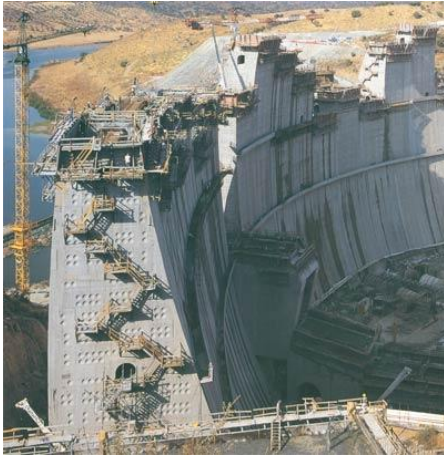


Figura 114 – Construção da barragem do Alqueva em Portugal (PERI s.d.).



Figura 115 – Construção de uma superfície inclinada (PERI s.d.).

O sistema trepante SKSF 240 apresenta uma largura de 2,40 m e a cofragem é montada sobre um carro com a capacidade de retracção de 0,60 m sem a necessidade de recorrer a grua. Assim sendo, os trabalhos de colocação de armadura, montagem das ancoragens dos andaimes e de cofragem e descofragem de vãos ficam facilitados.

O sistema trepante SKS 180 tem uma *Bracket* com 1,80 m de largura, sendo uma alternativa ao sistema trepante SKSF 240 em termos económicos. Aquando da descofragem, a cofragem é simplesmente inclinada para trás.

Os cones de trepagem utilizados (ver Figura 117) são próprios para betonagem de face única e permitem a transferência de forças e tensões elevadas para o betão ainda fresco e não armado. Os cones com protecção anti-corrosão são reutilizáveis mas as barras e placas de ancoragem permanecem no interior do betão.



Figura 116 – Construção de um túnel com o sistema de face única SKS (PERI s.d.).

Die Gerüstverankerung mit bauaufsichtlicher Zulassung

Baufachliche Zulassung
DIBt










| System | Wiedergewinnbare Teile | | Verlorene Teile | | |
|--------|---|--|--|---|--|
| DW 20 |  M30x130 ISO 4014-10.9 Art.Nr. C29640 |  Einhängering 2-20 Art.Nr. C29480 |  Kletterkonus-2 MS9/DW 20 Art.Nr. C30920 |  Sparnstahl DW 20 Art.Nr. C30700 Ifm |  Gewindestift Art.Nr. C30 |
| DW 26 |  M36x130 ISO 4014-10.9 Art.Nr. C29660 |  Einhängering 2-26 Art.Nr. C29490 |  Kletterkonus-2 M36/DW 26 Art.Nr. C30940 |  Sparnstahl DW 26 Art.Nr. C30340 Ifm |  Gewindestift Art.Nr. C30 |

Figura 117 – Cones de trepagem utilizados pelo sistema de face única SKS (PERI s.d.).

➤ **Plataforma interna BR:**

É uma plataforma que complementa, de maneira muito eficaz e simples, todos os sistemas trepantes referidos anteriormente e é utilizada para a construção de núcleos de elevadores, de vãos de escada (ver Figura 118) ou para outras estruturas do mesmo género.

Esta plataforma é uma alternativa simples aos andaimes trepantes convencionais, que por vezes são inapropriados para o apoio de cofragem à sua largura, pois transferem cargas móveis para o interior do edifício de forma segura e fiável.

A cofragem interna é colocada nas plataformas para núcleos de elevadores com vigas para plataformas BR, apoiados por placas articuladas. O comprimento da viga da plataforma adapta-se a cada elemento.



Figura 118 – Utilização da plataforma na construção de uma torre de escadas com 44 m de altura (PERI s.d.).

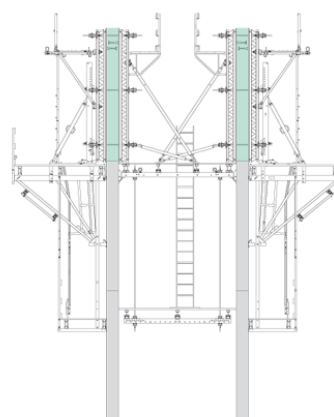


Figura 119 – Secção típica através do centro de um edifício com poços para elevadores (PERI s.d.).

A plataforma apresenta duas possibilidades racionais de apoio (PERI s.d.):

- Apoio da viga de plataforma BR por meio da placa de apoio dobrável, sendo a correia da grua simplesmente fixa ao olhal BR 2,5t através de uma abertura na plataforma. A ancoragem ao edifício é aparafusada.
- A placa articulada é armada num vão e suporta o peso da plataforma. Quando a plataforma é alta, a placa move-se para dentro. O contrapeso volta a colocá-la na posição anterior quando atinge o vão seguinte.

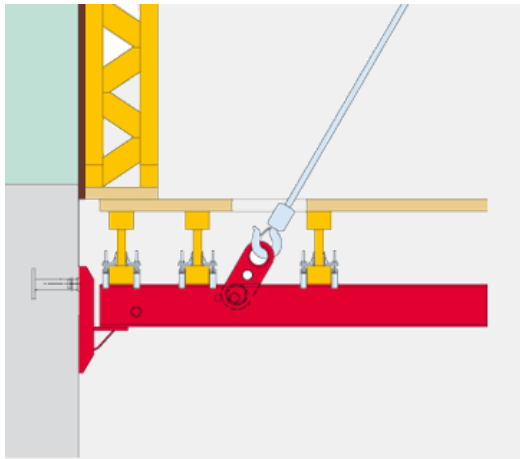


Figura 120 – Apoio dobrável 25 (PERI s.d.).

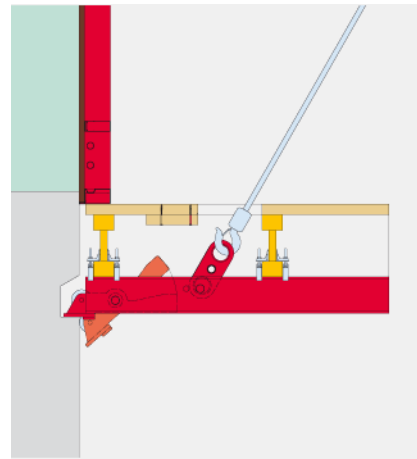


Figura 121 – Apoio pela placa articula num vão (PERI s.d.).

Para reduzir a libertação de espaço circundante, o apoio BR pode também ficar no betão e ser depois desmontado.

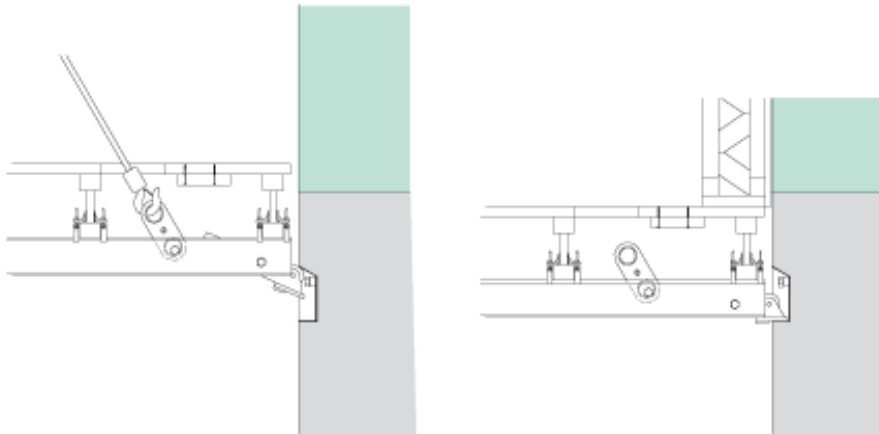


Figura 122 – Apoio inserido no betão (PERI s.d.).

Para vigas de cofragem, as madeiras são simplesmente fixadas às vigas de plataforma por meio de cintas para ganchos (ver Figura 123).

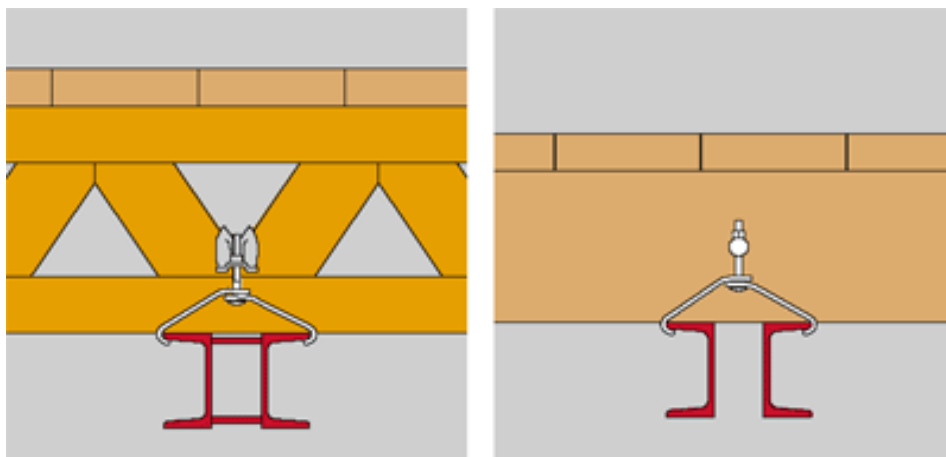


Figura 123 – Fixação através de cintas para ganchos (PERI s.d.).

2.3.4.2. Sistemas Auto-Trepantes

Os sistemas auto-trepantes são em tudo semelhantes aos sistemas trepantes apresentando como diferença que estes não necessitam de grua para se movimentarem.

Sistemas auto-trepantes disponíveis no mercado:

➤ Sistema auto-trepante ACS:

Segundo o fabricante do sistema ACS, este permite trepar sem recorrer a grua independentemente das condições atmosféricas.

O sistema é dividido em cinco subsistemas (PERI s.d.):

- **Sistema auto-trepante ACS R:**

O sistema auto-trepante ACS R, em que o R refere-se a “regular” (ver Figura 124) e é utilizado em todas as situações em que é necessária a criação de áreas de grandes dimensões e onde as paredes têm de ser inteiramente alcançáveis pelo topo devido a ser por aqui que se inserem, livremente, as estruturas pré-montadas.

O sistema permite intervalos espaçosos de suporte reduzindo a necessidade de ancoragens, minimizando assim o número de posições de ancoragem no muro, criando espaço suficiente para as instalações e para a construção das aberturas, tais como portas e janelas.

As plataformas foram desenhadas e pensadas de maneira a criarem uma área considerável para a realização de trabalhos, apresentando também uma distância de retracção de 0,80 m o que facilita em muito o trabalho de cofragem, permitindo um trabalho tão eficaz e seguro como no solo e apresentando uma elevada capacidade de carga, suficiente para armazenar a armadura para a próxima fase de trepagem.



Figura 124 – Sistema auto-trepante ACS (PERI s.d.).



Figura 125 – Utilização do sistema ACS R num edifício alto (PERI s.d.).

Com este sistema é possível obter elevadas velocidades de cofragem, descofragem e trepagem, e como não é necessário recorrer a grua, permitindo assim que a mesma seja utilizada noutras tarefas inerentes à obra, torna-se possível que as fases planeadas possam ser efectuadas simultaneamente atingindo-se elevados níveis de produtividade.

Este sistema apresenta as unidades de andaime sempre fixadas ao edifício, mesmo durante o processo de trepagem, permitindo que a mesma seja realizada perante condições atmosféricas adversas. Estas foram dimensionadas para suportar os efeitos do vento correspondentes a velocidades de cerca de 200 Km/h, evitando assim atrasos na construção devidos a intempéries.

O mecanismo trepante utilizado é o *cerne*, apresentado na Figura 127, e é utilizado em todas as variantes ACS, com uma capacidade elevatória de 100 kN.

O mecanismo funciona automaticamente e não sofre mudanças de aceleração, apresentando uma velocidade de 0,5 m/min. É possível trabalhar fora do período normal de trabalho sem incomodar as áreas residenciais circundantes à obra, devido ao quase silencioso sistema trepante hidráulico. O sistema tem capacidade para elevar, descer e também transportar cargas na horizontal.



Figura 126 – Construção no mar com capacidade para suportar ventos até os 200 Km/h (PERI s.d.).

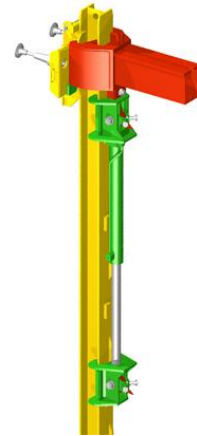


Figura 127 – Cerne (PERI s.d.).

O andaime trepante e as suas cargas são manuseados em segurança através de âncoras para o interior do edifício.

Devido à elevada capacidade de carga das ancoragens (ver Figura 128) a trepagem pode ser realizada um dia depois de efectuar a betonagem. A sapata de trepagem otimizada e o tipo de ancoragem são seleccionadas e calculada a posição daquela depois de examinar determinados factores individuais como, por exemplo, a estrutura do edifício, a carga, a espessura da parede e o grau de dureza do betão necessário. Após ponderados estes factores, todas as forças de compressão e tracção podem ser transmitidas em segurança para o interior da parede.

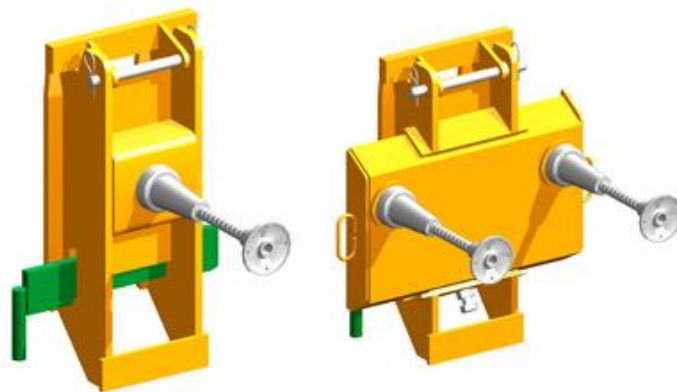


Figura 128 – Ancoragens da PERI para os sistemas auto-trepantes (PERI s.d.).

- **Sistema auto-trepante ACS P:**

O sistema auto-trepante ACS P (ver Figura 129), em que o P refere-se a “plataforma”, é uma máquina compacta e completa para produção de núcleos de edifícios altos e estruturas tipo torre. Uma construção de andaime, moldada para o edifício, sustenta o peso total da construção. Compreende a carga fixa e móvel, e quantidades de aço para cada secção trepante, por exemplo.

As plataformas compõem uma área de armazenamento e trabalho de grandes dimensões. Com este sistema, escassas vigas de plataforma cruzam as paredes, o que permite que as armaduras sejam parcialmente pré-montadas.

Estes sistemas apresentam um grande nível de segurança. O sistema tem bordas de protecção, o que evita quedas durante a trepagem. Também nesta plataforma existe uma grande liberdade de movimentos em todos os níveis de trabalho, os operários têm acesso livre à unidade trepante e de cofragem, a plataforma apresenta um resguardo completo que serve de protecção ao vento, permite que o trabalho e a trepagem possam ser realizados independentemente das condições climáticas. Todas estas condições garantem que os operários tenham segurança, eficácia e conforto de trabalho como se o mesmo fosse efectuado no solo.

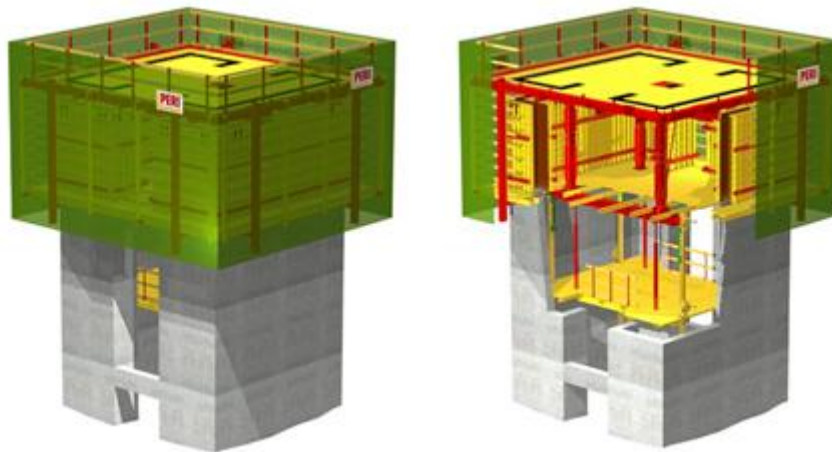


Figura 129 – Plataforma ACS P (PERI s.d.).

As paredes verticais e as lajes de um piso são elevadas de uma única vez (ver Figura 130) fazendo com que a empresa construtora economize diversos custos em conectores entre a laje e as paredes. A cofragem, descofragem e trepagem são realizadas

sem recorrer ao auxílio de grua, sendo assim possível cumprir as fases planeadas, utilizando a grua em outras tarefas em simultâneo com a cofragem, descofragem ou trepagem. Com estes procedimentos, é possível obter elevados níveis de produtividade.

A betonagem pode ser efectuada através de uma bomba de betão e a mesma, se necessário, pode ser elevada em conjunto com a cofragem (ver Figura 131).

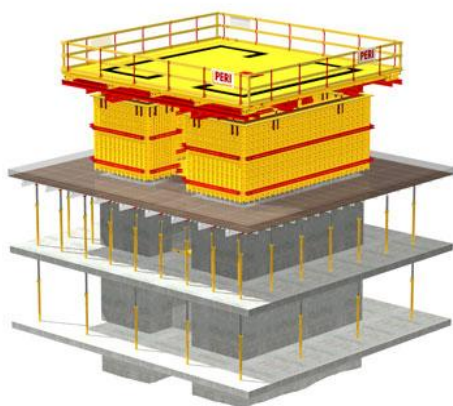


Figura 130 – Paredes e lajes elevadas de uma única vez (PERI s.d.).



Figura 131 – Bomba de betão em conjunto com a cofragem (PERI s.d.).

- **Sistema auto-trepante ACS G:**

Esta versão do sistema auto-trepante, a ACS G, em que o G refere-se a “quadro de suspensão / polia” (ver Figura 132) e funciona com uma *Bracket* com a capacidade de suspender ambas as partes laterais da cofragem. Os elementos da cofragem que se encontram suspensos das polias são facilmente transportados e ajustados. Nos edifícios circulares, as vigas de cofragem são dispostas paralelamente, sendo as *Brackets* organizadas perpendicularmente.

O sistema ACS G permite a betonagem de paredes e lajes de uma só vez (ver Figura 133) fazendo com que os períodos de betonagem sejam menores, aumentando assim o número de ciclos de trabalho e permitindo uma redução significativa em termos de trabalho e de custos com ferrolhos de ligação entre as paredes e as lajes, tornando este método de construção extremamente económico.

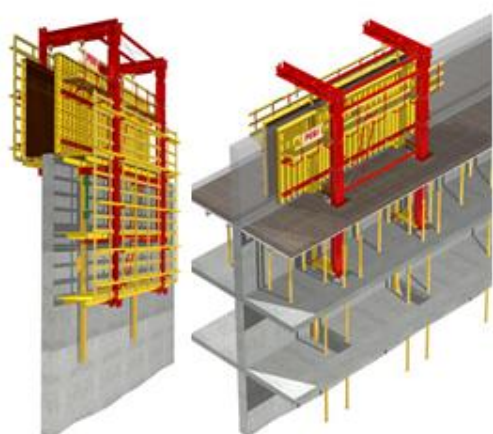


Figura 132 – Esquema do sistema auto-trepante ACS G (PERI s.d.).



Figura 133 – Betonagem em simultâneo das lajes e paredes (PERI s.d.).



Figura 134 – Sistema ACS G utilizado num edifício circular (PERI s.d.).

Para obter fases de trabalho optimizadas, os sistemas trepantes ACS R, ACS P e ACS G podem trabalhar em conjunto no mesmo edifício ou mesmo ser combinados através do fornecimento de extensões customizadas, dando resposta a estruturas mais complexas.

- **Sistema auto-trepante ACS S:**

O sistema auto-trepante ACS S (ver Figura 135), em que o S refere-se a “núcleo”, é utilizado na construção de núcleos de serviços ou chaminés de forma individual ou em grupo, recorrendo apenas a um dispositivo de trepagem, tratando-se de uma solução referenciada como bastante económica.

Neste tipo de trabalhos, vistas as limitações de espaço e as sequências de trabalho, as ancoragens e o processo de trepagem são particularmente adaptados. Este sistema também garante a segurança nas sequências de trabalho durante o transporte.

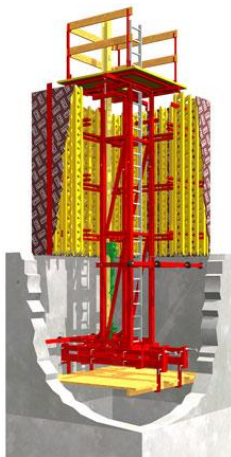


Figura 135 – Sistema auto-trepante ACS S (PERI s.d.).



Figura 136 – Modelo ACS S em exposição (PERI s.d.).



Figura 137 – Sistema ACS S utilizado na construção de núcleos de serviços (PERI s.d.).

- **Sistema auto-trepante ACS V:**

A versão do sistema auto-trepante ACS V (ver Figura 138), em que o V refere-se a “variável”, é uma *Bracket* de ajuste contínuo e é utilizada em pilares de pontes ou paredes inclinadas.

O ajuste entre as diferentes *Brackets* utilizadas é facilmente realizado, permitindo a obtenção do ângulo de inclinação pretendido em projecto. O sistema oferece áreas de trabalho horizontais criando condições seguras e confortáveis para a realização dos trabalhos necessários, nomeadamente, de colocação de armaduras, cofragem e descofragem, betonagem e acabamento.



Figura 138 – Sistema auto-trepante ACS V utilizado em pilares inclinados de pontes (PERI s.d.).

O sistema auto-trepante ACS V tem capacidade para elevar quatro níveis de trabalho ao mesmo tempo, como esquematizado na Figura 139, e é composto por:

1. Plataforma de betonagem;
2. Nível de cofragem e descofragem;
3. Plataforma para operações hidráulicas e de trepagem;
4. Plataforma de acabamento utilizada para desmontar as sapatas de trepagem e cones de ancoragem.



Figura 139 – Sistema auto-trepante ACS V com os quatro níveis de trabalho (PERI s.d.).

2.3.4.3. Sistemas Deslizantes

Os sistemas deslizantes são aqueles em que os elementos de cofragem são movimentados através de dispositivos que se apoiam na parte do fuste betonada anteriormente, para a próxima etapa de betonagem. Estes sistemas são especialmente utilizados em pontes, túneis e edifícios altos e permitem obter rendimentos elevados (Appleton 2008).

Este sistema dá um acabamento ao betão que nunca chega a ser perfeito por este nunca se desligar por completo da última betonagem realizada, aumentando assim a porosidade superficial do mesmo (Appleton 2008).

Sistemas deslizantes disponíveis no mercado:

➤ Kit VARIOKIT

É um sistema modular utilizado especialmente para túneis e pontes (ver Figura 140), concebido de modo a criar um conjunto de construção versátil. Segundo o fabricante, este sistema apresenta componentes económicos e *standard*, apresentando-se com uma solução adequada para diversos requisitos de engenharia civil dado ser rápido, seguro e económico.



Figura 140 – Kit de construção com componentes rentáveis e *standard* (PERI s.d.).



Figura 141 – Combinação de vários sistemas para obtenção de uma cofragem rentável (PERI s.d.).

De acordo com o fabricante, este kit apresenta as seguintes vantagens (PERI s.d.):

- **Redução máxima do número de peças especiais:**

O sistema necessita de poucos componentes, apresentando três componentes chave: o perfil de carril RCS, a correia universal SRU e os tensores de alta capacidade SLS, e é complementado com acessórios como tubos e braçadeiras de andaimes.

O conjunto completo de construção necessita de poucas ligações, apresentando poucos elementos de ligação diferentes, tais como cavilhas e grupilhas.

- **Ajuste para as necessidades de cada projecto:**

Com as correias SRU, que existem em 16 comprimentos diferentes de 0,72 m até 6,00 m, com os perfis carril RCS, que existem em 5 comprimentos diferentes de 2,50 m até 10,00 m, e com os tensores de alta capacidade SLS, que existem em 8 comprimentos continuamente ajustáveis de 0,40 m até 4,80 m, é possível obter os ajustes pretendidos.

A cofragem pode ter qualquer tipo de arranque, com pouco espaço inferior para arco (ver Figura 142) ou como *Bracket* (ver Figura 143).



Figura 142 – Solução para arranques com pouco espaço inferiores para arco (PERI s.d.).



Figura 143 – Solução para arranques em *Bracket* (PERI s.d.).

- **Sistema aberto para diversas aplicações:**

- ✓ Método de moldagem separado;
- ✓ Pontes com compósitos de aço aplicadas em ligações da estrutura e em cofragem com rede em secções verticais;
- ✓ Parapeitos de acesso.

- **Vasta gama de componentes para o sistema:**

Todos os mecanismos fundamentais para um bom funcionamento do VARIOKIT são levados em conta assim como outros requisitos técnicos que também são componentes adicionais otimizados, como por exemplo, o sistema de movimentação, os componentes eléctricos ou hidráulicos.

Para obter uma superfície de betão à vista, o sistema possui o carro exterior de cofragem que é montado nas vigas principais da ponte.

Os carris são facilmente visíveis e ficam desobstruídos para possibilitar a passagem dos carros exteriores, sendo uma condição decisiva no desenvolvimento da solução. A descofragem pode ser feita quer do nível da betonagem ou da plataforma de acabamento.



Figura 144 – Solução para arranques com pouco espaço inferiores para arco (PERI s.d.).



Figura 145 – Solução para arranques em *Bracket* (PERI s.d.).

Para tirar o máximo partido de todos sistemas de cofragem é necessário ter alguns cuidados com a betonagem, alguns dos quais são descritos abaixo.

A primeira camada de betão numa parede deve ser colocada através de todo o comprimento da cofragem e complementado para o nível e só depois se deve proceder à compactação. A profundidade máxima de cada camada não deve exceder os 0,50 m (ver Figura 146) (Bennett 2002).

O vibrador deve ser imerso no betão lentamente, até ser imerso entre 0,10 m e 0,15 m no betão da camada colocada anteriormente, e os espaços entre os pontos de vibração devem resultar que o cone de vibração apenas se sobreponha 50% do raio da próxima posição de vibração, como esquematizado na Figura 147 (Bennett 2002).

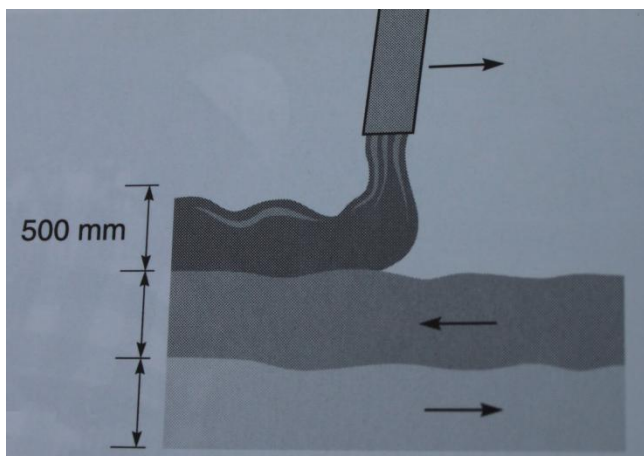


Figura 146 – Betonagem realizada às camadas (Bennett 2002).

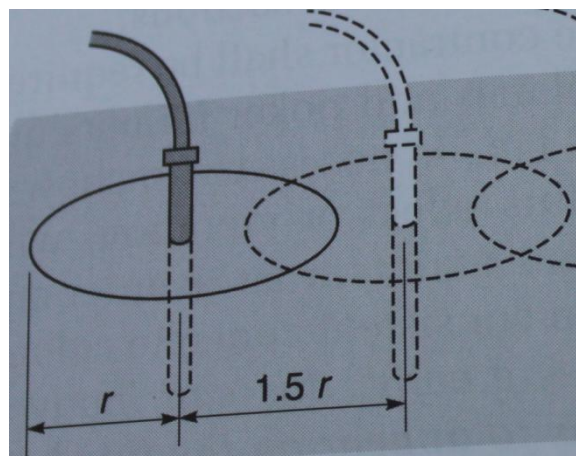


Figura 147 – Combinação dos pontos de vibração (Bennett 2002).

3. CÁLCULO DA PRESSÃO DE BETÃO FRESCO

A pressão da mistura de betão colocado é uma força fundamental a considerar para o projecto da cofragem. Tanto quanto possível, as forças resultantes da pressão devem ser equilibradas entre faces opostas através das ancoragens da cofragem, para evitar a transmissão de forças aos suportes (fib CEB - FIP 2009). Tal solução nem sempre é possível, seja porque as forças opostas estão muito distantes umas das outras, ou porque apenas uma face está cofrada.

Existem várias teorias sobre os modelos da pressão de betão fresco, cada uma tendo em conta parâmetros diferentes. O projectista da cofragem deve aplicar a teoria mais conveniente, de acordo com as condições específicas de uso.

Em geral, as teorias consideram duas zonas: para a parte superior, na qual o betão se apresenta num estado fluido, são consideradas pressões hidrostáticas, relacionadas com a densidade do betão; na zona onde o processo de endurecimento inicia-se, na parte inferior, a pressão torna-se constante (ver Figura 148). A pressão máxima depende de vários factores, mas mais directamente depende do momento em que se inicia o endurecimento do betão e da velocidade de colocação do mesmo.

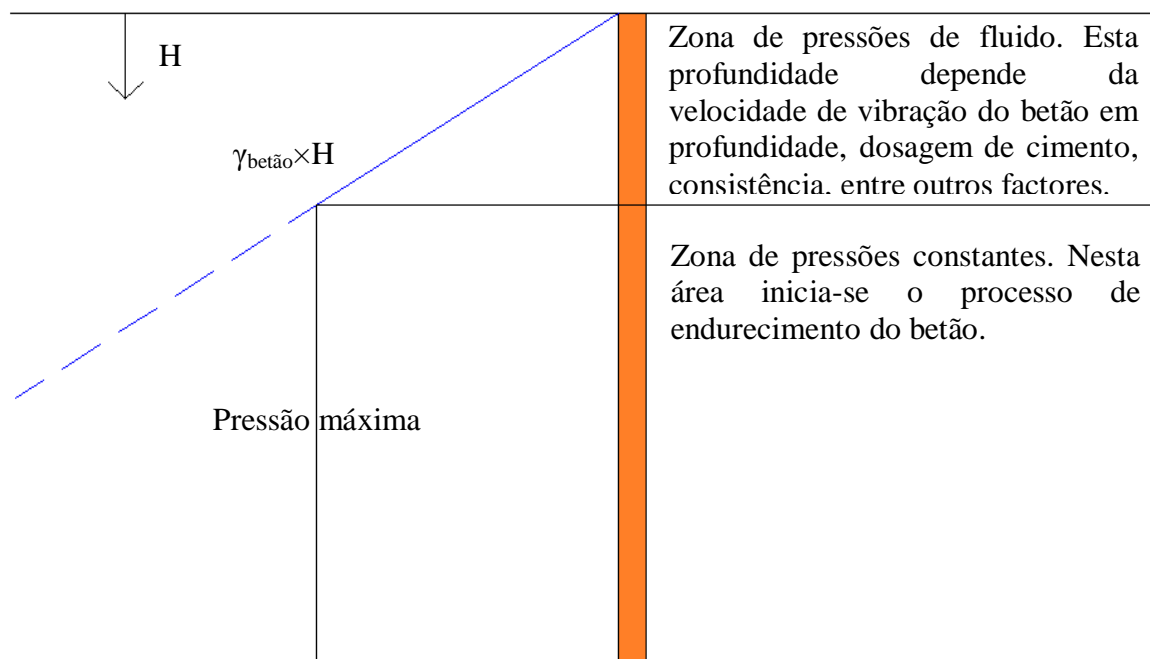


Figura 148 – Esquema de pressão com zona granular – zona onde a pressão começa a ser constante (fib CEB - FIP 2009).

Os factores comuns a considerar são (fib CEB - FIP 2009):

- Tipo de agregados;
- Velocidade de vazamento;
- Consistência;
- Temperatura;
- Dimensões.

Determinadas teorias têm em conta a zona onde o betão se comporta como um solo. Nessa zona actua uma pressão granular (ver Figura 149) como uma pressão devida ao peso próprio do solo sobre uma parede de contenção (fib CEB - FIP 2009).

Alguns super-plastificantes são comumente usados para a colocação do betão reduzindo a adição de água, os quais geralmente não mudam o tempo de endurecimento, mas podem mudar a zona de pressões granulares para uma zona de pressões hidrostáticas (fib CEB - FIP 2009). Assim, produz-se um aumento significativo das pressões, especialmente se o betão for auto-compactável, que é um betão que pode ser moldado e compactado sem a necessidade de auxílio mecânico.

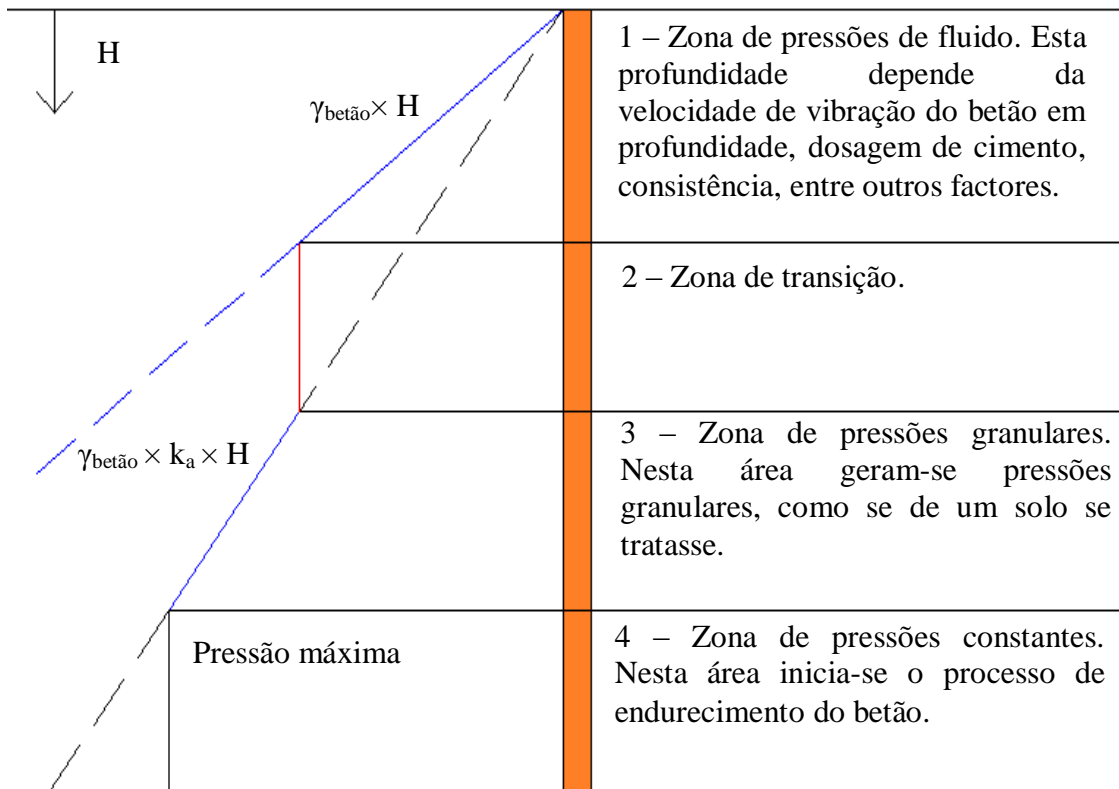


Figura 149 – Esquema de pressão com zona granular (fib CEB - FIP 2009).

3.1. Factores de determinação da pressão do betão

Os factores para a determinação da pressão do betão são (fib CEB - FIP 2009):

➤ Velocidade de betonagem:

- O rápido vazamento do betão com uma vibração adequada e regular garante uma boa qualidade do mesmo na máxima profundidade a que é derramado sem apresentar deficientes juntas;
- Na área de vibração, o betão está num estado semi-fluído, e a pressão é proporcional à densidade do betão e da profundidade (zona de pressão hidrostática);
- Quanto maior a velocidade de enchimento maior a pressão máxima.

➤ Temperatura de endurecimento:

- Quando a temperatura diminui, aumenta o tempo de endurecimento e a profundidade do betão semi-liquido aumenta, e, portanto, uma diminuição na temperatura produz efeitos similares a um aumento na velocidade de vazamento (ver Gráfico 1).

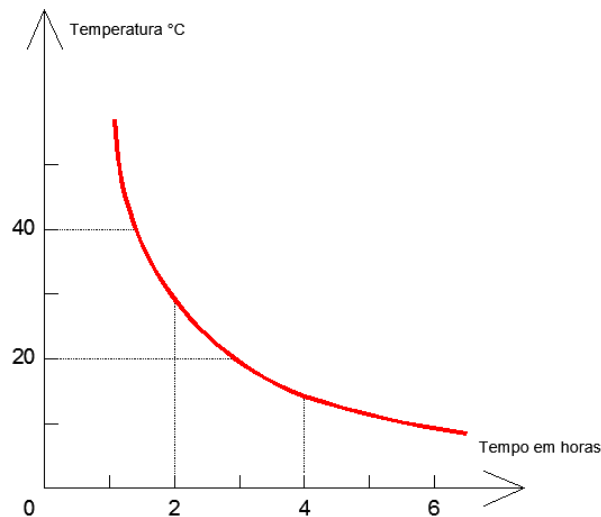


Gráfico 1 – Relação da temperatura com o tempo de endurecimento do betão (fib CEB - FIP 2009).

➤ Trabalhabilidade do betão fresco:

- Uma melhor trabalhabilidade significa um menor ângulo de atrito interno do betão fresco ou seja, um maior coeficiente de impulso activo, relação entre a pressão lateral e o peso do volume considerado, sendo que esta pressão actua na área onde se considera que a pressão é granular. O Gráfico 2 mostra a relação entre o resultado das classes de abaixamento e a pressão máxima.

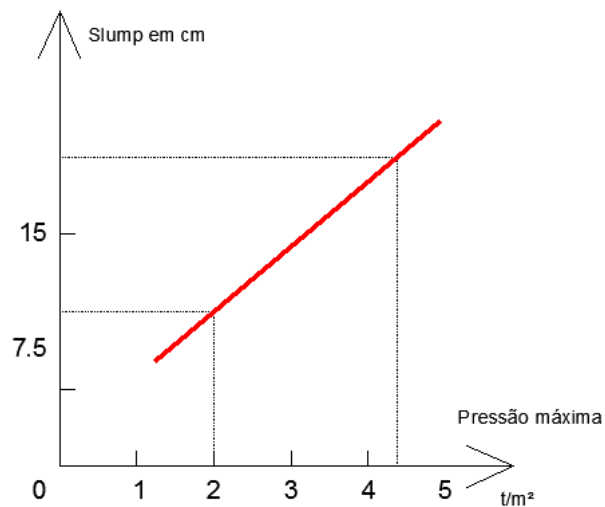


Gráfico 2 – Relação entre o resultado das classes de abaixamento e a pressão máxima (fib CEB - FIP 2009).

➤ Inclinação da cofragem:

- A expressão que se aplica é equivalente à expressão do coeficiente de impulso activo de um solo:

$$K_a = \frac{1 + \sin(a - b)}{1 + \sin(a + b)} \quad (1)$$

onde:

K_a – coeficiente de impulso activo;

a – inclinação da cofragem;

$a > 0$ se o peso do betão está acima da face;

$a < 0$ se ocorre a situação oposta;

b – inclinação natural do betão fresco.

A expressão indica que o factor é maior nas faces que carregam o peso do betão.

➤ Profundidade de vibração:

- Na área de vibração, a redução de coesão leva a que a pressão siga uma lei de pressão hidrostática. Quanto mais profunda a vibração, maior a pressão máxima.

➤ Frequência de vibração:

- Se a frequência natural da estrutura da cofragem é similar à frequência do vibrador, poderá ocorrer um fenómeno de ressonância, o que, como se sabe, não é habitual. De qualquer forma, nessa situação deve ser considerado um aumento na pressão estática (de acordo com um factor de amplificação dinâmica).

➤ Consistência:

- Um aumento na proporção de cimento poderia produzir uma maior pressão do betão.

➤ Aditivos

- Os aditivos não têm influência directa sobre a pressão. O efeito deve-se à modificação das qualidades físicas da mistura;
- Os plastificantes podem estender a área de pressão hidrostática para a área de pressão granular. Esse efeito pode desaparecer quando se inicia o processo de endurecimento do betão;
- Os retardadores têm o mesmo efeito que uma maior velocidade de colocação do betão.

3.2. Teorias da pressão de betão fresco sobre a cofragem

São conhecidas várias teorias para a determinação da pressão de betão, tendo em conta vários factores. O projectista deve determinar a melhor teoria a aplicar, analisando os factores mais relevantes.

As teorias são classificadas por ordem cronológica. Entre as mais frequentemente aplicadas destacam-se as seguintes (fib CEB - FIP 2009):

- 1930: Portland Cement Association (USA);
- 1952: S. Rodin (USA);
- 1965: Civil Engineer Research Association. C.E.R.A;
- 1975: Société de Diffusion des Technique du Bâtiment et des Travaux Publics;
- 1978: American Institute, A.C.I 374/78;
- 1980: Canadian Study from N.J Garner;
- 1980: DIN 18218;
- 1982: J. Martin Palanca (Consejo superior de Investigaciones científicas).

Estas teorias foram desenvolvidas com o passar dos anos, apresentando-se mais à frente alguns estudos publicados.

3.2.1. Código americano A.C.I. 347/04

- Pressupostos (fib CEB - FIP 2009):
 - Matriz de cimento: cimento Portland;
 - Nenhum agente de retardamento;
 - Cone de Abrams: 120 mm;
 - Sem vibrador de cofragem externa;
 - Peso específico da mistura de betão: 24 kN/m^3 .

➤ Modelo matemático (fib CEB - FIP 2009):

- Numa zona próxima da superfície, o comportamento é linear, de acordo com uma lei hidrostática de pressão, até um valor máximo de pressão, P_m ;
- Fora da zona anterior, a pressão permanece constante.

Os dados utilizados nesta teoria são: a velocidade (V) de colocação do betão, a temperatura (T) da mistura de betão e a altura da cofragem (H). Nesta teoria é feita uma distinção entre pilares e paredes (fib CEB - FIP 2009):

a) Pilares:

$$P_m = 7,3 + \frac{800 \times V}{17,7 + T} \quad (2)$$

Nos pilares o valor máximo de P_m é: 150 kPa ou $24 \times H$ [kPa].

b) Paredes:

- $V < 2,1$ m/h

$$P_m = 7,3 + \frac{800 \times V}{17,7 + T} \quad (3)$$

- $2,1 < V < 3$ m/h

$$P_m = 7,3 + \frac{1170 + 250 \times V}{17,7 + T} \quad (4)$$

- $V > 3$ m/h

$$P_m = 23,7 \times H \quad (5)$$

Nas paredes o valor máximo de P_m tem limitação de $24 \times H$ [kPa].

Nas expressões:

P_m – pressão lateral máxima do betão fresco [kPa];

V – velocidade de colocação de betão [m/h];

T – temperatura do betão [°C];

H – profundidade limite máxima [m].

3.2.2. Norma alemã DIN 18218

Este estudo baseia-se em duas hipóteses distintas: a vibração é interna ou a vibração é externa.

Vibração interna (fib CEB - FIP 2009)

➤ Pressupostos:

- O tamanho máximo dos agregados 63 mm;
- Face vertical com um desvio máximo de +/- 5°;
- Peso específico da mistura de betão: 25 kN/m³;
- Temperatura da mistura de betão: 15 °C;
- Tempo de endurecimento: máximo 5 horas;
- A velocidade máxima de subida de mistura de betão: 7 m/h.

➤ A pressão máxima será modificada tendo em conta:

- Variação de temperatura;
- Variação do peso específico;
- Agente retardador.

➤ Modelo matemático:

- Este modelo considera uma primeira zona de pressão hidrostática aumentando até um valor máximo P_m , seguida de uma zona de

pressão constante. A lei de pressão constante é reduzida a zero a uma profundidade de $5 \times V$, onde V é a velocidade de colocação do betão em m/h. Esta é indicada como a melhor abordagem para cofragens deslizantes (fib CEB - FIP 2009).

Os dados que esta teoria tem em conta são: a velocidade de colocação do betão em m/h e a trabalhabilidade do betão avaliada de acordo com a classe de abaixamento, em cm. Nesta teoria é feita uma distinção entre pilares e paredes:

- a) Pilares: valor máximo de 100 kPa ou $25 \times H$ [kPa];
- b) Paredes: valor máximo de 80 kPa ou $25 \times H$ [kPa].

| Trabalhabilidade | Abaixamento no ensaio do cone de Abrams [cm] | P_m [kPa] | |
|------------------|--|--------------------|-----|
| Seca | 0 – 2 | $5 \times V + 21$ | (6) |
| Plástica | 3 – 5 | $10 \times V + 19$ | (7) |
| Suave | 6 – 9 | $14 \times V + 18$ | (8) |
| Fluída | 10 – 15 | $17 \times V + 17$ | (9) |

Tabela 1 – Pressão máxima da mistura de betão de acordo com a trabalhabilidade do mesmo (fib CEB - FIP 2009).

Onde:

P_m – pressão lateral máxima do betão fresco [kPa];

V – velocidade de colocação de betão [m/h];

H – profundidade limite máxima [m].

➤ Efeito da temperatura sobre o betão fresco:

- Se a temperatura da mistura de betão excede $+15$ °C, pode ocorrer uma redução da pressão máxima de 3% para cada °C, com uma redução máxima de 30% quando a temperatura da mistura é mais ou menos constante.
- Se a temperatura for menor do que $+15$ °C, deve-se aumentar a pressão máxima em 3% para cada °C.

- Efeito da temperatura externa:
 - O efeito de uma temperatura externa de 15 °C não é considerado caso de arco de medidas especiais para reduzir o efeito térmico.
 - Se nenhum isolamento for utilizado, este efeito deve ser tomado apenas se for possível a temperatura exterior modificar a temperatura da mistura durante a fase de endurecimento.
- Efeito retardador:
 - Em caso de uso de agentes retardadores, a pressão deve ser multiplicado pelo factor adequado de acordo com a tabela seguinte:

| Trabalhabilidade | Abaixamento no ensaio do cone de Abrams [cm] | Factor a afectar P_m | |
|------------------|--|------------------------|--------------------|
| | | Betão atrasado 5h | Betão atrasado 15h |
| Seca | 0 – 2 | 1,15 | 1,45 |
| Plástica | 3 – 5 | 1,25 | 1,80 |
| Suave – Fluida | 6 – 15 | 1,40 | 2,15 |

Tabela 2 – Factores a aplicar no cálculo da pressão máxima da mistura do betão no caso de utilização de retardadores (fib CEB - FIP 2009).

Vibração externa (fib CEB - FIP 2009)

Na área afectada pela vibração, deve ser utilizada uma lei de pressão hidrostática.

3.2.3. Recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja"

Este estudo considera quatro zonas de pressões (fib CEB - FIP 2009):

1. Uma zona de pressão hidrostática;
2. Uma zona de transição;
3. Uma zona de pressão granular;
4. Uma zona de pressão constante.

A teoria apresenta a zona de pressão granular e uma zona de transição (ver Figura 150).

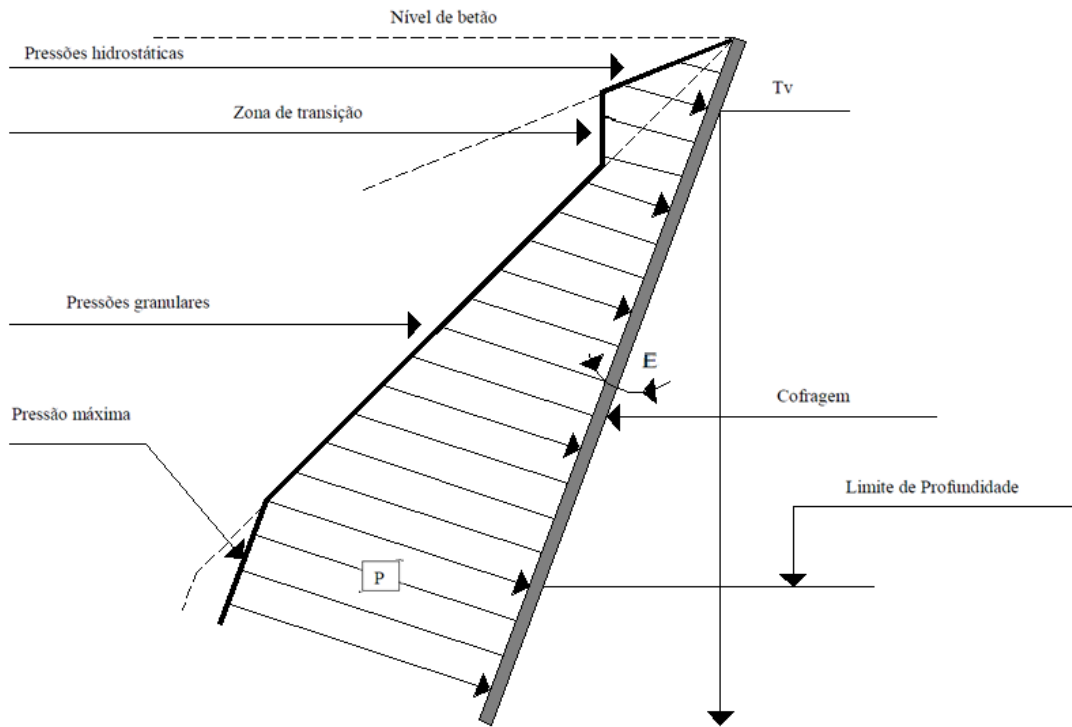


Figura 150 – Pressões sobre cofragem inclinada (fib CEB - FIP 2009).

As pressões granulares podem ser analisadas com expressões de pressões de solos. O ângulo de atrito interno (φ) pode ser estimado de acordo com a expressão seguinte (fib CEB - FIP 2009):

$$\tan(\varphi) = \frac{260 - \alpha}{1400} \quad (10)$$

onde:

α – abaixamento no ensaio do cone de Abrams [mm].

A profundidade limite máxima é definida pelo "efeito silo" ou pela dureza do betão. A primeira pode ser estimada de acordo com a seguinte expressão (fib CEB - FIP 2009):

$$H_L = 21 \times 10^3 \left(\frac{43 - T}{(165 - \alpha)(303 + \alpha)} \right) \frac{d}{1 + \eta} \quad (11)$$

onde:

H_L – profundidade da zona de pressões constantes (ver Figura 150) [m];

T – temperatura do betão [°C];

α – abaixamento no ensaio do cone de Abrams [mm];

d – menor dimensão da cofragem [m];

η – relação entre dimensões da secção transversal e longitudinal, igual ou inferior a 1.

A profundidade limite é também limitada pelo tempo de presa do betão (fib CEB - FIP 2009):

$$H_L = T_V + V \times t_0 \quad (12)$$

onde:

H_L – profundidade da zona de pressões constantes (ver Figura 150) [m];

T_V – profundidade da zona de transição, assumindo como a altura do último levantamento ou a imersão do vibrador, no máximo 1,0 m [m];

V – velocidade de colocação de betão [m/h];

t_0 – tempo até ao início do endurecimento do betão [h].

$$t_0 = \frac{70 + 0,3 \times \alpha - 2T}{25 + T} \quad (13)$$

onde:

t_0 – tempo até ao início do endurecimento do betão [h];

α – abaixamento no ensaio do cone de Abrams [mm];

T – temperatura do betão [°C].

Caso a profundidade limite máxima seja maior do que a altura da cofragem esta limita-se à mesma.

No cálculo da pressão lateral máxima temos quatro possibilidades, estarmos na zona de pressões hidrostáticas, na zona de transição, na zona de pressões granulares ou na zona de pressões constantes.

Na zona de pressões hidrostáticas o cálculo de P_m é realizado de acordo com a seguinte expressão:

$$P_m = \gamma_{\text{betão}} \times H \quad (14)$$

Se estivermos na zona de transição, o valor de P_m será o mesmo que o da zona de pressões hidrostáticas com $H=T_v$.

Caso estejamos na zona de pressões granulares utiliza-se a expressão (10) para calcular o ângulo de atrito interno (φ) e posteriormente calcula-se o coeficiente de impulso activo K_a , como se de um solo se tratasse:

$$K_a = \frac{1 - \sin(\varphi)}{1 + \sin(\varphi)} \quad (15)$$

A pressão lateral máxima de betão fresco, P_m é calculada como se de um solo se tratasse utilizando a seguinte expressão:

$$P_m = K_a \times \gamma_{\text{betão}} \times H \quad (16)$$

Finalmente, se estivermos na zona de pressões constantes, o cálculo de P_m é realizado de acordo com a seguinte expressão:

$$P_m = K_a \times \gamma_{\text{betão}} \times H_L \quad (17)$$

Nas expressões:

P_m – pressão máxima lateral do betão fresco sobre a cofragem [kPa];

T_v – profundidade da zona de transição, assumindo como a altura do último levantamento ou a imersão do vibrador, no máximo 1,0 m [m];

K_a – coeficiente de impulso activo;

φ – ângulo de atrito interno [graus];

$\gamma_{\text{betão}}$ – peso específico da mistura de betão [kN/m^3];

H – profundidade limite máxima [m];

H_L – profundidade da zona de pressões constantes [m].

É necessário efectuar a verificação da zona de pressões em que nos encontramos quando não estamos na zona de pressões constantes, ou seja, quando H_L é maior do que a altura da cofragem.

Esta verificação consiste em encontrar os valores de T_v , H_L e H_T (ver Figura 151):

O valor de T_v é assumido como a altura do último levantamento ou a imersão do vibrador, no máximo 1,0 m, o valor de H_L é o menor valor obtido através das expressões (11) e (12) e o valor de H_T é alcançado através da intersecção das rectas da zona de transição e da pressão granular, igualando as expressões (14) com $H=T_v$ e (16) obtendo a expressão (18):

$$P_{mH} = P_{mG}$$

$$\gamma_{\text{betão}} \times T_v = K_a \times \gamma_{\text{betão}} \times H_T$$

$$T_v = K_a \times H_T$$

$$H_T = \frac{T_v}{K_a} \quad (18)$$

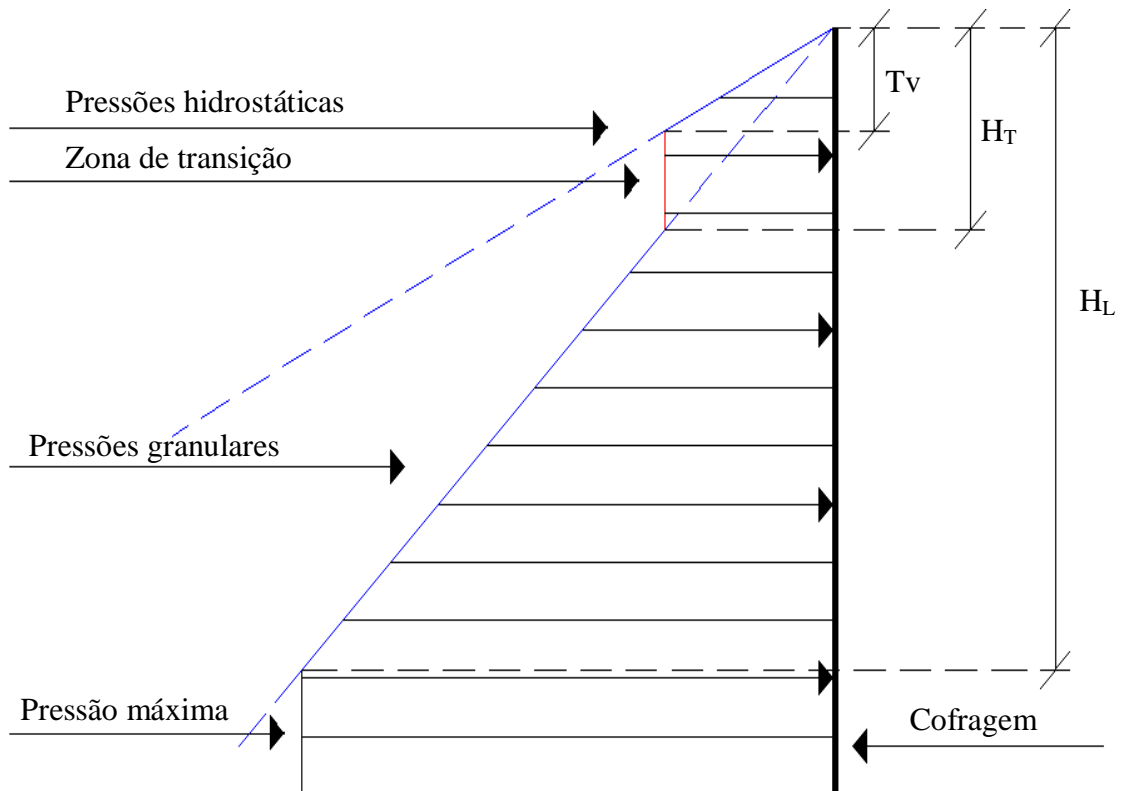


Figura 151 – Esquema de pressões na recomendação de J.M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja".

onde:

P_{mH} – pressão máxima lateral do betão fresco sobre a cofragem na zona de pressões hidrostática [kPa];

P_{mG} – pressão máxima lateral do betão fresco sobre a cofragem na zona de pressões granulares [kPa];

H_T – profundidade máxima da zona de transição [m];

3.2.4. Estudo canadiano de N. J. Garner

A lei da pressão hidrostática, no estudo de N. J. Garner, é limitada de acordo com as seguintes expressões (fib CEB - FIP 2009):

$$P_{\max} = 24 \cdot h_i + \frac{3000HP}{d} + \frac{d}{40} + \frac{400 \times V^{1/2}}{18 + T} \times \left(\frac{100}{100 - \%F} \right) + \frac{\alpha - 75}{10} \quad (19)$$

$$P_{\max} = 24 \times H \quad (20)$$

onde:

$P_{máx}$ – pressão máxima lateral do betão fresco sobre a cofragem [kPa];

d – menor dimensão da cofragem [mm];

h_i – profundidade de vibração [m];

HP – potência de vibração [HP] que pode ser assumida como $\frac{3}{4}$ de HP por 30,5 cm da menor secção da cofragem;

V – velocidade de colocação do betão [m/h];

T – temperatura do betão [°C];

$\% F$ – percentagem de cinzas volantes ou de escórias;

α – abaixamento no ensaio do cone de Abrams [mm];

H – profundidade limite máxima [m].

Uma característica desta teoria é o facto de ter em conta a acção dinâmica, devida à vibração.

3.3. Análise às teorias apresentadas

Na análise efectuada compararam-se as seguintes teorias:

- Código americano A.C.I. 347/04;
- Norma alemã DIN 18218;
- Recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja";
- Estudo canadiano de N. J. Garner.

Os dados utilizados foram os mesmos para todas as teorias. Fixou-se a temperatura nos 15 °C, fazendo variar a velocidade de colocação do betão em três valores, 1,5 m/h, 2,5 m/h e 3,5 m/h e o abaixamento no ensaio do cone de Abrams desde os 30 mm até os 150 mm. A dimensão da cofragem em questão para o estudo foi de 6,00 m de comprimento e 3,00 m de altura.

Numa primeira fase, analisa-se como respondem as teorias à variação da velocidade de colocação do betão em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams. Numa segunda fase, mantendo a velocidade constante e fazendo o valor do abaixamento no ensaio do cone de Abrams variar comparou-se as curvas obtidas pelas diferentes teorias.

➤ **Código americano A. C. I. 347/04**

O código americano A. C. I. 347/04 faz uma distinção entre pilares e paredes e um dos pressupostos é o abaixamento no ensaio do cone de Abrams ser de 120 mm. O valor da pressão lateral máxima do betão fresco, P_m , é obtido, nas paredes, através de expressões obtidas para diferentes intervalos de velocidade de colocação do betão, já nos pilares, a expressão é a mesma independentemente do valor da velocidade de colocação do betão. Considerou-se um pilar com 3,00 m de altura.

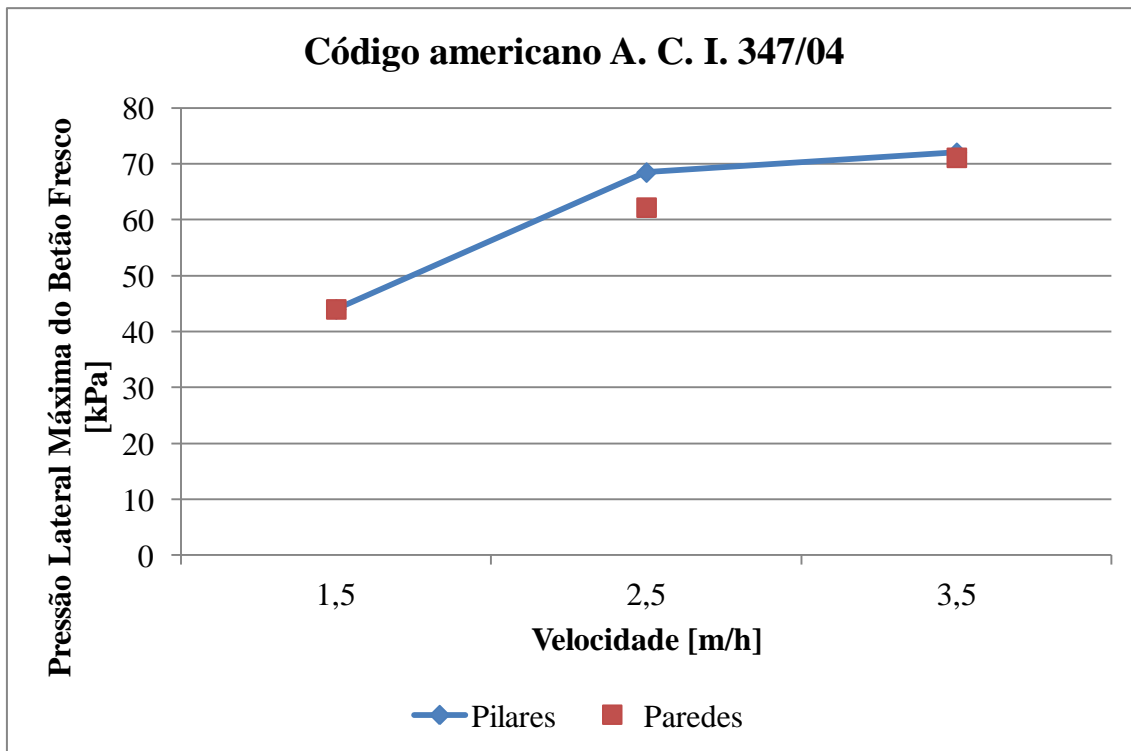


Gráfico 3 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função da velocidade de colocação do betão no Código americano A. C. I. 347/04.

No Gráfico 3 observa-se como varia a P_m , em função da velocidade de colocação do betão e conclui-se que quanto maior é a velocidade de colocação do betão maior é a P_m . Uma outra observação é que a P_m é maior nos pilares em relação às paredes.

Nos pilares com a velocidade de colocação do betão a 3,5 m/h, a P_m fica limitada ao valor máximo de $24 \times H$ [kPa], neste caso a 72 kPa.

➤ Norma alemã DIN 18218

Na norma alemã DIN 18218, a P_m , é obtido através de expressões obtidas para diferentes intervalos de abaixamento no ensaio do cone de Abrams, utilizando expressões para quando a trabalhabilidade é plástica, suave e fluida.

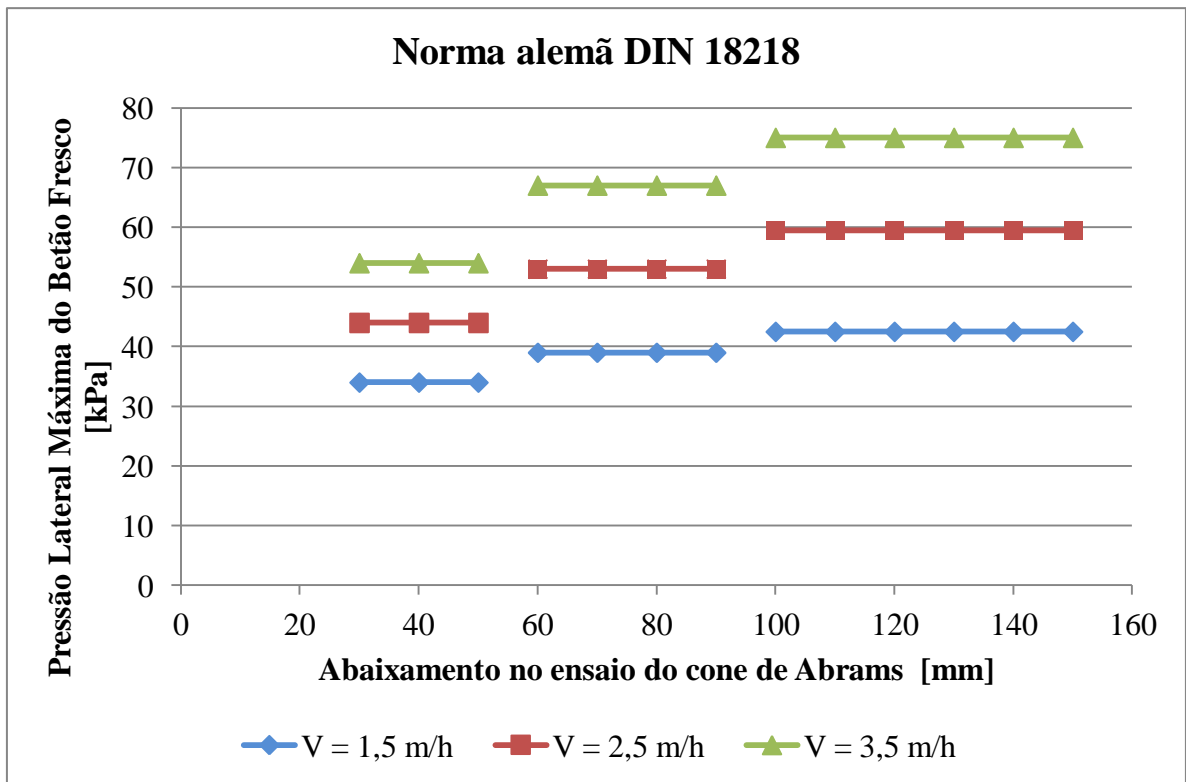


Gráfico 4 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams na Norma alemã DIN 18218.

No Gráfico 4 observa-se como varia a P_m , em função do valor do abaixamento no ensaio do cone de Abrams fazendo variar a velocidade de colocação do betão e conclui-se que quanto maior é a velocidade de colocação do betão e o abaixamento no ensaio do cone de Abrams, maior é a P_m .

Variando a velocidade de colocação de betão em 1 m/h, desde 1,5 m/h até 3,5 m/h, e para valores de abaixamento no ensaio do cone de Abrams de:

- 30 a 50 mm a P_m aumenta 10 kPa;
- 60 a 90 mm a P_m aumenta 14 kPa;
- 100 a 150 mm a P_m aumenta 17 kPa variando a velocidade de 1,5 m/h para 2,5 m/h porque para a velocidade de 3,5 m/h o valor da P_m é limitada ao valor máximo de $25 \times H$ [kPa], neste caso 75 kPa.

➤ **Recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja"**

A recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja" refere que as pressões granulares podem ser analisadas com expressões de pressões de solos tendo-se então de limitar a profundidade da zona de transição entre a zona de pressões granulares e a zona de pressões constantes. Considerou-se a imersão do vibrador (T_v) de 0,50 m.

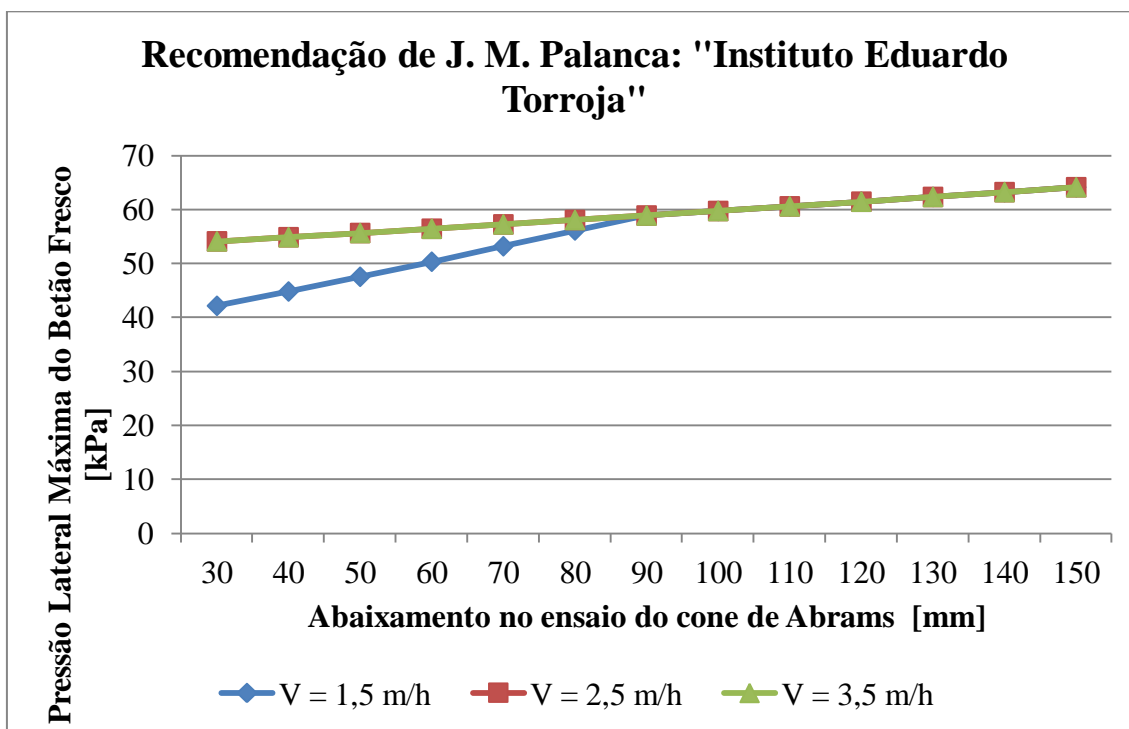


Gráfico 5 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams na Recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja".

No Gráfico 5 observa-se como varia a P_m , em função do valor do abaixamento no ensaio do cone de Abrams fazendo variar a velocidade de colocação do betão e concluiu-se que para a velocidade de colocação de 1,5 m/h até um valor de abaixamento no ensaio do cone de Abrams de 80 mm estamos na zona de pressões constantes utilizando para o cálculo de P_m a expressão (17). A partir dos 90 mm a altura está limitada à altura da cofragem, $H = 3$ m porque $H_L > 3$ m, sendo que para as velocidades de colocação do betão de 2,5 e 3,5 m/h e para todos os valores analisados de abaixamento no ensaio do cone de Abrams verificou-se o mesmo.

Nos casos em que $H_L > 3$ m, foi necessário realizar a verificação da zona de pressões em que se encontrava a cofragem, através da expressão (18), e para todas as

situações concluiu-se que a cofragem encontrava-se na zona de pressões granulares, sendo o valor de P_m calculado com base na expressão (16).

Na análise do Gráfico 5 também se observa que para os casos em que a cofragem se encontra na zona de pressões granulares, fazendo variar a velocidade, o valor de P_m mantém-se. Analisando a expressão (16), sendo a altura limitada à altura da cofragem, $H = 3$ m, a única variável passa a ser o coeficiente de impulso activo, K_a que podemos observar na expressão (15) que a única variável afecta ao mesmo é o ângulo de atrito interno, (φ) que é obtido com base na expressão (10), apresentando esta como única variável o abaixamento no ensaio do cone de Abrams, α , ou seja, a única variável no cálculo da P_m para estes casos.

➤ Estudo canadiano do N. J. Garner

O estudo canadiano do N. J. Garner, utiliza uma expressão que limita a lei da pressão hidrostática. Nesta teoria a acção dinâmica, devida à vibração, tem influência na P_m . Não se considerou a utilização de cinzas volantes ou escórias.

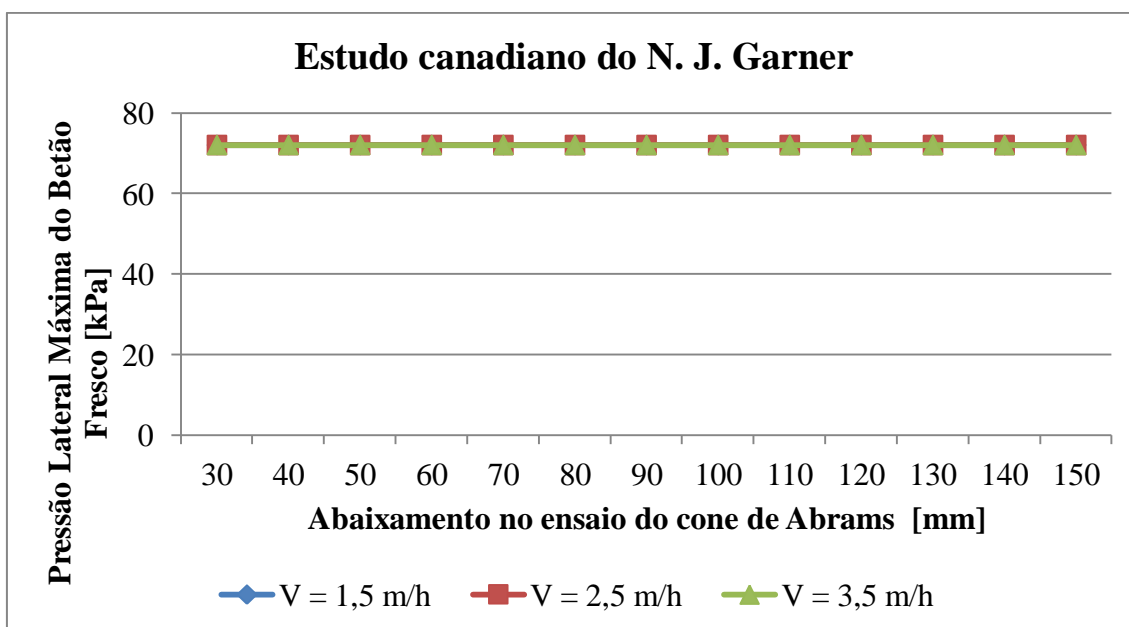


Gráfico 6 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams no Estudo canadiano do N. J. Garner.

No Gráfico 6 observa-se como varia a P_m , em função do valor do abaixamento no ensaio do cone de Abrams fazendo variar a velocidade de colocação do betão e conclui-se que quanto maior é a velocidade de colocação do betão e o abaixamento no ensaio do cone de Abrams maior é a P_m .

Nesta teoria e para a dimensão de cofragem analisada, 6,00 m de comprimento e 3,00 m de altura, conclui-se que o valor da P_m está limitado ao valor máximo $24 \times H$ [kPa], neste caso 72 kPa para qualquer valor de abaixamento no ensaio do cone de Abrams e qualquer velocidade de colocação do betão analisados.

Analisando as seguintes teorias, a norma alemã DIN 18218, a recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja" e o estudo canadiano do N. J. Garner, que são as que permitem considerar o valor do abaixamento no ensaio do cone de Abrams, e mantendo a velocidade constante, obteve-se:

➤ **Velocidade fixada em 1,5 m/h**

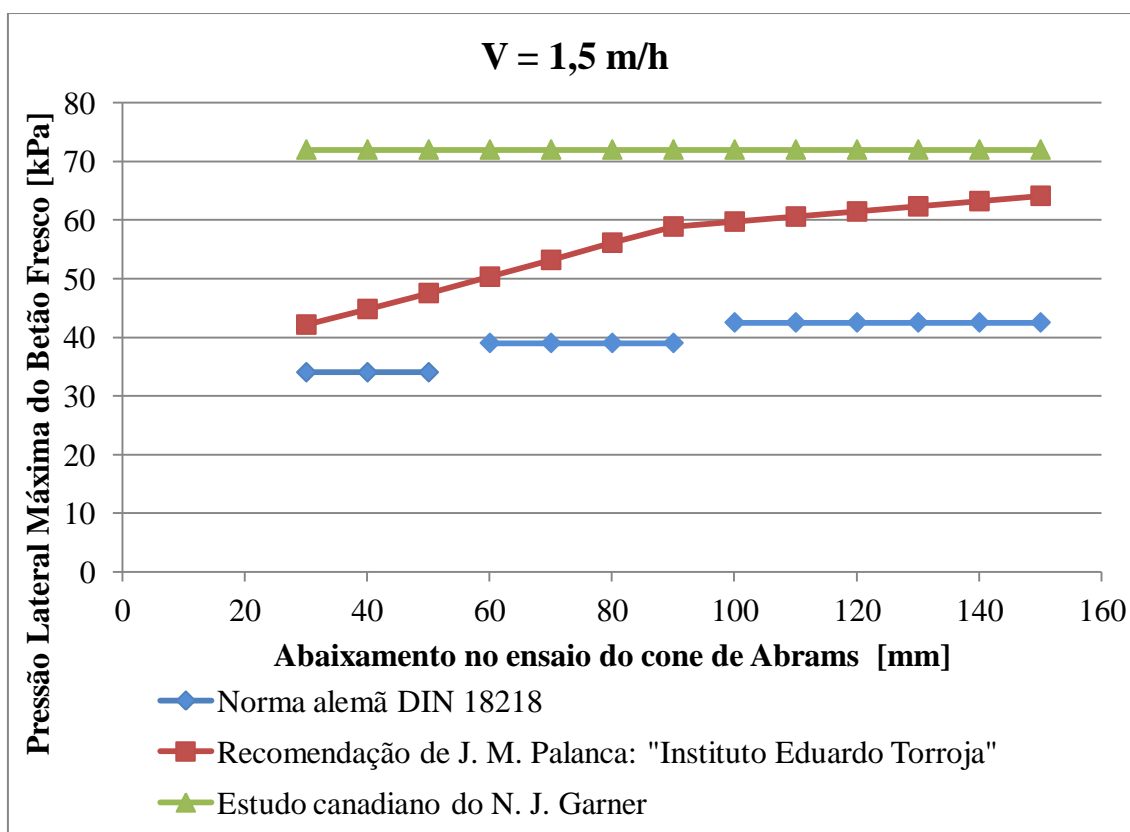


Gráfico 7 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams nas três teorias, com a velocidade fixada em 1,5 m/h.

Segundo o Gráfico 7, em que se observa como varia a P_m , nas 3 teorias, em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams, mantendo a velocidade de colocação do betão constante, 1,5 m/h, conclui-se que a norma alemã DIN 18218, é a que apresenta valores de P_m mais baixos e o estudo canadiano do N. J. Garner apresenta valores mais altos de P_m . Observa-se ainda que para o valor de abaixamento no ensaio do cone de Abrams de 150 mm:

- a norma alemã DIN 18218 apresenta uma P_m de 42,5 kPa;
- a recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja" apresenta uma P_m de 64,1 kPa;
- o estudo canadiano do N. J. Garner apresenta uma P_m de 72 kPa.

➤ **Velocidade fixada em 2,5 m/h**

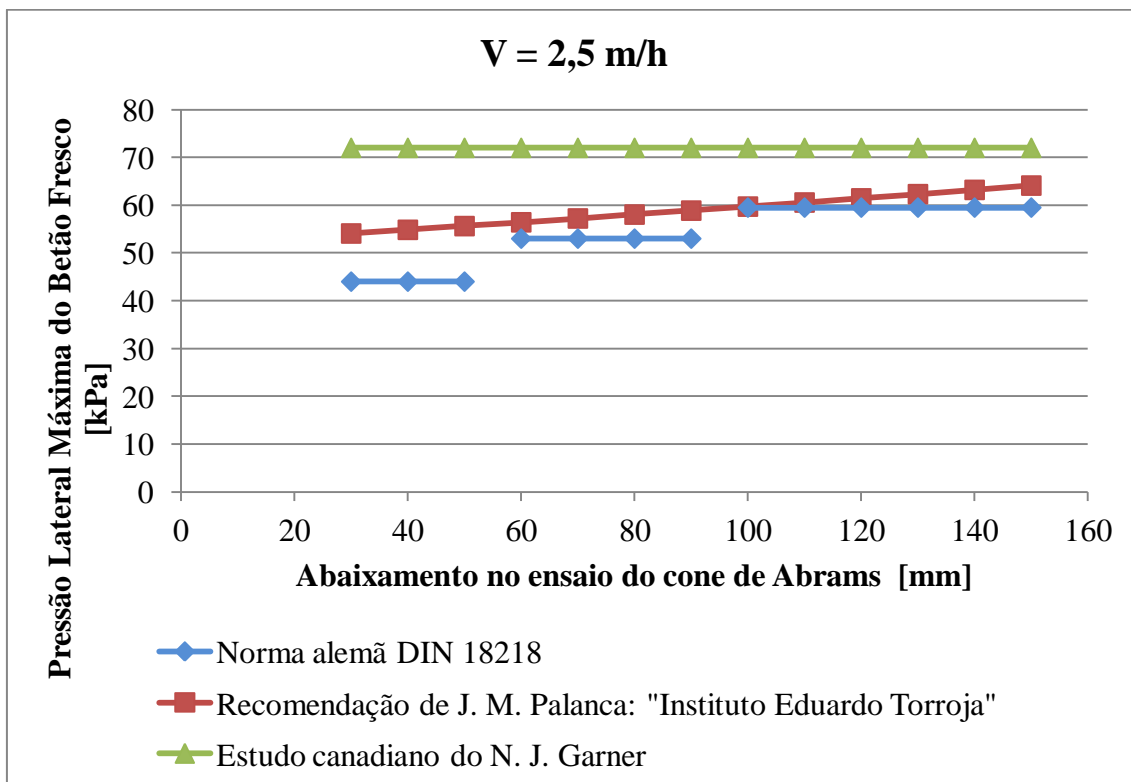


Gráfico 8 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams nas três teorias, com a velocidade fixada em 2,5 m/h.

Segundo o Gráfico 8, em que se observa como varia a P_m , nas 3 teorias, em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams, mantendo a velocidade de colocação do betão constante, 2,5 m/h, conclui-se que a norma alemã DIN 18218, é a que apresenta valores de P_m mais baixos e o estudo canadiano do N. J. Garner apresenta valores mais altos de P_m . Observa-se ainda que para o valor de abaixamento no ensaio do cone de Abrams de 150 mm:

- a norma alemã DIN 18218 apresenta uma P_m de 59,5 kPa;
- a recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja" apresenta uma P_m de 64,1 kPa;
- o estudo canadiano do N. J. Garner apresenta uma P_m de 72 kPa.

➤ **Velocidade fixada em 3,5 m/h**

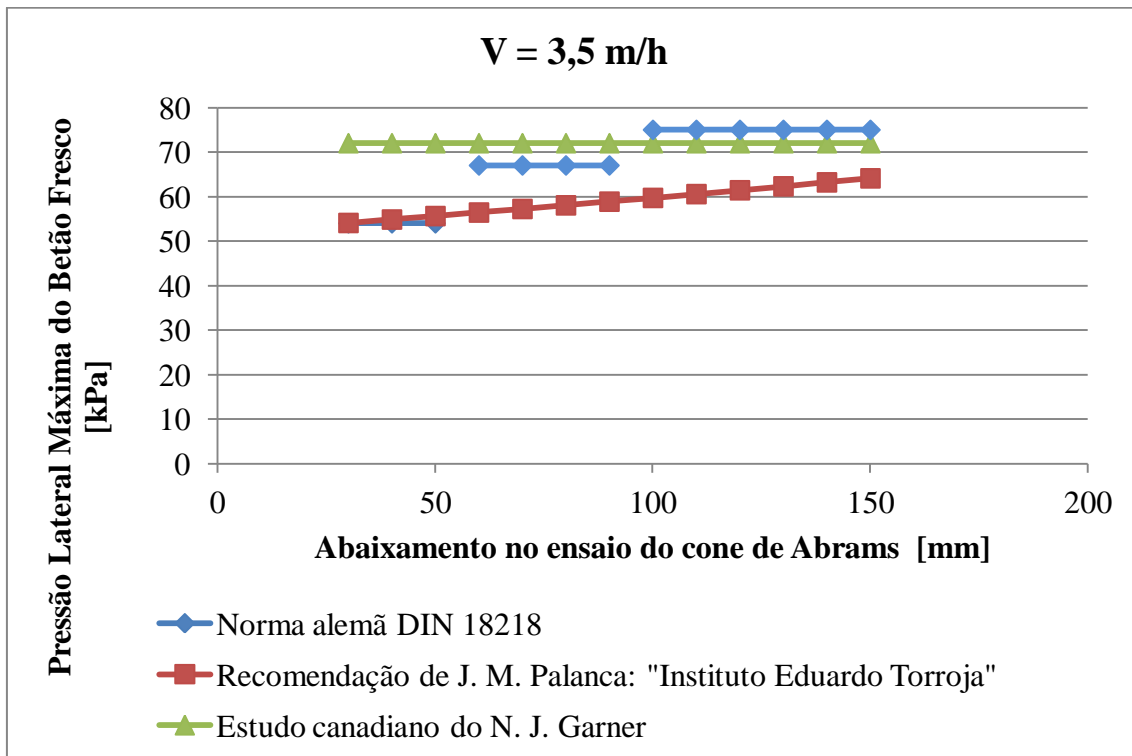


Gráfico 9 – Variação da pressão lateral máxima do betão fresco em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams nas três teorias, com a velocidade fixada em 3,5 m/h.

Segundo o Gráfico 9, em que se observa como varia a P_m , nas 3 teorias, em função do abaixamento no ensaio do cone de Abrams, mantendo a velocidade de

colocação do betão constante, 3,5 m/h, conclui-se que a norma alemã DIN 18218, é a que apresenta valores de P_m mais baixos até um valor de abaixamento no ensaio do cone de Abrams de 50 mm, desde os 50 mm os valores mais baixos de P_m são da recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja". O estudo canadiano do N. J. Garner apresenta valores mais altos de P_m até um valor de abaixamento no ensaio do cone de Abrams de 90 mm, desde os 90 mm os valores mais elevados de P_m são da norma alemã DIN 18218. Observa-se ainda que para o valor de abaixamento no ensaio do cone de Abrams de 150 mm:

- a norma alemã DIN 18218 apresenta uma P_m de 75 kPa;
- a recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja" apresenta uma P_m de 64,1 kPa;
- o estudo canadiano do N. J. Garner apresenta uma P_m de 72 kPa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para dar forma ao betão recorre-se a cofragens de modo a garantir a geometria da peça, existindo uma vasta gama de sistemas de cofragens disponíveis.

As cofragens tradicionais, mesmo apresentando todas as suas vantagens, têm vindo a ser substituídas pelas cofragens racionalizadas devido, por exemplo, àquelas envolverem mais mão-de-obra, aos elementos de maior secção serem mais caros e ao número de reutilizações. Neste sentido, a madeira começa a apresentar diversos defeitos que provocam uma desvalorização dos seus componentes.

Os sistemas de cofragens que se inserem no grupo das racionalizadas, constituídos por elementos normalizados, sobretudo nas suas dimensões, possibilitam um elevado número de reutilizações devido à qualidade dos seus elementos de ligação. Estes sistemas apresentam características ideais para em obra se obterem melhores superfícies de betonagem, assim como economizar na mão-de-obra e tempo de um ciclo de betonagem, permitindo economizar tempo na construção.

Com as cofragens racionalizadas é possível vencer qualquer obstáculo encontrado, quer na altura, quer na geometria dos elementos a serem betonados. Estas apresentam uma vasta gama de soluções para a cofragem de pilares, lajes, paredes, vigas, sapatas e até edifícios quando cofrados com o sistema túnel.

As cofragens racionalizadas também apresentam a vantagem de permitirem que todo o trabalho necessário seja realizado em segurança devido às escadas de acesso, aos guarda-corpos e às plataformas de trabalho. Em alguns sistemas estes componentes já estão inseridos e noutros há a possibilidade da montagem dos mesmos.

Alguns sistemas de cofragens racionalizados, por exemplo as mesas de cofragem, possuem acessórios de montagem, desmontagem e até de transporte para a realização de um trabalho mais eficiente.

Nas teorias analisadas para a pressão lateral máxima de betão fresco, P_m , de referir que o código americano A. C. I. 347/04 não permite considerar a variação do abaixamento no ensaio do cone de Abrams sendo este um dado com alguma influência

nas restantes três teorias analisadas, afirmando-se portanto como a teoria que em menos casos se pode aplicar, pois apresenta como único valor de abaixamento no ensaio do cone de Abrams, 120 mm.

As outras três teorias, a norma alemã DIN 18218, a recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja" e o estudo canadiano do N. J. Garner apresentam variação no valor o abaixamento no ensaio do cone de Abrams permitindo que estas sejam aplicadas em diferentes casos.

Das três teorias, a que faz a P_m variar mais com a velocidade de colocação de betão é a norma alemã DIN 18218. Na recomendação de J. M. Palanca: "Instituto Eduardo Torroja", quando a cofragem se encontra na zona de pressões granulares, o valor de P_m é independente da velocidade de colocação do betão, dependendo apenas do valor de abaixamento no ensaio do cone de Abrams.

No estudo canadiano do N. J. Garner e para a cofragem analisada, 6 m de comprimento por 3 m de altura, os valores de P_m estavam limitados ao valor máximo, $24 \times H$, neste caso 72 kPa.

Para o cálculo da P_m , o projectista da cofragem deve aplicar a teoria mais conveniente, de acordo com as condições específicas de uso e tendo em conta os parâmetros analisados em cada uma das teorias para assim obter o melhor resultado possível.

A cofragem deve apresentar como resultado final uma verdadeira reflexão de qualidade quer do método de cura como do acabamento do betão e de construção.

5. BIBLIOGRAFIA

Appleton, Júlio. *Execução de Estruturas de Betão*. Lisboa: IST, 2008.

Bennett, David. *Innovations in concrete*. London: Thomas Telford, 2002.

Cabrito, Arlindo José Ribeiro Mendes. *A Segurança e Saúde no Trabalho da Construção e a aplicação dos Princípios Gerais de Prevenção na fase de Projecto*. Dissertação de Mestrado, Minho: Universidade do Minho, 2002.

Daliform Group. *Cassaforma Muro Cofragens Perdidas para Betonagem Simultânea de Vigas de Fundação e Laje*.

Dias, Arq.º Pedro, Eng.º João Sales Gomes, e Eng.º Duarte Serrado e Arq.ª Susana Peneda. “Escoramentos e Cofragens.” *Processos de Construção*, Lisboa, 2004.

fib CEB - FIP. *Formwork and falsework for heavy construction*. Case Postale 88, CH-1015 Lausanne: DCC Document competence Center Küstl e. k. Germany, 2009.

Freitas, Cássio Stedetn de. “Cofragens.” Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia, Porto, 2010.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. “PPB (Prelajes) Pavimentos de Lajes Maciças Executadas a Partir de Prelajes de Betão Pré-Esforçado.” *Documento de Homologação*. Lisboa, Dezembro de 2007.

Lança, Pedro. “Processos de Construção - Cofragens.” Beja, 2007.

Lin, Michael Chew Yit. *Construction Technology for Tall Buildings (3rd Edition)*. Singapore: World Scientific, 2009.

Lopes, Duarte Barroso. *Cálculo de Cofragens de Acordo com o EC 5*. Dissertação de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2000.

Machado, Engº. Rui, Arq. Filipe Lopes, Prof. Jorge de Brito, e Prof. João Ramôa Correia. “Estruturas Pré-Fabricadas de Edifícios.” Apontamentos das Aulas de Tecnologia da Construção, Lisboa, 2011.

Mascarenhas, Jorge. *Sistemas de Construção XI- O Betão Armado. Cofragens de Edifícios. Aglomerados Orgânicos*. Lisboa: Livros Horizonte, 2009.

Metalo Ibérica, S.A. *Metalo-Ibérica*. 2011.
<http://www.metaloiberica.pt/artigos/cofiber01.asp> (acedido em 11 de Julho de 2011).

PERI. *Manual 2002 de Cofragens*. 2002.

PERI Portuga I- Cofragens e Andaimos - Cofragens, Cimbres, Escoramentos.
<http://www.peri.pt/index.cfm> (acedido em 5 de Julho de 2011).

Téchne. “Revista Téchné.” *Industrialização essencial*, Agosto de 2008.