
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



Tese apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia Civil

Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto

A pré-fabricação em betão em Edifícios

António José Soares de Magalhães - 1940158

Orientador: Professor José Lello

Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto

Arguente: Professor Ricardo Santos

Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto

Presidente do Júri: Professor Doutor Rui de Sousa Camposinhos

Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto

[2013]

AGRADECIMENTOS

À minha família,

À memória do meu pai.

À minha mãe, que fez de mim o homem que sou hoje e sempre me apoiou incondicionalmente no longo caminho que tenho seguido no enriquecimento da minha formação e na realização de novas conquistas, que me têm permitido tornar num homem mais íntegro e justo.

À minha mulher, que mais uma vez soube entender as minhas ausências e que me ajudou na difícil tarefa de gerir a minha relação de marido, pai, estudante e trabalhador, que se torna cada vez mais difícil à medida que os nossos filhos crescem.

Aos meus filhos, as minhas desculpas pela minha ausência, sendo certo que a sua educação sairá beneficiada pelo conhecimento que adquiri através desta experiência e que lhes vou transmitir no contacto de toda uma vida.

Aos meus irmãos o meu obrigado pela atenção e pelo respeito que demonstram pelo trabalho que desenvolvo.

Aos colegas e amigos, o meu obrigado a todos os que apoiaram e me incentivaram mesmo nos momentos mais difíceis, especialmente o Carlos, por todo o apoio prestado.

Ao Prof. José Lello, meu orientador, pela sua disponibilidade, pelo apoio prestado na realização deste projeto e pela sua orientação.

A todos os que durante estes dois anos conviveram comigo direta ou indiretamente e que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

No presente trabalho apresenta-se um levantamento com base na literatura especializada, das diversas soluções estruturais em betão pré-fabricado existentes, aplicadas em edifícios correntes, mais especificamente as soluções ao nível dos elementos que as constituem, nomeadamente no que respeita a ligações estruturais dos elementos, com combinações *in situ*, das estruturas pré-fabricadas e as moldadas em obra, aproveitando o que de melhor se pode obter de ambas as técnicas, com vista a obter um melhor resultado final.

Apesar do setor da construção civil estar em crise, tal como vários outros setores, as empresas de pré-fabricação apresentam soluções que poderão contrariar esta tendência, nomeadamente através da diversificação e flexibilização da sua produção, com inovação, criatividade e elevada qualidade.

Num mercado em que a construção de edifícios de raiz sofreu um grande abrandamento, começa a surgir no mercado a necessidade de se reabilitar as construções existentes, nomeadamente nos grandes centros das cidades que foram perdendo população ao longo dos tempos. Esta requalificação do espaço urbano permite o desenvolvimento de soluções estruturais pré-fabricadas, no que respeita à reabilitação dos elementos existentes, quer por justaposição para reforço das estruturas, quer por inserção de elementos novos para efetuar correções.

Os baixos custos de mão de obra, equipamentos e estaleiro, assim como a redução dos prazos de construção e entrega ao cliente final, dado que a produção não está dependente das condições existentes *in situ* para se desenvolver, destacam-se da construção civil tradicional.

A produção integral dos elementos pré-fabricados de betão em fábrica tem outras vantagens, entre as quais, um melhor planeamento e controle da segurança, um controle rigoroso de qualidade, a redução dos custos de reparação e manutenção, melhor sustentabilidade com redução da quantidade de resíduos produzidos.

Palavras-Chave: construção, ligações, pré-fabricação, betão armado, pré-fabricado de betão.

ABSTRACT

It is presented in this document a survey based on the literature, of various structural solutions in existing precast concrete and applications in current buildings, specifically the solutions at the level of the constituent elements, particularly the structural connections of the elements, with combinations *in situ*, of the precasted and molded work, leveraging the best that can be obtained from both techniques in order to obtain a better end result.

Despite of the crisis in construction industry, as well as several other sectors, companies have precasted solutions that can counteract this trend, particularly through diversification and flexibility of its production, with innovation, creativity and high quality.

In a market where the construction of new buildings suffered a major downturn, arises the need to rehabilitate the existing buildings, particularly in large urban centers, which have been losing population over time. This requalification of urban space allows the development of precasted structural solutions either by reinforcing old structural elements or by adding new ones.

The low cost of labor, equipment and construction yard, as well as reducing delays in construction and delivery to the end customer, since production is not dependent on existing conditions *in situ* to develop, stands out from traditional construction.

The full production of precast concrete in factory has other advantages, including better planning and security control, a strict quality control, reduced costs of repair and maintenance and improved sustainability with reduced amount of waste produced.

Keywords: construction, connections, precast, reinforced concrete, precast concrete.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS E METODOLOGIA	3
2.1	Objetivos	3
2.2	Metodologia de Desenvolvimento.....	3
2.2.1	Metodologia	3
2.2.2	Estrutura da Dissertação.....	4
3	ESTADO DA ARTE.....	5
3.1	A pré-fabricação na Indústria de Construção.....	5
3.1.1	Definição de pré-fabricação	5
3.1.2	O aparecimento do cimento.....	5
3.1.3	O betão pré-fabricado.....	7
3.1.4	A evolução da pré-fabricação.....	9
3.1.5	A pré-fabricação nos dias de hoje	20
3.1.5.1	Na Europa.....	20
3.1.5.2	Em Portugal.....	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Elementos estruturais pré-fabricados em betão.....	33
4.1.1	Fundações.....	33
4.1.2	Pilares	34
4.1.3	Vigas	35
4.1.4	Lajes	42
4.1.5	Escadas	45
4.1.6	Paredes	45
4.2	Sistemas estruturais pré-fabricados.....	47
4.2.1	Fundação e pilar	48
4.2.2	Pilares e vigas.....	48

4.2.3	Lajes piso e cobertura.....	49
4.2.4	Paredes.....	50
4.3	Ligações estruturais.....	52
4.3.1	Ligações de acordo com os esforços a transmitir.....	54
4.3.1.1	Força de compressão.....	55
4.3.1.2	Força de tração.....	61
4.3.1.3	Força de corte.....	64
4.3.1.4	Momento fletor.....	66
4.3.1.5	Momento torsor.....	66
4.3.1.6	Combinação de vários.....	67
4.3.2	Ligações entre elementos estruturais.....	67
4.3.2.1	Ligação pilar-fundação.....	67
4.3.2.2	Ligação pilar-pilar.....	81
4.3.2.3	Ligação viga-pilar.....	87
4.3.2.4	Ligação viga-viga.....	102
4.3.2.5	Ligação viga secundária-viga principal.....	104
4.3.2.6	Ligação laje-viga.....	107
4.3.2.7	Ligação laje-laje.....	111
4.3.2.8	Ligação laje-pilar.....	118
4.3.2.9	Ligações de painéis de parede.....	119
5	CARACTERÍSTICAS DA PRÉ-FABRICAÇÃO.....	129
5.1	Produção, transporte e montagem.....	129
5.1.1	Produção.....	129
5.1.2	Transporte.....	130
5.1.3	Montagem.....	131
5.2	Controle de produção.....	133
5.3	Flexibilidade do projeto.....	134
5.4	Flexibilidade do “Layout”.....	135

5.5	Capacidade de expansão.....	135
5.6	Baixa manutenção.....	135
5.7	Controle acústico.....	136
5.8	Certificação de qualidade.....	136
5.9	Proteção e segurança.....	136
5.10	Sustentabilidade.....	138
5.11	Ambientes controlados.....	139
5.12	Economia.....	139
6	CONCLUSÕES.....	141
7	PERSPETIVAS FUTURAS.....	143
8	BIBLIOGRAFIA.....	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Valor da produção de betão pré-fabricado na UE-27, entre 2005 e 2009.....	22
Figura 2 – Valor da produção de betão pré-fabricado em Portugal, entre 2005 e 2009.....	22
Figura 3 – Evolução da pré-fabricação de betão em 2009 face a 2008 (%).....	23
Figura 4 – Índice de produção mensal na Construção e Obras Públicas (2010-2011).....	24
Figura 5 – Distribuição das empresas segundo a evolução das vendas entre 2005 e 2008	27
Figura 6 - Distribuição das empresas segundo o grau de envolvimento em processos de certificação de sistemas de gestão	28
Figura 7 - Desemprego Total e Desemprego na Construção: Variação Homóloga trimestral (%)..	32
Figura 8 - Sapata pré-fabricada em cálice (Lagartixo, 2011).....	33
Figura 9 - Sapata betonada <i>in situ</i> (Lagartixo, 2011).....	33
Figura 10 – Algumas soluções possíveis de pilares pré-fabricados	35
Figura 11 – Vigas tipo de betão: retangular, “T” invertido, em forma de “L”, ou em forma de “T” (Paradigm).....	35
Figura 12 – Vigas de secção retangular endentadas (FIB, 2002).....	36
Figura 13 – Vigas principais de cobertura ou vigas delta (Painsa, 2013)	37
Figura 14 – Tipo de transporte para cargas pré-fabricadas	38
Figura 15 – Madre superior pré-fabricada pré-esforçada.....	39
Figura 16 – Vigas direitas	39
Figura 17 – Vigas caleira (Painsa, 2013)	39
Figura 18 – Vigas em “U” aberto (Painsa, 2013).....	40
Figura 19 – Vigas em “U” aberto, zona de ligação de vigas delta (Painsa, 2013)	40
Figura 20 – Ligações alternativas com diferentes aparências estéticas: a) ligações viga-pilar, b) ligações laje duplo “T” (FIB, 2008)	41
Figura 21 – Vigas com abas laterais.....	42
Figura 22 – Lajes maciças, lajes duplo “T” e lajes alveolares (Paradigm)	43
Figura 23 – Secção de escadas (PCI)	45
Figura 24 – Painel de parede (PCI)	45

Figura 25 – Sistemas pilar-viga, a) pilares e vigas de um único piso, b) pilares e vigas de vários andares (FIB, 2008).....	49
Figura 26 – Pisos típicos, a) laje alveolar, b) laje duplo “T” (FIB, 2008).....	50
Figura 27 – Interação e distribuição transversal dos efeitos de carga entre o piso pré-fabricado e núcleo oco dos elementos: a) carga concentrada, b) Detalhe de corte longitudinal (FIB, 2008)	50
Figura 28 – Exemplos de sistemas de parede, a) paredes de fachada, b) paredes de suporte de carga (FIB, 2008).....	51
Figura 29 – Paredes não estruturais (fachadas) (FIB, 2008)	51
Figura 30 – Ligações dotadas de dispositivos de ajuste nas três direções (Arnold, 2002).....	53
Figura 31 – Exemplos de zonas de conexão de elementos pré-fabricados que podem ser danificados por causa da força de compressão (FIB-Bulletin-43).....	55
Figura 32 – Ligações estruturais típicas em betão pré-fabricado sujeitas a forças de compressão (FIB, 2008).....	56
Figura 33 – Compressão do betão através de chapa de aço (Elliott, FIB).....	57
Figura 34 – Compressão do betão através de argamassa comum (Elliott, FIB).....	58
Figura 35 – Compressão do betão através de um assentamento no apoio (Elliott, FIB).....	58
Figura 36 – Transferência de força por meio da compressão de juntas em função do módulo de elasticidade (Elliott)	59
Figura 37 – Ligações à compressão (ENV 1992-1-3).....	59
Figura 38 – Fenómenos de splitting (fendimento), spalling (destacamento), crushing (esmagamento) e bursting	60
Figura 39 – Típicas juntas de compressão para ações combinadas (FIB).....	61
Figura 40 – Típicas juntas de compressão para ações combinadas (FIB).....	62
Figura 41 – Ligação de tração com armadura de espera em nichos preenchidos com betão (Arnold, 2002).....	63
Figura 42 – Ligação de tração por meio de sobreposição de armaduras em laço combinada com ação de pino (Arnold, 2002).....	63
Figura 43 – Junta de construção indentada (NP EN 1992-1-1).....	64
Figura 44 – Exemplo de uma junta de construção indentada.....	64
Figura 45 – Exemplo de junta de betonagem (NP EN 1992-1-1)	65

Figura 46 – Exemplos de ligações resistentes à flexão (Arnold, 2002)	66
Figura 47 – Exemplo uma de ligação resistente à torção (Arnold, 2002)	67
Figura 48 – Fundações de encaixe (NP EN 1992-1-1, 2008).....	68
Figura 49 – Ligação por encaixe (Stupré, 1981)	69
Figura 50 – Ligação por encaixe (Arnold, 2002)	69
Figura 51 – Ligação por encaixe (Sidney, 2000)	69
Figura 52 – Ligação com chumbadouros cravados com argamassa não retrátil (Arnold, 2002)	69
Figura 53 – Ligação com chumbadouros cravados com argamassa não retrátil (Sidney, 2000).....	70
Figura 54 – Ligação com chumbadouros cravados com argamassa não retrátil (Sidney, 2000).....	70
Figura 55 – Ligação com chumbadouros cravados com armamassa não retrátil (Sidney, 2000)	70
Figura 56 – Ligação aparafusada (Arnold, 2002).....	70
Figura 57 – Ligação aparafusada (Sidney, 2000).....	70
Figura 58 – Ligação aparafusada (Sidney, 2000).....	70
Figura 59 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981).....	71
Figura 60 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981).....	71
Figura 61 – Ligação por parafusos (Sidney, 2000)	71
Figura 62 – Ligação por emendas (Stupré, 1981)	71
Figura 63 – Ligação por chapa (Stupré, 1981).....	71
Figura 64 – Ligação por chapa (Stupré, 1981).....	71
Figura 65 – Ligação por chapa (Sidney, 2000)	72
Figura 66 – Ligação por chapa (Sidney, 2000)	72
Figura 67 – Ligação por chapa (Sidney, 2000)	72
Figura 68 – Ligação por chapa (Sidney, 2000)	72
Figura 69 – Ligação por chapa (Stupré, 1981).....	72
Figura 70 – Ligação por chapa (Stupré, 1981).....	72
Figura 71 – Ligação por soldadura a chapa (Stupré, 1981).....	73
Figura 72 – Ligação por soldadura a chapa (Stupré, 1981).....	73
Figura 73 – Ligação por soldadura a chapa e varões (Stupré, 1981)	73

Figura 74 – Ligação por ligadores de varões (Stupré, 1981).....	74
Figura 75 – Ligação por soldadura a varões (Stupré, 1981).....	74
Figura 76 – Ligação por pós-tensão (Stupré, 1981)	74
Figura 77 – Ligação por rótula (Stupré, 1981).....	75
Figura 78 – Ligação por ancoragens embutidas no betão	75
Figura 79 – Disposições construtivas das ancoragens embutidas no betão.....	76
Figura 80 – Ligação rígida pilar-fundação	77
Figura 81 – Ligação plástica pilar-fundação	77
Figura 82 – Ligações da base do pilar (PCI, 1999)	78
Figura 83 – Ligação pilar-sapata – Detalhes (Elliott, 1996).....	79
Figura 84 – Posições preferidas para emendas de colunas em vários andares. Estrutura multi-compartimentada (Elliott, 1996).....	82
Figura 85 – Ligação por ligadores de varões (Elliott, 1996).....	83
Figura 86 – Ligação por chapa soldada (Elliott, 1996)	83
Figura 87 – Ligação por chapa/varão de aço sobreposto soldado (Elliott, 1996).....	84
Figura 88 –Ligação por emendas (varões selados) (Elliott, 1996).....	84
Figura 89 – Ligação por emendas (varões selados) (Stupré, 1981).....	84
Figura 90 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981).....	84
Figura 91 – Ligação por soldadura de perfis nas faces (Stupré, 1981)	84
Figura 92 – Ligação por soldadura de chapas (Stupré, 1981)	84
Figura 93 – Ligação por pós-tensão (Stupré, 1981)	85
Figura 94 – Ligação por soldadura de chapas a varões (Stupré, 1981).....	85
Figura 95 – Ligação por ligadores de varões (Stupré, 1981).....	85
Figura 96 – Ligação por ligadores de varões (Stupré, 1981).....	86
Figura 97 – Ligação por soldadura de varões (Stupré, 1981).....	86
Figura 98 – Ligação por rótula (Stupré, 1981).....	86
Figura 99 – Configuração da deformada de uma estrutura não contraventada (Arnold, 2002)	88
Figura 100 – Ligação por consola curta metálica ligada por parafusos (Elliott, 1996).....	89

Figura 101 – Vigas assentes diretamente num pilar contínuo (Elliott, 1996)	90
Figura 102 – Vigas assentes diretamente num pilar contínuo (Sidney, 2000)	90
Figura 103 – Ligação por consola curta metálica (Stupré, 1981).....	90
Figura 104 – Ligação por consola curta metálica (Stupré, 1981).....	90
Figura 105 – Ligação por consola curta metálica (Stupré, 1981).....	90
Figura 106 – Ligação por consola curta metálica (Stupré, 1981).....	90
Figura 107 – Ligação por consola curta metálica (Sidney, 2000).....	91
Figura 108 – Ligação por consola curta metálica aparafusada (Sidney, 2000).....	91
Figura 109 – Ligação por consola curta metálica (Sidney, 2000).....	91
Figura 110 – Ligação por consola curta metálica (Sidney, 2000).....	91
Figura 111 – Ligação por consola curta metálica (Sidney, 2000).....	91
Figura 112 – Ligação por consola curta metálica (Sidney, 2000).....	91
Figura 113 – Ligação por consola curta com chapas soldadas (Sidney, 2000).....	92
Figura 114 – Ligação por consola curta com chapas soldadas (Sidney, 2000).....	92
Figura 115 – Ligação por consola curta metálica com armaduras em gancho (Stupré, 1981).....	92
Figura 116 – Ligação por consola curta metálica com armaduras em gancho (PCI, 1999).....	92
Figura 117 – Ligação por consola curta metálica com armaduras em gancho (Sidney, 2000).....	92
Figura 118 – Ligação por consola curta com armaduras em gancho (Sidney, 2000).....	92
Figura 119 – Ligação por consola curta metálica com armaduras em gancho (Sidney, 2000).....	93
Figura 120 – Ligação por consola curta de betão/aço com armaduras em ganho (Stupré, 1981)....	93
Figura 121 – Ligação por consola curta de betão com ferrolho (Stupré, 1981)	93
Figura 122 – Ligação por consola curta de betão com ferrolho (Sidney, 2000)	93
Figura 123 – Ligação por consola curta de betão com ferrolho (Sidney, 2000)	93
Figura 124 – Ligação por consola curta de betão (Stupré, 1981).....	93
Figura 125 – Ligações pilar-viga por perfis de aço (PCI, 1999)	94
Figura 126 – Ligação por placa deslizante oculta (Arnold, 2002)	95
Figura 127 – Ligação por chapas encaixadas ocultas (Arnold, 2002).....	95
Figura 128 – Ligação por placa deslizante oculta (Elliott, 2002).....	95

Figura 129 – Ligação por consola curta: ligação laje-parede (Arnold, 2002).....	95
Figura 130 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981).....	96
Figura 131 – Ligação por consola curta de betão e pré-esforço (Stupré, 1981).....	96
Figura 132 – Ligação por consola curta de betão e pré-esforço (PCI, 1999).....	96
Figura 133 – Ligação por consola curta de betão e chapas aparafusadas (Sidney, 2000).....	96
Figura 134 – Ligação por consola curta de betão e pré-esforço (Stupré, 1981).....	96
Figura 135 – Ligação por consola curta de betão e pré-esforço (Stupré, 1981).....	96
Figura 136 – Ligação por consola curta de betão e armadura ordinária (Elliott, 1996).....	97
Figura 137 – Ligação por consola curta de betão e armadura ordinária (Stupré, 1981).....	97
Figura 138 – Ligação por consola curta de betão e armadura com ligadores (PCI, 1999).....	97
Figura 139 – Interrupção de pilar e da viga com ligação por armaduras e betonagem <i>in situ</i> (PCI, 1999).....	97
Figura 140 – Ligação por betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981).....	97
Figura 141 – Ligação por chapas metálicas soldadas e com betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981).....	97
Figura 142 – Ligação por chapas metálicas soldadas com betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981).....	98
Figura 143 – Ligação por pré-esforço (Stupré, 1981).....	98
Figura 144 – Interrupção de pilar com ligação por armaduras (Stupré, 1981).....	98
Figura 145 – Interrupção de pilar com ligação por pré-esforço (Stupré, 1981).....	98
Figura 146 – Interrupção de pilar com ligação por varão roscado (Sidney, 2000).....	98
Figura 147 – Interrupção de pilar com ligação por grampos roscados (Sidney, 2000).....	98
Figura 148 – Interrupção de pilar com ligação por armaduras e betonagem integral do nó (Stupré, 1981).....	99
Figura 149 – Ligação por consola curta de betão e armadura (PCI, 1999).....	99
Figura 150 – Ligação com placa de apoio (aço) (Stupré, 1981).....	99
Figura 151 – Ligação com pré-esforço (Stupré, 1981).....	99
Figura 152 – Ligação com varões roscados e chapas (Sidney, 2000).....	100
Figura 153 – Ligação com ferrolho (Sidney, 2000).....	100
Figura 154 – Ligação por betonagem <i>in situ</i> do nó (Stupré, 1981).....	100
Figura 155 – Ligação por pré-esforço (Stupré, 1981).....	100

Figura 156 – Tipos de ligações viga-pilar sem sucesso	101
Figura 157 – Ligação por chapas metálicas verticais (Stupré, 1981).....	102
Figura 158 – Ligação por juntas em dente (consolas curtas) (Stupré, 1981)	102
Figura 159 – Ligação por juntas em dente (consolas curtas) (Stupré, 1981)	102
Figura 160 – Ligação por juntas em dente e varões superiores soldados (Stupré, 1981).....	103
Figura 161 – Ligação por juntas em dente e varões inferiores soldados (Stupré, 1981).....	103
Figura 162 – Ligação por juntas em dente e barras (Stupré, 1981).....	103
Figura 163 – Ligação por betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981).....	103
Figura 164 – Ligação por chapas metálicas aparafusadas e betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981).....	103
Figura 165 – Ligação por chapas metálicas aparafusadas e betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981).....	103
Figura 166 – Ligação por pré-esforço (Stupré, 1981).....	103
Figura 167 – Ligação por consola curta de betão (Stupré, 1981).....	105
Figura 168 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981).....	105
Figura 169 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981).....	105
Figura 170 – Ligação por parafusos ligados inferiormente (Stupré, 1981).....	105
Figura 171 – Ligação com armaduras em gancho (Stupré, 1981).....	105
Figura 172 – Ligação com armaduras em gancho (PCI, 1999).....	105
Figura 173 – Ligação por consolas curtas e chapas soldadas (Stupré, 1981).....	106
Figura 174 – Ligação por betonagem <i>in situ</i> do nó (Stupré, 1981).....	106
Figura 175 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981).....	106
Figura 176 – Ligação por barras de pré-esforço (Stupré, 1981)	106
Figura 177 – Ligação por varões soldados (Stupré, 1981).....	106
Figura 178 – Ligação de lajes alveolares através de amarração, em paralelo com a laje (Elliott, 1996)	108
Figura 179 – Ligação de lajes alveolares através de amarração, em paralelo com a laje (PCI).....	108
Figura 180 – Ligação de lajes através de chapas soldadas, assentes em neoprene , em paralelo com a laje (PCI)	108
Figura 181 – Ligação de lajes através de chapas aparafusadas, assentes em neoprene , em paralelo com a laje (PCI)	108

Figura 182 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas quadradas, através de chapas soldadas aparafusadas, em paralelo com a laje (PCI).....	108
Figura 183 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “T” invertido, através de chapas aparafusadas, assentes em neoprene, em paralelo com a laje (PCI).	108
Figura 184 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “T” invertido, através de armadura ordinária em lajes, assentes em neoprene , em paralelo com a laje (PCI)	109
Figura 185 – Ligação de lajes alveolares através de amarração, perpendiculares à laje de piso (Elliott, 1996)	109
Figura 186 – Ligação de laje com chapas aparafusadas na laje, assente em neoprene , perpendiculares à laje de piso (PCI).....	109
Figura 187 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “L”, com chapas soldadas, assentes em neoprene, perpendiculares à laje de piso (PCI)	109
Figura 188 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “L”, com chapas soldadas, assentes em neoprene, perpendiculares à laje de piso (PCI)	109
Figura 189 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene , numa viga metálica “T”, em paralelo com a laje (PCI).....	110
Figura 190 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene, perpendiculares à laje de piso (PCI).....	110
Figura 191 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas, em viga “L”, com junta seca, perpendiculares à laje de piso (Arnold, 2002).....	110
Figura 192 – Ligação de lajes duplo “T” apoiadas no encaixe na viga-parede, perpendiculares à laje de piso (PCI).....	110
Figura 193 – Ligação laje-laje com vigotas	113
Figura 194 – Exemplos de ligação laje-laje com vigotas (Stupré, 1981).....	114
Figura 195 – Ligação laje-laje com lajes alveolares	115
Figura 196 – Ligação laje-laje com lajes alveolares (Stupré, 1981)	115
Figura 197 – Ligação laje-laje (Stupré, 1981).....	116
Figura 198 – Ligação laje-laje com lajes abobadadas (Stupré, 1981).....	116
Figura 199 – Ligação laje-laje com pré-laje (Pavicer, 2013)	117
Figura 200 – Ligação laje-laje com lajetas (Pavicer, 2013)	117
Figura 201 – Ligação laje-laje com lajes duplo “T”.....	118

Figura 202 – Ligação laje-pilar pós-tensionada (Paradigm)	119
Figura 203 – Transmissão de forças de corte painéis de parede (Albarran, 2008).....	119
Figura 204 – Forças de tração nos painéis de parede resistente (FIB, 2008)	120
Figura 205 – Tensão e escorregamento em junta vertical em painéis de parede (Albarran, 2008)	120
Figura 206 – Ligação indentada típica entre painéis de paredes (Albarran, 2008)	121
Figura 207 – Ligações de parede-laje (PCI).....	123
Figura 208 – Ligações de parede-viga (PCI).....	123
Figura 209 – Pormenores de ligação de muros de vedação, pilares e fundação.....	125
Figura 210 – Ligações parede-estrutura (pilar e fundação)	126
Figura 211 – Ligações parede-fundação em cálice	127

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valor da produção (k €) de 2005 a 2009 (BIBM)	21
Tabela 2 – Valor da produção (k €) de betão pré-fabricado na UE-27 e Portugal (2005 a 2009)....	22
Tabela 3 – Volume de negócios e VAB_{pm} segundo a forma jurídica, por secção da CAE Rev. 3, 2011 (INE)	24
Tabela 4 – Fabricação de produtos de betão em Portugal em 2011 (INE).....	25
Tabela 5 – Fabricação de elementos pré-fabricados de betão em Portugal em 2011 (INE).....	25
Tabela 6 – Distribuição das empresas, segundo a evolução das vendas entre 2005 e 2008	27
Tabela 7 – Características das vigas delta (Painsa, 2013).....	38
Tabela 8 – Características das juntas de betonagem (NP EN 1992-1-1).....	64
Tabela 9 – Verificações de segurança de uma ancoragem à tração	81
Tabela 10 – Dimensões e pesos próprios dos principais tipos de pisos pré-fabricados.	112
Tabela 11 – Resistência de lajes de betão ou painéis de parede, Tipo X “Gypsum wallboard”	137

GLOSSÁRIO/SIGLAS/ABREVIATURAS

ANIPB - Associação Nacional dos Industriais de Pré-fabricação em Betão.

BIBM - Bureau International du Béton Manufacturé (Federação Europeia de Betão Pré-fabricado).

CAE - Classificação Portuguesa de Atividades Económicas.

CEN - Comité Européen de Normalisation (Comité Europeu de Normalização).

EUROSTAT – Gabinete de Estatísticas da União Europeia, situado em Luxemburgo. É a organização estatística da Comissão Europeia que produz dados estatísticos para a União Europeia e promove a harmonização dos métodos estatísticos entre os estados membros.

FGUE - Ficheiro Geral de Unidades Estatísticas.

FIB - Fédération Internationale du Béton (Federação Internacional de Betão).

FIP - Commission on Prefabrication (Comissão de Pré-fabricação).

Grout – Argamassa não retrátil.

INE – Instituto Nacional de Estatística.

ISO - International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização).

PCI - Precast/Prestressed Concrete Institute (Instituto de Betão Pré-fabricado e Pré-esforçado).

Prodcom - Production Communautaire (Produção Comunitária).

Valor acrescentado bruto a custo de fatores (VAB_{cf}) – Valor de produção deduzido das compras de bens e serviços (excluindo as mercadorias), mais ou menos consoante a variação positiva ou negativa dos stocks de matérias-primas subsidiárias e de consumo, e deduzidos de outros impostos sobre a produção ligados ao volume de negócios, mas não dedutíveis. Representa a fração que fica para distribuição do VAB, após o pagamento de todos os impostos sobre a produção e o recebimento de todos os subsídios sobre a produção.

Valor acrescentado bruto a preços de mercado (VAB_{pm}) – Corresponde ao valor criado pelo processo produtivo durante o período de referência e é obtido pela diferença entre a produção e os consumos intermédios.

Volume de negócios (VVN) – Valor líquido das vendas e prestações de serviços respeitantes às atividades normais da empresa, após as reduções em vendas e não incluindo o imposto sobre o valor acrescentado nem outros impostos diretamente relacionados com as vendas e prestações de serviços. Corresponde ao somatório das contas 71 e 72 do Sistema de Normalização Contabilística.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da pré-fabricação, tal como a indústria da construção, encontra-se em desaceleração na Europa, devido à forte crise financeira e económica, que se está a atravessar a nível mundial. Os efeitos imediatos que se fazem sentir passam pela redução da procura global e os fluxos de comércio, resultado da crise de crédito que afeta o setor da construção, tendo como consequência contrações do crescimento.

A produção de betão pré-fabricado caiu na maioria dos países europeus, tendo caído na União Europeia 28%, entre 2008 e 2009, correspondendo a 26 mil milhões de euros. Em países como a Estónia, Alemanha, Grécia, Letónia e Lituânia a produção caiu mais de 50%, tendo em Portugal caído 17%, ficando abaixo da média europeia (EUROSTAT).

No ano de 2011, a construção e as atividades imobiliárias foram os setores que registaram maiores diminuições nos principais indicadores económicos, com menos 16,6% e menos 16,5%, respetivamente, tendo forte impacto na indústria de construção, constituída por 99.179 empresas, causando impacto direto na redução do número de empresas e de pessoas ao seu serviço (INE).

As empresas portuguesas têm que se modernizar para fazer face às novas realidades e exigências do mercado, contrariando a tendência instalada, aumentando a competitividade das empresas e da economia no atual contexto de globalização.

Nesse sentido é necessário o Estado ter um papel ativo, impondo uma política que fomente a economia e a criação de emprego, modernizando o mercado de trabalho e criando condições para o aumento da produtividade e competitividade, potencializando as empresas para o crescimento e para uma eventual internacionalização. A aposta deve ser na inovação, no empreendedorismo e numa maior internacionalização da economia nacional.

As empresas de pré-fabricação deverão responder ao desafio, através da diversificação e flexibilização da sua produção, com inovação, criatividade e elevada qualidade.

A sua evolução depende da evolução do contexto económico e do crescimento do setor da construção.

A capacidade de desenvolvimento rápido das soluções pré-fabricadas é um fator decisivo no prazo de execução da construção e entrega ao cliente final, facilitando as relações “win-win”¹, permitindo uma redução de custos em mão-de-obra, equipamentos e estaleiro.

¹ Relação em que todos os envolvidos ficam a ganhar. Neste caso, o industrial de pré-fabricação, o construtor e o cliente/utilizador.

Dentro deste quadro, a pré-fabricação apresenta-se como a solução mais económica e mais viável à construção tradicional. Por um lado, reduzindo os custos financeiros dos investimentos, e por outro, permitindo reduzir o planeamento da produção, encurtando os prazos de execução das empreitadas.

A pré-fabricação reduz a atividade do estaleiro, uma vez que muitos dos componentes da construção passam a ser preparados em fábrica, sendo posteriormente transportados para o local da construção. O estaleiro passa a ser o local de montagem dos produtos industrializados pré-fabricados, pois todas as intervenções são efetuadas em fábrica.

A possibilidade de uniformização de uma grande parte dos elementos de construção, permitindo tirar maior proveito dos moldes, tanto em quantidade como em qualidade, devido ao aproveitamento dos materiais de moldagem, assim como a redução e rentabilização da mão de obra afeta à operação, simplificando o processo, têm como consequência a redução de custos, tanto no custo da pré-fabricação, assim como no custo da construção e no aumento da produtividade. O processo de pré-fabricação é o que melhor se pode enquadrar no conceito “lean construction”².

A indústria de pré-fabricação deve aumentar a sua participação na industrialização da construção de edifícios nos próximos anos, devendo esta ser uma tendência internacional, acompanhada por Portugal.

Para além das vantagens já mencionadas, a produção integral dos elementos pré-fabricados de betão em fábrica tem outras vantagens, que se destacam do processo: a verificação prévia da segurança e o controle rigoroso da qualidade durante a produção; a acessibilidade do material torna-o relativamente mais barato, assim como os custos de reparação e de manutenção; a sustentabilidade, uma vez que as matérias-primas são genericamente naturais e existem em grandes quantidades, minimizando o impacto sobre o meio ambiente e a quantidade de resíduos produzidos é reduzido; a rapidez de execução, uma vez que a produção não está dependente das condições existentes *in situ* para se desenvolver.

² Este conceito propõe aumentar o valor do produto através da consideração dos requisitos dos clientes, reduzir o tempo de ciclo, reduzir a parcela de atividades que não agregam valor, simplificar através da redução de passos, partes e ligações, focar o controlo no processo global, manter equilíbrio entre melhorias de fluxo e nas conversões, reduzir a variabilidade, aumentar a transparência do processo, aumentar a flexibilidade do resultado final, introduzir melhoria contínua no processo, e por fim fazer a análise comparativa (benchmarking).

2 OBJETIVOS E METODOLOGIA

2.1 Objetivos

Com o presente trabalho pretende-se fazer um levantamento das diversas soluções estruturais pré-fabricadas em betão existentes, aplicadas em edifícios correntes, nomeadamente as soluções ao nível dos elementos que as constituem, tendo como preocupação as questões de segurança, qualidade e sustentabilidade, tanto no fabrico e armazenamento como no transporte e montagem *in situ*.

Aborda-se a questão das ligações estruturais nas suas diversas variantes ao nível do projeto, do fabrico e da montagem em obra, tendo como preocupação a transmissão dos esforços e ações atuantes nos elementos quando se encontram montados na estrutura, assim como as ações a que estes elementos estão sujeitos, quando posicionados de maneira diferente à qual estão vocacionados.

2.2 Metodologia de Desenvolvimento

2.2.1 Metodologia

Neste estudo foi aplicada uma metodologia tendo por base as seguintes fases:

- **Pesquisa bibliográfica e estado da arte**
Procede-se ao levantamento da bibliografia existente sobre o tema da pré-fabricação em betão, procede-se ao seu enquadramento, à sua definição e caracterização, à sua evolução histórica até ao seu estado atual, mais precisamente a análise estatística nacional e europeia, e aos objetivos políticos atuais e futuros.
- **Levantamento e caracterização do processo de pré-fabricação**
Efetua-se o levantamento e caracterização do processo de pré-fabricação, nomeadamente dos elementos pré-fabricados de betão e as soluções para as ligações estruturais.
- **Identificação de práticas e processos**
Identificam-se e caracterizam-se as situações decorrentes do processo de fabrico, transporte e montagem *in situ*.

- **Conclusões e desenvolvimentos futuros**

São apresentadas conclusões sobre o tema analisado e as perspectivas de trabalhos futuros, a serem desenvolvidos neste âmbito.

2.2.2 Estrutura da Dissertação

A dissertação está organizada em sete capítulos, estando assim estruturada.

O **primeiro capítulo** é composto pela introdução do assunto em estudo, fazendo o enquadramento do tema e identificando a temática alvo.

O **segundo capítulo** é onde são definidos os objetivos, descrita a metodologia adotada e apresentada a estrutura da dissertação seguida.

No **terceiro capítulo** é efetuado o levantamento do estado da arte, da revisão bibliográfica, definindo-se os conceitos principais, o enquadramento histórico e normativo, e a análise dos dados estatísticos.

No **quarto capítulo** são descritos os vários elementos pré-fabricados de betão e os diferentes tipos de ligações estruturais.

No **quinto capítulo** são analisadas as características da pré-fabricação, referentes ao projeto, produção e obra, nomeadamente nos campos da qualidade, ambiente, segurança e economia.

No **sexto capítulo** são apresentadas as principais conclusões sobre o assunto analisado.

No **sétimo capítulo** é debatida a perspectiva de desenvolvimento de trabalhos futuros.

3 ESTADO DA ARTE

3.1 A pré-fabricação na Indústria de Construção

3.1.1 Definição de pré-fabricação

Para melhor perceber a importância da pré-fabricação é necessário perceber o seu conceito, pelo que se enunciam algumas definições:

”Fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra”. (Revel, 1973)

Segundo Revel (1973), a pré-fabricação é a produção de elementos de construção civil em indústrias, a partir de matérias-primas e semi-produtos cuidadosamente escolhidos e utilizados, sendo após a sua produção transportados até obra onde se processa a sua montagem.

“A pré-fabricação é uma forma de manifestação da industrialização”. V. Halasz, Prof.

“Por pré-fabricação entende-se a produção de elementos de construção fora do local do seu destino final, tratando-se de elementos que na construção tradicional se realizariam *in situ*”. Lewicki, Prof.

“A pré-fabricação é um método industrial da construção em que se fabricam grandes séries de elementos e a sua montagem processa-se em obra com a utilização de equipamentos e dispositivos elevatórios” (Koncz, 1975).

“A pré-fabricação é um método para simplificar a construção, por aumento da percentagem de trabalho concluído antes ser construído”(Kelly, 1951).

De uma forma simplista e pragmática, a pré-fabricação é definida como a preparação externa dos componentes da construção, fazendo uso dos mesmos no local da construção.

3.1.2 O aparecimento do cimento

A preocupação de criar pedra artificial, através de um material ligante que conseguisse unir partes de pedra numa massa sólida e coesa e tornar numa “pedra maior” vem já das civilizações antigas.

Os Assírios e Babilónios utilizaram a argila como material ligante, os Egípcios descobriram e utilizaram a cal e o gesso, os Gregos introduziram melhorias, mas foram os Romanos que desenvolveram um cimento altamente durável, o *caementum*, uma combinação de cal com "pozzolana", uma cinza vulcânica na zona de Pozzuoli. Este cimento oferecia maior resistência à ação da água, doce ou salgada.

O “redescobrimto” do cimento deve-se ao britânico, John Smeaton, um dos grandes engenheiros do século XVIII. Foi o resultado de numerosas experiências realizadas na década de 1750, onde se constatou que a mistura da argila com a cal viva, por ação da água, conduzia a um processo de colagem e endurecimento.

Com a construção do farol de Eddystone, na costa da Cornualha, em Inglaterra, no ano de 1774³, houve a necessidade de construir uma estrutura sólida, uma vez que os anteriores faróis haviam sido destruídos pelas tempestades e pela força do mar. O que levou a que, pela primeira vez fossem utilizados os cimentos hidráulicos. Este ligante consistia numa mistura de cal viva, argila, areia e escória de ferro em pó, tendo sido feita a edificação com pedras ligadas por este cimento (Giedion, 2009).

Em 1796, o britânico James Parker desenvolveu um cimento obtido através da calcinação de pedaços de calcário impuro contendo argila. Este cimento, o cimento de Parker, também ficou conhecido como cimento romano. Após se ter verificado a aplicabilidade desta invenção nas construções, James Parker vendeu a sua patente à família Wyatt, uma família tradicional de engenheiros e arquitetos Ingleses.

Mais tarde, em 1824, Joseph Aspdin, de Leeds, dando continuidade às experiências de Smeaton, utilizando materiais tal como se encontravam em estado natural, produziu o primeiro ligante hidráulico, que endurecia por ação da água. O método consistia em combinar proporções bem definidas de calcário e argila, reduzi-las a pó e calciná-las num forno, de forma a obter clínquer, que depois era moído até se transformar em cimento, denominando-se de cimento Portland, devido à cor e às características semelhantes com as das pedras da Ilha de Portland.

Em 1824, Joseph Aspdin patenteou o processo de fabrico de um ligante hidráulico, uma combinação ideal dos componentes, criando um material que haveria de modificar toda a cultura construtiva do século seguinte.

O fabrico industrial do cimento Portland despoletou, em meados do século XIX, o desenvolvimento dos processos industriais de pré-fabricação de elementos resistentes em betão, em alternativa aos elementos de ferro laminado que se produziam então.

O cimento Portland é hoje uma combinação química bem proporcionada de cálcio, sílica, ferro e alumínio, sujeito a um processo de fabrico complexo.

³ Há alguns autores que dizem que a construção do farol de Eddystone se deu em 1758, outros em 1759.

3.1.3 O betão pré-fabricado

O betão é a segunda substância mais consumida na Terra, depois da água, pelo que é um material essencial.

O betão, apesar de ser um material de construção relativamente recente, teve um importante papel no desenvolvimento da arquitetura moderna devido às suas características particulares. A sua fluidez e capacidade de ser moldável possibilitam uma vasta variedade de soluções na materialização da conceção arquitetónica.

A definição mais simples de betão é, uma mistura de areia, brita e/ou outros agregados, ligados por cimento e água.

$$\text{Betão} = \text{Agregados} + \text{Cimento} + \text{Água}$$

O betão armado resulta da adição de armaduras de aço a esta mistura. A montagem destas armaduras é efetuada de acordo com o estipulado nos projetos da especialidade. Este processo resulta do escoramento prévio, da montagem de cofragem, montagem de armaduras e por fim a betonagem propriamente dita, isto é, descarregar o betão fresco sobre estes.

O betão armado, após o tempo de cura, apresenta a sua resistência máxima. Segundo Camposinhos⁴, do ponto de vista técnico trata-se de transformar pedra natural (agregados, cimento, ferro) em pedra artificial.

Um produto de betão pré-fabricado resulta da produção em fábrica de elementos simples em betão e que mais tarde, juntamente com outras peças se tornará parte de uma estrutura maior. Os elementos pré-fabricados de betão são preparados, moldados e curados nas fábricas, sendo produzidos integralmente em fábrica, e posteriormente transportados e montados em obra. As principais vantagens desse processo são:

- **Segurança e controle de qualidade:** as características do betão endurecido e a posição dos reforços podem ser verificados antes da inclusão de um elemento na obra. A qualidade intrínseca de um produto industrial, fabricado com controle ambiental e com métodos adequados;
- **Acessibilidade:** o betão pré-fabricado combina a excelente qualidade da produção fabril com o material relativamente barato. Os custos de reparação e de manutenção das estruturas de betão são baixos.

⁴ Professor Coordenador com Agregação do ISEP, Diretor do Mestrado de Engenharia Civil e Regente da Unidade Curricular Tecnologias das Fachadas.

- **Sustentabilidade:** feito de matérias-primas naturais, disponíveis em quase todos os locais e em grandes quantidades, o betão pré-fabricado minimiza o impacto sobre o meio ambiente.
- **Rapidez:** a produção não está dependente das condições climáticas e pode ser executada separadamente independentemente do local da obra de construção onde se pretende aplicar. O uso de elementos de betão pré-fabricado pode por vezes reduzir os inconvenientes causados pela execução *in situ*.

Orientações de desenvolvimento futuro a ter em consideração

Eficiência energética em edifícios

É a chave para o desafio da mudança climática, 40% do consumo de energia é devido ao uso do edifício. O setor da construção representa um enorme potencial na área de redução do consumo de energia. As orientações políticas que já estão em vigor, através de legislação apropriada, devem assegurar a sua implementação a nível nacional.

Investimentos inteligentes em infraestruturas e de adaptação às mudanças demográficas

A economia principal precisa de infraestruturas eficientes. Investir na melhoria das infraestruturas existentes é uma forma de contribuir para a recuperação económica, com ambos os efeitos de curto prazo e de longo prazo. Os edifícios residenciais devem ser adaptados a duas tendências demográficas distintas. Em primeiro lugar, o envelhecimento da população que exige uma adaptação em profundidade das infraestruturas existentes, e em segundo lugar, o aumento de jovens e pessoas requer a construção de novos edifícios, acessíveis e agradáveis.

Uma política integrada de matérias-primas

Manter uma indústria inovadora e sustentável é uma estratégia de grande importância para a realização dos objetivos da União Europeia (UE). A principal necessidade da indústria é a obtenção de matérias-primas primárias e secundárias de qualidade, de uma forma constante e acessível. As políticas sobre matérias minerais, disponíveis localmente, em grandes quantidades, devem favorecer a acessibilidade de uma forma sustentável.

Um quadro político estável e coordenado

A definição da política deve ser orientada por uma estratégia a longo prazo, compartilhada pelos tomadores de decisão, ao nível nacional e da UE. O desenvolvimento industrial e a inovação só são possíveis num quadro estável, onde as políticas para o setor da construção são bem coordenadas entre os diferentes atores envolvidos.

3.1.4 A evolução da pré-fabricação

- **A partir de 1890**

O grande impulsionador da utilização do betão armado em grande escala foi o construtor francês, François Hennebique, em 1890. O seu conhecimento, ainda que empírico, sobre as características dos diferentes materiais, do ferro e do betão, assim como o seu conhecimento sobre a sua combinação, a disposição das barras de ferro para armar o betão em função das solicitações das cargas, permitiu o desenvolvimento das primeiras aplicações.

O sistema desenvolvido baseava-se na decomposição da estrutura em elementos reticulares formados por pilares, vigas e lajes em betão armado, reduzindo a estrutura dos edifícios ao esqueleto portante.

No entanto este método empírico não era reconhecido por todos e na Alemanha em oposição a este método surgiu uma escola de engenharia que desenvolveu métodos de cálculo das estruturas em função do comportamento do betão. Este método científico foi baseado nos sistemas desenvolvidos anteriormente por Monier, nomeadamente a patente, de 1877, das vigas pré-fabricadas, onde se explicava o papel do ferro no material.

O sistema alemão, desenvolvido por Wayss e Freytag, baseava-se na arquitetura da laje, cujas formalizações expressam as possibilidades do novo material na realização de cascas e superfícies curvas esbeltas.

As duas formas de conceção estrutural do betão armado deram origem a duas correntes, o sistema francês e o sistema alemão.

- **Fim do século XIX - 1891**

Já no fim do século XIX, em 1891, a Coighet, a primeira empresa de pré-fabricação de betão, tinha viabilizado tecnicamente a pré-fabricação, através da aplicação de vigas pré-fabricadas de betão armado no casino de Biarritz, aberto em 10/08/1901 (Koncz, 1966).

- **Finais do séc. XIX e até ao final da Segunda Guerra Mundial**

A indústria da pré-fabricação foi fortemente impulsionada com o desenvolvimento do betão armado. Este começou a ser utilizado como material de eleição na construção, desde os finais do séc. XIX até ao final da Segunda Guerra Mundial, permitindo o aparecimento de soluções e aplicações de pré-fabricação. Já no final do século XIX, o betão armado tinha conseguido um papel importante no contexto técnico/económico no setor da construção civil, sobretudo pelas construções desenvolvidas pelos engenheiros François Hennebique, François Coignet, Gustav Adolf Wayss, Conrad Freytag e Paul Cottancin.

Os fatores técnicos que pesaram nesta escolha foram a sua grande resistência estrutural, a sua boa resistência ao fogo e a capacidade de ser facilmente trabalhado em molde (cofragens), permitindo a libertação da criatividade dos projetistas, nomeadamente face às construções em aço, juntando-se ao fator económico, resultante da utilização de matérias-primas baratas, permitindo um produto final mais económico.

No entanto persistiam algumas dificuldades do ponto de vista prático, para a implementação da tecnologia do betão, nomeadamente o custo do transporte dos elementos pré-fabricados, da fábrica para a obra, sendo justificado economicamente apenas em aplicações em larga escala, logo em projetos de considerável dimensão estrutural e económica.

- **Início do século XX**

Nos primeiros anos do século XX, John Conzelmann patenteia um procedimento para a construção de edifícios de vários pisos, com elementos pré-fabricados de betão armado. Já em França, os arquitetos Auguste Perret, Jean Prouvé, Le Corbusier, Eugène Beaudouin e Marcel Lods realizam experiências em pré-fabricação, para tentar solucionar o problema da falta de habitação, tendo como objetivo a rapidez de construção e economia de meios, aperfeiçoando a sistematização de elementos e processos.

Destes destacou-se o arquiteto suíço Le Corbusier, nas várias soluções pré-fabricadas que estudou com vista à produção de habitações em série, sendo a “Casa Domino”, em 1915, o seu primeiro resultado neste tipo de estrutura. O processo construtivo consistia na definição de um sistema estrutural (o esqueleto) completamente independente das funções da habitação, atualmente equivalente ao projeto de estruturas. O “plan libre”, um dos conceitos elementares da arquitetura moderna, considerava a independência entre o sistema estrutural (este suportava apenas as lajes e as escadas), a fachada e a divisão interna, dando liberdade total à organização interior do espaço. O princípio de construção da “Casa Domino” consistia no fabrico de elementos normalizados, que se combinariam entre si, permitindo uma grande diversidade de soluções na disposição funcional das casas e na agregação do seu conjunto.

Em 1921, Le Corbusier apresenta também o projeto da casa “Citroam”. Neste tenta realizar uma produção em série de casas num sistema automatizado, semelhante à produção de automóveis, inspirado na famosa produção do modelo T da marca americana Ford.

- **Depois da Primeira Guerra Mundial**

Depois da Primeira Guerra Mundial realizaram-se outras iniciativas, no campo da pré-fabricação de edifícios. Arquitetos como Le Corbusier em 1921, Buckminster Fuller em 1927, tentaram resolver os problemas de habitação que existiam nos seus países recorrendo à pré-fabricação. Foram Marcel Lods e Beaudouin, em 1930, que projetaram as primeiras casas pré-fabricadas em França, na “Cité

des Oiseaux", em Bagneuse. Porém, estas iniciativas tiveram pouca repercussão, dado não existir viabilidade económica dos processos de pré-fabricação utilizados.

A partir da Primeira Guerra Mundial, devido à necessidade urgente em criar alojamentos de forma rápida e económica, deu-se início à pré-fabricação em massa de componentes na indústria da construção de edifícios, de maneira a responder ao programa habitacional em curso, nomeadamente a habitação multifamiliar de cariz social. Desta forma deu-se a implementação de sistemas de pré-fabricação, onde se incluiu os elementos em betão armado.

Além deste programa, também foram aplicadas soluções em programas industriais e de equipamentos, como por exemplo escolas, e que constituem peças marcantes de arquitetura.

- **Década de 1940**

Na final da década de 1940, surgem em Portugal as primeiras experiências de pré-fabricação, em asnas e vigas trianguladas industriais.

Neste período, em 1941, os arquitetos Gropius⁵ e Konrad Wachsmann⁶, conjuntamente, estudaram soluções para resolver os problemas de habitação existentes na Alemanha.

- **Após a Segunda Guerra Mundial (1945)**

Já na década de 1950, surgiram construções mais significativas, totalmente pré-fabricados, que incluíam pavilhões industriais.

Segundo Ordonéz (1974), a verdadeira história da pré-fabricação como “*manifestação mais significativa da industrialização na construção*”, iniciou-se após a Segunda Guerra Mundial, principalmente na Europa, devido à necessidade de se construir em grande escala. As enormes carências de edifícios, provocadas pela destruição maciça das cidades, vilas e aldeias devido aos bombardeamentos, pela grande explosão demográfica e da concentração industrial nas grandes cidades despoletaram a necessidade urgente de construção rápida e económica.

Tornava-se necessário construir num curto espaço de tempo e em grande quantidade. O recurso ao pré-fabricado em betão como elemento construtivo essencial, para solucionar o elevado défice de

⁵ Walter Gropius (1883- 1969) nasceu em Berlim, na Alemanha, fundador da Staatliches Bauhaus, mais conhecida por Bauhaus (casa estatal de construção), escola de design, artes plásticas e arquitetura de vanguarda que funcionou entre 1919 e 1933 na Alemanha. A partir de 1937 emigra para os Estados Unidos para lecionar na Universidade de Harvard, onde em 1938 torna-se diretor do departamento de Arquitetura. Nos Estados Unidos, começou a desenvolver arranha-céus, criando conceitos arquitetónicos que seriam exaustivamente copiados nas décadas seguintes.

⁶ Konrad Wachsmann (1901-1980) nasceu na Alemanha e trabalhou em Berlim, a partir da segunda metade dos anos 1920 como chefe de uma das maiores fábricas de elementos pré-fabricados em madeira da Europa. Emigrou posteriormente para os Estados Unidos onde trabalhou como colaborador de Walter Gropius.

construções acentua-se, tendo como objetivo a realização de grandes produções em série. A construção voltava-se assim para a pré-fabricação (Koncz, 1975).

A produção em série tornava-se rentável, devido à mecanização das linhas de produção, o que foi possível graças à adoção por parte dos projetistas de elementos lineares, com grande aplicabilidade em diversas obras. Foi o começo da industrialização da construção, marcado pela quantidade e pela necessidade da massificação da construção, com o objetivo da resolução das grandes carências habitacionais (Pinto, 2000).

Este período tornou-se um período de grande crescimento económico, onde a quantidade se sobrepôs à qualidade, tendo o Estado uma forte participação nesta política de crescimento e garantindo condições de financiamento para fomentar os processos de construção industrializada.

A construção tradicional não tinha capacidade de resposta para este desafio, encontrando-se estilhaçada e desorganizada, devido à falta de mão de obra qualificada, de materiais, de equipamento e de energia. Pelo que, a construção industrializada, para colmatar as grandes carências de edifícios na generalidade dos países da Europa, surge como solução inequívoca em termos de quantidade, rapidez de construção e preços.

Na antiga União Soviética foi onde mais se recorreu aos sistemas pré-fabricados, construindo-se mais de duzentas cidades novas, o que seria impossível de realizar pelos métodos tradicionais de construção. Como solução adotaram a aplicação de grandes painéis em betão que viriam a constituir o “logótipo da reconstrução europeia” (Serrano, 1997).

Esta solução técnica e económica contribuiu para destacar o papel que a pré-fabricação assume nos dias de hoje.

As duas grandes vias da construção industrializada com viabilidade económica após a Segunda Guerra Mundial, que competiram e fizeram os preços do mercado, foram:

- a Pré-Fabricação (total ou parcial, pesada ou leve, nas suas vertentes plana, linear, plano-linear e tridimensional);
- o Tradicional Evoluído ou Racionalizado, com base no betão moldado *in situ*, com origem no “béton banché”⁷. Neste tipo de construção são também utilizados materiais novos derivados do cimento e matérias tradicionais. Há uma racionalização dos processos de construção em obra e o recurso à utilização de equipamentos especiais.

⁷ Betão de cal e resíduos da combustão da hulha, “mâchefer”, era utilizado antes do aparecimento do cimento Portland, patenteado por Joseph Aspdin, em 1824.

A evolução da pré-fabricação, para alguns autores está dividida em duas fases, para outros autores em três.

Segundo o arquiteto Alberto Reaes Pinto (2000), a evolução da pré-fabricação, de uma maneira geral, e nomeadamente em França (CSTB 1997), fez-se através de dois grandes períodos:

- Primeiro período - de 1947 a meados da década 1970;
- Segundo período - a partir de meados da década de 1970.

Segundo a interpretação de outros autores, nomeadamente de Julián Salas Serrano (1997), o percurso dos sistemas pré-fabricados em betão fez-se através de três grandes períodos:

- Primeiro período - de 1950 a 1970;
- Segundo período - de 1970 a 1980;
- Terceiro período - a partir de 1980.

Assim, consideram-se como iguais no tempo o primeiro e segundo período para ambos os autores e um terceiro período de acordo com Julián Salas Serrano.

– **O Primeiro período**

Para Pinto (2000), o começo da industrialização da construção (1947) é marcado pela quantidade e pela necessidade da massificação da construção, com o objetivo da resolução das grandes carências de edifícios.

A pré-fabricação é “fechada”, caracterizada pela utilização de painéis grandes e pesados, por estaleiros de grande dimensão, e com grande número de fogos.

Este período corresponde a uma fase de grande crescimento económico e por uma forte intervenção do Estado, mobilizando os meios financeiros necessários, no sentido de fomentar os processos de construção industrializada, nomeadamente os da pré-fabricação.

Serrano (1997) considera que o começo da industrialização da construção é em 1950. A devastação provocada pela guerra, por todo o lado, nomeadamente as edificações e do fenómeno de forte concentração urbana, levantou a necessidade de se (re)construir muitos edifícios, quer habitacionais, escolares, hospitais e industriais.

Devido aos edifícios construídos nessa época serem compostos de elementos pré-fabricados e os seus componentes do mesmo fornecedor, convencionou-se chamar-se de “ciclo fechado de produção”.

Os sistemas fechados, com base na fabricação de grandes painéis, foram dominantes na Europa de Leste e importantes nos restantes países do mundo ocidental.

Segundo Ferreira (2003), a realização intensiva de sistemas fechados na área de habitação, ocorridas no período do pós-guerra europeu, criou um estigma durante muitos anos de que a construção pré-fabricada era uniforme, monótona e que se impunha à arquitetura, com flexibilidade "zero", marcada pela pré-fabricação com elementos "pesados". Outro dos problemas que surgiram associados a este tipo de construções foi o aparecimento de inúmeras patologias, resultante da inexistência de avaliação prévia do desempenho dos sistemas construtivos.

Neste período, o sistema produtivo de pré-fabricação não tinha abertura suficiente para o aparecimento de outros sistemas, pelo que os projetistas limitavam-se a duas soluções de trabalho: ou recorriam aos sistemas de pré-fabricação pesada, que não permitiam grandes variantes ao projeto; ou intentavam inventos utópicos, como o grupo inglês de arquitetura metabolista ARCHIGRAM.

Apesar destas limitações houve arquitetos que tiraram partido disso, dando asas à sua criatividade, tendo construído obras notáveis, a Ópera de Sidney (Austrália) do arquiteto Jorn Utzon, construída durante os anos sessenta, e o complexo habitacional⁸ projetado para a Exposição Universal de Montreux (Canadá) pelo arquiteto Moshe Safdie, em 1967.

– O Segundo período

O segundo período surge na sequência da primeira grande crise energética, provocada pelo primeiro choque petrolífero, que decorreu entre 1970 e 1973. Esta situação levantou a necessidade de poupança de energia, levando os diferentes governos a impor legislação apertada nesse sentido, especialmente o isolamento térmico dos painéis. Com estas medidas saiu reforçada a resistência térmica dos painéis, bem como o conforto higrotérmico, conduzindo a uma poupança de energia, à melhoria da saúde dos utilizadores, à redução de patologias e dos custos de manutenção, e ao consequente aumento do ciclo de vida dos edifícios.

Face a estas novas exigências de conforto térmico e à crítica crescente dos utilizadores à construção massiva, monótona e de escassa flexibilidade, deu-se o abandono gradual dos sistemas fechados à base de grandes painéis simples, agora designados como "a primeira geração de tecnologias de industrialização" (Serrano, 1997).

Segundo Pinto (2000), por esta altura, por toda a Europa, assiste-se ao encerramento progressivo das grandes fábricas de pré-fabricação total pesada de betão. Os processos deste tipo de pré-fabricação não acompanham, de uma maneira geral, as mudanças do mercado, especialmente por

⁸ Desenvolvido tendo em consideração uma solução evolutiva por acrescento de módulos pré-fabricados autossuficientes.

carecerem de grandes investimentos em capital fixo e por serem pouco flexíveis, verificando-se um escoamento menor do produto relativamente à capacidade instalada.

As obras passam a ser de menor volume e encontram-se dispersas, aumentando a distância das fábricas aos estaleiros, pois o raio de ação devido à redução de procura aumenta, o que trás um consequente aumento dos custos de transporte e dificuldades nas acessibilidades. Surgem exigências de diversidade, aumenta a concorrência dos processos de produção *in situ*, dando relevo à racionalização, à industrialização dos moldes, ao betão pronto, etc..

Para Serrano (1997), foi neste período que ocorreram acidentes com alguns edifícios construídos com grandes painéis pré-fabricados, que provocaram uma rejeição social deste tipo de construção.

Um dos fatores que tiveram influência nesta rejeição foi o acidente ocorrido no edifício de apartamentos Ronan Point, nos arredores de Londres, em 1968, que ruiu parcialmente após a explosão de uma botija de gás. A construção à base de grandes painéis pré-fabricados foi comparada a um castelo de cartas, que facilmente colapsa por reação em cadeia. Este acidente despertou consciências, colocando em causa os processos construtivos em grandes elementos pré-fabricados, tendo fomentado o abandono progressivo dos sistemas pré-fabricados de ciclo fechado de produção.

Para Pinto (2000), neste período a qualidade foi-se sobrepondo à quantidade. O problema das carências de edifícios nos países Europeus foi fortemente resolvido, devido à política de massificação da construção, registando-se pelo menos 10 fogos por cada 1.000 habitantes, tendo afetando 5% do seu P.I.B.

É também neste período que se verifica o aumento da percentagem das obras de reabilitação relativamente à produção de novos fogos, conforme recomendação expressa da Carta de Amsterdão⁹.

A predominância da qualidade sobre a quantidade foi consequência da necessidade de diversificação e melhor desenho dos edifícios, reclamada pelos projetistas, nomeadamente pelos arquitetos, e de satisfazer as exigências qualitativas dos utilizadores, tais como o conforto higrotérmico e acústico.

Esta exigência à melhoria na qualidade dos projetos e da construção, tais como a diversificação de elementos, valorizando as estruturas e jogando com as formas e os materiais, e fomentando uma conceção exigente, fez com que a pré-fabricação fechasse o seu ciclo, surgindo por oposição o “Sistema de Pré-fabricação Aberta”. Deste novo ciclo evidenciam-se os novos materiais e maiores

⁹ Carta Europeia do Património Arquitectónico, realizada em Amsterdão, em Outubro de 1975, subscrita por 25 países europeus. Nesta carta recomenda-se que o investimento público na reabilitação seja pelo menos igual ao das novas construções.

exigências estéticas, destacando-se como vantagens a possibilidade dos elementos poderem desempenhar diferentes funções, abrangendo novas formas estruturais e possuírem distintas aplicações (Santiago, 1999).

Segundo Bruna (1976), “a industrialização de componentes destinados ao mercado e não, exclusivamente, às necessidades de uma só empresa é conhecida como ciclo aberto”.

– O Terceiro período

Serrano (1987) considera um terceiro período a partir de 1980, fundamentado pelo avanço de uma “segunda geração tecnológica” no campo da construção pré-fabricada em betão armado, caracterizando-se por dois fatores.

O primeiro, pela demolição de grandes conjuntos habitacionais, justificada dentro de um quadro crítico, especialmente de rejeição social e deterioração funcional.

O segundo, pela consolidação de uma pré-fabricação com sistemas de ciclo aberto de produção, que dispõem de processos de produção flexíveis, à base de componentes compatíveis e de origens diversas, conseqüentemente, de diferentes produtores, conjugando conhecimentos heterogêneos que contribuem para uma maior qualidade geral do produto final. Os componentes ou elementos de fábrica são construídos por meio de procedimentos industrializados, em fábrica ou em obra, em coordenação dimensional modular, não ligados *a priori* a tipos particulares de construção de matriz fechada.

O ciclo aberto de produção permitiu o desenvolvimento da produção industrial de elementos construtivos coordenados, baseada na coordenação modular. No sentido de padronizar a unificação e a coordenação foram efetuadas diversas investigações e tentativas, sendo o modulator corbusiano o caso mais explícito da nova sensibilidade pela criação de uma ordem métrica universal.

Durante a guerra, Bergvall e Dahlberg, na Suécia, estudaram a Coordenação Modular tomando o módulo de 10 cm como base, enquanto na América do Norte era o de 4 polegadas (10,16 cm).

Em 1961, a Agência Europeia para a Produtividade (AEP)¹⁰ publicou os resultados da construção dos projetos experimentais realizados nos países participantes (Rosso, 1976). Desde então, com exceção da Alemanha, que debatia na época as vantagens da aceitação do módulo octamétrico (12,50 cm) ou do decimétrico (10,00 cm), e da Inglaterra (4 polegadas), não houve oposição na Europa à adoção do módulo de 10,00 cm. Dos países membros da International Organization for

¹⁰ Criada, em 1953, a Agência Europeia para a Produtividade (AEP), uma filial da Organização Europeia de Cooperação Económica (OECE), fazendo parte a Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Grécia, Holanda, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Noruega, Portugal, Reino Unido, Suécia, Suíça e Turquia. Desde 1961 que é a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE).

Standardization (ISO¹¹), na época, 31 adotaram o módulo decimétrico, enquanto o Canadá e os Estados Unidos normalizaram o módulo em 4 polegadas (Greven, et al., 2007).

Outros dos sistemas que foi desenvolvido foi o da normalização, criando regras e definindo técnicas para garantirem a uniformização e a qualidade das edificações.

“A Normalização é a atividade destinada a estabelecer, face a problemas reais ou potenciais, disposições para a utilização comum e repetida, tendo em vista a obtenção do grau ótimo de ordem, num determinado contexto” (IPQ, 2009).

A normalização pretende assegurar a aptidão ao uso de um produto, processo ou serviço, limitar a variedade, assegurar a compatibilidade, assegurar a intermutabilidade, garantir a segurança (proteção da vida humana e da saúde) e a proteção do ambiente.

A ISO nasceu da união de duas organizações, a International Federation of the National Standardizing Associations (ISA), criada em Nova Iorque em 1928, e a United Nations Standards Coordinating Committee (UNSCC) criada em 1944. Iniciou oficialmente as suas funções em 23 de Fevereiro de 1947, tendo 25 países¹² como participantes.

Após a Segunda Guerra Mundial houve uma grande aderência à ISO, provocada pela necessidade dos países retomarem a normalidade.

Entre 1947 e 2008, a ISO publicou mais de 16.500 Normas Internacionais, abrangendo várias atividades associadas à construção e às engenharias, destacando-se as séries ISO 9000 (Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos) e ISO 14000 (Gestão ambiental nas empresas).

Em 1990, foi assinado um acordo de cooperação técnica, entre a ISO e o CEN¹³, denominado “Acordo de Viena”. Foi criada uma série de mecanismos processuais para que assegurassem, sempre que possível, a compatibilidade entre as Normas Internacionais e as Normas Europeias, e que idealmente fossem idênticas.

¹¹ International Organization for Standardization (ISO), que em grego significa "igual", é uma organização não governamental formada por organismos nacionais de normalização de 159 países (dados de 2008), contando com um representante por país, com o seu secretariado central situado em Genebra, Suíça. A ISO abrange no seu domínio toda a atividade económica, com exceção da eletrotécnica e das telecomunicações.

¹² África do Sul, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, Canadá, Checoslováquia, China, Dinamarca, Estados Unidos da América, Finlândia, França, Índia, Itália, Jugoslávia (atual Sérvia e Montenegro), México, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Palestina (atual Israel), Polónia, Reino Unido, Suécia, Suíça, Ex-União Soviética.

¹³ Comité Européen de Normalisation (CEN), é um organismo composto por 30 organismos nacionais de normalização, o qual promove a harmonização voluntária de normas técnicas na Europa, designadas por “EN”. Tem como membros efetivos os seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Holanda, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Roménia, Suécia e Suíça. Mais de 60.000 técnicos especialistas, assim como federações empresariais, de consumidores e outras organizações de interesse social estão envolvidas no trabalho do CEN, abrangendo cerca de 480 milhões de pessoas.

No âmbito dos sistemas pré-fabricados, a construção é regulada por normas, que asseguram os vários processos, nomeadamente o de fabrico e o de montagem.

Os sistemas pré-fabricados de “ciclos abertos” são caracterizados pela pré-fabricação de componentes padronizados, que podem ser associados a produtos de outros fabricantes, e onde a modulação e a padronização de componentes fornecem a base para a compatibilidade entre os elementos e subsistemas (Ferreira, 2003).

A partir da década de 90, volta-se a assistir à construção de painéis de betão pré-fabricado, predominantemente em edifícios de hotéis e indústrias. No entanto, a técnica de produção de betão apresenta consideráveis evoluções, nomeadamente conferindo maior leveza aos painéis, conseguida pela utilização e combinação de outros materiais (argila expandida, fibras, betão celular¹⁴, etc.), ou pela redução de massa (painéis ocos e cascas).

Elliot (2002) considera uma terceira geração de sistemas pré-fabricados para edificações, pois os projetistas europeus nos últimos 30 anos exploraram e desenvolveram soluções permitindo imprimir acabamentos de alta qualidade aos elementos pré-fabricados.

Surge assim uma nova geração de sistemas de ciclos “flexibilizados”, pois não são apenas os componentes que são “abertos”, mas todo o sistema o é, portanto, a pré-fabricação é considerada de sistemas de ciclos “flexibilizados”. O projeto passa a ser aberto e flexibilizado de forma a se adequar a qualquer tipologia arquitetónica.

A conceção tradicional do projeto dos sistemas pré-fabricados de betão deve atender a esta nova realidade tecnológica, sendo a indústria da construção chamada para o projeto multifuncional, onde a otimização de todos os componentes que formam o edifício deve ser maximizada.

Ferreira (2003) considera que os sistemas flexibilizados na produção podem ser também aplicados fora da fábrica, podendo ser desenvolvidos elementos no estaleiro de obra, tendo em consideração o controle da qualidade e do sistema de produção *in situ*.

Após os elementos atingirem o tempo de cura necessário que permita adquirir a resistência para seu levantamento, serão posicionados e montados nos pontos previstos em projeto, juntando-se a outros elementos já montados.

¹⁴ O betão celular é um produto homogéneo que se obtém mediante a mistura de água – cimento e um agente espumante que facilita a sua homogeneização. As proporções destes elementos são variáveis em função do tipo de betão celular que se pretende obter.

Segundo Pinto (2000), “o estaleiro tende a ser um local de montagem, não só de materiais industrializados¹⁵, mas também de componentes pré-fabricados, mais leves e flexíveis, com ligações metálicas a seco, facilmente montáveis e desmontáveis”.

Entre estes componentes temos os painéis em GFRC (betão reforçado com fibra de vidro). São peças mais esbeltas e mais leves do que as peças produzidas só em betão, apresentando a face com acabamento final, não necessitando de outros retoques. A montagem é simples, sendo na maior parte dos casos apenas necessário recorrer a uma grua, pois o peso da peça é baixo, logo a operação é menos dispendiosa.

- **Ultimamente**

Nos últimos anos o recurso à pré-fabricação tornou-se mais frequente, nomeadamente em obras de edificação, de pontes e viadutos, e outros tipos de obras de arte, muros de contenção, perfis de proteção, redes de drenagem de águas (pluviais e residuais) e outras infraestruturas.

Um dos produtos novos ao nível da pré-fabricação que tem tido algum destaque, na construção industrializada, é as instalações sanitárias pré-fabricadas ou “quartos de banho prontos”.

Individualmente os elementos das estruturas têm um melhor comportamento, dado o controlo de qualidade em fábrica e por ser fabricado, na maior parte dos casos, como uma peça única. No entanto, as ligações entre os vários elementos podem dificultar o comportamento do conjunto, pois as ligações, nomeadamente as monolíticas, não são fáceis de concretizar conforme o desejado em projeto. Esta foi uma das razões para que os sistemas pré-fabricados em betão não tenham sido aplicados em grande escala na construção corrente de edifícios. A pré-fabricação é usada para a obtenção de elementos construtivos resistentes, como pilares, vigas e lajes ou como elementos de revestimento.

Atualmente a pré-fabricação apresenta-se como uma alternativa viável à construção tradicional em betão. Os elementos são produzidos em indústrias especializadas, são transportados e montados em obra, configurando estruturas idênticas às estruturas tradicionais em betão.

- **Entre 2010 e 2020**

A indústria de pré-fabricação deverá apostar na sua produção fomentando o seu crescimento, ainda que moderado, durante esta década. Prevê-se que a procura destes elementos aumente face à construção tradicional, devendo a indústria definir estratégias para dar resposta, em tempo útil, às novas necessidades do mercado, recorrendo a mão de obra especializada e ao rigoroso controlo de qualidade, quer dos materiais quer da produção [adaptado de (Mondragão, 2011)].

¹⁵ Racionalização e industrialização da associação de 2 ou mais materiais em fábrica, com o objetivo de, por sinergias resultantes da sua industrialização, se poder obter maior produtividade, qualidade e polivalência.

3.1.5 A pré-fabricação nos dias de hoje

3.1.5.1 Na Europa

No 20º Congresso Internacional da BIBM¹⁶ (Bureau International du Béton Manufacturé), Federação Europeia da Indústria de Pré-fabricação em Betão, realizado nos dias 16 e 17 de junho de 2011, sobre o tema “Life is so concrete” (A vida é tão real/betão), fazendo alusão ao duplo sentido da palavra inglesa “concrete”, foi apresentado um relatório sobre o mundo da pré-fabricação europeu, designado FACTBOOK, do qual se destacam alguns pontos.

A indústria da pré-fabricação empregava na União Europeia cerca de 210.000 trabalhadores, em 8.000 unidades de produção, tendo uma afetação média de 26 trabalhadores por unidade de produção.

A recessão económica mundial, devido à desaceleração da economia mundial, resultado da crise financeira e económica, teve um impacto profundo na maioria dos setores, e a indústria da pré-fabricação não foi exceção.

A crise teve origem no sistema financeiro e mercado imobiliário que rapidamente espalhou os seus efeitos negativos sobre a economia real, pela redução da procura global e os fluxos de comércio. As consequências de tal cenário forçaram contrações no crescimento. Após a diminuição dos níveis de atividade no setor da construção, o volume de produção de betão pré-fabricado caiu, conforme se pode observar na tabela 1 - Valor da produção (k €)¹⁷ de 2005 a 2009, registando taxas de crescimento mais baixas na maioria dos países europeus.

¹⁶ BIBM (da sigla em francês Bureau International du Béton Manufacturé) é a Federação Europeia de Betão Pré-fabricado. Esta reúne 18 associações nacionais de betão pré-fabricado, regional ou associações de produtos e empresas. A federação atua como porta-voz para a indústria de pré-fabricados para as instituições da União Europeia e outras autoridades públicas, e defende todas as questões e os desenvolvimentos políticos no que diz respeito à técnica, ambiente, energia e promoção. O diálogo é permanente e é mantido com as instituições da UE, autoridades internacionais e associações. A BIBM desempenha um papel significativo na promoção de betão e as indústrias de materiais de construção, em cooperação com outras organizações europeias relevantes. A Federação organiza regularmente conferências sobre temas específicos com vista a melhorar a perceção da indústria e do mercado.

¹⁷ Kilo Euro (milhares de euros).

Tabela 1 – Valor da produção (k €) de 2005 a 2009 (BIBM)

País	2005	2006	2006 / 2005 (%)	2007	2007 / 2006 (%)	2008	2008 / 2007 (%)	2009	2009 / 2008 (%)
Áustria	652.872	679.605	4,1	687.620	1,2	826.259	20,2	721.023	-12,7
Bélgica	999.923	1.111.099	11,1	1.182.903	6,5	1.247.124	5,4	1.104.059	-11,5
Bulgária	44.835	66.523	48,4	87.211	31,1	114.989	31,9	79.490	-30,9
República Checa	434.439	395.833	-8,9	690.499	74,4	794.313	15,0	588.954	-25,9
Dinamarca	153.144	158.634	3,6	-		811.967		469.876	-42,1
Estónia	90.648	120.870	33,3	151.680	25,5	96.131	-36,6	44.871	-53,3
Finlândia	517.560	585.144	13,1	712.116	21,7	718.965	1,0	443.597	-38,3
França	3.100.425	3.408.413	9,9	3.172.543	-6,9	3.586.453	13,0	2.945.788	-17,9
Alemanha	5.374.470	5.767.479	7,3	4.517.551	-21,7	4.516.826	0,0	1.455.573	-67,8
Grécia	84.610	88.088	4,1	116.515	32,3	139.762	20,0	63.405	-54,6
Hungria	272.684	286.418	5,0	314.829	9,9	358.869	14,0	260.090	-27,5
Irlanda	608.167	692.034	13,8	665.231	-3,9	626.504	-5,8	329.737	-47,4
Itália	5.470.415	5.651.574	3,3	5.492.200	-2,8	5.444.541	-0,9	4.300.000	-21,0
Letónia	52.593	80.125	52,3	109.679	36,9	93.881	-14,4	32.599	-65,3
Lituânia	89.267	131.419	47,2	164.240	25,0	143.865	-12,4	62.248	-56,7
Polónia	783.965	1.017.034	29,7	1.492.499	46,8	1.741.673	16,7	1.259.150	-27,7
Portugal	443.090	389.249	-12,2	420.604	8,1	383.933	-8,7	317.945	-17,2
Roménia	183.983	239.087	30,0	335.085	40,2	374.478	11,8	233.579	-37,6
Eslováquia	150.033	92.931	-38,1	213.013	129,2	274.549	28,9	187.685	-31,6
Eslovénia	51.673	65.128	26,0	74.145	13,8	98.887	33,4	87.348	-11,7
Espanha	3.358.933	3.950.431	17,6	4.206.015	6,5	3.623.201	-13,9	2.493.621	-31,2
Suécia	594.433	721.440	21,4	868.422	20,4	922.177	6,2	643.457	-30,2
Holanda	1.600.419	1.602.427	0,1	1.859.340	16,0	2.072.591	11,5	1.808.723	-12,7
Reino Unido	3.474.329	3.474.204	0,0	3.525.686	1,5	2.713.768	-23,0	1.945.902	-28,3
EU27	29.192.031	31.598.122	8,2	33.625.107	6,4	35.834.621	6,6	25.935.923	-27,6
Croácia	97.486	100.277	2,9	118.230	17,9	130.124	10,1	105.280	-19,1
Noruega	478.481	564.484	18,0	598.327	6,0	552.205	-7,7	383.028	-30,6

Fonte: Eurostat

Faltam dados para Chipre, Luxemburgo, Malta, Islândia

A produção de betão pré-fabricado na União Europeia em 2009 foi cerca de 26 mil milhões de euros, tendo decrescido 28%, comparativamente a 2008 (tabela 2 e figura 1).

Portugal sofreu uma diminuição na ordem dos 17%, de 2008 para 2009, tendo ficado abaixo da média (tabela 2 e figura 2).

Tabela 2 – Valor da produção (k €) de betão pré-fabricado na UE-27 e Portugal (2005 a 2009)

País	2005	2006	2007	2008	2009	2009 / 2008 %
Portugal	443.090	389.249	420.604	383.933	317.945	-17,2
EU27	29.192.031	31.598.122	33.625.107	35.834.621	25.935.923	-27,6

Fonte: Eurostat

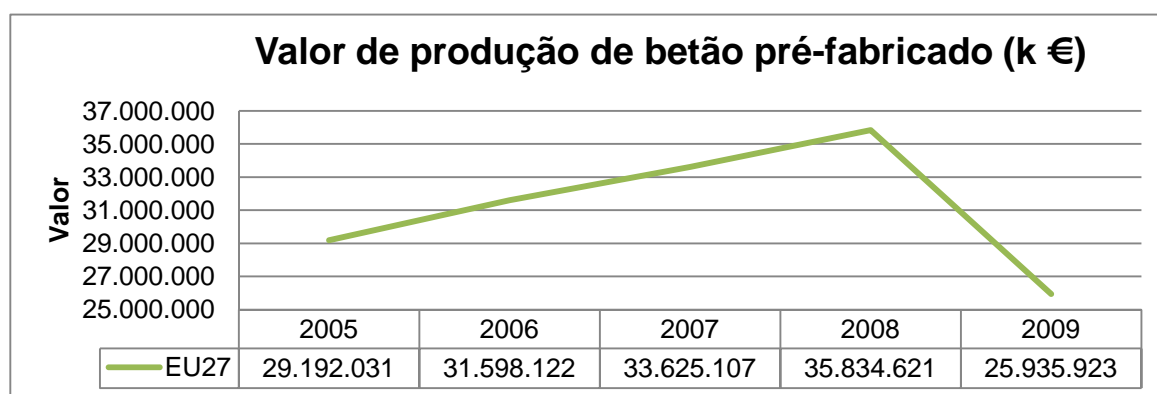


Figura 1 – Valor da produção de betão pré-fabricado na UE-27, entre 2005 e 2009

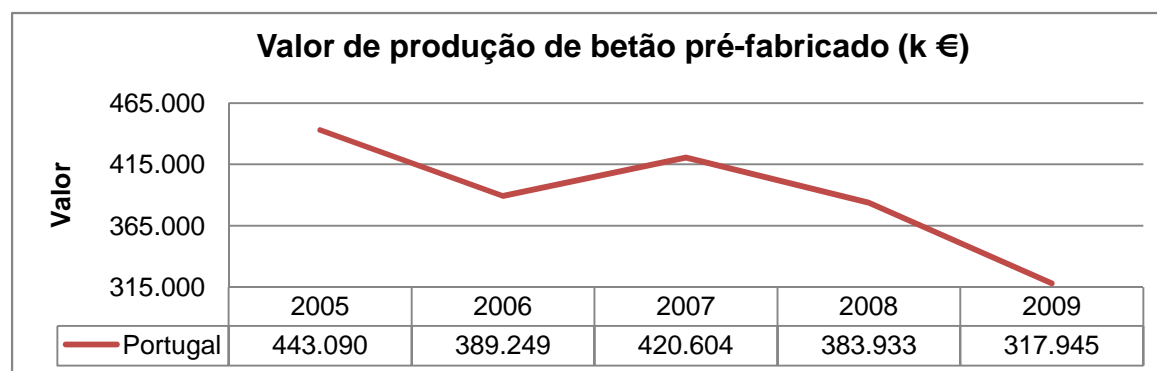


Figura 2 – Valor da produção de betão pré-fabricado em Portugal, entre 2005 e 2009

Embora a situação varie de país para país, a indústria do betão pré-fabricado está a enfrentar tempos muito difíceis, especialmente como resultado da crise de crédito que afeta o setor da construção. De acordo com os dados do Eurostat, neste mesmo período, países como a Estónia,

Alemanha, Grécia, Letónia e Lituânia tiveram uma descida mais marcante, tendo ultrapassado os 50% (figura 3 – Evolução da pré-fabricação em betão em 2009 face a 2008 [%]).

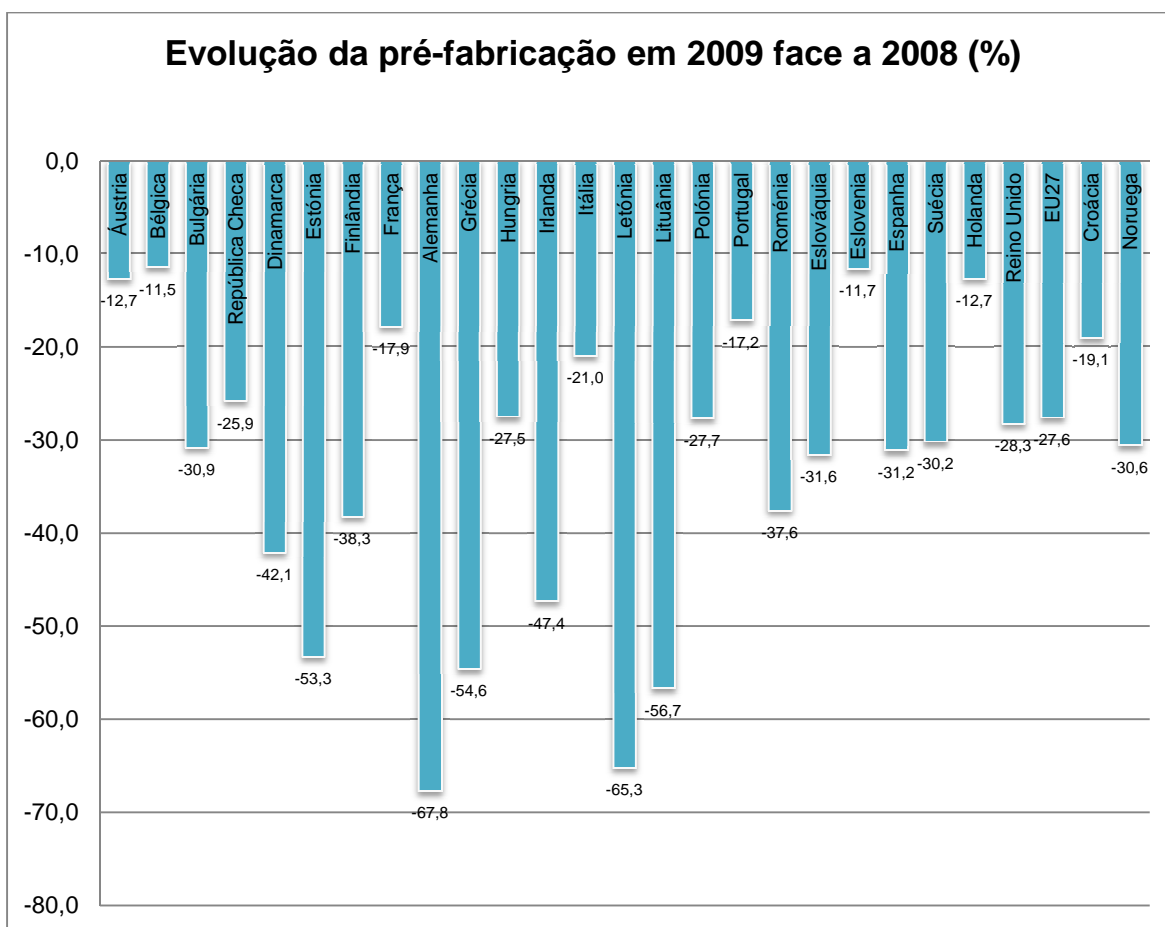


Figura 3 – Evolução da pré-fabricação de betão em 2009 face a 2008 (%)

3.1.5.2 Em Portugal

Apesar de não haver estudos estatísticos que relacionem diretamente a produção de pré-fabricados com a construção civil e tratando-se de duas indústrias diferentes, em que uma é de produção e a outra é de construção, faz-se a análise segundo os dados estatísticos do INE relativos às duas indústrias.

Segundo o INE (2013), a indústria de construção em Portugal, em 2011, era constituída por 54.359 empresas individuais e 44.820 sociedades, perfazendo o total de 99.179 empresas

No ano de 2011, a Construção e as Atividades Imobiliárias foram os setores que registaram os maiores decréscimos nos principais indicadores económicos, bem como os maiores decréscimos percentuais no número de empresas e de pessoas ao serviço.

Observa-se na tabela 3 que o volume de negócios (VVN) na construção contraiu-se em 2011, face a 2010, sendo as diminuições muito significativas (-16,6%) e nas atividades imobiliárias (-16,5%). Distinguindo entre sociedades e empresas individuais, verifica-se que no primeiro tipo de empresas, foi o VVN da construção que mais se contraiu (-5.452 milhões de euros que em 2010), enquanto nas empresas individuais foi o volume de negócios do comércio que mais decresceu (-382 milhões de euros face ao ano anterior).

Tabela 3 – Volume de negócios e VAB_{pm} segundo a forma jurídica, por secção da CAE Rev. 3, 2011 (INE)

Secção CAE Rev. 3	Total				Empresas Individuais				Sociedades			
	Volume de negócios		VABpm		Volume de negócios		VABpm		Volume de negócios		VABpm	
	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)	10 ³ Euros	Tx. Var. 10/11 (%)
F - Construção												
2010	35.120.584		8.873.102		1.674.938		774.912		33.449.839		8.096.231	
2011	29.290.567		7.497.771		1.293.052		599.782		27.997.515		6.897.989	
Diferença	-5.830.017	-16,6	-1.375.331	-15,5	-381.886	-22,8	-175.130	-22,6	-5.452.324	-16,3	-1.198.242	-14,8
L – Atividades imobiliárias												
2010	5.541.634		1.843.774		137.377		81.972		5.405.844		1.761.109	
2011	4.627.264		1.598.552		107.978		52.298		4.519.286		1.546.254	
Diferença	-914.370	-16,5	-245.222	-13,3	-29.399	-21,4	-29.674	-36,2	-886.558	-16,4	-214.855	-12,2

Da análise do índice de produção mensal na Construção e Obras Públicas, em 2010 e 2011, representados na figura 4, verifica-se que as taxas mensais de variação homóloga assumiram sempre valores negativos, deteriorando-se durante 2011.



Fonte: INE, Índice de produção na Construção e obras públicas (Base 2005=100)

Figura 4 – Índice de produção mensal na Construção e Obras Públicas (2010-2011)

A fabricação de produtos de betão em Portugal

Em 2011, em Portugal verificou-se a venda de 298.394.536,00 € em produtos de betão¹⁸ (tabela 4), sendo a fabricação de elementos pré-fabricados para a construção, de betão ou de pedra artificial, no valor de 108.401.403,00 € (tabela 5), representando este valor 36% do total de produtos de betão vendidos. Verificou-se uma quebra nas vendas de 2010 para 2011 de 174.656.873,00 € (-15%).

Assim, sendo o volume de negócios na Construção, em 2011, no valor de 29.290.567,00 milhares de euros e o valor de vendas de elementos pré-fabricados para a construção de 108.401.403,00 €, pode concluir-se que este contribui em cerca de 4% para este sector.

Tabela 4 – Fabricação de produtos de betão em Portugal em 2011 (INE)

Designação	Valor das Vendas			
	Mercado Nacional	União Europeia	Países Terceiros	Total
	Euros			
Fabricação de produtos de betão para a construção	205.641.520	46.157.503	8.802.049	260.601.072
Fabricação de outros produtos de betão, gesso e cimento	33.369.779	4.181.072	242.613	37.793.464
TOTAL	239.011.299	50.338.575	9.044.662	298.394.536

Tabela 5 – Fabricação de elementos pré-fabricados de betão em Portugal em 2011 (INE)

Produtos Produzidos	Uni.	Quantidades			Valor das vendas (Euros)
		Produzidas		Vendidas	
		2010 (Rv)	2011		
Elementos pré-fabricados (inclui vigas) para a construção, de betão ou de pedra artificial	kg	1.152.270.344	977.613.471	956.202.119	108.401.403

¹⁸ Estão incluídos nestes produtos de betão: manilhas, anéis e argolas, cones, caixas com fundo de derivação, caixas intercetoras, pias sifónicas, aros com grelha, caixas de sarjeta, bocas em escavação (ou recipiente para aquedutos tubulares), bocas para base de aterro, box culvert, caixas sumidouro, caleiras (rasgo superior, em “U”, com tampa perfurada), canais tipo “U”, dissipadores de energia, valetas, alvenarias (blocos vazados, blocos maciços), aduelas maciças, passeios (lancis, rampas), muros de suporte, degraus (bancada, escada), pilares, sapatas, vigas de bancada, painéis (painéis estruturais e de revestimento), barreiras acústicas, painéis de barreira acústica, alas para postes de iluminação, maciços em betão para postes de iluminação, new-jersey, caleiras de cabos, cubas para contentores subterrâneos, tampas e fundos, vigas de bordadura/capeamento, vigas de bordadura tipo new-jersey.

A Indústria de Pré-fabricação em Betão, em Portugal.

De acordo com um estudo efetuado pela ANIPB¹⁹ em 2008, intitulado “A Indústria de Pré-fabricação em Betão em Portugal”, não é possível avaliar, de forma consistente, os fatores críticos que influenciam o comportamento da indústria nacional de produtos em betão, uma vez que a informação estatística e documental sobre este setor é escassa, pelo que esse estudo pretende contrariar e clarificar essa lacuna, efetuando a descrição e análise da situação desta indústria até ao ano de 2008, perspetivando tendências quanto à sua evolução.

Domínios da atividade

A indústria de pré-fabricação em betão tem como principal atividade a fabricação de produtos em betão destinados à indústria da construção e obras públicas.

Aqueles, em termos de classificação de produtos conforme as aplicações a que se destinam, podem ser separados em três grandes grupos:

- Produtos para construção de edifícios;
- Produtos para engenharia civil;
- Produtos para aplicações específicas

Já em termos da Classificação das Atividades Económicas (CAE), o setor é constituído pelas empresas enquadradas na classe CAE (Rev. 2.1) 26610 – “Fabricação de Produtos de Betão para a Construção”²⁰, integrando também, residualmente, algumas empresas classificadas na CAE (Rev. 2.1) 26660 – “Fabricação de Outros Produtos de Betão, Gesso, Cimento e Marmorite”²¹.

Registo de empresas da Indústria de Pré-fabricação em Betão

Segundo os dados do FGUE²², do INE, em 2005 estavam registadas 360 empresas com o CAE 26610 – “Fabricação de Produtos de Betão para a Construção”. No entanto, este número deveria ser corrigido em baixa, uma vez que cerca de 10% destas empresas não estaria a exercer a atividade nesta data, pois não havia informação disponível sobre o seu volume de vendas ou de pessoal no ativo.

¹⁹ ANIPB - Associação Nacional dos Industriais de Pré-fabricação em Betão.

²⁰ Correspondente à classe CAE (Rev. 3) 23610 – Fabricação de Produtos de Betão para a Construção.

²¹ Correspondente à classe CAE (Rev. 3) 23690 – Fabricação de outros produtos de betão, gesso e cimento.

²² FGUE - Ficheiro Geral de Unidades Estatísticas.

Já a Eurostat, no mesmo ano, contrapõe este número com os dados da Prodcoum²³, referindo que se encontravam registadas 410 empresas, na classe NACE²⁴ 26610, um número acima do registado pelo INE.

Por outro lado, num estudo sectorial para a indústria de produtos de cimento²⁵, efetuado pela ANIPC, em 1999, foram registadas 381 empresas, através de pesquisas de campo.

Apesar de os números serem diferentes e considerando alguma margem de erro no registo e avaliação destas empresas, pode considerar-se que os três valores se inscrevem na mesma ordem de grandeza. Será, portanto, prudente admitir que as empresas de pré-fabricação em Portugal contariam, em 2005, com menos de 360 empresas ativas.

Segundo os dados do Prodcoum, estas empresas empregavam cerca de 6.400 trabalhadores, com um volume de negócios global de 516 milhões de euros, sendo a dimensão média por empresa de 15,6 trabalhadores e um volume de negócios de 1,3 milhões de euros.

De acordo com o inquérito Tecninvest (2008), entre 2005 e 2008, traduzido na tabela 6 e figura 5, só 29% das empresas apresentaram um volume de vendas com crescimento, tendo a maioria das empresas (71%) decrescido ou mantido idêntico volume de vendas. Esta evolução não surpreende, atendendo ao comportamento recessivo do setor da construção neste período.

Tabela 6 – Distribuição das empresas, segundo a evolução das vendas entre 2005 e 2008

Decresceu mais de 30%	Decresceu entre 10% e 30%	Decresceu entre 10% e 30%	Manteve-se idêntico	Cresceu menos de 10%	Cresceu entre 10% e 30%	Cresceu mais de 30%
7,9%	25,4%	9,5%	28,6%	15,9%	9,5%	3,2%

Fonte: Inquérito Tecninvest, 2008

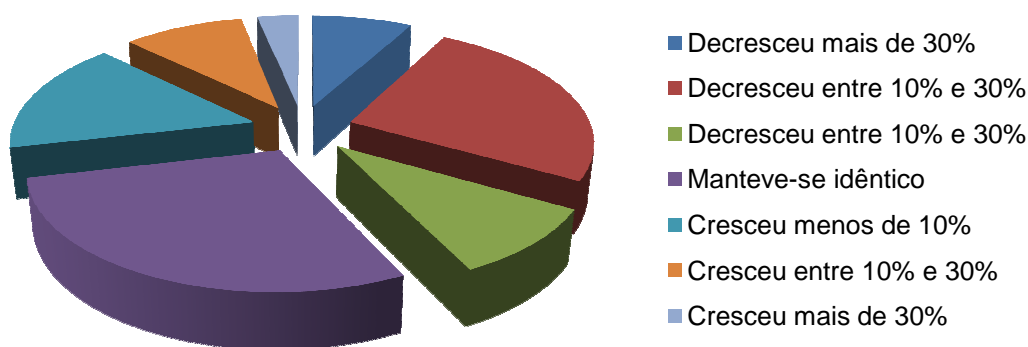


Figura 5 – Distribuição das empresas segundo a evolução das vendas entre 2005 e 2008

²³ Prodcoum - Production Communautaire.

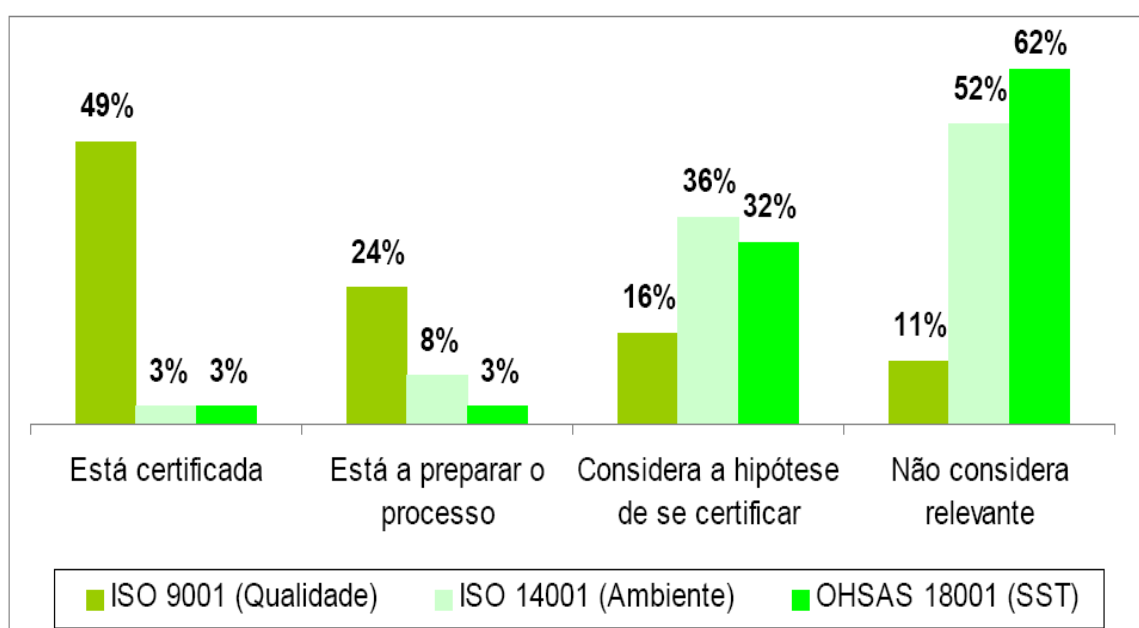
²⁴ NACE - Nomenclature des Activités de la Communauté Européenne.

²⁵ “Estudo sectorial para a indústria de produtos de cimento, 1998” e “Estudo sectorial para a indústria de produtos de cimento, atualização de 1999”, edição da ANIPC – Associação Nacional dos Industriais de Produtos de Cimento (anterior designação da atual ANIPB).

Certificação do sistema de gestão da qualidade

A certificação do sistema de gestão da qualidade (ISO 9001) é um dos fatores de maior aposta nesta área, pois 49% das empresas inquiridas afirmaram já terem certificado o seu sistema e 24% declararam estar a desenvolver o processo, o que se traduz numa potencial adesão efetiva de 73%, conforme se pode observar na figura 6, referente à distribuição das empresas segundo o grau de envolvimento em processos de certificação de sistemas de gestão.

Esta situação, em 2008, face ao inquérito ANIPC, em 1998/99, demonstra uma alteração muito substancial, dado que nesta altura apenas foi identificada 1 empresa com o sistema de gestão da qualidade certificado.



Fonte: Inquérito Tecninvest, 2008

Figura 6 - Distribuição das empresas segundo o grau de envolvimento em processos de certificação de sistemas de gestão

Ambiente

Um dos pontos positivos a salientar é a evolução a nível do ambiente, surgindo como uma área emergente, com especial relevo dos investimentos (10%) e das ações de formação (13%) por parte das empresas.

Investimento e Formação do Pessoal

Entre 2005 e 2008, 84% das empresas realizaram investimentos e 79% das empresas desenvolveram ações de formação do seu pessoal, evidenciando um esforço significativo nestas áreas, tendo em consideração a conjuntura recessiva que a atividade estava a passar.

O valor médio dos investimentos realizados pelas empresas é na ordem de 649 milhares de euros, apesar da grande dispersão dos valores investidos, principalmente em função da dimensão e das opções específicas dos operadores.

Os investimentos e as ações de formação foram sobretudo na área da produção/operações (57%) e na qualidade (51%). Estes indicadores pressupõem uma aposta conjunta na capacidade e/ou eficiência produtiva e na qualidade dos produtos, demonstrando a forte motivação das empresas na certificação dos seus sistemas de gestão da qualidade.

O investimento médio entre 2005 a 2008 foi 648.700,00 €, sendo o valor mais frequente 300.000,00 €

Considerações a ter no desenvolvimento da atividade de pré-fabricação em betão

A evolução da indústria de produtos pré-fabricados em betão depende fortemente do clima económico geral e em particular do comportamento do setor da construção.

No período de estagnação/recessão em 2008, foi interrompida a tendência verificada na atividade de pré-fabricação, que ao longo do tempo registou ritmos de crescimento superiores aos do PIB,

A evolução da indústria de produtos pré-fabricados depende da evolução verificada na atividade de construção e obras públicas. Naquela altura, esta atividade dependia fortemente do lançamento de empreendimentos pela administração pública, (e.g. Novo Aeroporto de Lisboa, TGV, extensão e manutenção da rede rodoviária) e pelos promotores privados (construção de edifícios não residenciais). Passa também pela promoção pública e privada de obras de manutenção do parque residencial, e de obras de saneamento básico²⁶ (previa-se em 2008 que esta cobertura viesse a atingir em 2013 entre 90% a 95% da rede total do país).

Dado que a realização de grandes empreendimentos, em particular destes, não se verificou até à data atual (Junho de 2013), repercutiu-se um impacto negativo na dinamização do mercado de pré-fabricação nacional.

²⁶ As obras de saneamento básico tinham necessidades emergentes e crescentes devidas às restrições ambientais e pelo facto de a cobertura do País neste domínio ser ainda bastante deficiente.

Análise SWOT do Sector

A ANIPB, em 2008, efetuou uma análise SWOT do setor, apontando como:

Pontos Fortes

- Tendência gradual (embora lenta) no sentido de maior racionalização do mercado, com fenómenos emergentes de concentração, através de algumas empresas de maior dimensão e de alguns grupos empresariais;
- Gama de produtos em proliferação, com introdução no mercado nacional de novos produtos ou variantes de novas aplicações;
- Esforço significativo na melhoria da qualidade dos produtos;
- Esforços de investimento e de formação do pessoal, com enfoque nas operações produtivas e na qualidade.

Pontos Fracos

- Rivalidade acentuada devido à significativa fragmentação da atividade e à sua estruturação predominantemente regional;
- Reduzido valor acrescentado dos produtos mais tradicionais;
- Fraca endogeneização de tecnologias evoluídas e de processos de automatização avançados;
- Esforços reduzidos de I&D e de aquisição de conhecimento técnico/tecnológico qualificado;
- Níveis baixos de produtividade aparente, que se situam em 55% da média da União Europeia;
- Reduzida capacidade de identificação e de exploração dos incentivos e mecanismos de apoio à competitividade das empresas.

Oportunidades

- Reconhecimento do betão como material sustentável do ponto de vista ecológico;
- Expectativas de evolução da atividade de construção e obras públicas moderadamente otimistas a médio prazo.

Ameaças

- Competição de produtos/materiais sucedâneos;
- Poder negocial dos clientes de maior dimensão.

Resumindo, estando os fatores identificados, podem classificar-se em dois grandes grupos:

- Fatores internos, i.e., pontos fortes que poderão suportar o crescimento e consolidação do setor e pontos fracos, que constituem limitações ao seu desenvolvimento sustentado;
- Fatores externos, i.e., oportunidades, que oferecem possibilidades adicionais de desenvolvimento futuro para o setor e ameaças, que constituem possíveis obstáculos a esse desenvolvimento.

As empresas do setor pretendendo potencializar os seus pontos fortes e minimizar os seus pontos fracos, assim como explorar as oportunidades e enfrentar as ameaças com que o setor se depara, devem desenvolver as suas próprias estratégias competitivas, com vista à subsistência atual e ao desenvolvimento futuro da atividade.

No entanto, no sentido de melhorar a capacidade competitiva individual, não se deverá descurar o desenvolvimento de soluções colaborativas com outras empresas, pois a junção de esforços poderá ser bastante útil para a resolução dos pontos fracos da atividade de pré-fabricação e para melhorar a capacidade de resposta a possíveis ameaças.

Este tipo de soluções poderá passar por soluções colaborativas de investigação e desenvolvimento, soluções colaborativas no domínio da formação específica dos profissionais do setor, e soluções colaborativas para potenciar a capacidade coletiva de exportação para mercados geográficos de proximidade.

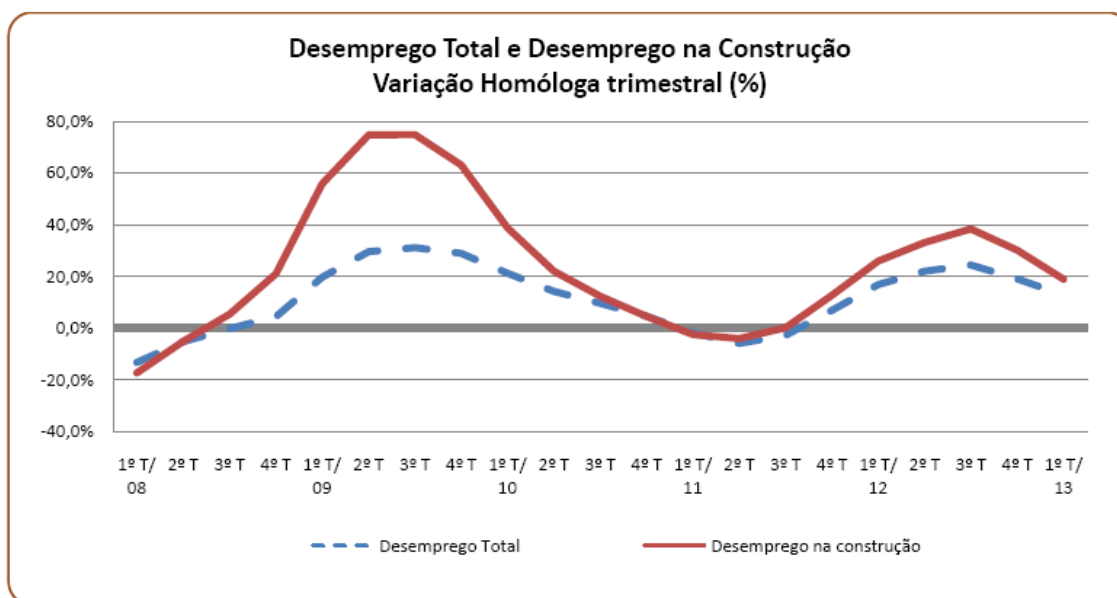
A empregabilidade no setor da Construção em Maio de 2013

Segundo o boletim da FEDICOP²⁷, intitulado “Conjuntura da Construção”, datado de Maio de 2013, nos últimos doze meses o número de trabalhadores da Construção teve uma redução de 19,2%, diminuindo em 74 mil o número de postos de trabalho do setor.

Já no primeiro trimestre de 2013, a Construção empregou 313,1 mil trabalhadores, tendo registado a terceira quebra homóloga trimestral mais acentuada dos últimos 41 trimestres e tendo o número de desempregados deste setor, inscritos nos centros de emprego, ultrapassado os 111 mil, em média mensal, ao longo do primeiro trimestre de 2013, o que constitui o máximo histórico dessa série.

²⁷ Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas.

Na figura 7 está representada a variação homóloga de Desemprego Total e de Desemprego na Construção entre 2008 e 2013, verificando-se neste período que as taxas homólogas de crescimento do desemprego são maiores no desemprego na construção do que no desemprego total. O que leva a concluir que o setor da Construção é o mais afetado pela crise económica que o país está a atravessar.



Fonte: IEFP

Figura 7 - Desemprego Total e Desemprego na Construção: Variação Homóloga trimestral (%)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Elementos estruturais pré-fabricados em betão

4.1.1 Fundações

Ao nível da pré-fabricação das fundações os elementos que se produzem são sapatas, estacas ou lintéis, no entanto, em Portugal, opta-se muitas vezes pela realização de moldagem e betonagem destes elementos *in situ*, sendo posteriormente efetuada a ligação destes elementos aos elementos verticais pré-fabricados, tais como pilares ou paredes de suporte.

A opção por fundações executadas *in situ* é uma solução que se deve a vários fatores, nomeadamente: a menor qualidade do betão utilizado normalmente na construção das fundações, face ao betão utilizado nos elementos pré-fabricados e não se compatibilizando com os ritmos de produção da pré-fabricação, e ao elevado peso destes elementos, que dificulta o processo de transporte e montagem (Albarran, 2008).

As fundações pré-fabricadas podem apresentar soluções e formas variadas, sendo de destacar, como mais usual a sapata em forma de cálice, que consiste num pedestal saliente na face superior da fundação em todo o perímetro destinado a acomodar a extremidade inferior do pilar. Uma versão muito simplificada desta solução é a sapata constituída por um bloco que incorpora a cavidade para alojamento do pilar, como se pode observar na figura 8. No caso das sapatas executadas *in situ*, conforme apresentado na figura 9, estas podem ser realizadas numa só fase, deixando um negativo para o encastramento posterior dos pilares, ou em duas fases, realizando-se uma pré-sapata com um aro metálico chumbado, onde são fixados os pilares, sendo seguidamente betonada a restante sapata (Lagartixo, 2011).



Figura 8 - Sapata pré-fabricada em cálice (Lagartixo, 2011).



Figura 9 - Sapata betonada *in situ* (Lagartixo, 2011).

4.1.2 Pilares

Segundo o PCI²⁸, os pilares são normalmente utilizados para apoiar vigas ou paramentos de betão, como estruturas de estacionamento e sistemas estruturais pré-fabricados de betão. São geralmente concebidos como elementos de vários níveis, que vão desde um simples elemento por piso até um elemento com seis níveis ou até mais.

Eles podem ser pré-fabricados como elementos longos e aplicados *in situ* como um elemento único, ou podem ser pré-fabricados como elementos individuais e ligados posteriormente *in situ*, de modo a constituírem um pilar único. A ligação dos elementos pode ser realizada de imensas maneiras de modo a garantir o monolitismo do elemento ou do conjunto dos elementos que se pretendam ligar. A sua produção é efetuada em fábrica, na posição horizontal, sendo posteriormente transportado e montado em obra. Uma vez que são produzidos na posição horizontal, três dos seus quatro lados são criados com uma forma muito homogénea, devido a estarem devidamente confinados em cofragem adequada. Estes acabamentos são muito agradáveis e na maioria das vezes ficam como acabados, com aspeto final pretendido no elemento. O quarto lado é tipicamente rematado manualmente, de forma a ter um acabamento idêntico aos outros três lados, tanto quanto possível. O seu tamanho e formas variam conforme as necessidades a satisfazer, tanto arquitetónicas como estruturais, e também consoante os processos de transporte, elevação e montagem. De acordo com o REBAP, artigo 120.º, a dimensão mínima da secção transversal dos pilares não deve ser inferior a 200 mm, e, artigo 59.º, a determinação do comprimento efetivo para figuras reticuladas deve ter em consideração as não linearidades físicas e geométricas, sendo que o elemento depende do seu comprimento e das condições de ligação das suas extremidades. A maioria dos pilares tem uma forma quadrada ou retangular nos tamanhos de 0,30 m por 0,30 m a 0,60 m por 1,20 m, que permitem a ligação às vigas e garantem uma resistência ao fogo, que varia de acordo com a utilização tipo do edifício. O seu comprimento (altura) pode atingir os 12 m em edifícios de um piso e 15 m para edifícios de vários pisos, tornando estes os elementos normalmente com maiores dimensões, pois deste modo diminuem o número de ligações a efetuar em obra. No entanto o seu grande comprimento condiciona o seu manuseamento durante todo o processo, desde o fabrico, armazenamento, transporte e a montagem em obra. Devem por isso, ser previstos tanto em fase de projeto como em fase de obra pontos de elevação e fixação destas peças, principalmente se estiver prevista betonagem complementar *in situ*, nos nós de ligação viga-pilar.

Em edifícios industriais, é comum os pilares acomodarem consolas curtas, para a colocação de estruturas de apoio, como pontes rolantes ou passadiços para infraestruturas aéreas, tais como redes de extinção de incêndios, redes de gás comprimido, redes de água ou eletricidade, necessárias neste

²⁸ Precast/Prestressed Concrete Institute

tipo de edifícios. Outra das características dos pilares são as suas faces laterais que podem ser completamente lisas ou com rasgos verticais de cima abaixo, para permitir o encaixe de painéis de parede (FIP, 1994). Na figura 10 apresentam-se alguns exemplos de pilares pré-fabricados.

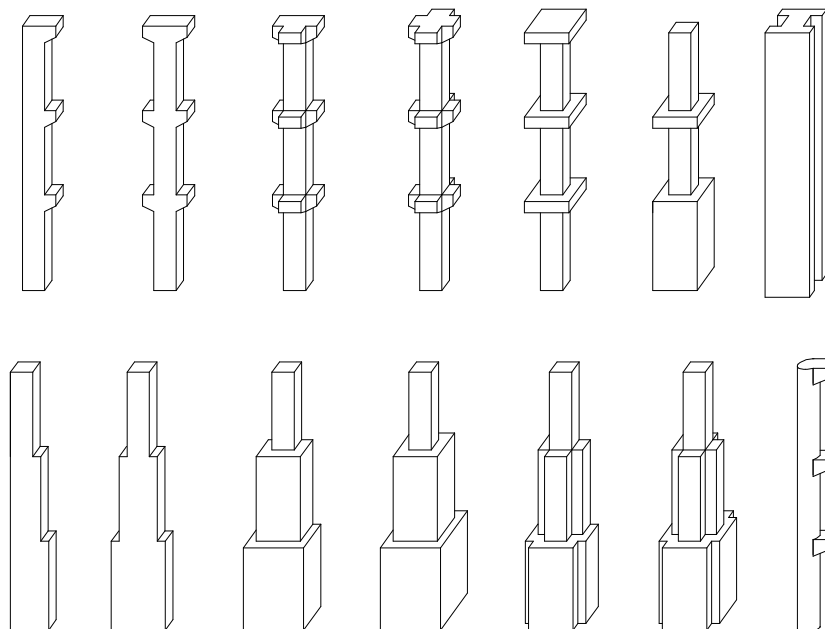


Figura 10 – Algumas soluções possíveis de pilares pré-fabricados

4.1.3 Vigas

De acordo com o PCI, as vigas são elementos horizontais que suportam os elementos horizontais adjacentes, como lajes duplo “T”, lajes alveolares, lajes aligeiradas (com abobadilha), lajes maciças, e, por vezes, outras vigas, assim como podem suportar elementos verticais assentes sobre elas, como paredes ou pilares. As vigas pré-fabricadas em betão armado apresentam geralmente secção geométrica variável, sendo as quatro formas mais comuns: retangular, “T” invertido, em forma de “L”, ou em forma de “I”, ver figura 11.

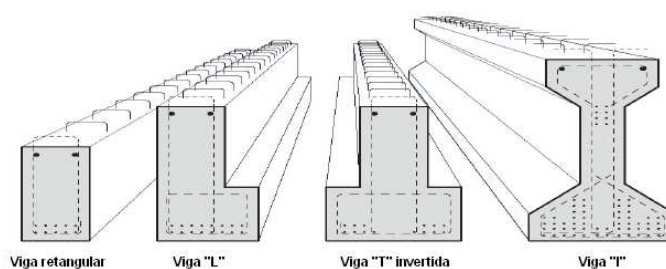


Figura 11 – Vigas tipo de betão: retangular, “T” invertido, em forma de “L”, ou em forma de “I” (Paradigm)

As vigas podem ser reforçadas com qualquer solução de pré-esforço ou armaduras ordinárias. A escolha do reforço dependerá dos vãos, das condições de apoio e dos métodos de produção utilizados pelo fabricante.

As vigas pré-esforçadas são tipicamente pré-tensionadas e moldadas numa longa linha de produção, muito semelhante à que é usada para as lajes duplo “T”. As vigas reforçadas com armaduras ordinárias podem apresentar-se como componentes individuais, com formas mais curtas e feitas especificamente para o tamanho da viga, sendo a sua orientação a mesma utilizada na estrutura a reforçar.

Elas podem ser produzidas praticamente em qualquer tamanho, de modo a satisfazer as necessidades estruturais. As alturas típicas são de 0,40 m a 1,00 m, enquanto que as larguras variam entre 0,30 m e 0,60 m. A relação entre o vão e a altura típica varia entre 10 e 20. As vigas que são produzidas na posição horizontal, tal como os pilares, ficando uma das partes viradas para baixo na mesa de moldagem, e as laterais que são fechadas com cofragem, normalmente são produzidas com um acabamento duro e liso, que resulta da textura dos materiais utilizados nos moldes da cofragem. A parte superior é acabada manualmente, podendo o acabamento ser liso, igual aos outros lados moldados, ou pode ser rugoso, para criar uma superfície de ligação que permita a boa aderência do elemento a colocar sobre a viga. Após a sua montagem em obra deve haver uma betonagem complementar *in situ* nesta zona, conjuntamente com a lâmina de compressão da laje, de modo a garantir um comportamento mais próximo do monolítico. As vigas são dimensionadas para resistirem ao seu peso próprio, ao peso da laje e à camada de betão aplicada ao conjunto, o que implica que a altura da viga pré-fabricada seja diferente da altura da viga após a betonagem, tal e qual como acontece com a laje de pavimento. Deste modo é necessário compatibilizar as cotas de todos os elementos adjacentes (Albarran, 2008).

As vigas de secção retangular (as mais comuns) podem apresentar as extremidades endentadas, para facilitar a ligação no apoio das consolas curtas dos pilares. Os vãos mais correntes têm entre 4,0 m a 15,0 m.

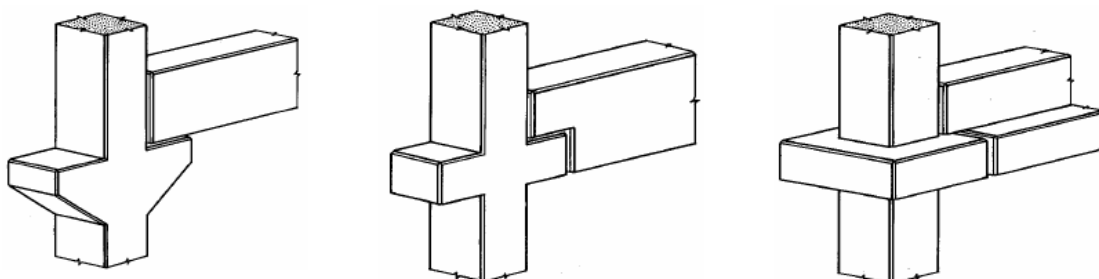


Figura 12 – Vigas de secção retangular endentadas (FIB, 2002)

Para além das vigas de piso correntes, anteriormente mencionadas, existe uma grande variedade de soluções para vigas pré-fabricadas para edifícios industriais, com diversas aplicações, secções e dimensões. De acordo com o catálogo da Painsa, “Catálogo de Estructura Delta”, as vigas podem distinguir-se de acordo com a sua função:

- Vigas principais de cobertura;
- Vigas secundárias de cobertura:
 - Vigas travessas (madres);
 - Vigas direitas;
 - Vigas em “U” aberto;
- Vigas caleira;

Outro tipo de vigas, mas menos usuais, são as vigas de platibanda, que podem ser aplicadas em construções de edifícios correntes, desde que a arquitetura assim o permita.

As vigas principais de cobertura, apresentadas na figura 13, são normalmente vigas delta, com secção em “I” e destinam-se a receber as vigas secundárias de cobertura. As suas dimensões são variáveis, conseqüentemente a sua inércia também varia e a sua inclinação varia entre 8 % a 10 %.

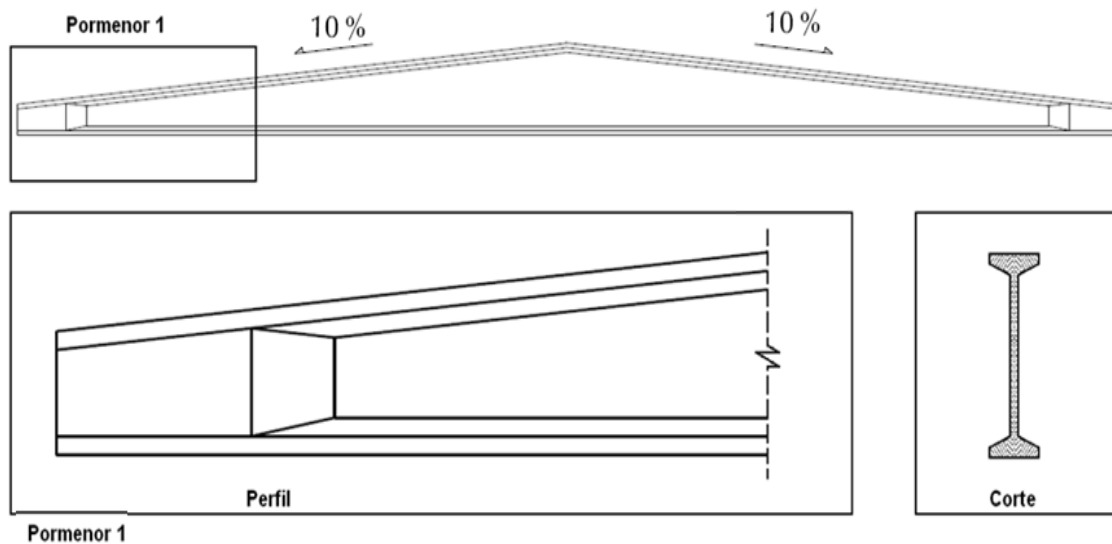
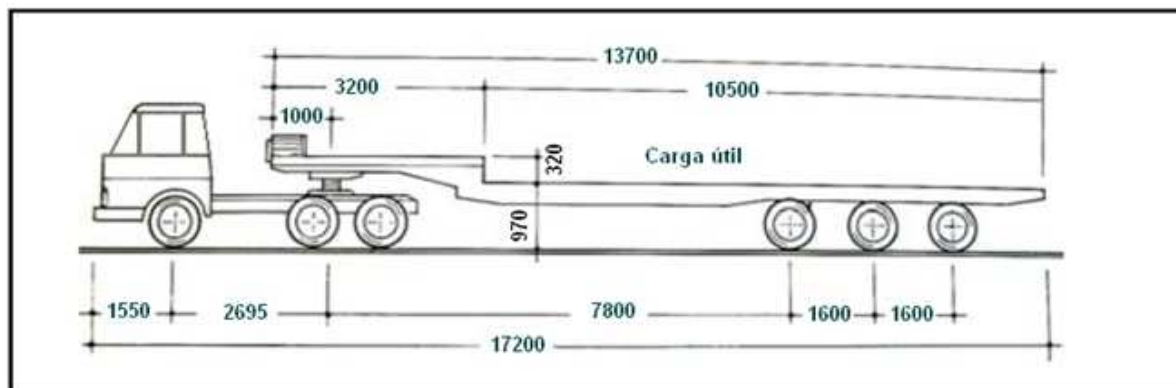
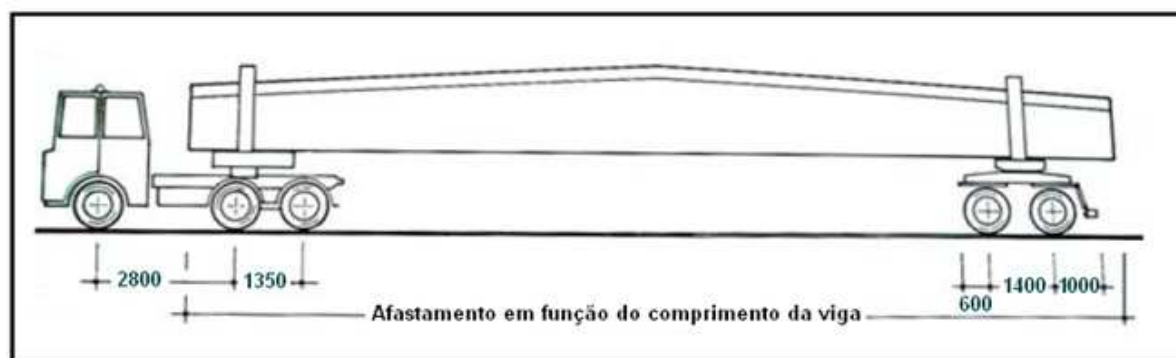


Figura 13 – Vigas principais de cobertura ou vigas delta (Painsa, 2013)

Conforme se pode observar na figura 14.a), o comprimento máxima da carga não deve exceder os 12,5 m para camiões treiler. Já no caso de camiões com reboque adaptável à extensão da peça, figura 14.b), a dimensão da viga não deve exceder os 25 m, pelo que para vãos superiores a este (ver tabela 7), algumas empresas optam pelo transporte da viga até à obra em 2 partes separadas, sendo ai ligadas com pós-esforço antes de se proceder à montagem.



a) Comprimento máximo da carga 12,5 m



b) Comprimento do transporte em função do comprimento da carga a transportar

Figura 14 – Tipo de transporte para cargas pré-fabricadas

Tabela 7 – Características das vigas delta (Painsa, 2013)

Designação	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Peso (ton)
Delta 1 - Armada	400	$8000 \leq L \leq 16000$	$2,18 \leq P \leq 4,77$
Delta 2 - Pré-esforçada	400	$16000 \leq L \leq 24000$	$6,97 \leq P \leq 11,34$
Delta 3 - Pré-esforçada	500	$24000 \leq L \leq 29000$	$11,91 \leq P \leq 14,74$
Delta 3 - Pré-esforçada	600	$23000 \leq L \leq 34000$	$11,99 \leq P \leq 19,52$
Delta 4 - Pré-esforçada	800	$29000 \leq L \leq 40000$	$25,75 \leq P \leq 34,74$
Delta 5 - Pré-esforçada	800	$39000 \leq L \leq 50000$	$43,22 \leq P \leq 54,90$

As madres ou vigas travessas (vigas secundárias de cobertura), apresentadas na figura 15, são vigas pré-esforçadas por pré-tensão. Podem ter comprimentos entre 2,5 m a 14,0 m, e a altura da secção transversal pode variar de 0,12 a 0,50 m.



Figura 15 – Madre superior pré-fabricada pré-esforçada

As vigas direitas (vigas secundárias de cobertura), apresentadas na figura 16, são utilizadas como elementos de travamento e suporte de coberturas. Segundo a FIP²⁹ podem ser aplicadas em vãos compreendidos entre 10,0 m e 35,0 m, em pavimentos com cargas elevadas ou até mesmo em pontes rolantes.

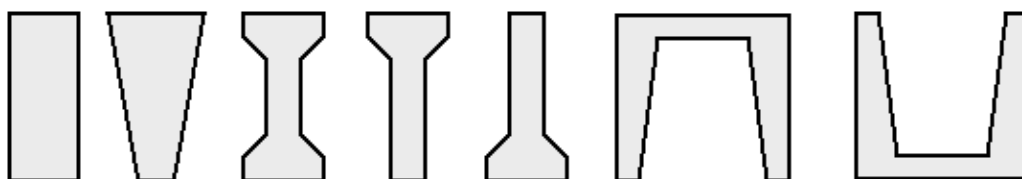


Figura 16 – Vigas direitas

As vigas caleira são aplicadas nos beirais das construções, sendo utilizadas como canal autoportante que recebe e transporta as águas pluviais provenientes das coberturas, como exemplifica a figura 17.

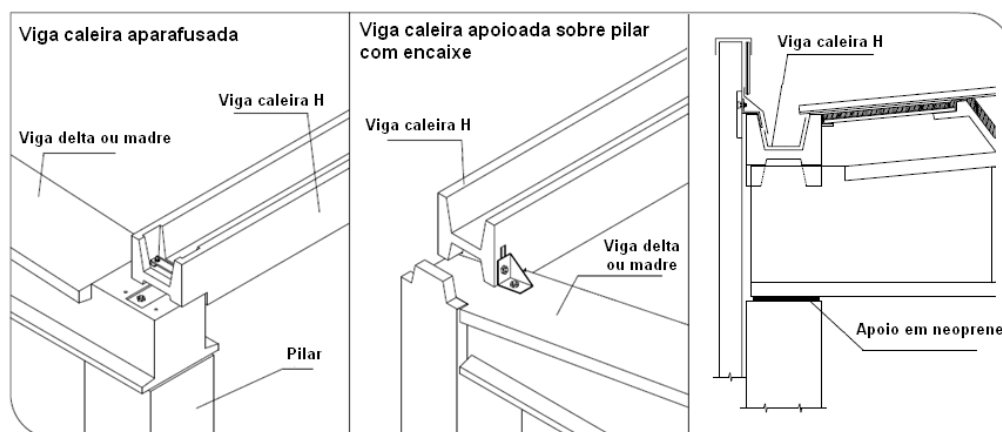
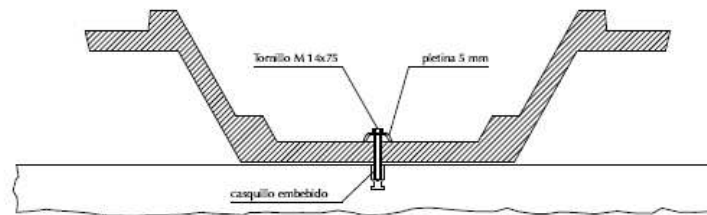
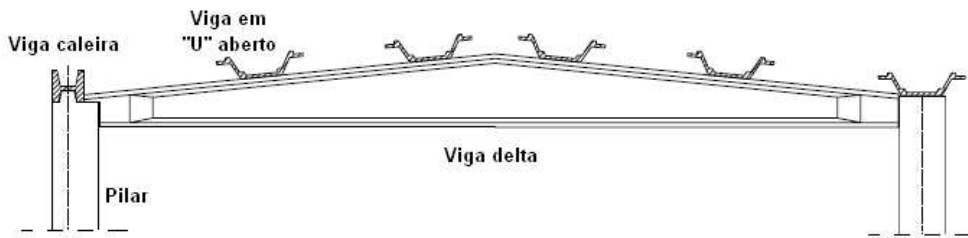


Figura 17 – Vigas caleira (Painsa, 2013)

²⁹ Federation Internationale de la Precontrainte. (2004). Planning and Design Handbook on Precast Building Structures.

As vigas de cobertura em “U” aberto servem para permitir o assentamento das chapas de cobertura, e são assentes sobre as vigas delta, conforme se pode observar na figura 18, podendo em alguns casos funcionar como uma caleira de recolha de águas pluviais (figura 19).



Pormenor

Figura 18 – Vigas em “U” aberto (Painsa, 2013)

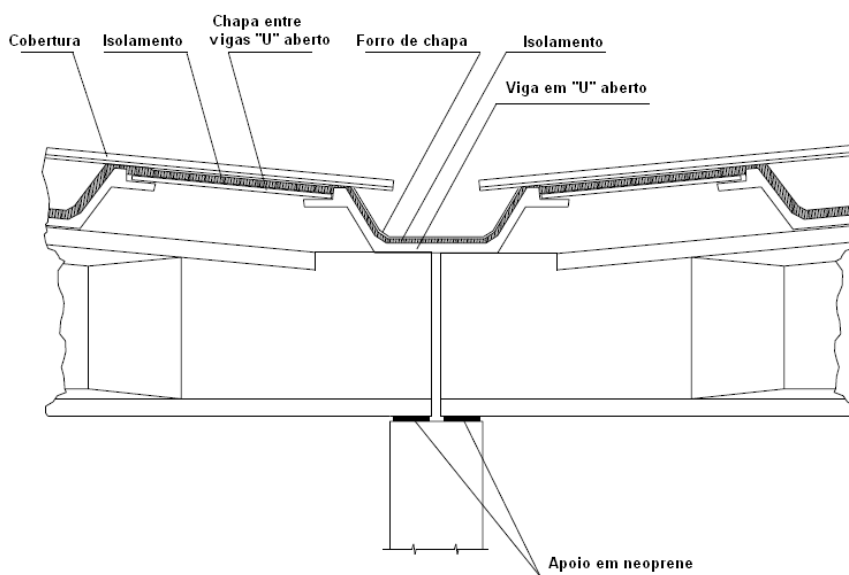


Figura 19 – Vigas em “U” aberto, zona de ligação de vigas delta (Painsa, 2013)

Quando se escolhe uma ligação à vista os aspetos estéticos devem ser considerados. Por vezes é necessário comprometer o fabrico e a simplicidade da montagem e, conseqüentemente, aumentar o custo, para fornecer uma aparência satisfatória.

Na figura 20 são apresentados exemplos de soluções alternativas para uma ligação de viga-pilar e uma ligação viga duplo "T". Uma ligação com consola curta à vista pode ser substituída por uma consola oculta ou consola com ligações internas. É evidente que o custo e a quebra de fabrico de uma viga simples ou pilar, onde as ligações ocultas foram previstas, devem ter um retorno a nível estético.

Sempre que se escolha uma ligação, as tolerâncias devem ser consideradas, não só por razões estruturais, mas também no que respeita ao aspeto estético. Especialmente se for em extremidades entalhadas que chamam à atenção quando expostas.

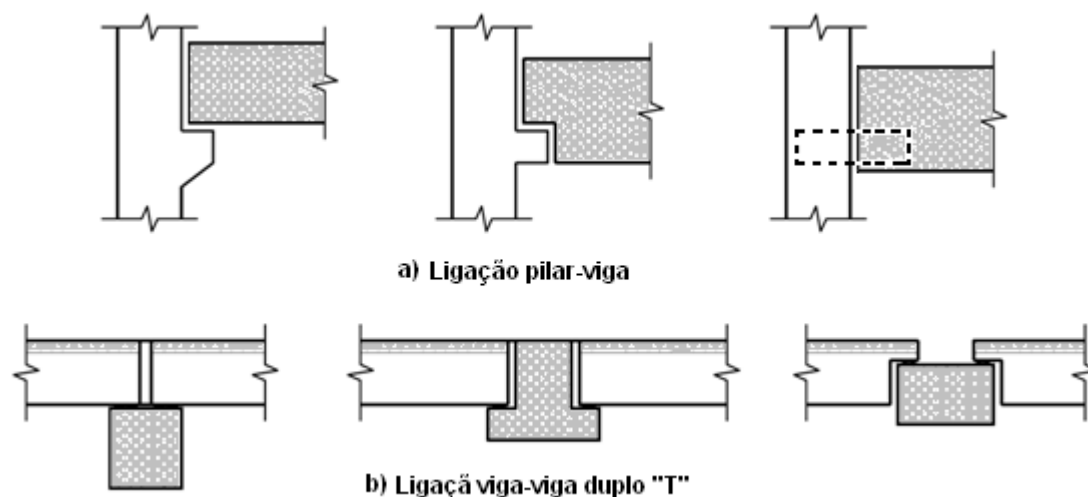


Figura 20 – Ligações alternativas com diferentes aparências estéticas: a) ligações viga-pilar, b) ligações laje duplo "T" (FIB, 2008)

Existem diversas soluções de vigas com abas laterais, conforme exemplos apresentados na figura 21, a sua utilização é vantajosa quando existe uma limitação na altura dos pavimentos, no entanto é uma solução pouco económica, se tivermos em consideração o custo de produção da tradicional viga retangular. As suas saliências, reentrâncias e arestas vivas tornam o seu fabrico mais caro devido ao aumento do tempo de execução, do material usado na cofragem e dos seus desperdícios, e da mão de obra afeta a esta tarefa.

No caso de aplicação de pré-esforço por pós-tensão é necessário incluir na sua largura as cabeças de ancoragem de pré-esforço.

Os armazéns com vários pisos, em alternativa, podem, ser constituídos por peças cruciformes, isto consiste em submeter um pilar interno isolado a carregamentos simétricos ou desbalanceados,

sendo a ligação viga-pilar totalmente pré-fabricada. Esta solução transmite um maior monolitismo à estrutura e melhora o seu comportamento face aos sismos, uma vez que faz deslocar as ligações, habitualmente nas zonas críticas, para fora dos nós.

A desvantagem de utilizar vigas pré-fabricadas, tal como os pilares, consiste nas dificuldades de fabrico, transporte, elevação e equilíbrio durante a sua montagem (Tomás, 2010).

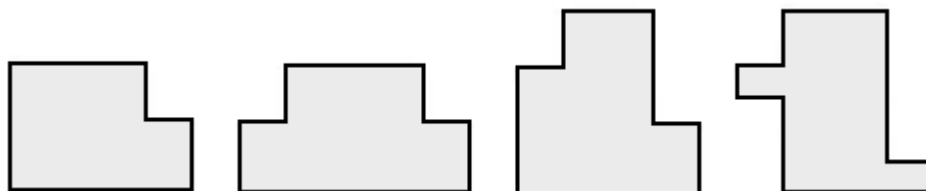


Figura 21 – Vigas com abas laterais

4.1.4 Lajes

“Consideram-se como lajes, os elementos laminares planos, sujeitos principalmente a flexão transversal ao seu plano e cuja largura exceda 5 vezes a sua espessura”(REBAP, 1983).

A sua principal função estrutural é resistir às cargas gravíticas, que atuam sobre elas, incluindo o seu peso próprio, transmitindo-as aos pilares, às paredes resistentes e às vigas, bem como as cargas horizontais resultantes da ação do vento e do sismo. Na montagem das lajes pré-fabricadas no local é geralmente necessário a execução de uma camada de betão complementar, aplicada sobre a superfície superior rugosa destas lajes, garantindo uma boa aderência. A execução desta camada serve para resistir a flexão e mas também para criar um monolitismo ao nível do piso, garantindo o efeito de diafragma do piso estrutural (Reis, 2000).

As estruturas fabricadas *in situ*, desde que não haja imposições arquitetónicas, tendem a ser constituídas por uma malha ortogonal regular, em que os vãos são idênticos em ambas as direções (Tomás, 2010).

Segundo o REBAP, em condições correntes, é recomendável que as lajes cujo vão maior não exceda duas vezes o vão menor sejam armadas em duas direções, sendo esta a solução mais económica para vencer os vãos, em função das condições de apoio e do tipo de carga aplicada.

As lajes como elemento principal da estrutura condicionam, na maioria dos casos, as soluções dos restantes elementos estruturais que as suportam (vigas e pilares). Assim a escolha da solução de

laje pré-fabricada será em função das cargas atuantes, do vão a vencer e da necessidade de utilização de escoramento, durante a fase da betonagem (Lúcio, 2000).

A solução ideal da pré-fabricação seria executar toda a laje de uma só vez, o que não é possível, uma vez que as dimensões das estruturas pré-fabricadas são condicionadas pelas condições de fabrico, pelo comprimento do transporte e pelo trajeto a percorrer, desde a fábrica à obra, e pelas condições de montagem. Deste modo, as lajes pré-fabricadas são produzidas, geralmente, com dimensões muito diferentes nas duas direções, sendo normalmente o comprimento máximo do elemento definido segundo o menor vão, considerando a armadura resistente unidirecional e o outro comprimento em função da largura do transporte. Assim a solução estrutural tende a ser muito diferente das estruturas fabricadas *in situ*.

Para que esta solução modular funcione como um todo em ambas as direções é necessário elaborar sistemas de ligação, que aumentam a complexidade e o tempo de execução em obra, o que gera um aumento de custos.

As lajes mais comuns, existentes no mercado, podem classificar-se da seguinte forma:

- Lajes pré-fabricadas:
 - Maciças;
 - Vazadas.
- Nervuradas:
 - Laje “T”;
 - Laje “U”;
 - Laje duplo “T”.
- Lajes mistas:
 - Com perfis pré-esforçados;
 - Pré-lajes;
 - Aligeiradas.

Destacam-se destas as lajes maciças, lajes duplo “T” e lajes alveolares, ver figura 22.

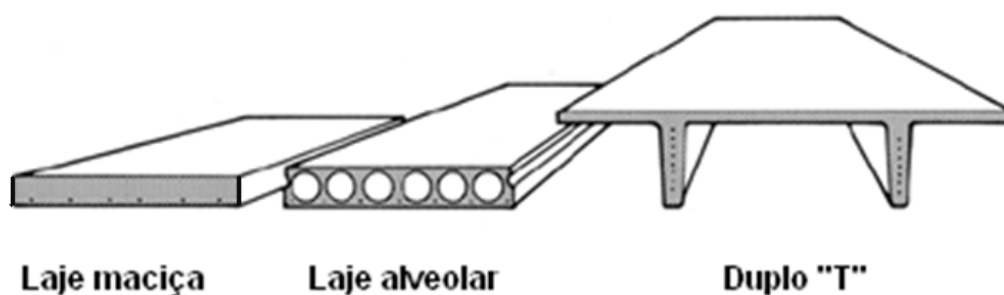


Figura 22 – Lajes maciças, lajes duplo “T” e lajes alveolares (Paradigm)

As lajes maciças são elementos estruturais de piso semelhantes às lajes alveolares. Podem ser executadas em unidades de grande dimensão, onde são reforçadas com cordão de pré-esforço após aplicada a pré-tensão, ou podem ser betonadas em moldes individuais, com qualquer solução de pré-esforço ou armadura ordinária. Elas são normalmente produzidas na mesma posição a ser utilizada na estrutura. O seu tamanho pode variar em função dos requisitos estruturais. Elas são tipicamente produzidas com 0,60 a 2,50 m de largura e 2,50 m a 9,00 m de comprimento. As espessuras típicas variam entre 0,10 e 0,30 m. O lado inferior da laje (fundo) é liso, tendo o aspeto da cofragem de fabrico, sendo este, normalmente, o aspeto final da construção acabada. Quando se trata de uma superfície à vista, pode permanecer como está ou ser pintada, sem tratamento adicional. O lado superior é talochado manualmente até se obter a textura pretendida, podendo esta ser lisa ou intencionalmente rugosa, para receber um elemento de betão no topo que atuará no local como um elemento composto e proporcionará uma resistência adicional (PCI).

As lajes duplo “T” são usadas principalmente como laje de piso e elementos de cobertura, de qualquer tipo de estrutura, incluindo as estruturas de estacionamento, edifícios de escritórios e edifícios industriais. São elementos pré-esforçados, produzidos em fábrica, normalmente, com 90 a 150 metros de comprimento, sendo posteriormente subdivididos em comprimentos específicos para um determinado projeto. São geralmente produzidas em três larguras tipo (2,00 / 2,50 / 3,00 m) e com altura entre os 0,30 a 1,00 m. O acabamento do elemento fica geralmente, conforme sai do molde, resultando numa superfície dura e lisa. Normalmente o elemento fica logo acabado, sem qualquer tipo de pintura, embora possa ser pintado se desejado. O lado de cima do elemento será suavizado para construção de telhados, ou áspero se for para receber um outro elemento de finalização de cobertura (transversal ou longitudinal), ou com pequenas caneluras se for usado como superfície de desgaste numa estrutura de estacionamento (PCI).

As pranchas alveolares são utilizadas geralmente em pisos e como elementos de suporte de coberturas em várias estruturas, incluindo as habitações multifamiliares, hotéis e condomínios, edifícios de escritórios, escolas e prisões. São normalmente produzidas com as larguras de 0,60 e 1,20 m, podendo atingir em caso especiais 2,40 metros. São fabricadas geralmente com seis alturas: 0,15 / 0,20 / 0,25 / 0,30 / 0,35 / 0,40 m. As pranchas alveolares, tal como as lajes duplo “T”, são elementos pré-esforçados, produzidos em fábrica, normalmente, com 90 a 150 metros de comprimento. O processo é composto por uma máquina específica que faz a extrusão do betão e cria os espaços vazios por meio de uma trado rotativo ou por colocação de carga de agregado que é posteriormente removida (PCI).

4.1.5 Escadas

As escadas pré-fabricadas de betão podem ser usadas em qualquer situação em que sejam requeridas um conjunto de escadas ou degraus individuais. Elas são fabricadas, quer numa configuração de “Z” aberto, em que o piso superior e inferior são fundidos numa só peça juntamente com a secção do piso de escadas/degrau, ou como elementos mais curtos, consistindo somente na secção do piso de escada, suportados por elementos de piso (superior e inferior) separadamente, conforme apresentado na figura 23 (PCI).



Figura 23 – Secção de escadas (PCI)

4.1.6 Paredes

Os painéis de parede de betão pré-fabricado são elementos versáteis que podem ser usados como elementos arquitetónicos, estruturais, ou em combinações de projeto dentro de um edifício. Os painéis de parede podem ser projetados como elementos de suporte ou como elementos não-resistentes.

Os painéis não-resistentes podem ser ligados a qualquer tipo de elementos estruturais, incluindo elementos pré-fabricados de betão, elementos moldados *in situ* de betão ou aço. Eles podem ser montados em posição horizontal, em habitações multifamiliares ou aplicados em escritórios, ou em posição vertical, normalmente utilizada em projetos de armazém (PCI).



Figura 24 – Pannel de parede (PCI)

Painéis de parede de sanduíche com isolamento

A escolha de painéis de parede em sanduíche com isolamento pode ser feita por opção estritamente arquitetónica, estrutural, térmica, acústica ou uma combinação de vários. A diferença entre os painéis típicos e os painéis de parede de sanduíche isolados é que os últimos são executados com isolamento rígido "ensanduichado", entre duas camadas de betão de recobrimento. A espessura do isolamento pode variar de acordo com as propriedades térmicas desejadas (valor de "R") para a parede.

Características estruturais

A nível de características estruturais podem ser:

- Compostos: o desempenho estrutural é conseguido, com base na espessura total do painel;
- Não-compostos: o desempenho estrutural é conseguido em função das capacidades individuais de cada material e em função da sua espessura, que se encontra na constituição do painel.

Se o painel é composto ou não-composto depende da configuração e os materiais utilizados para as ligações. A escolha de painéis de parede em sanduíche com isolamento pode ser uma opção para ser piso de suporte de carga e de suporte dos elementos de cobertura.

Este tipo de painel forma um elemento estrutural ideal para esta finalidade, normalmente é produzido com uma espessura de recobrimento interior superior para fornecer o suporte necessário, podendo também podem ser não-resistentes para completar a fachada.

Dimensões correntes

- **Largura:** 1,20 m a 4,60 m;
- **Altura:** 2,45 a 15,00 m;
- **Espessura:** 0,125 m a 0,300 m, incluindo 0,025 m a 0,075 m de isolamento, ou mais, quando aplicado em instalações de refrigeração.

Processo de fabrico

Os painéis podem ser produzidos em unidades de grande dimensão e reforçados com cordões de pré-esforço ou com armaduras ordinárias. São fabricados na posição horizontal, com moldes que servem de cofragem, onde o betão é vazado numa primeira camada, o isolamento colocado, e a

segunda camada vertida. Após terem adquirido cura suficiente, são então transportados para o estaleiro de obras, levantados e montados na sua posição final.

Acabamentos

Tal como acontece com os painéis de parede normais, os painéis são fabricados numa orientação plana, o lado que fica virado para baixo na mesa de moldagem é geralmente o lado que ficará à vista na construção final. Essa face pode ser feita com praticamente qualquer tipo de acabamento, podendo ser utilizadas telas como moldes, com a forma que se pretender imprimir, tal como discutido nos pilares e vigas. A face traseira, que é a que fica no topo da mesa, tem um acabamento manual liso ou pode ter um acabamento escovado. As partes que são betonadas contra o molde não necessitam de incrustação adicional e argamassas finas, tal como o gesso, para criar a superfície acabada.

4.2 Sistemas estruturais pré-fabricados

Na indústria de pré-fabricação existe um grande número de sistemas estruturais e soluções técnicas para as construções pré-fabricadas. No entanto grande parte deles resulta de um número limitado de sistemas estruturais básicos, com princípios de projeto semelhantes (FIB, 2002).

Destacam-se os sistemas estruturais de betão pré-fabricado mais comuns:

- **Estruturas porticadas:** compostas por pilares e vigas de fecho, utilizadas em construções industriais, comerciais, armazéns, etc.;
- **Estruturas em esqueleto:** compostas por pilares, vigas e lajes, para edifícios de altura média e baixa, com um número reduzido de paredes de contraventamento em estruturas altas. Estas estruturas são utilizadas principalmente em construções de escritórios, escolas, hospitais, estacionamento, etc.;
- **Estruturas em painéis estruturais:** compostas por elementos de painéis verticais autoportantes e de painéis de lajes, utilizados em maior escala na construção de casas e apartamentos, hotéis, escolas, etc.;
- **Estruturas para pisos:** composta por vários tipos de elementos de laje pré-fabricados, montados de forma a criar uma estrutura do piso única, capaz de distribuir a carga concentrada e transferir as forças horizontais para os sistemas de contraventamento. Este tipo de estruturas é usualmente utilizado em conjunto com todos os tipos de sistemas construtivos e materiais;

- **Sistemas para fachadas:** composto por painéis maciços ou painéis sanduíche, com qualquer tipo de formato, com ou sem função estrutural. Utilizam-se em todos os tipos de soluções, desde painéis para o simples fecho até aos mais aperfeiçoados em betão, permitindo dar liberdade artística e técnica aos projetistas, arquitetos e engenheiros, respetivamente. São utilizados em escritórios e fachadas de obras importantes;
- **Sistemas de betão:** consiste em blocos de betão pré-fabricado, algumas vezes, utilizados para blocos de quarto de banho, cozinhas, garagens, etc..

Todos estes sistemas podem ser combinados entre si e aplicados numa mesma construção.

Apresentam-se de seguida sistemas estruturais parciais, que complementam os sistemas estruturais.

4.2.1 Fundação e pilar

O sistema de pilar e fundação tem como principal objetivo transferir os esforços de compressão exercidos no pilar para os elementos de fundação.

Estes esforços de compressão podem ser elevados com pequena excentricidade (ação de base sobrecarga) ou moderados com média e elevada excentricidade (ação de base vento ou sismo).

O sistema constitui uma ligação pilar-fundação.

4.2.2 Pilares e vigas

Os sistemas de pilares e vigas são constituídos, passando a redundância, e como os próprios nomes indicam, por pilares e vigas, podendo as vigas por si só, se agrupadas, formarem uma cobertura (figura 25.a)) ou um piso (laje), como é o caso das vigas de duplo “T”, conforme se pode observar na figura 25.b). Neste caso a altura de um pilar pode exceder mais do que um andar, podendo abranger vários andares. O sistema representado na figura 25 constitui uma base típica do esqueleto de uma construção, podendo as ligações serem as seguintes:

- pilar-viga;
- viga-viga;
- pilar-pilar.

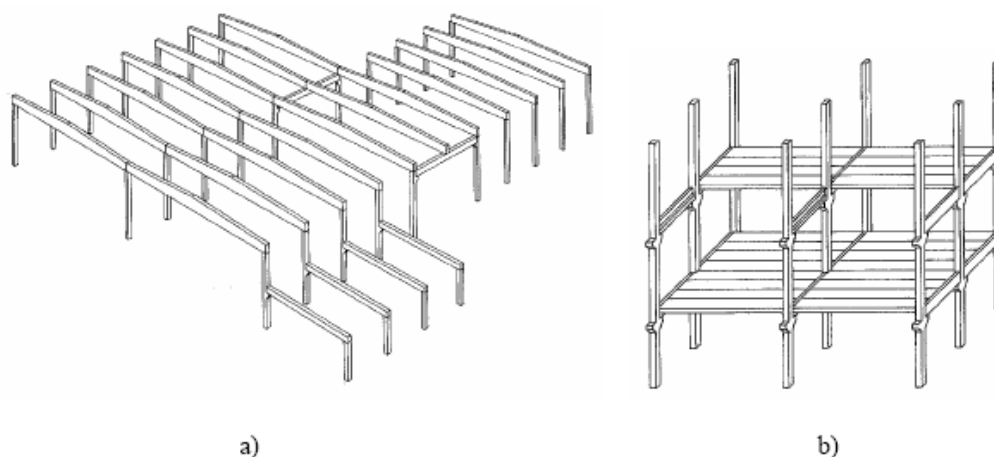


Figura 25 – Sistemas pilar-viga, a) pilares e vigas de um único piso, b) pilares e vigas de vários andares (FIB, 2008)

4.2.3 Lajes piso e cobertura

O principal objetivo das lajes de piso e de cobertura é transferir a carga vertical exercida neste elemento para os elementos estruturais verticais. Além disso, os pisos e as coberturas pré-fabricadas são geralmente considerados como as partes fundamentais do sistema de estabilização, utilizados para transferir cargas horizontais para os elementos de estabilização, ver figura 26 e 27.

Os sistemas de piso mais comuns são os pisos de laje alveolar (com núcleo oco) e lajes duplo “T” que também são utilizados em sistemas de cobertura. As ligações mais frequentes destes sistemas são as seguintes:

- Laje-laje: nas juntas interiores longitudinais e apoio interior;
- Laje-laje: ligação longitudinal do elemento topo-a-topo;
- Laje: junto ao apoio.

Os elementos de um sistema de piso resistem separadamente às cargas aplicadas, sendo desejado um certo grau de interação entre os elementos adjacentes. Para obter uma distribuição transversal dos efeitos de carga, no caso de cargas concentradas e evitar deslocamentos verticais irregulares, nas juntas longitudinais, as ligações de piso devem ser concebidas para desenvolver uma ação de corte que assegure a interação entre os elementos adjacentes, ver a figura 27.

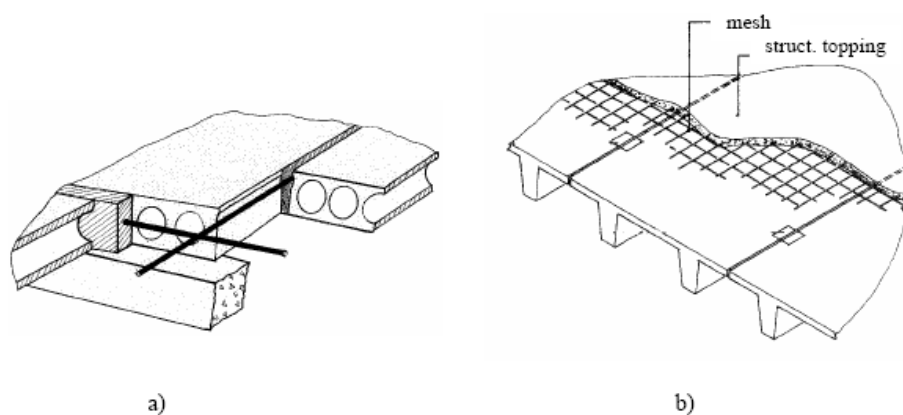


Figura 26 – Pisos típicos, a) laje alveolar, b) laje duplo “T” (FIB, 2008)

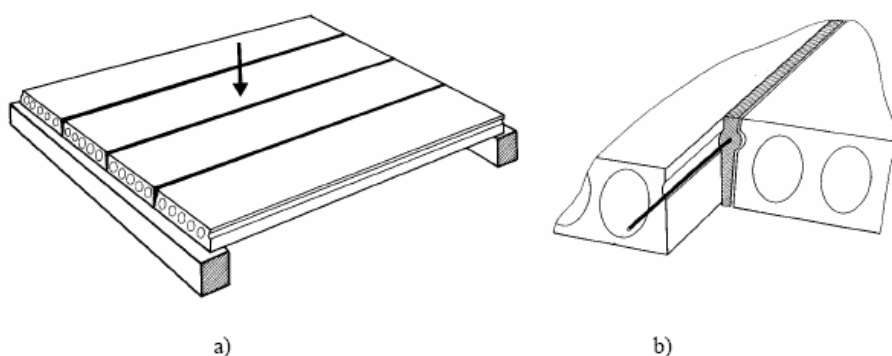


Figura 27 – Interação e distribuição transversal dos efeitos de carga entre o piso pré-fabricado e núcleo oco dos elementos: a) carga concentrada, b) Detalhe de corte longitudinal (FIB, 2008)

4.2.4 Paredes

Os principais tipos de sistemas de paredes de betão pré-fabricados são apresentados na figura 28, como fachadas e paredes interiores. As paredes podem ser classificadas como paredes estruturais, ou paredes não-estruturais. As paredes estruturais são utilizadas como apoio de elementos, como pisos (lajes), coberturas ou vigas. Como exemplo de paredes não estruturais, tem-se as paredes de fachadas tipo cortina, que como o nome indica tapam, vedam ou escondem o resto da estrutura (figura 29).

As ligações deste tipo de sistemas são as seguintes:

- Parede a parede no interior e juntas verticais exteriores;
- Parede a parede no interior e juntas horizontais exteriores;
- Parede-fundação.

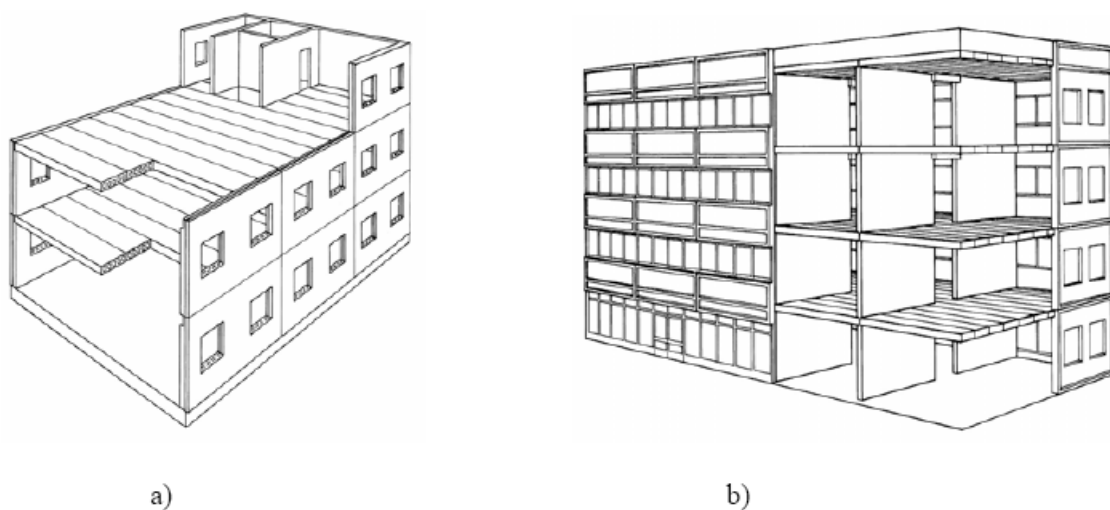


Figura 28 – Exemplos de sistemas de parede, a) paredes de fachada, b) paredes de suporte de carga (FIB, 2008)

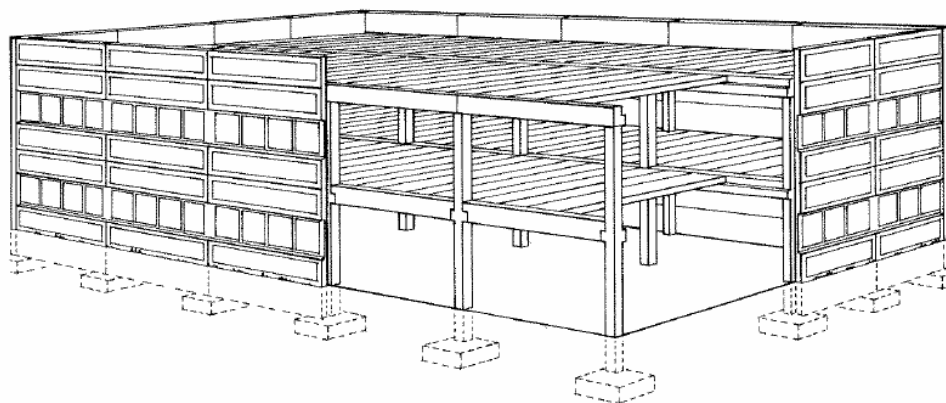


Figura 29 – Paredes não estruturais (fachadas) (FIB, 2008)

4.3 Ligações estruturais

As ligações estruturais servem para ligar os elementos individuais uns aos outros criando uma estrutura única. Assim, no seu dimensionamento deve ser considerada a estrutura como um todo, tendo em consideração a resistência de todas as ações consideradas nas hipóteses efetuadas em projeto do conjunto, assim como no dimensionamento dos elementos individuais a serem ligados. No dimensionamento das ligações deve-se assegurar a sua capacidade de suporte do deslocamento relativo, que é necessário para mobilizar a sua resistência, garantindo um comportamento robusto da estrutura.

A determinação da resistência e a rigidez das ligações podem ser obtidas por fórmulas analíticas, ou através de resultados de ensaios laboratoriais. Nestes devem ser previstos desvios desfavoráveis nas condições dos ensaios aquando da obtenção dos valores de cálculo.

Outro fator que deve ser tomado em consideração é a influência de imperfeições devidas a mão-de-obra.

O dimensionamento das ligações deve ser efetuado de modo a impedir o fendimento ou destacamento do betão de forma prematura nas extremidades dos elementos, devendo ser levado em consideração as tolerâncias dimensionais, os requisitos de ligação, a facilidade de execução e a facilidade de inspeção/manutenção.

As tolerâncias dimensionais devem ser consideradas no projeto das ligações, e na fabricação dos elementos pré-fabricados que integram a estrutura de um edifício, para que não ocorram sérios problemas durante a montagem da estrutura *in situ*.

Uma vez que a concretização do projeto em obra pode divergir, ainda que pouco, do preconizado pelo projetista, tem que se ter em consideração pequenos ajustes que possam ocorrer em obra. Estes ajustes só podem ser efetuados se existirem estas tolerâncias. Ora, estes desvios concentram-se normalmente nas ligações. Para evitar grandes desvios é aconselhada a retificação das medidas e do posicionamento dos elementos já aplicados em obra, antes da execução em fábrica, dos elementos a fabricar e a encaixar posteriormente em obra.

Para além da retificação mencionada, as ligações devem possuir dispositivos para ajustar os elementos nas três direções, possibilitando o alinhamento e nivelamento durante a montagem.

No exemplo da figura 30, o ajuste na direção z é feito por meio do trilho de apoio, na direção x por meio dos calços metálicos entre a cantoneira e o trilho, e na direção y por meio do orifício oval na cantoneira metálica.

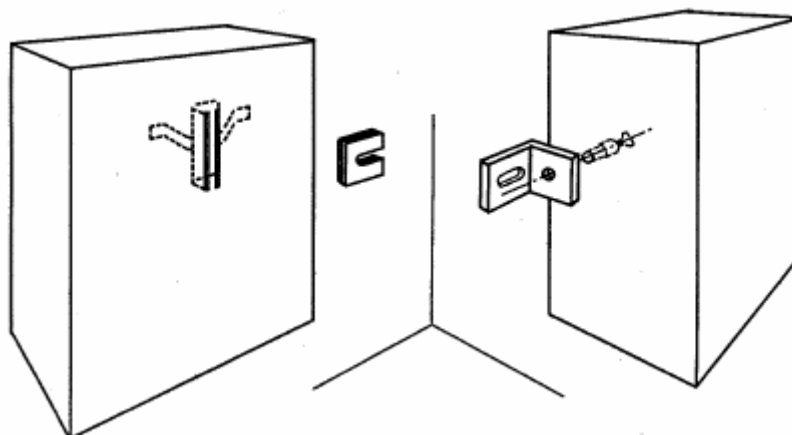


Figura 30 – Ligações dotadas de dispositivos de ajuste nas três direções (Arnold, 2002)

Tipos de ligações

Para se definir o tipo de ligação a utilizar entre elementos pré-fabricados, é preciso ter em consideração vários parâmetros. Pelo que a abordagem/classificação das ligações deve ser efetuada de acordo com:

- i. Os esforços a transmitir:
 - Força de compressão;
 - Força de tração;
 - Força de corte;
 - Momento fletor;
 - Momento torsor;
 - Combinação de vários.
- ii. Os elementos a ligar:
 - Ligação pilar-fundação: entre as extremidades inferiores dos pilares e as fundações;
 - Ligação pilar-pilar: entre troços de pilar, em geral a meia altura;
 - Ligação viga-pilar: entre as extremidades das vigas/pilares e nas regiões dos nós;
 - Ligações viga-viga: entre troços de vigas;
 - Ligação viga secundária- viga principal: entre vigas secundárias e vigas principais;
 - Ligação viga-laje: entre bordos das lajes e as vigas de suporte;
 - Ligação laje-laje: entre painéis de lajes pré-fabricados;
 - Ligação laje-pilar: entre bordos das lajes e os pilares de suporte;
 - Ligação de paredes/painéis: entre pilares, vigas e lajes.

iii. Processo de execução

A conceção de ligações apresenta muitas soluções estruturais, e a sua execução em obra pode ser muito complexa, com soluções de montagem muito variadas, pelo que se pode caracterizar de um modo simplista os seguintes tipos:

- Ligações de continuidade betonadas em obra, na zona entre elementos pré-fabricados em que se estabelece a emenda de armaduras;
- Ligações pré-esforçadas, aplicando um pós-esforço aos elementos pré-fabricados, através da junta de ligação;
- Ligações coladas, normalmente com resinas epoxídicas, na superfície de contacto entre elementos;
- Ligações aparafusadas, ligando os elementos pré-fabricados através de elementos metálicos roscados e parafusos, de modo idêntico ao que é feito em estruturas metálicas ou mistas;
- Ligações soldadas, soldando chapas ou outros elementos metálicos salientes dos elementos pré-fabricados a ligar;
- Ligações de atrito, mobilizando o atrito induzido pelo peso próprio entre elementos;
- Ligações mistas, combinando várias ligações entre si.

4.3.1 Ligações de acordo com os esforços a transmitir

Os movimentos de um sistema estrutural devem-se às cargas de serviço, à fluência e retração do betão, às variações de temperatura, às condições de apoio e tipos de assentamento.

As ligações entre vários elementos estruturais podem conter o movimento entre eles. Se o movimento dos elementos não for considerado, haverá um risco de dano nas zonas de conexão. Tais danos podem ser especialmente perigosos quando aparecem em regiões de apoio.

As vigas em edifícios são muitas vezes aparafusadas nos apoios ou ligadas por cavilhas/ferrolhos. As deformações, causadas pela retração ou variação térmica, resultam numa necessidade de movimentos nos apoios. Quando a junta é deixada aberta sem argamassa, a necessidade de movimento pode ser refreada pelo atrito mas não pela própria ligação aparafusada.

Quando o orifício da ligação está selado, as forças atuantes são mais eficazmente transferidas para os pilares do que para outras partes da estrutura. Estas dependem da rigidez da viga, bem como da rigidez dos elementos de suporte.

Apesar da necessidade de movimento não ser totalmente satisfeita, o movimento real que ocorre é transferido para os pilares. Estes movimentos não são considerados em projeto se forem previstas juntas de dilatação, colocadas a distâncias regulamentares.

Em alguns casos, quando as juntas de dilatação são colocadas com longos afastamentos (antirregulamentares) ou quando o plano do edifício não é simétrico, ou tem uma forma irregular/assimétrica, podem surgir alguns problemas na estrutura induzida a partir desses movimentos.

4.3.1.1 Força de compressão

As ligações à compressão são aquelas que se encontram submetidas a uma força de compressão axial ou à compressão com pequena excentricidade.

Neste tipo de ligações as juntas podem ser preenchidas com argamassa, betão ou polímeros endurecidos, utilizados como material de selagem, devendo ser asseguradas todas as precauções necessárias que impeçam o movimento relativo entre as superfícies a ligar durante a fase de endurecimento do material de selagem.

Só deverão ser utilizadas juntas secas quando:

- o valor médio da tensão no apoio não exceder $0,4 f_{cd}$;
- se dispõe de mão-de-obra especializada em estaleiro e em obra.

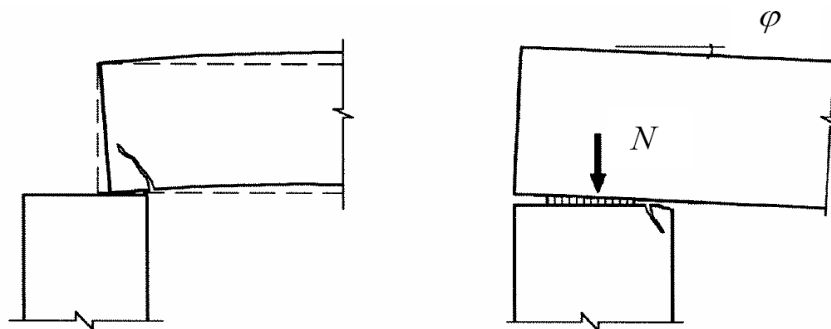


Figura 31 – Exemplos de zonas de conexão de elementos pré-fabricados que podem ser danificados por causa da força de compressão (FIB-Bulletin-43)

Cada elemento de betão pré-fabricado tem de ser apoiado em um ou vários locais, para transferir o seu peso próprio e cargas a que se encontra sujeito às fundações. Estas forças serão de um modo

geral forças de compressão. As ligações típicas com forças de compressão são mostradas na figura 32. A principal preocupação do projetista é otimizar a dimensão do elemento de betão em relação à carga axial, momento e ao corte atuantes. Na conceção das ligações, os componentes e os materiais devem garantir que satisfazem estas capacidades de carga. Pequenas áreas de apoio levam a pequenas excentricidades, que normalmente têm grandes vantagens.

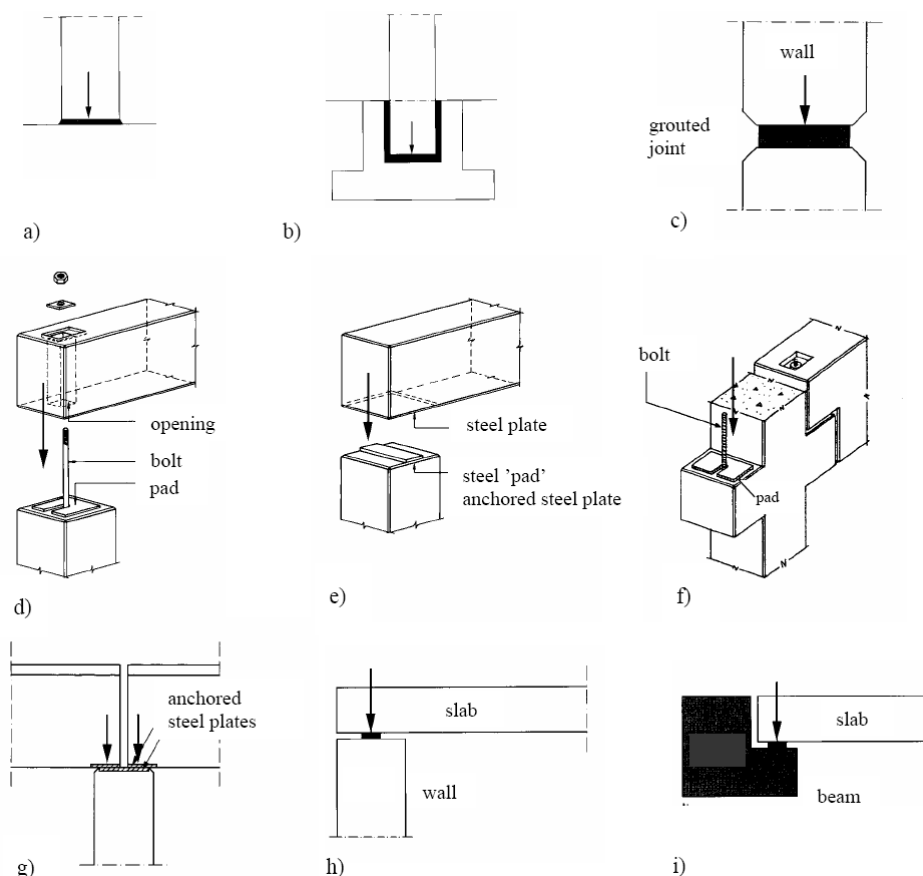


Figura 32 – Ligações estruturais típicas em betão pré-fabricado sujeitas a forças de compressão (FIB, 2008)

Os apoios sujeitos à compressão podem produzir tensões de tração de valor significativo nos elementos adjacentes.

Se o módulo de elasticidade do material de apoio for superior ao módulo do material dos elementos a ligar (placa rígida), podem surgir nas peças adjacentes forças que originem rotura na sua zona interior (bursting). Mas se o módulo de elasticidade do material do apoio for inferior ao módulo do material dos elementos adjacentes (placa macia), surgirão tensões de fendimento devidas à deformação transversal do material de apoio.

O aço tem o módulo de elasticidade mais alto do que o betão e, por conseguinte, impõem-se forças de compressão laterais no betão. Estas tensões de compressão aumentam a capacidade de suporte do betão. No entanto, estes efeitos são pequenos, e são normalmente negligenciados no projeto de ligação, tanto no que respeita ao betão como no que respeita ao aço (ver figura 33).

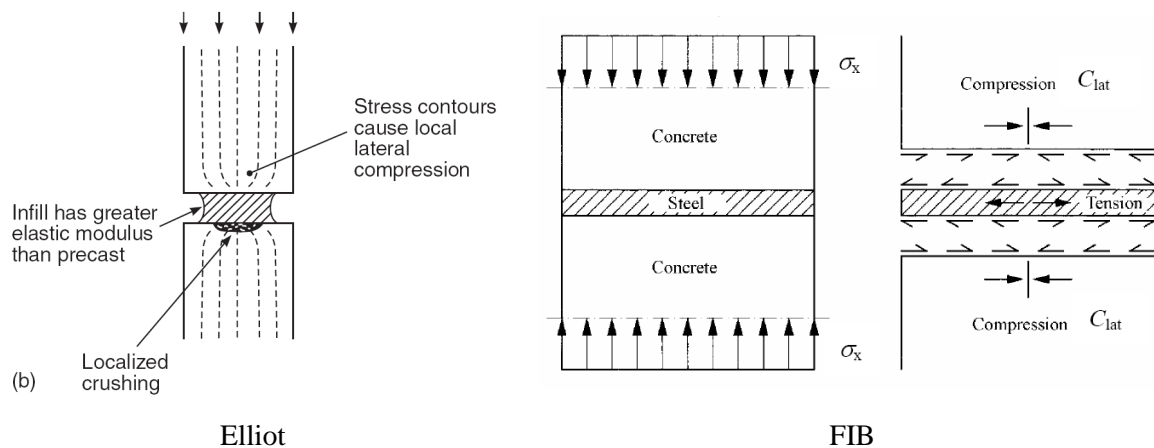
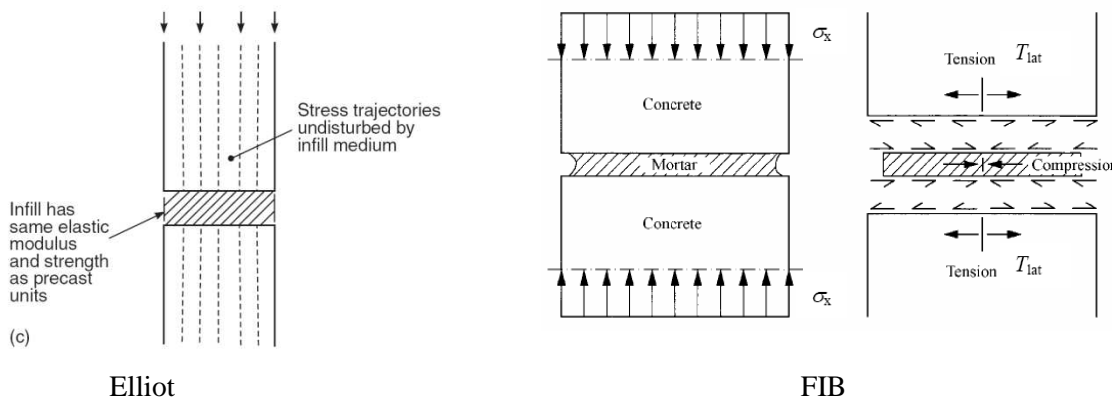


Figura 33 – Compressão do betão através de chapa de aço (Elliott, FIB)

Nas ligações com material rígido as tensões de tração transversais devem ser absorvidas por armaduras convenientemente aplicadas nos elementos adjacentes. Já nas ligações com material macio as tensões de tração transversais devem ser absorvidas por armaduras convenientes nos elementos adjacentes e, se necessário, nas ligações não totalmente contidas.

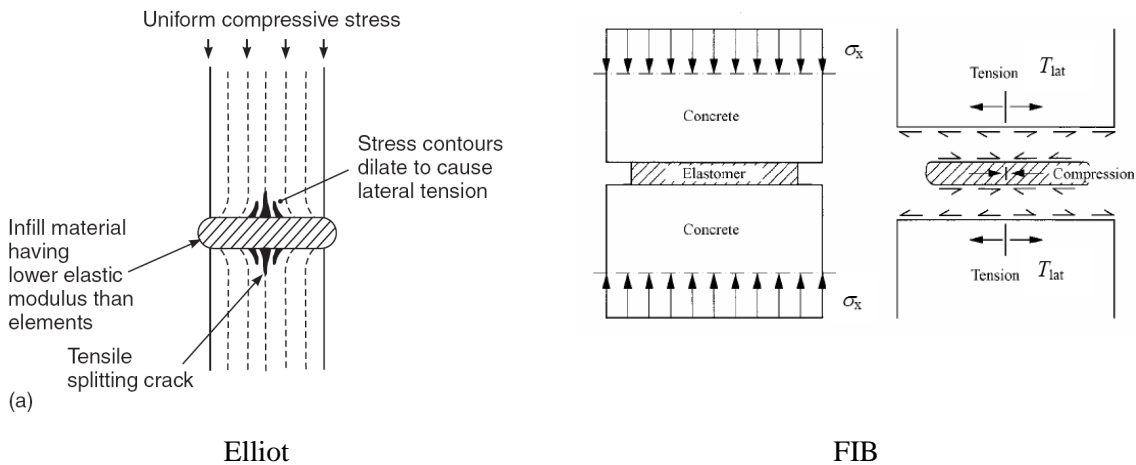
As características mecânicas da argamassa utilizada na ligação são inferiores às do betão dos elementos a ligar, tendo assim uma maior deformação lateral do que os elementos de betão, provocando tensões de tração laterais nos elementos de fecho, transmitidos à articulação, e causando tensões de compressão laterais na argamassa.

O efeito da tensão no elemento de betão é normalmente muito pequeno quando comparado a outros efeitos, sendo normalmente negligenciado na conceção da conexão. O efeito de compressão sobre a argamassa é de grande importância, devendo a capacidade de carga ser aumentada para o mesmo nível do elemento de betão (ver figura 34).



Elliott FIB
 Figura 34 – Compressão do betão através de argamassa comum (Elliott, FIB)

O efeito da compressão do betão através de um assentamento no apoio será o mesmo verificado na compressão através de argamassa, mas com valores muito mais elevados (ver figura 35). A tensão lateral é frequentemente tão grande que a almofada de assentamento vai deslizar ao longo da superfície de betão. O atrito é dado em função da rugosidade da superfície e o tipo de almofada. O efeito sobre a tensão do elemento de betão é de tal modo frequente que deve ser incluído na conceção o reforço de divisão. O efeito de compressão na plataforma de rolamento é essencial para o comportamento do conjunto.



Elliott FIB
 Figura 35 – Compressão do betão através de um assentamento no apoio (Elliott, FIB)

Na figura 36 podem observar-se alguns exemplos da transferência de força por meio da compressão de juntas em função do módulo de elasticidade.

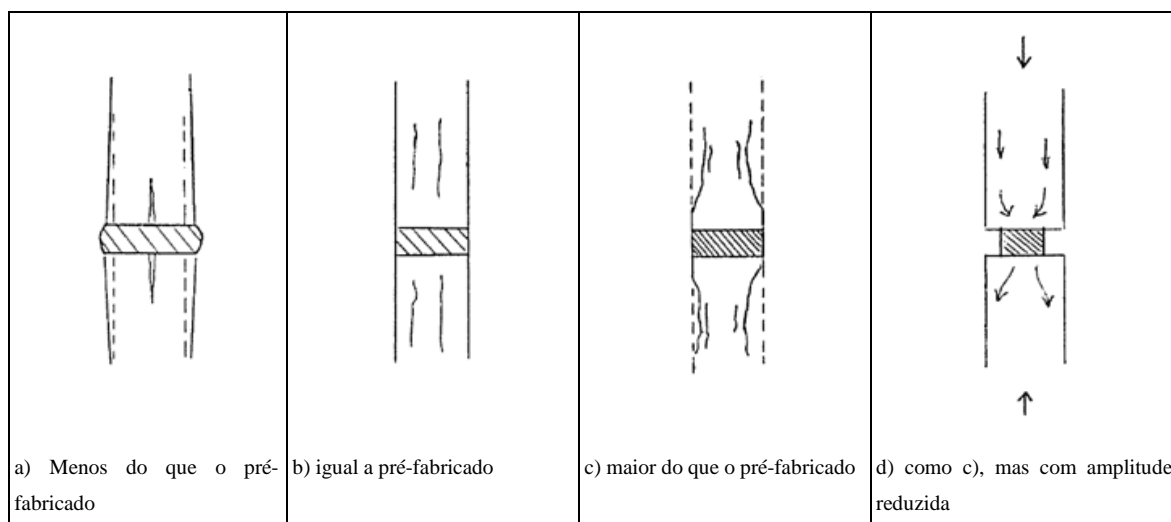


Figura 36 – Transferência de força por meio da compressão de juntas em função do módulo de elasticidade (Elliott)

Nas ligações rígidas (hard pack), figura 37 a), deve-se ter em consideração a verificação das tensões de destacamento (spalling) que surgem juntas às faces carregadas e as tensões de “bursting”, que ocorrem a pequena distância da zona solicitada. Deve-se do mesmo modo verificar as tensões de compressão local (crushing).

No caso das ligações macias (soft pack), figura 37 b), deve-se essencialmente assegurar a verificação da capacidade resistente em relação às tensões de fendimento (splitting), que surgem em virtude da deformação transversal do material de apoio (J. Azevedo, 1993).

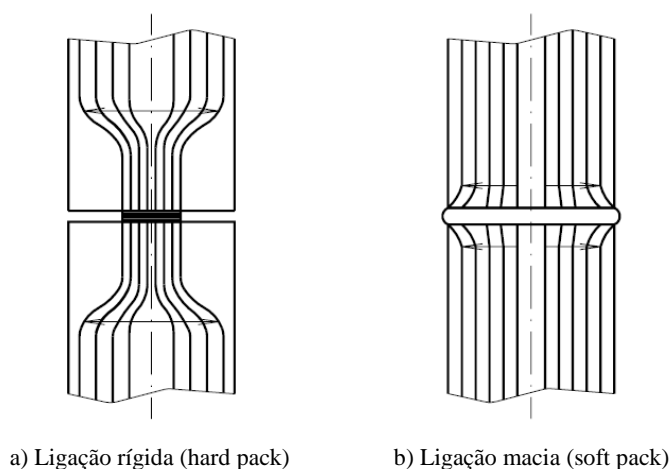


Figura 37 – Ligações à compressão (ENV 1992-1-3)

No cálculo das ligações à compressão, pode-se observar na figura 38, os fenómenos de splitting (fendimento), spalling (destacamento), crushing (esmagamento) e bursting.

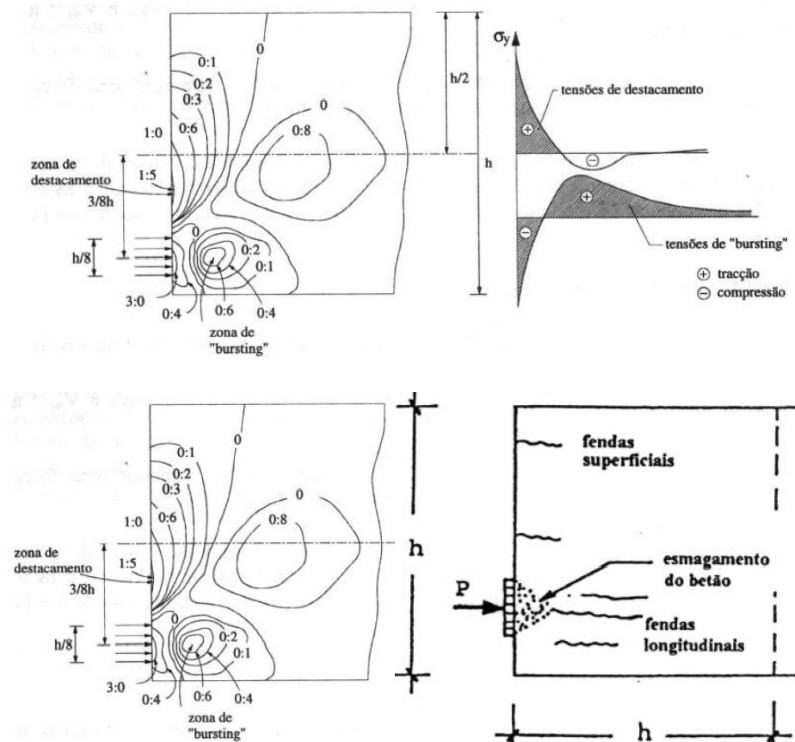


Figura 38 – Fenómenos de splitting (fendimento), spalling (destacamento), crushing (esmagamento) e bursting

Força de compressão com flexão

A pressão do vento em alguns casos transforma as forças de compressão em forças de tração impondo forças horizontais (de corte) na ligação. A ligação, muitas vezes, consiste na ligação não apenas em dois, mas em três ou quatro elementos de betão.

Assim, as juntas de compressão devem ser frequentemente verificadas à força de corte, exigindo o reforço de componentes de aço ou outro na junta, para além do material de suporte de articulação. As ligações típicas onde a compressão é combinada com outras ações apresentam-se na figura 39. Os elementos horizontais compridos, como vigas ou lajes, rodam no apoio após a mudança de temperatura, fluência e retração. Esta rotação muitas vezes exige aparelhos de apoio adequado.

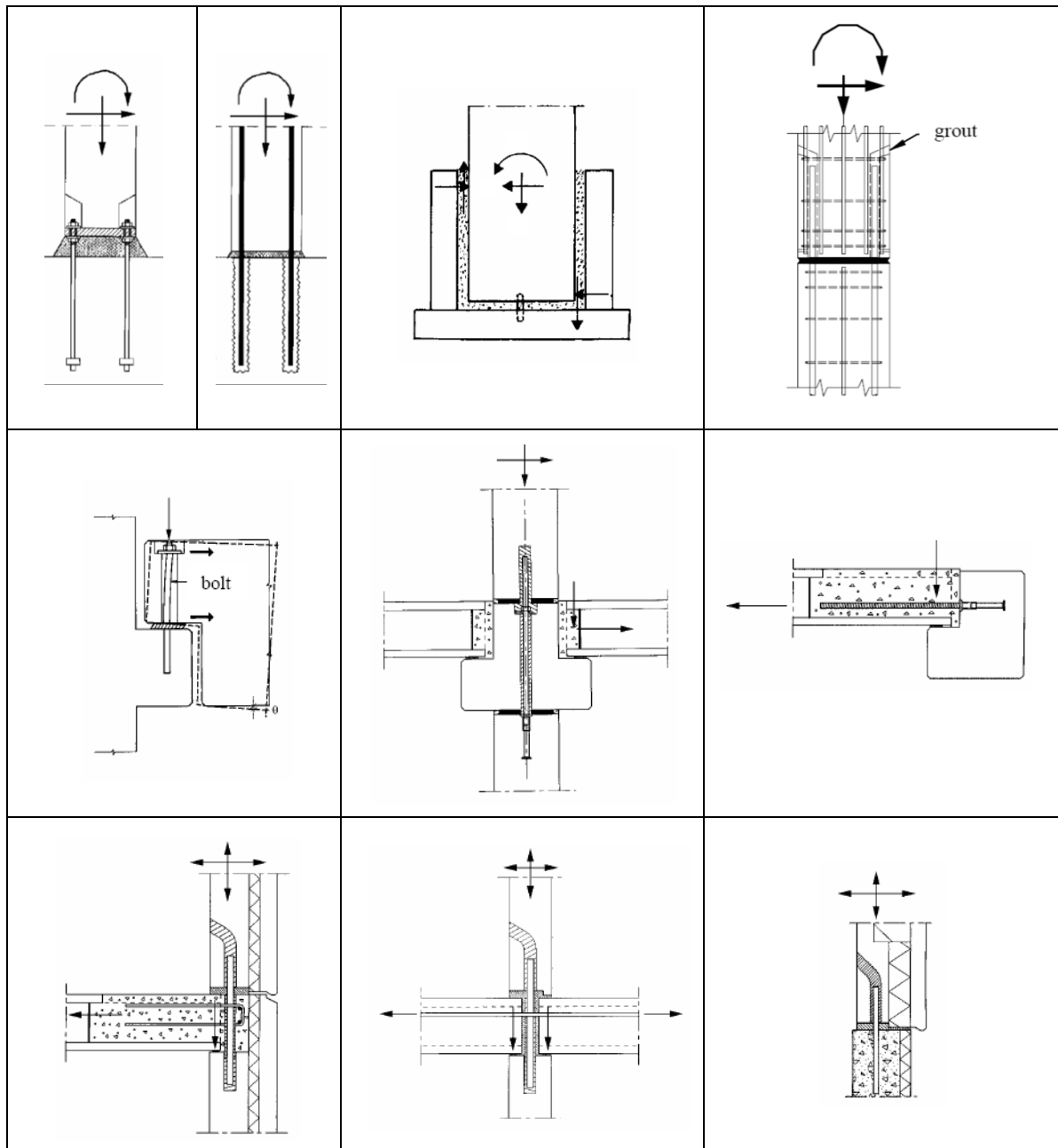


Figura 39 – Típicas juntas de compressão para ações combinadas (FIB)

4.3.1.2 Força de tração

Os tirantes contínuos podem ser convertidos *in situ*, através do prolongamento do aço no exterior das extremidades de um dos elementos. O elemento a ligar está provido de mangas (negativos), que são colocadas de acordo com os tirantes de ligação salientes do outro elemento, as quais estão ancoradas neste elemento por argamassa, cola, etc.. As ligações deste tipo encontram-se representadas na figura 40.

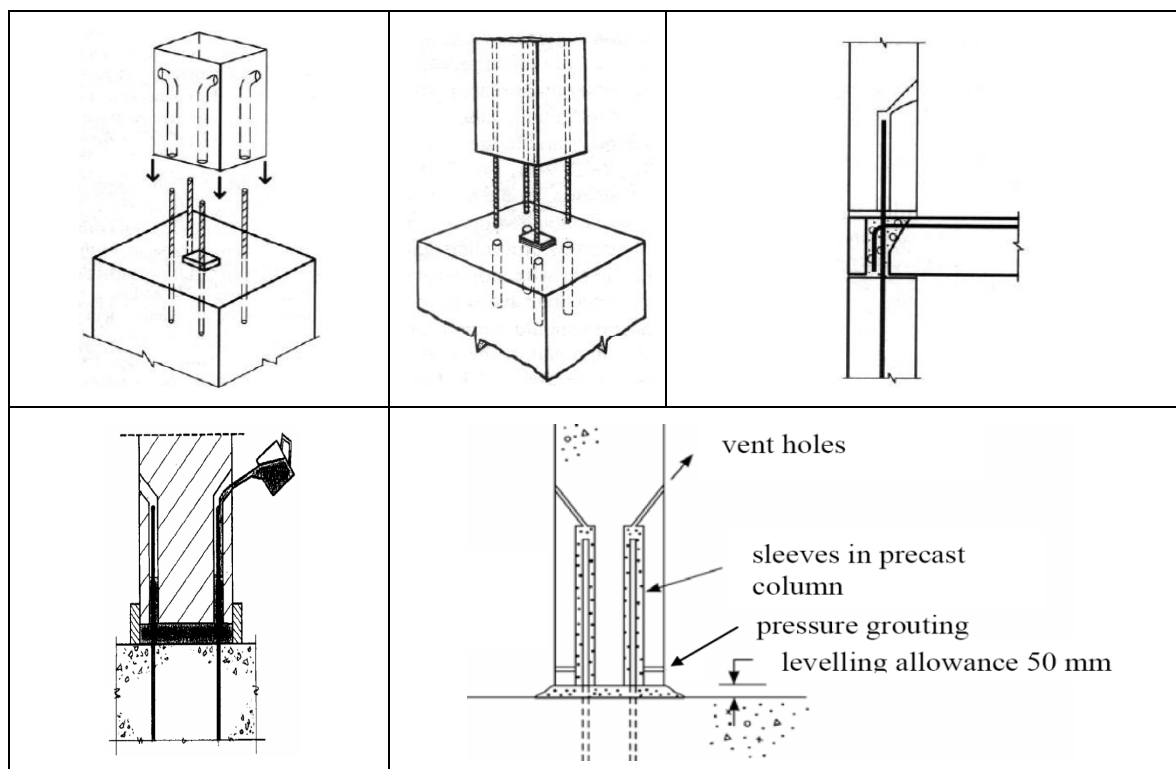


Figura 40 – Típicas juntas de compressão para ações combinadas (FIB)

Ligações para transferência de Forças de Tração

Segundo Arnold, as forças de tração podem ser transmitidas entre os elementos de betão através de diversos tipos de conectores metálicos (armaduras salientes, chumbadouros, conectores soldados, conectores mecânicos, etc.).

Numa ligação a resistência de tração pode ser determinada pela secção transversal dos componentes metálicos tracionados e/ou pela capacidade de ancoragem dos mesmos nos elementos de betão. Esta resistência pode ser obtida pela aderência ao longo de barras corrugadas, por meio de vários tipos de ganchos, e outras ancoragens mecânicas.

A ancoragem por traspasse, “lapping”³⁰ (dobra ou sobreposição), das armaduras salientes, é frequentemente utilizada em elementos de betão pré-fabricado. Estes elementos possuem barras salientes para serem embutidas (inseridas ou preenchidas) *in situ*, no betão pré-fabricado após a montagem (figura 44).

³⁰ A sobreposição pode ser em formato de laços, dobras, ganchos ou similares.

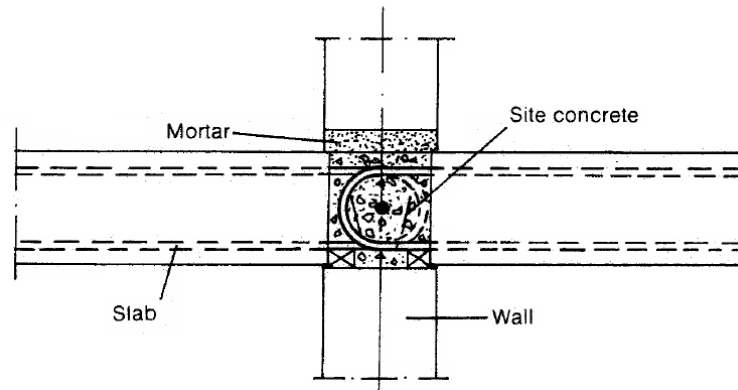


Figura 41 – Ligação de tração com armadura de espera em nichos preenchidos com betão (Arnold, 2002)

Através deste trespasse, é assegurada a transferência da força de tração nos elementos, podendo também ser conseguido combinando com uma ação de pino³¹ (figura 45), ou por outros meios.

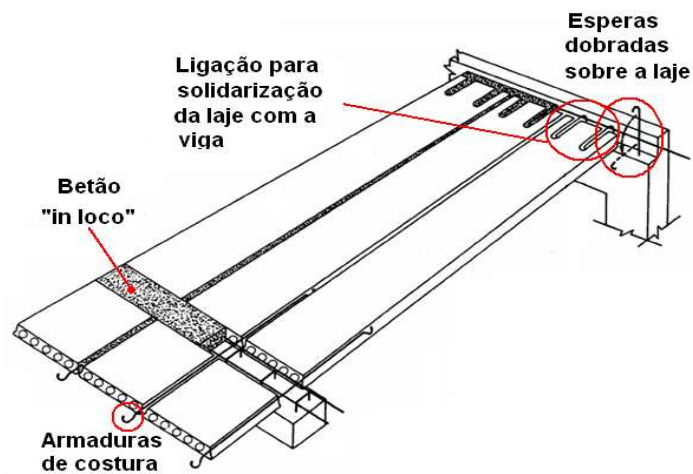


Figura 42 – Ligação de tração por meio de sobreposição de armaduras em laço combinada com ação de pino (Arnold, 2002)

³¹ Chumbadouros (ou pinos), assim com ancoragens, são empregados extensivamente para transferir forças de tração e de corte.

4.3.1.3 Força de corte

As ligações ao corte transmitem o corte entre elementos pré-fabricados adjacentes ou entre betão moldado em obra e um elemento pré-fabricado. Uma junta de betonagem pode ser muito lisa, lisa, rugosa ou indentada (ou denteada), sendo as suas características identificadas na tabela 8.

Tabela 8 – Características das juntas de betonagem (NP EN 1992-1-1)

Tipo de superfície	Características	c	μ
Muito lisa	Uma superfície moldada por aço, plástico ou por moldes de madeira especialmente preparados	0,10	0,5
Lisa	Uma superfície extrudida ou executada com moldes deslizantes ou executada sem cofragem e não tratada após a vibração	0,20	0,6
Rugosa	Uma superfície com rugosidades de pelo menos 3 mm de altura e espaçadas cerca de 40 mm, obtidas por meio de raspagem, de jacto de água, ar ou areia ou por meio de quaisquer outros métodos de que resulte um comportamento equivalente	0,40	0,7
Indentada	Uma superfície com recortes em conformidade com as figuras 41 e 42	0,50	0,9

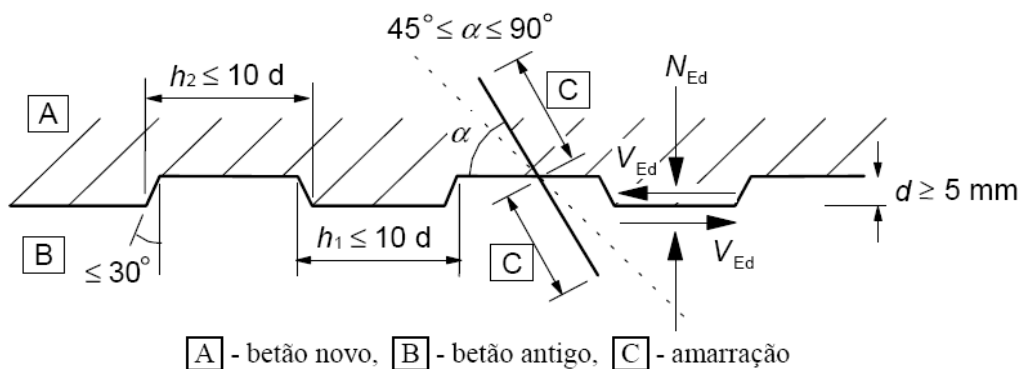


Figura 43 – Junta de construção indentada (NP EN 1992-1-1)



Figura 44 – Exemplo de uma junta de construção indentada

A tensão tangencial nas juntas de betonagem em diferentes idades deverá satisfazer a seguinte expressão:

$$v_{Edi} \leq v_{Rdi}$$

v_{Edi} é o valor de cálculo da tensão tangencial na junta dada por:

$$v_{Edi} = \beta V_{Ed} / (z b_i)$$

β relação entre o esforço longitudinal na secção de betão novo e o esforço longitudinal total na zona de compressão ou na zona de tração, ambos calculados na secção considerada

V_{Ed} esforço transversal

z braço do binário da secção composta

b_i largura da junta (ver figura 43)

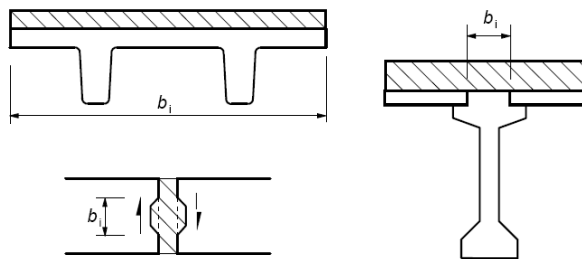


Figura 45 – Exemplo de junta de betonagem (NP EN 1992-1-1)

v_{Rdi} é o valor de cálculo da tensão tangencial resistente na junta dada por:

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v \cdot f_{cd}$$

σ_n tensão devida ao esforço normal exterior mínimo na junta, que pode atuar simultaneamente com o esforço transversal, positivo se de compressão, com $\sigma_n < 0,6 f_{cd}$ e negativo se de tração. Quando σ_n é de tração, $c \cdot f_{ctd}$ deverá ser considerado igual a 0.

$$\rho = A_s / A_i$$

c e μ coeficientes que dependem da rugosidade da junta, ver tabela 8.

ρ relação entre a área da secção de armaduras que atravessam a junta, incluindo a das armaduras de esforço transversal (caso existam), com amarração adequada de ambos os lados da junta e a área da junta .

v coeficiente de redução da resistência do betão fendilhado por esforço transversal, dado por:

$$v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250)$$

4.3.1.4 Momento fletor

O valor do momento fletor que atua numa ligação depende da rigidez das peças e da rigidez da própria ligação. A transferência de esforços entre elementos é estabelecida através de um binário de tração e compressão. A continuidade das armaduras ao longo da ligação deve ser assegurada por sobreposição de varões, soldadura de varões ou chapas de aço, armaduras seladas em negativos, armaduras em laço sobrepostas, uniões roscadas, pré-esforço, mangas roscadas ou seladas. É importante que haja uma correta amarração das armaduras, para que não se dê a rotura por falta de aderência. Na figura 46 apresentam-se exemplos de ligações (viga-pilar, pilar-pilar) resistentes à flexão.

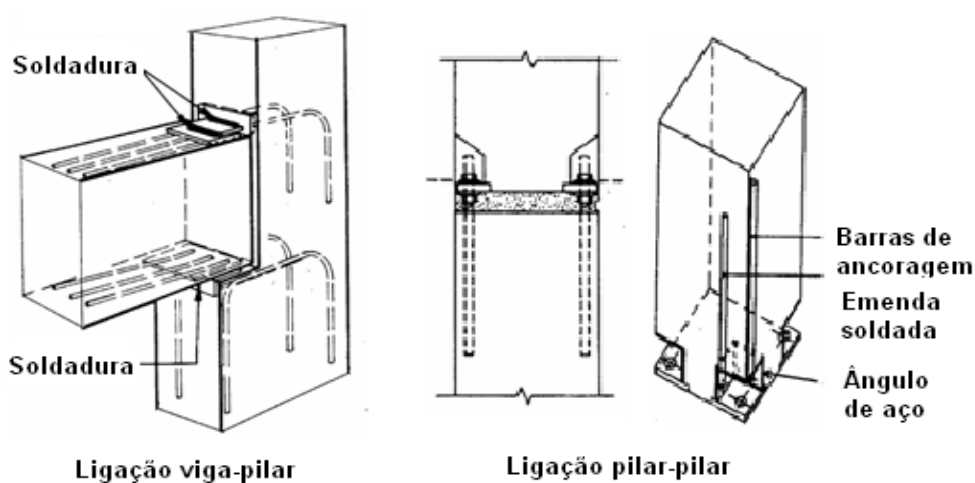


Figura 46 – Exemplos de ligações resistentes à flexão (Arnold, 2002)

4.3.1.5 Momento torsor

Os momentos torsores estão normalmente associados a vigas, quando apenas é carregado um dos seus lados, ou os dois, mas com cargas diferentes, gerando uma torção do elemento. O caso mais corrente são as vigas onde descarregam as lajes de piso. Esta torção deve ser convertida em momento fletor atuante no elemento de apoio, e deve ser resistida pelas ligações nos apoios. Assim a torção, tal como no caso do momento fletor, pode ser transferida por ação de um binário de forças (ver figura 47).

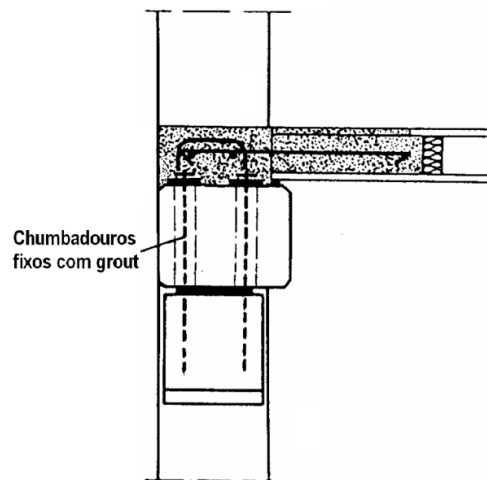


Figura 47 – Exemplo uma de ligação resistente à torção (Arnold, 2002)

4.3.1.6 Combinação de vários

Para além das ligações anteriormente enunciadas, pode sempre haver ligações que resultem da combinação de várias ações, que têm que ser particularmente estudadas, mediante o caso concreto que estiver a ser estudado.

4.3.2 Ligações entre elementos estruturais

4.3.2.1 Ligação pilar-fundação

Existem muitos tipos de ligações, entre elementos pilar-fundação, destacando-se as seguintes ligações:

- por ancoragens aparafusadas;
- por emendas;
- por encaixe;
- por ligação de chapa;
- por ligadores de varões;
- por parafusos;
- por pós-tensão;
- por rótula;
- por soldadura a chapa;
- por soldadura a varões;
- por soldadura a chapa e varões.

Fundações de encaixe

De acordo como a NP EN 1992-1-1, as fundações de encaixe de betão devem permitir a transferência dos esforços atuantes nos pilares, nomeadamente os esforços verticais, os momentos fletores e os esforços horizontais.

O encaixe deve ter folga suficiente para permitir uma boa betonagem sob a base do pilar e em torno dele, podendo ser denteados (ou recortados) ou lisos.

Os encaixes fabricados com paredes denteadas ou recortadas atuam monoliticamente com o pilar, conforme se pode ver na figura 48.

Nos encaixes lisos, os esforços de compressão, F_1 , F_2 e F_3 , asseguram a transmissão das forças e do momento do pilar para a fundação, através do betão de enchimento e das forças de atrito correspondentes, conforme se pode ver na figura 48.

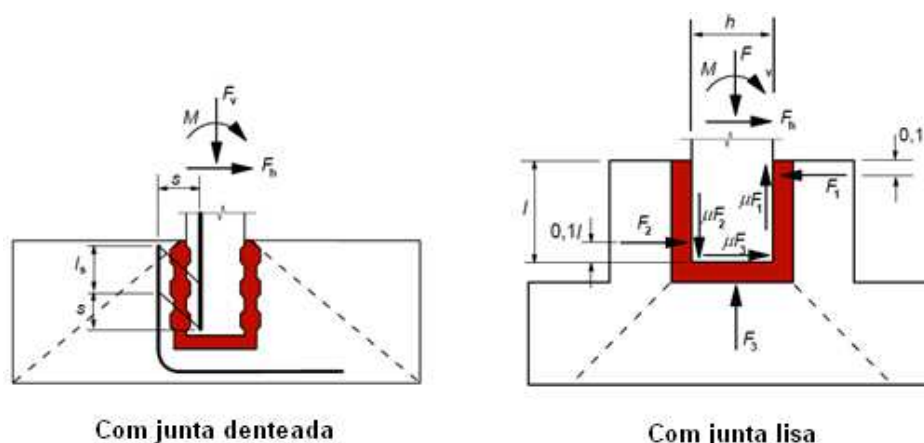


Figura 48 – Fundações de encaixe (NP EN 1992-1-1, 2008)

A ligação da fundação de encaixe realizada *in situ* proporciona uma ligação fixa ao pilar pré-fabricado, sendo o pilar embutido no negativo da fundação e betonado.

Os pilares e painéis de paredes pré-fabricados devem ser encaixados nas fundações, isto é, em fundações diretas, conseguido em solos resistentes, ou quando as condições geotécnicas não o permitam, recorrendo a fundações indiretas (estacas de fundação).

As soluções básicas para se conseguirem ligações resistentes à flexão entre as bases dos pilares e as fundações são apresentadas nas figuras 49, 50, 51 e 52.

No caso de cálices de fundação, a solidarização entre o pilar e a fundação é conseguida por meio do preenchimento dos vazios, com argamassa não retrátil (grout), ou betão entre o pilar e as faces internas do cálice.

Noutras soluções, as armaduras longitudinais são deixadas em espera na fundação, para serem encaixadas em nichos (ou bainhas) no pilar, as quais serão posteriormente preenchidos com “grout”.

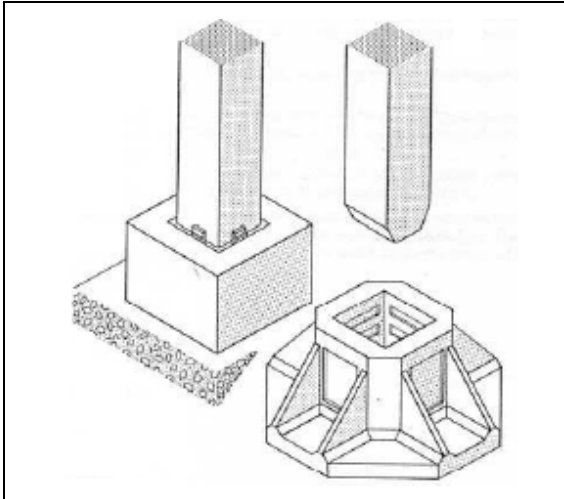


Figura 49 – Ligação por encaixe (Stupré, 1981)

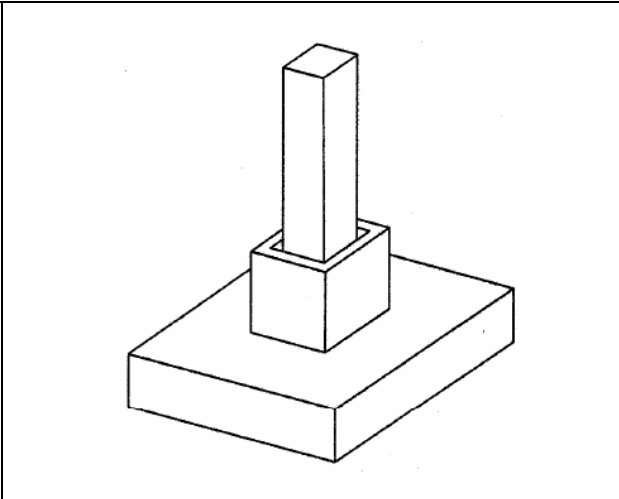


Figura 50 – Ligação por encaixe (Arnold, 2002)

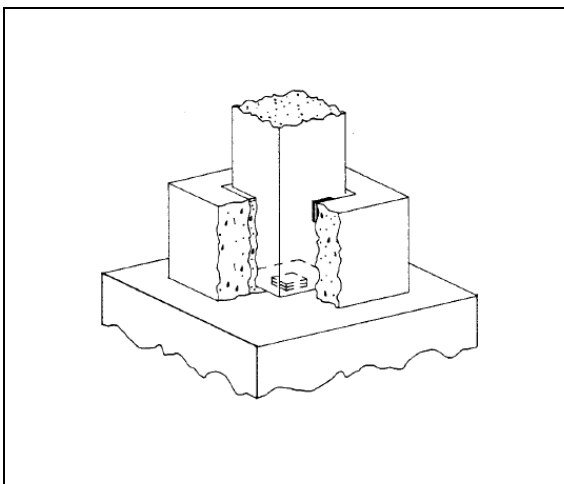


Figura 51 – Ligação por encaixe (Sidney, 2000)

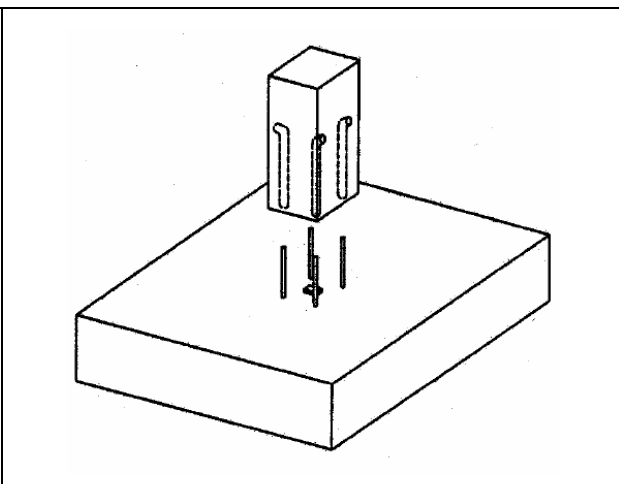


Figura 52 – Ligação com chumbadouros cravados com argamassa não retrátil (Arnold, 2002)

No caso de ligações pilar-fundação aparafusadas, são utilizadas chapas de base ou cantoneiras, as quais são soldadas à armadura longitudinal do pilar, onde posteriormente serão aparafusadas aos chumbadouros deixados nas bases das fundações.

Nas figuras 53 a 58 são apresentadas alguns exemplos de ligações típicas de pilar-fundação.

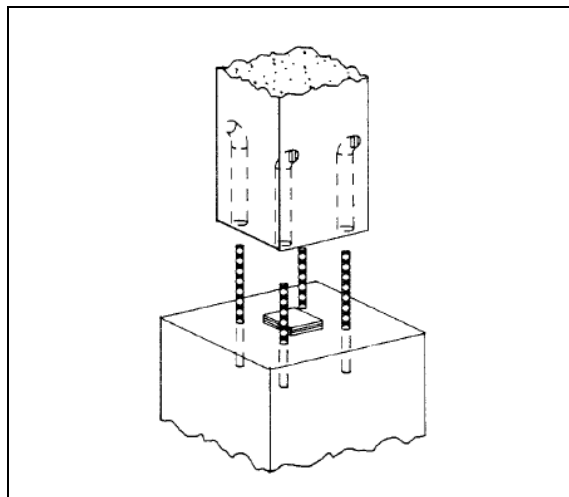


Figura 53 – Ligação com chumbadouros cravados com argamassa não retrátil (Sidney, 2000)

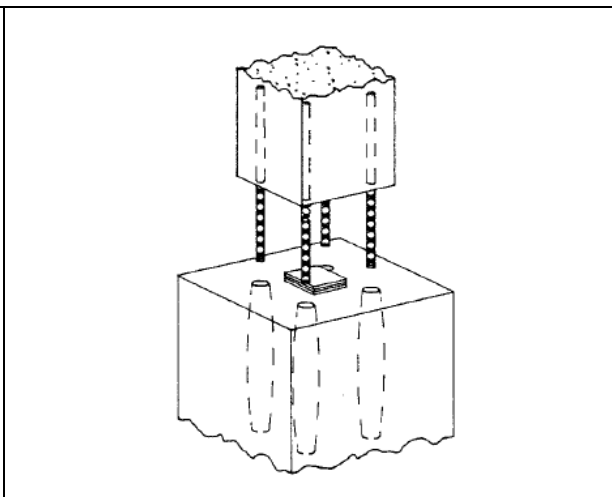


Figura 54 – Ligação com chumbadouros cravados com argamassa não retrátil (Sidney, 2000)

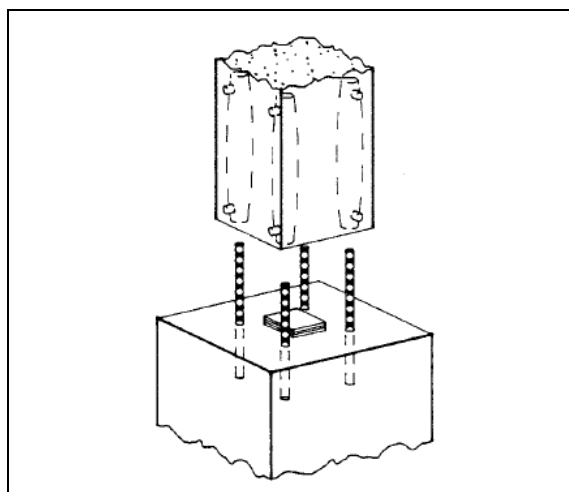


Figura 55 – Ligação com chumbadouros cravados com argamassa não retrátil (Sidney, 2000)

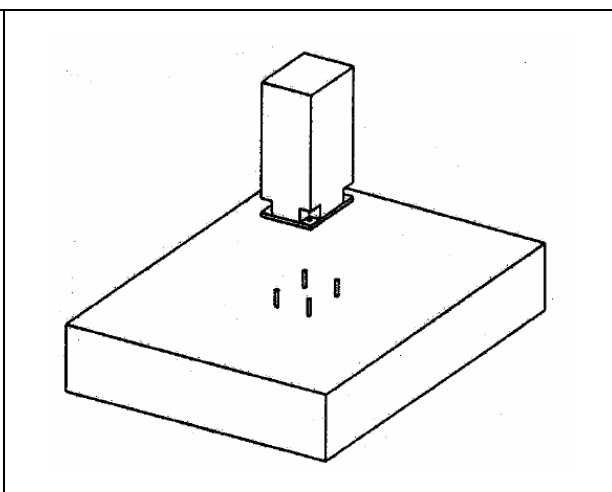


Figura 56 – Ligação aparafusada (Arnold, 2002)

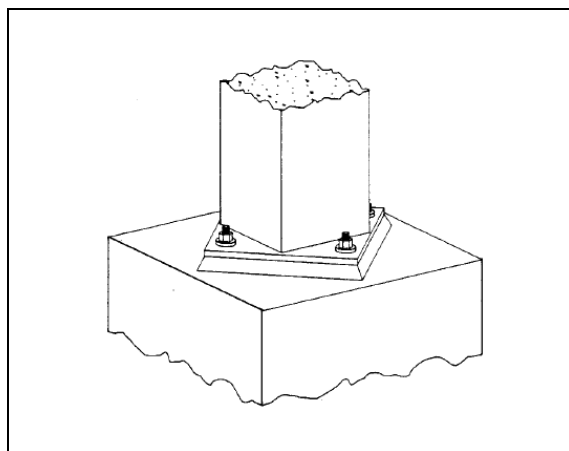


Figura 57 – Ligação aparafusada (Sidney, 2000)

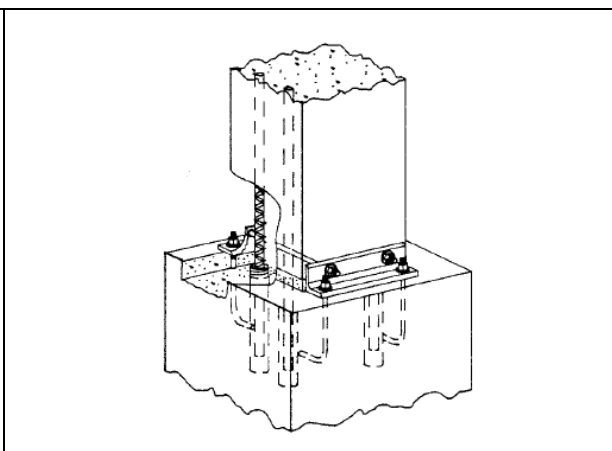


Figura 58 – Ligação aparafusada (Sidney, 2000)

Quando as condições estruturais determinarem que o pilar tem de ter uma grande dimensão, conseqüentemente a cavidade da fundação de encaixe terá de se adequar a esta dimensão. Neste caso podem e devem ser utilizadas outras soluções de fundação, que podem ser até mais económicas e mais eficazes (ver figuras 59 a 77). A preparação das fundações e dos pilares tem de ser realizada com um elevado grau de precisão, para evitar que se verifiquem erros e eventuais correções, aquando da montagem do pilar na fundação.

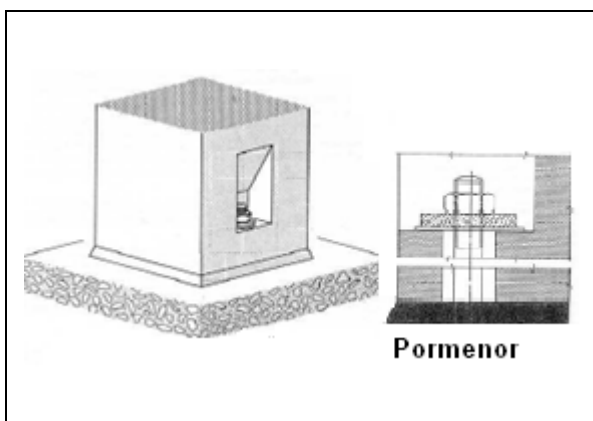


Figura 59 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981)

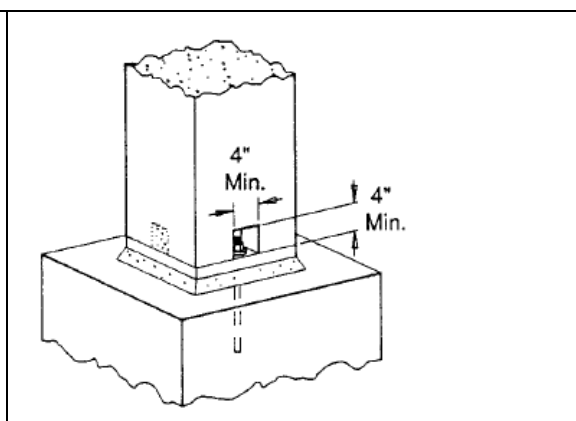


Figura 60 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981)

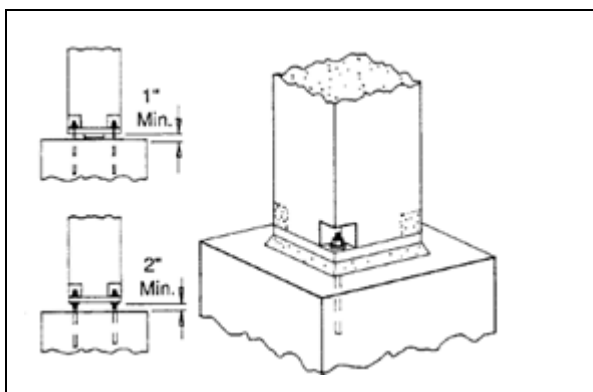


Figura 61 – Ligação por parafusos (Sidney, 2000)

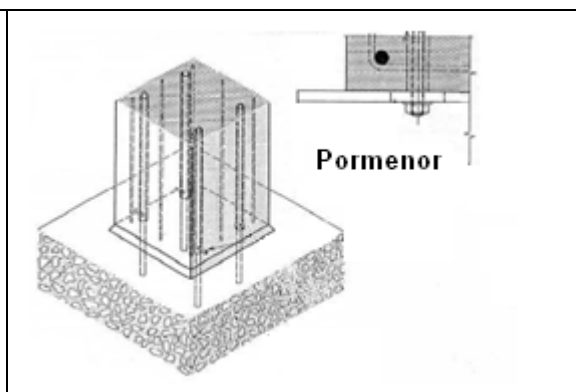


Figura 62 – Ligação por emendas (Stupré, 1981)

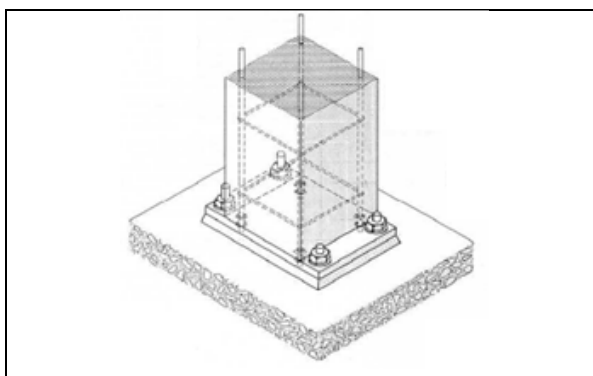


Figura 63 – Ligação por chapa (Stupré, 1981)

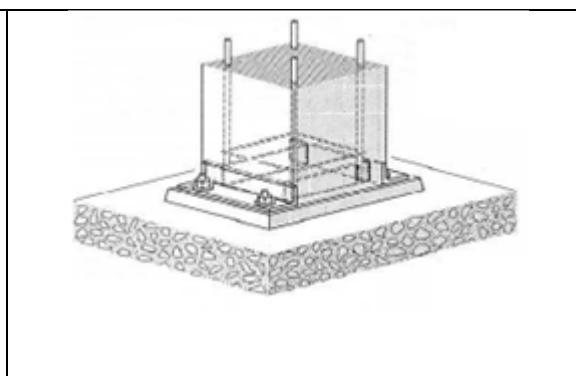


Figura 64 – Ligação por chapa (Stupré, 1981)

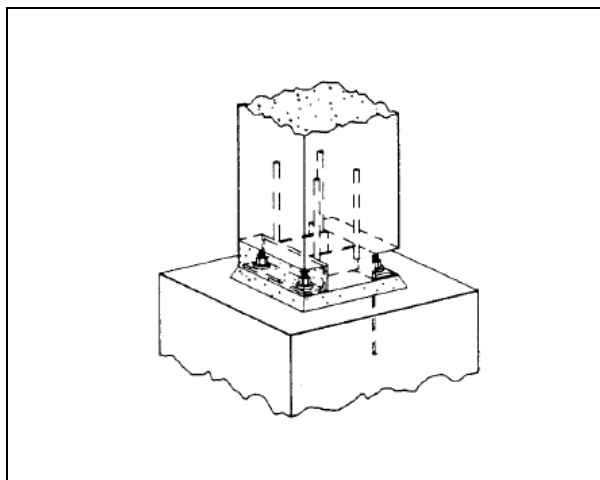


Figura 65 – Ligação por chapa (Sidney, 2000)

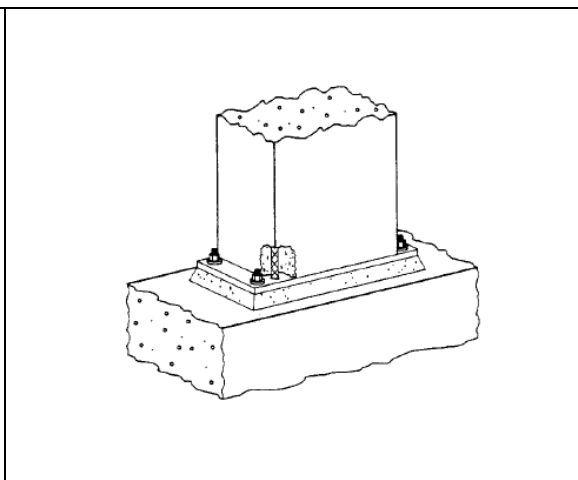


Figura 66 – Ligação por chapa (Sidney, 2000)

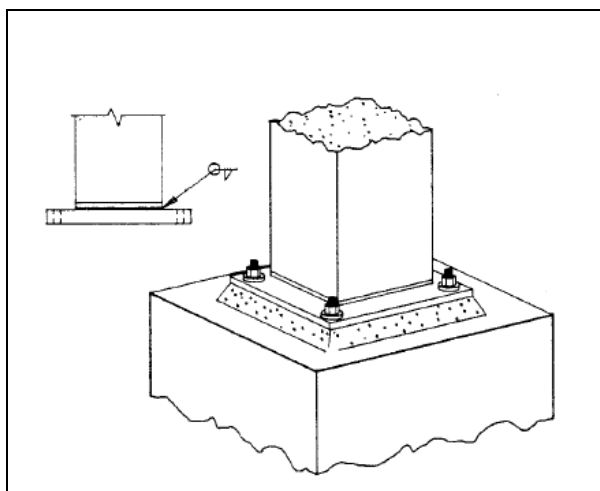


Figura 67 – Ligação por chapa (Sidney, 2000)

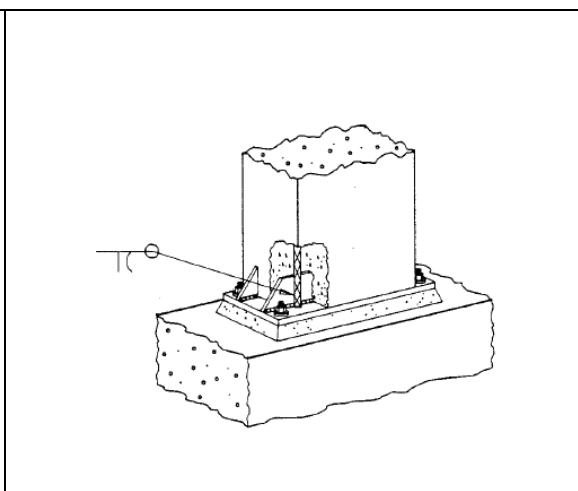


Figura 68 – Ligação por chapa (Sidney, 2000)

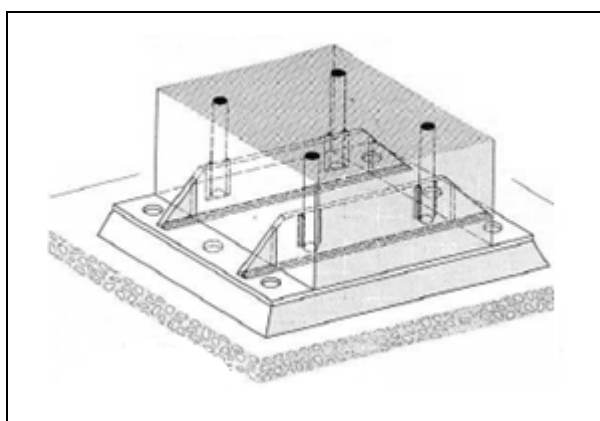


Figura 69 – Ligação por chapa (Stupré, 1981)

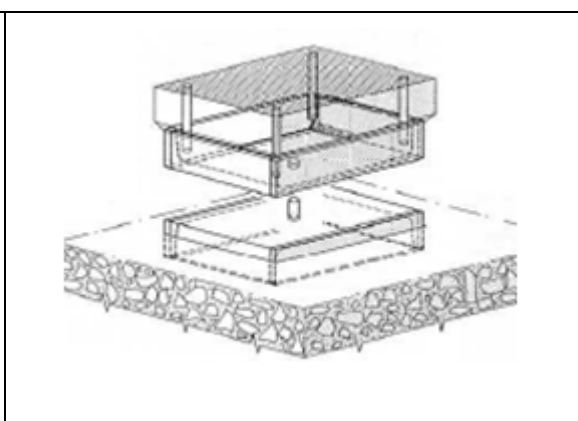


Figura 70 – Ligação por chapa (Stupré, 1981)

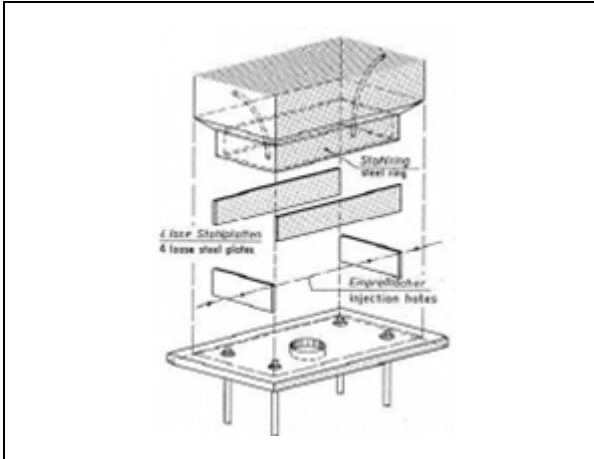


Figura 71 – Ligação por soldadura a chapa (Stupré, 1981)

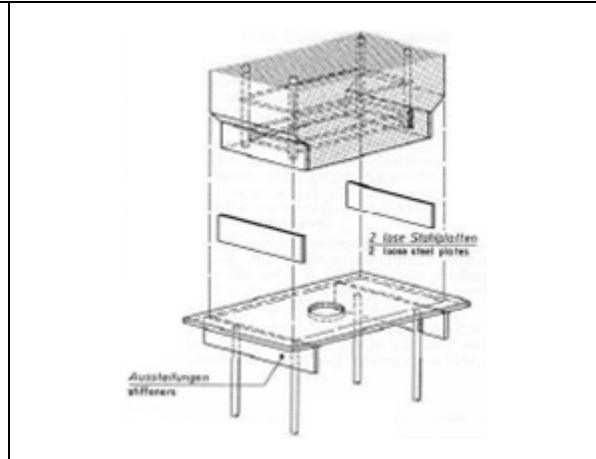


Figura 72 – Ligação por soldadura a chapa (Stupré, 1981)

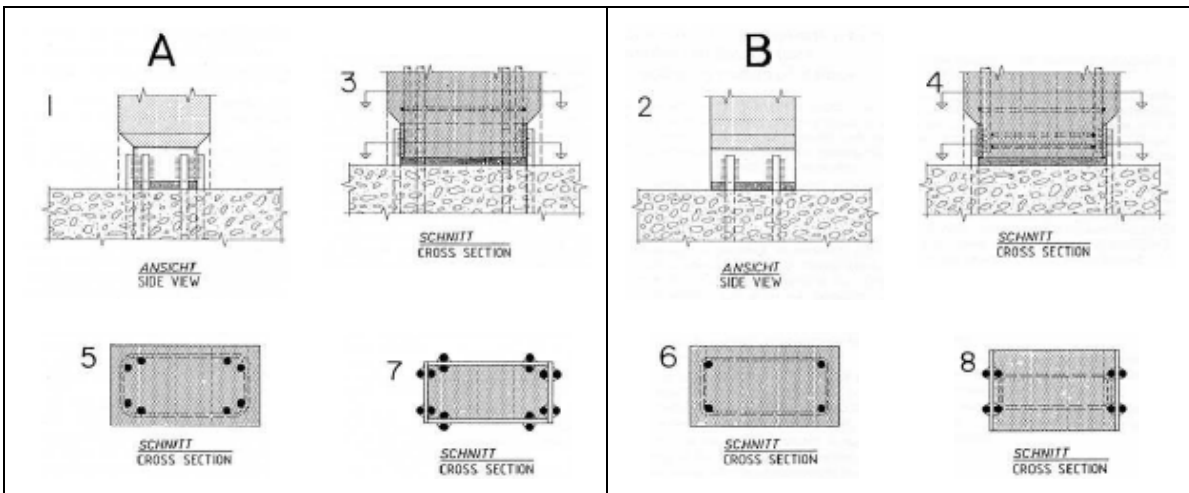


Figura 73 – Ligação por soldadura a chapa e varões (Stupré, 1981)

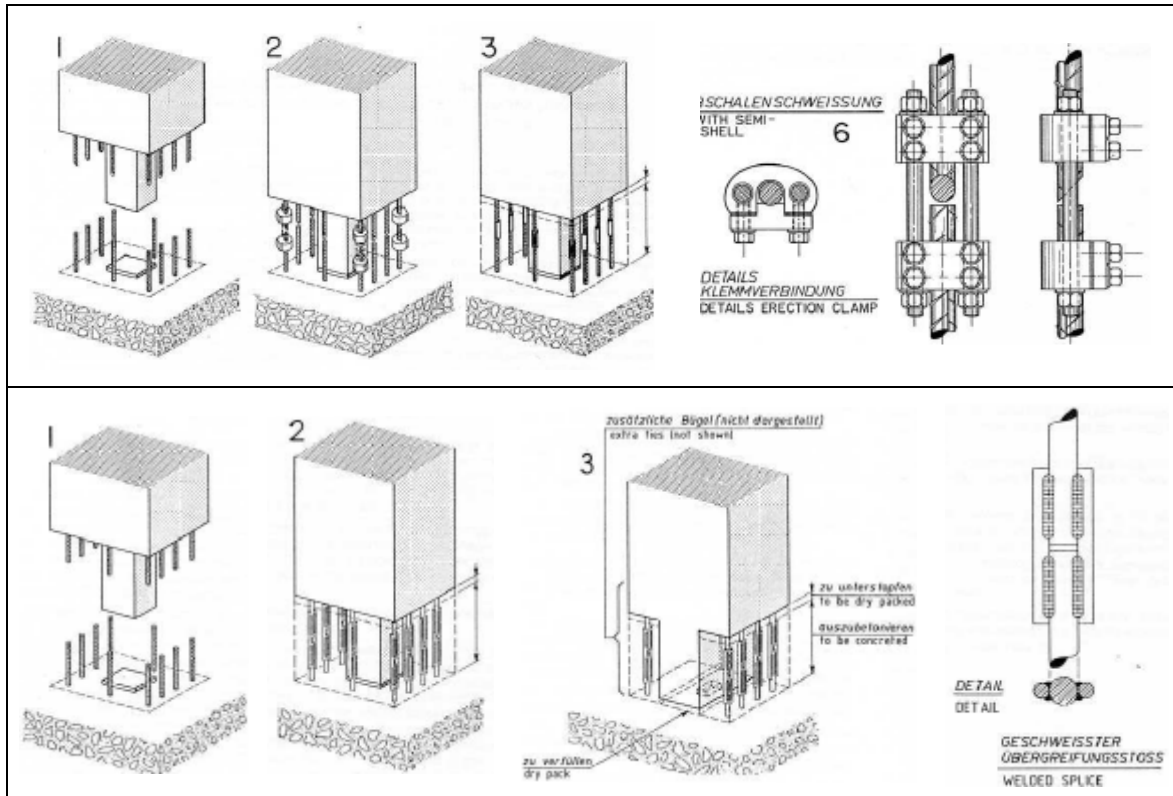


Figura 74 – Ligação por ligadores de varões (Stupré, 1981)

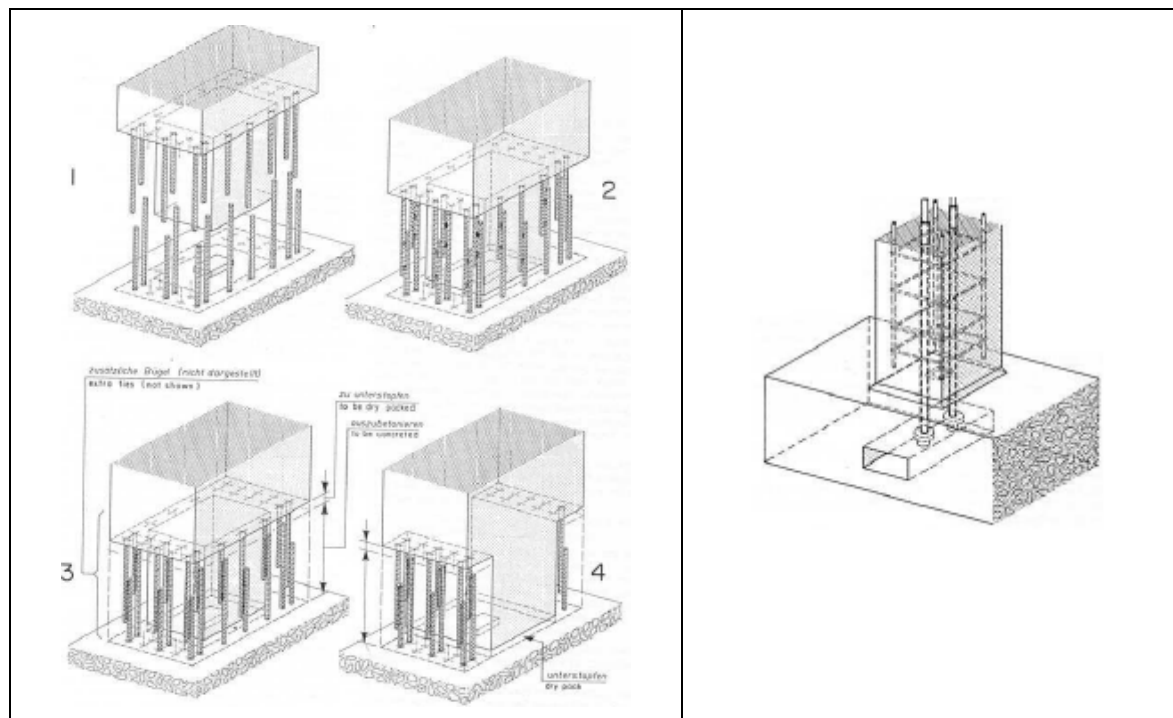


Figura 75 – Ligação por soldadura a varões (Stupré, 1981)

Figura 76 – Ligação por pós-tensão (Stupré, 1981)

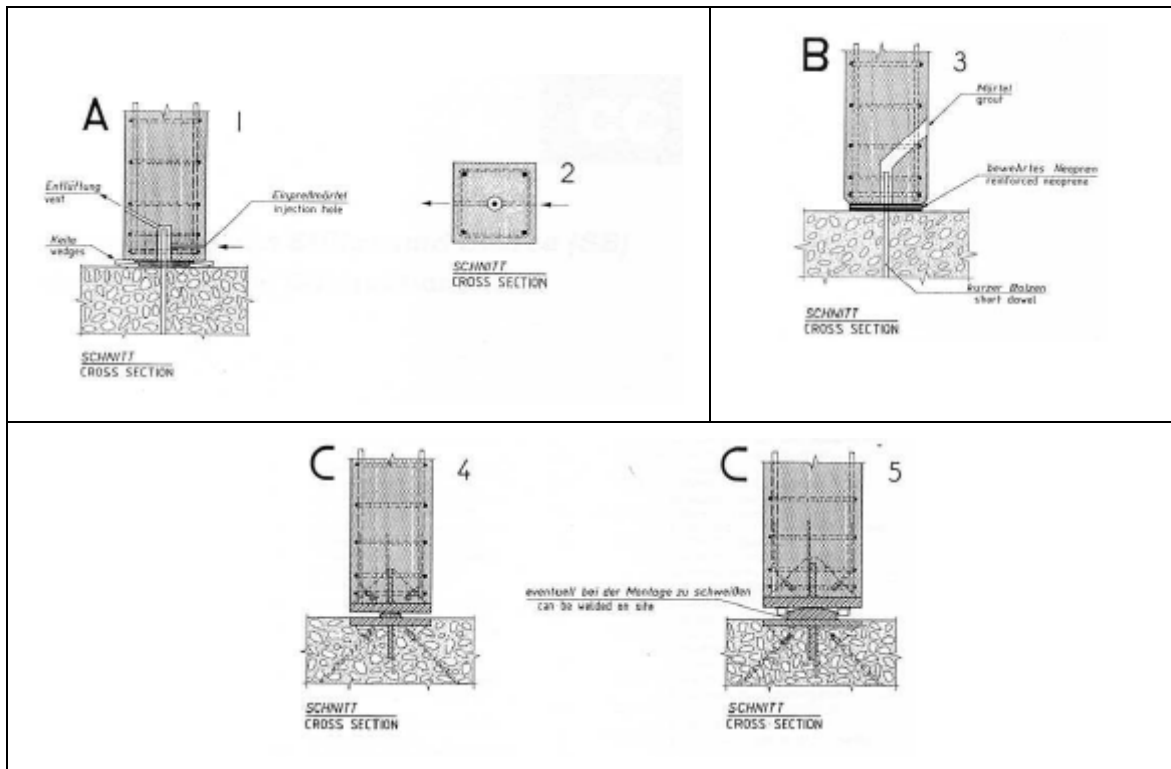


Figura 77 – Ligação por rótula (Stupré, 1981)

Ancoragens

Aplicam-se às ligações pilar-fundação, conforme se pode observar na figura 78, com chapa metálica de transferência, na face inferior do pilar, com a furação concordante com a posição dos chumbadouros à qual se encontram ligados varões da armadura longitudinal do pilar, e com parafusos ou varões roscados embutidos no betão e devidamente amarrados no betão, com Pernos exteriores providos de extremidades encabeçadas, roscas de aperto, anilhas e um ou mais elementos de transferência (gousset³²).

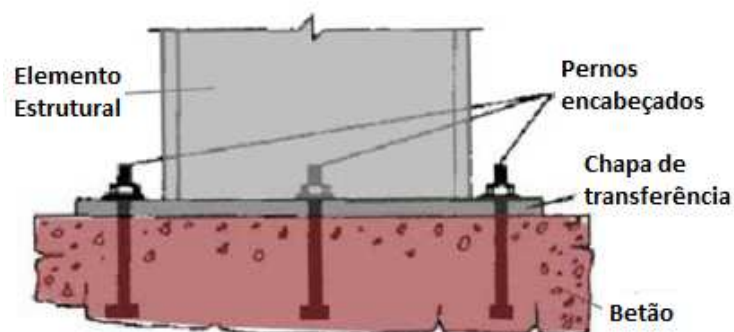


Figura 78 – Ligação por ancoragens embutidas no betão

³² Elementos de reforço.

O pilar é posicionado sobre a fundação, procedendo-se ao seu nivelamento, podendo ser efetuado através da colocação de calços de madeira, ou com auxílio de um sistema de porcas e madeira, ou com auxílio de um sistema de porcas e contraporcas, colocadas na face inferior da chapa.

O espaço entre a fundação e a chapa é selado com argamassa não retráctil, com resistência igual ou superior à do betão dos elementos estruturais a ligar.

Nas ancoragens é necessário analisar os esforços resistentes para a tração, corte, corte com tração, bem como esforços de flexão e torção.

Neste tipo de ancoragens com amarração ao betão estrutural, é necessário garantir as seguintes condições:

- O ângulo formado pela cabeça e o perno deve ser superior a 45° ;
- A espessura da cabeça não pode ser inferior a 80% do diâmetro do perno ou do diâmetro do perno na zona roscada;
- 50% da diferença do valor diâmetro da cabeça do perno pelo diâmetro do perno ou o diâmetro do perno na zona roscada, tem que ser igual ou superior a 4 mm;
- Para ancoragens roscadas na própria placa de amarração, o comprimento de rosca não pode ser inferior ao diâmetro nominal do perno;
- As ações transmitidas pelo elemento de construção aos pernos devem ser predominantemente do tipo estático. As ações dinâmicas transmitidas por máquinas, ou outro tipo de ações dinâmicas com elevada probabilidade de ocorrência, não são consideradas;
- As disposições construtivas regulamentares representadas na figura 79.

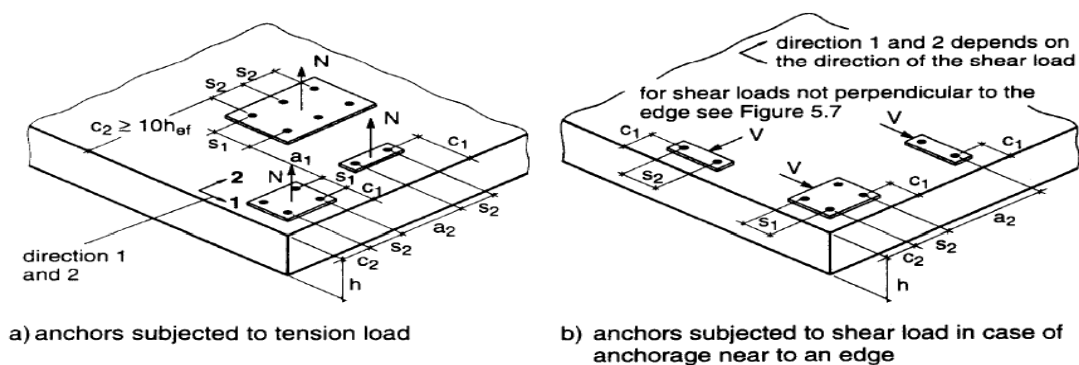


Figura 79 – Disposições construtivas das ancoragens embutidas no betão

Ligação Rígida

A ligação rígida de acordo com a figura 80 e adotando o princípio "ligação forte - pilar fraco", de modo a que a rotura ocorra na extremidade do pilar, enquanto na ligação os chumbadouros e a chapa se mantêm em regime linear (ligação rígida), o modelo de cálculo recomendado, designado por método do "estado de serviço", admite um relação linear entre os esforços atuantes na ligação e a deformação dos chumbadouros, bem como uma distribuição linear das tensões de contacto.

Ligação Plástica

Já no caso da ligação plástica, de acordo com a figura 81, admitindo a possibilidade de plastificação dos chumbadouros ou da chapa, o modelo habitualmente recomendado considera uma distribuição uniforme de tensões de contacto.

O dimensionamento da chapa de ligação é efetuado garantindo-se que o momento resistente M_{Rd} de plastificação não é atingido quer nas zonas de trações que nas zonas de compressões.

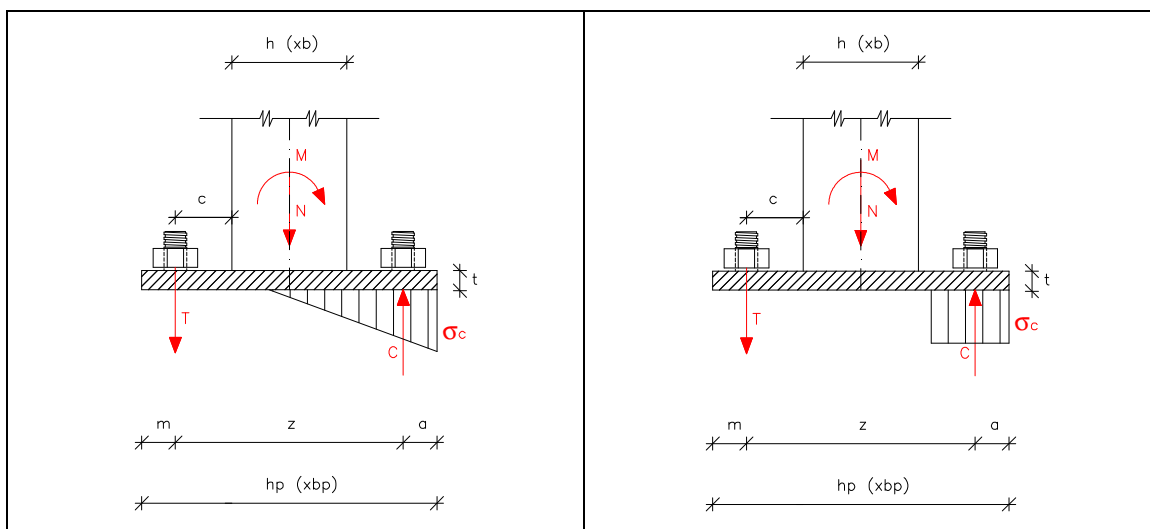


Figura 80 – Ligação rígida pilar-fundação

Figura 81 – Ligação plástica pilar-fundação

Placas de base do pilar

Segundo o PCI, no “Design handbook - Precast and prestressed concrete”, as bases dos pilares devem ser projetadas para cargas de montagem e para cargas que ocorrem em serviço, sendo as primeiras geralmente mais críticas. Pode-se observar, na figura 82, dois pormenores de bases que são vulgarmente mais usados, havendo muitos outros detalhes que também podem ser utilizados. Na análise das cargas de montagem ou cargas de construção temporárias, antes da aplicação da

argamassa não retráctil por baixo da placa, todas as cavilhas encontram-se em compressão, devendo a espessura necessária da placa de base ser determinada em função da força de flexão.

O diâmetro do parafuso de fixação é determinado pela tensão ou compressão na zona de tensão da parte roscada do parafuso. Os chumbadouros podem ser executados com parafusos (ASTM A 307) ou, mais frequentemente, com varões de aço (ASTM A 36). Devem também ser satisfeitos os requisitos para a integridade estrutural. Na maioria dos casos, tanto na placa de base como nos chumbadouros, as tensões podem ser significativamente reduzidas, devido à utilização de calços, colocados adequadamente durante a montagem.

Quando os parafusos estão perto de um bordo livre, como num cais ou numa parede, a deformação dos parafusos antes da betonagem deve ser tida em consideração. O confinamento da armadura deve ser previsto nos casos apresentados na figura 82. No confinamento é recomendado a aplicação mínima de quatro cintas ao centro, em cerca de 3 polegadas (7,62 cm).

Para determinar a força de tensão aplicada no parafuso, deve ser tomado o menor valor das forças calculadas na base do pilar, com base na rotura do betão ou com base na cedência do aço.

O cálculo da resistência do betão base irá depender do tipo de parafuso de ancoragem utilizado. Para chumbadouros em forma de gancho ou “L”, a força deve ser determinado pela soma da resistência de união do eixo do parafuso e da resistência da cabeça do parafuso ou do gancho.

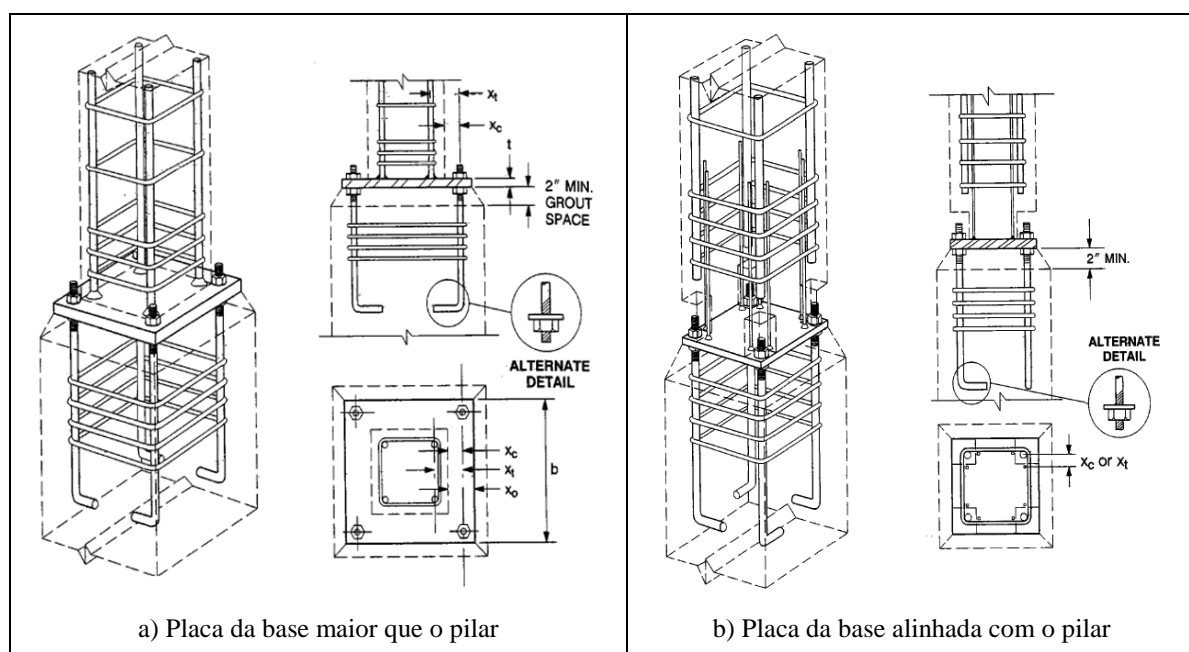


Figura 82 – Ligações da base do pilar (PCI, 1999)

As ligações em aço do pilar a outro elemento, designadas por Elliott como “sapatas de aço pré-fabricadas”, figura 83.a) e b), são utilizadas onde possa ser necessário gerar um momento de flexão e forças de tração nas ligações. Este tipo de ligação, designada “pilar-sapata”, pode também ser usado em ligações de fundação. A placa de aço soldada é uma alternativa atraente para ligações com grandes secções transversais (maior do que $0,40 \times 0,40 \text{ m}^2$), onde grandes placas podem ser um desperdício. São usadas no total quatro placas, uma em cada canto de um pilar retangular.

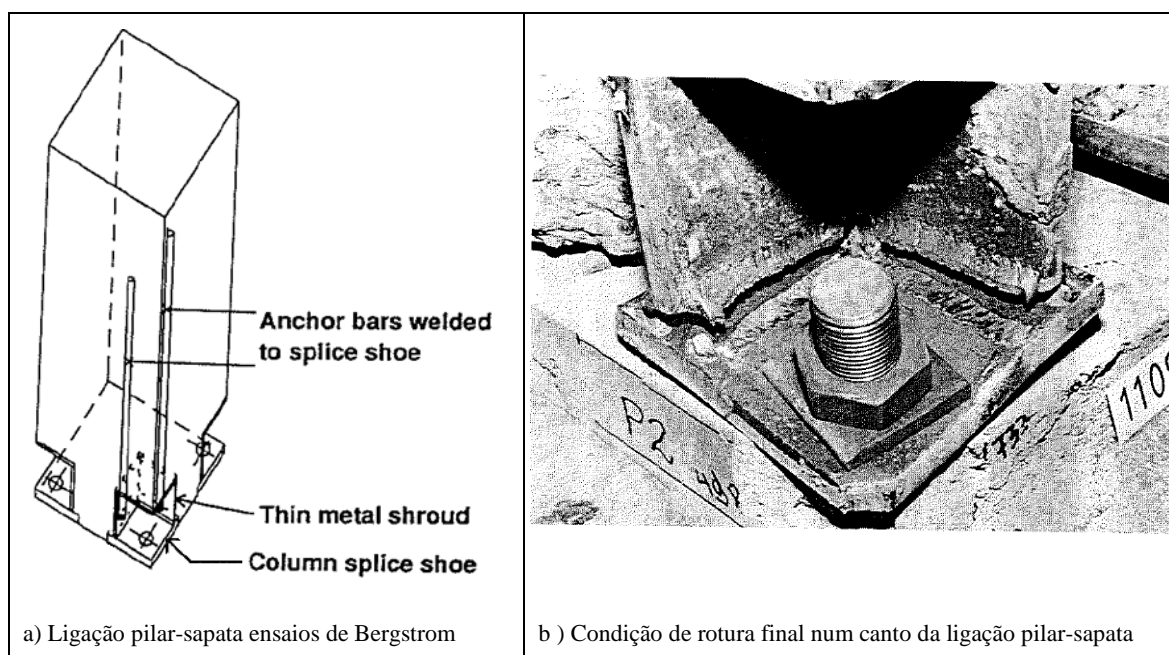


Figura 83 – Ligação pilar-sapata – Detalhes (Elliott, 1996)

Esta variante da sapata padrão é possível de utilizar em pilares não retangulares. Os conetores são caros em termos de materiais e de fabrico, mas isso é compensado, devido a uma fixação muito rápida e estruturalmente segura aplicada *in situ*, acomodando grandes tolerâncias. Os erros de posicionamento até 0,10 m são possíveis, graças à utilização de anilhas que se ajustam ao furo excêntrico e ovalizado da placa, estrategicamente projetado.

Cada placa é composta por uma placa de aço grossa (grau 50), normalmente 12 a 40 mm de espessura e 100 a 150 mm quadrados, juntando-se a uma fina placa de metal na vertical, com 80 mm aproximadamente, formando uma caixa aberta nas esquinas dos pilares. As barras têm tipicamente entre 16 e 40 mm de diâmetro, que proporciona a força de ligação do pilar de betão. A placa de base tem um buraco perfurado no seu centro, que recebe as barras de engate roscadas do pilar adjacente (semelhante à placa de ligação soldada). A ligação pilar-sapata pode apresentar um recanto na coluna, se a ligação estiver exposta, caso contrário, o bordo da placa de base é nivelado com o pilar.

A capacidade de tração destas ligações é sempre regulada pela força da peça roscada da barra de ligação, e nunca por uma força de ligação das barras de reforço. A resistência à tração pode ir até 300 kN, sendo possível criar forças estáticas.

Bergstrom realizou ensaios do momento fletor, nas quatro ligações pilar-sapata, como apresentado na figura 83 (a). O tamanho do pilar era de $0,40 \text{ m}^2$, sendo aplicados momentos até 230 kNm, causando rotações relativas, entre a base e o fundo do pilar, até 0,1 radianos no final, e 0,02 no limite de proporcionalidade. A média da rigidez de rotação destas ligações foi 12.750 kNm/rad , o que é igual a cerca de 0,8 vezes a rigidez à flexão sem partir (fendilhar) de um pilar longo, com 4,0 m, o mesmo tamanho que foi utilizado no ensaio. Este valor compara-se razoavelmente com o valor de 1, de acordo com a BS 8110³³, embora o resultado do ensaio não seja muito preciso. A figura 83 (b) mostra a condição de rotura última num canto de uma coluna da ligação pilar-sapata.

Modos de rotura das ancoragens

Segundo o “Estudo Experimental da Ligação Pilar-Fundação em Estruturas Pré-fabricadas”, efetuado por David Cardoso em 2011, a rotura das ancoragens pode dar-se por:

- **Rotura pelo aço:** Esta dá-se quando é atingida a tensão de rotura à tração do aço;
- **Rotura por aderência:** Resulta da aderência entre dois materiais diferentes, quer pela reação aço-”grout”, quer pela reação “grout”-betão, sendo a rotura caracterizada, normalmente, pela formação de um pequeno cone superficial no betão;
- **Rotura pelo betão:** As tensões de tração no betão desenvolvidas devido à tração do varão ancorado podem levar à formação de uma superfície de rotura em forma de cone, que se destaca em conjunto com o varão. Este tipo de rotura depende da profundidade da ancoragem e da resistência à tração do betão;
- **Rotura por fendimento (splitting) do betão:** As forças de fendilhação da ancoragem podem causar o aparecimento de fendas no betão, contudo, se o maciço de betão for armado e a abertura das fendas para as ações quase permanentes, incluindo as forças induzidas pelas ancoragens, for limitada ($W_k \cong 0.3 \text{ mm}$), então a resistência do cone de betão e a resistência ao arrancamento são válidas para ancoragens em betão fendilhado.

³³ British Standards Institution (1985) *The Structural Use of Concrete*. BSI, London, BS 8110.

Assim devem ser tidas em conta as verificações de segurança das ancoragens de modo a evitar as roturas enunciadas, devendo ser respeitados os valores da tabela 9.

Tabela 9 – Verificações de segurança de uma ancoragem à tração

	Varão único	Grupo de varões
Rotura pelo aço	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$	$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,s} = N_{Rk,s}/\gamma_{Ms}$
Rotura por aderência	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$	$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,p} = N_{Rk,p}/\gamma_{Mp}$
Rotura pelo cone de betão	$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$	$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,c} = N_{Rk,c}/\gamma_{Mc}$
Rotura por fendimento	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp}/\gamma_{M,sp}$	$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp}/\gamma_{M,sp}$

4.3.2.2 Ligação pilar-pilar

Neste tipo de ligações, que pretende-se criar ligações monolíticas entre pilar-pilar, transformando este elemento num elemento único, destacam-se vários tipos de ligações:

- por chapa soldada;
- por chapa/varão de aço sobreposto soldado;
- por emendas (varões selados);
- por ligadores de varões;
- por parafusos;
- por pós-tensão;
- por rótula;
- por soldadura de chapas;
- por soldadura de chapas a varões;
- por soldadura de perfis nas faces;
- por soldadura de varões.

A união de um pilar é o termo genérico para junta onde é feita uma ligação estrutural entre um pilar e um outro elemento pré-fabricado. O elemento de base é geralmente um pilar, mas também pode ser uma parede, painel de revestimento estrutural, ou em circunstâncias extremas uma unidade de revestimento, excluindo a ligação a bases ou outras fundações. No caso da ligação pilar-pilar os elementos estruturais a ligar são dois pilares.

A maioria dos projetistas de estruturas de betão pré-fabricado preferem distribuir o nível das ligações do pilar, para evitar a formação de um "plano de fraqueza", tal como apresentado na figura 84. O nível das primeiras ligações é geralmente repartido entre os terceiro e quarto andares, exceto nas estruturas de cinco andares, onde as ligações (se usadas) são feitas no segundo e terceiro andares. A segunda é a ligação de dois ou três andares acima da primeira ligação. As ligações são localizadas ao nível do pavimento do andar (dentro da zona de piso estrutural), onde podem ficar ocultas nos acabamentos do pavimento ou a uma altura conveniente de trabalho, por exemplo, 1 m acima do nível do piso, próximo ao ponto de contra-flecha da estrutura onde os momentos de flexão são pequenos. As ligações do pilar só podem ser executadas em estruturas totalmente apoiadas, isto é, não podem ser efetuadas em qualquer direção, ou estruturas parciais. A escolha da ligação é muitas vezes ditada mais por considerações de montagem local do que pela resistência estrutural. É muito importante que a estabilidade temporária de uma estrutura não seja colocada em risco através de uma ligação que dependa fortemente de atrito, calços ou outras ações físicas.

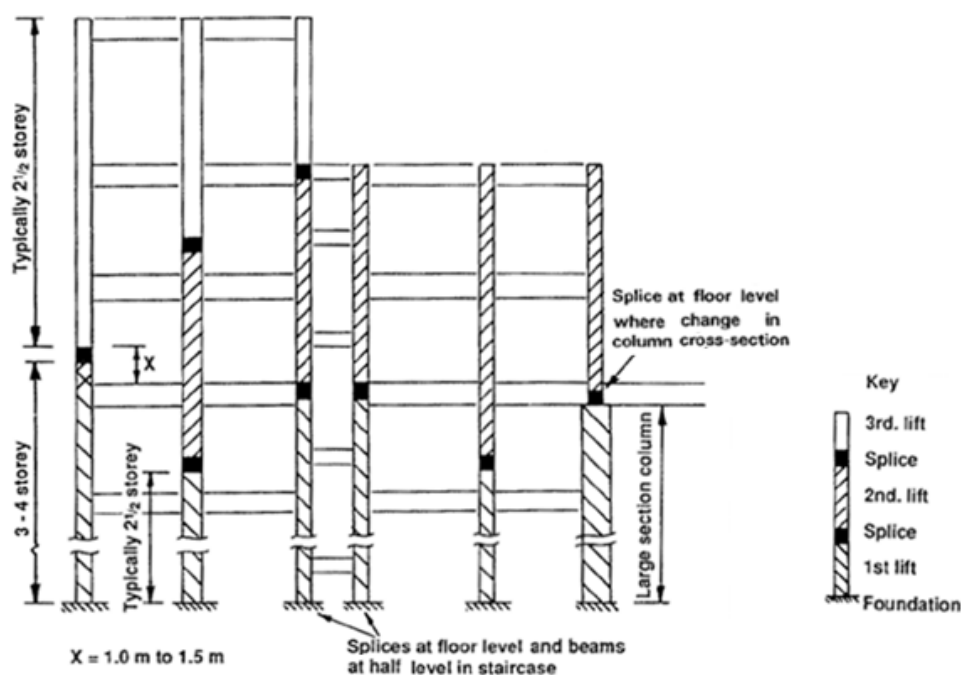


Figura 84 – Posições preferidas para emendas de colunas em vários andares. Estrutura multi-compartimentada (Elliott, 1996)

As ligações pilar-pilar são feitas quer por ligadores, soldaduras ou aparafusamento de conetores mecânicos ancorados nos elementos pré-fabricados em separado, ou pela continuidade do reforço, através de uma junta preenchida com “grout”. A capacidade de compressão da ligação é igual à dos pilares a ligar, confinada ao betão aplicado *in situ* na junta. Embora os pontos fortes do projeto do betão pré-fabricado e do betão fabricado *in situ* sejam iguais, é quase certo que as forças reais

sejam diferentes, sendo maiores no pré-fabricado. Segundo uma experiência realizada por Elliott, um cubo de betão pré-fabricado aos 28 dias atingiu a resistência de 80 N/mm^2 , não sendo comum em pilares onde a força de 24 horas tem o valor de 40 N/mm^2 .

O efeito de diferentes dosagens de betão na capacidade de carga de compressão de pilares e das ligações de pilares foi estudada por Chuan Shu-Chien e Hawkins³⁴. A força efetiva da ligação foi medida (isto é, aparentemente), tendo-se concluído que, desde que a altura da ligação não seja superior a 1,5 vezes a largura mínima do pilar de ligação, irá desenvolver a força projetada aquando do enchimento da ligação

O conjunto de pilares ligados apresentados nas figuras que se seguem (figuras 85 a 98) proporcionam uma ligação mecânica entre os elementos pré-fabricados, capaz de transmitir a interação entre a carga axial e o momento fletor. Esta ligação requer uma precisão absoluta (cerca de $\pm 3 \text{ mm}$ de tolerância) na colocação de barras roscadas, tanto na fábrica como no local, esta solução só deve ser usada se o projetista estiver convencido de que tais tolerâncias podem ser alcançadas e respeitadas. Outro dos inconvenientes é a dificuldade de ligar todos os conetores simultaneamente.

A força da ligação pode baixar devido a problemas de compatibilidade de tensão entre os elementos pré-fabricados, normalmente reforçados e menos dúcteis.

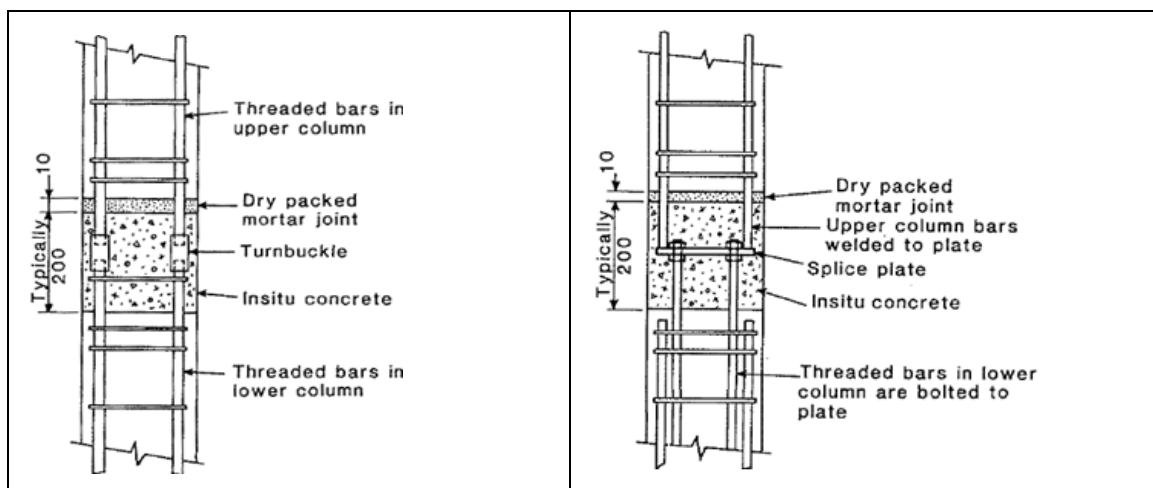


Figura 85 – Ligação por ligadores de varões
(Elliott, 1996)

Figura 86 – Ligação por chapa soldada (Elliott,
1996)

³⁴ Chuan-Chien Shu & Hawkins, N. M. (1992) Behaviour of Columns Continuous Through Concrete Floors. ACI Structural Journal, Jul./Aug

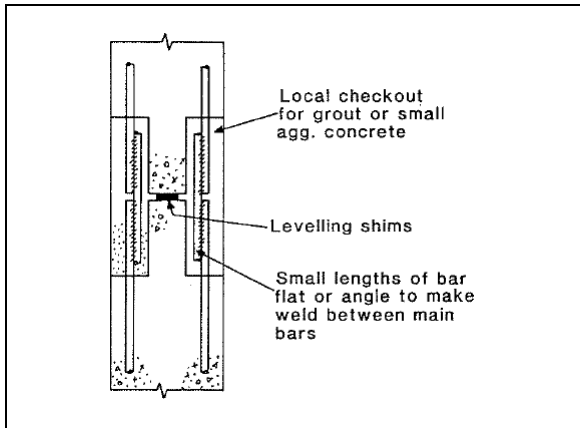


Figura 87 – Ligação por chapa/varão de aço sobreposto soldado (Elliott, 1996)

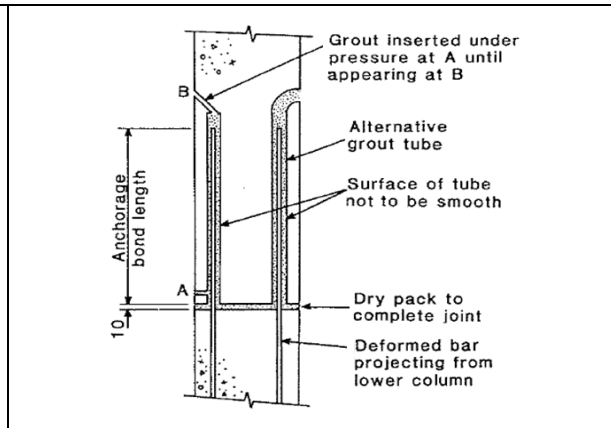


Figura 88 – Ligação por emendas (varões selados) (Elliott, 1996)

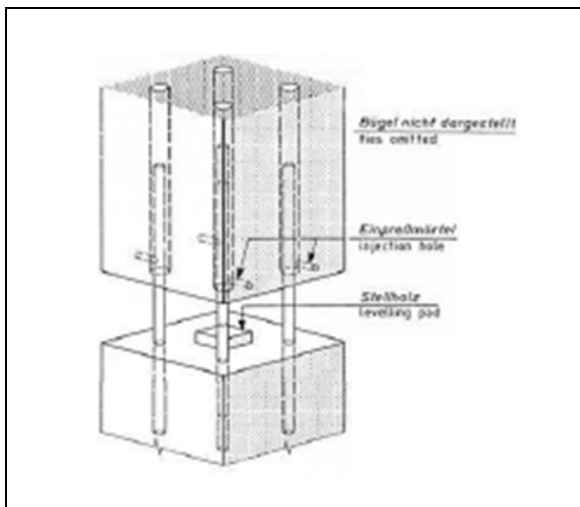


Figura 89 – Ligação por emendas (varões selados) (Stupré, 1981)

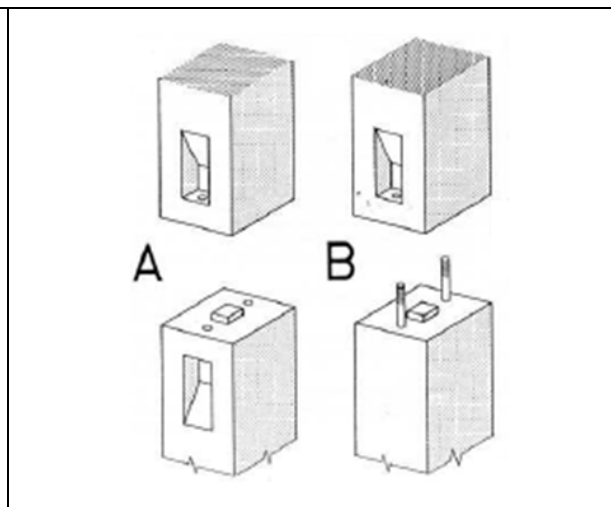


Figura 90 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981)

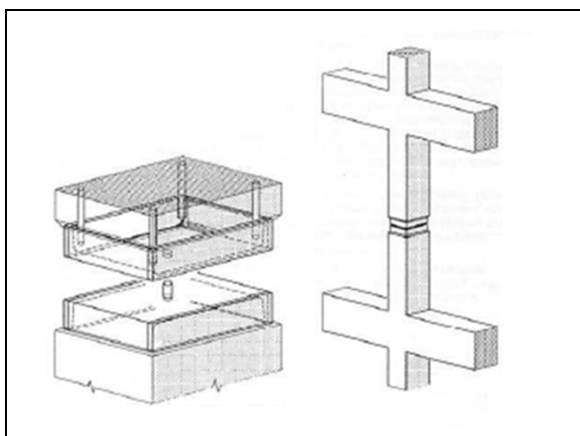


Figura 91 – Ligação por soldadura de perfis nas faces (Stupré, 1981)

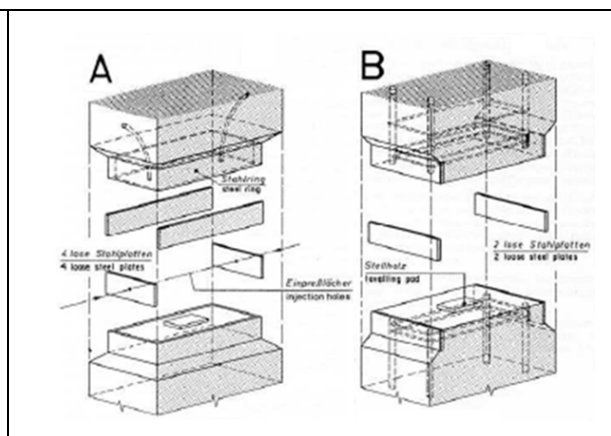


Figura 92 – Ligação por soldadura de chapas (Stupré, 1981)

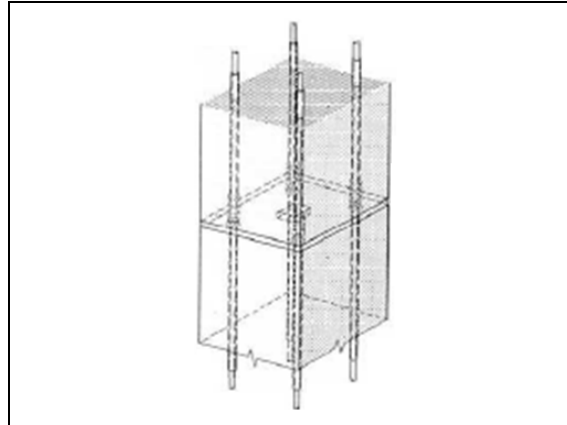


Figura 93 – Ligação por pós-tensão (Stupré, 1981)

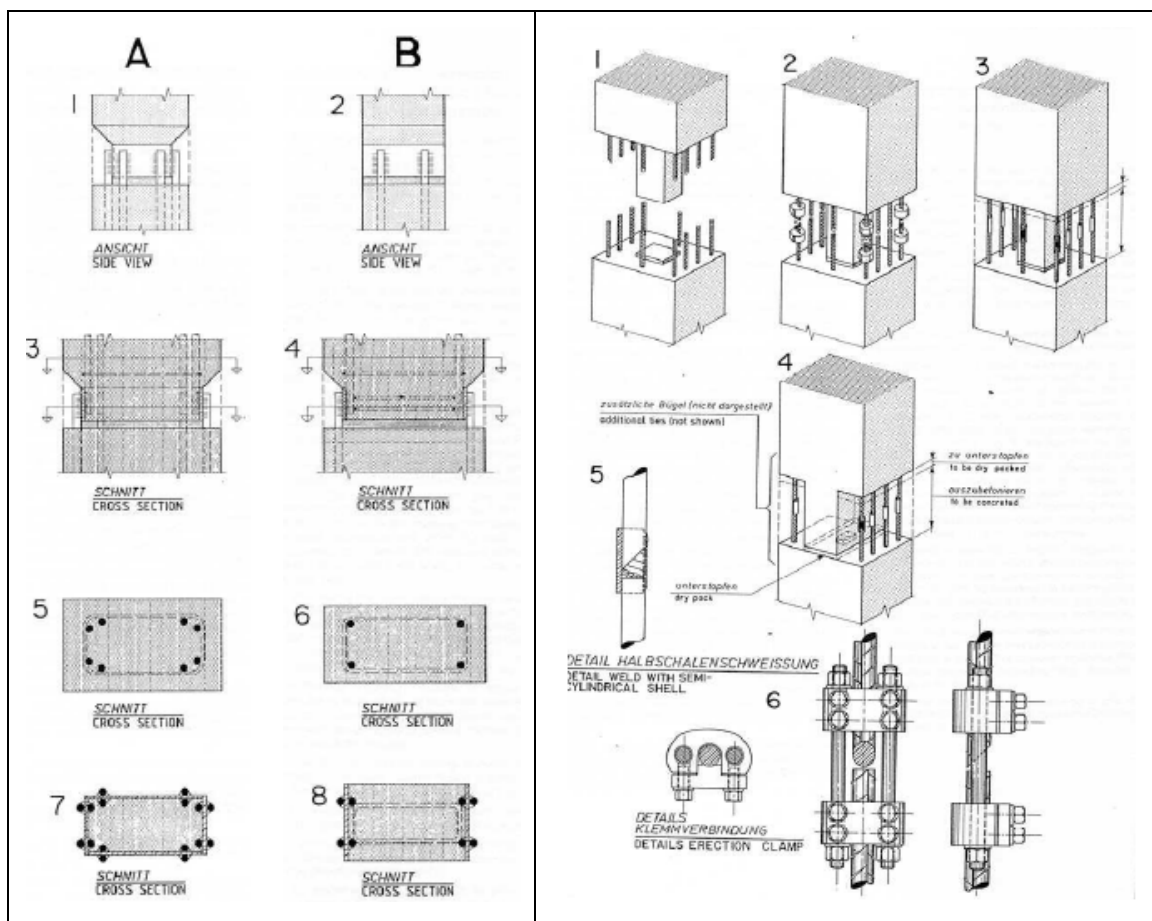


Figura 94 – Ligação por soldadura de chapas a varões (Stupré, 1981)

Figura 95 – Ligação por ligadores de varões (Stupré, 1981)

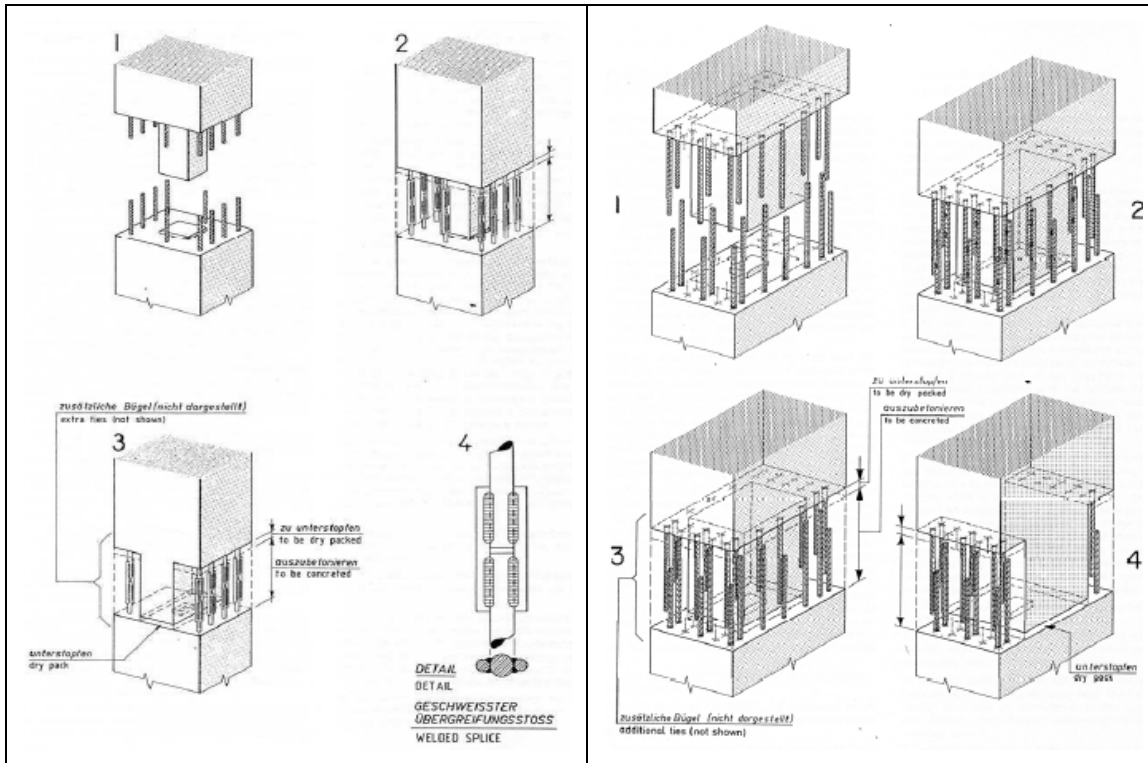


Figura 96 – Ligação por ligadores de varões
(Stupré, 1981)

Figura 97 – Ligação por soldadura de varões
(Stupré, 1981)

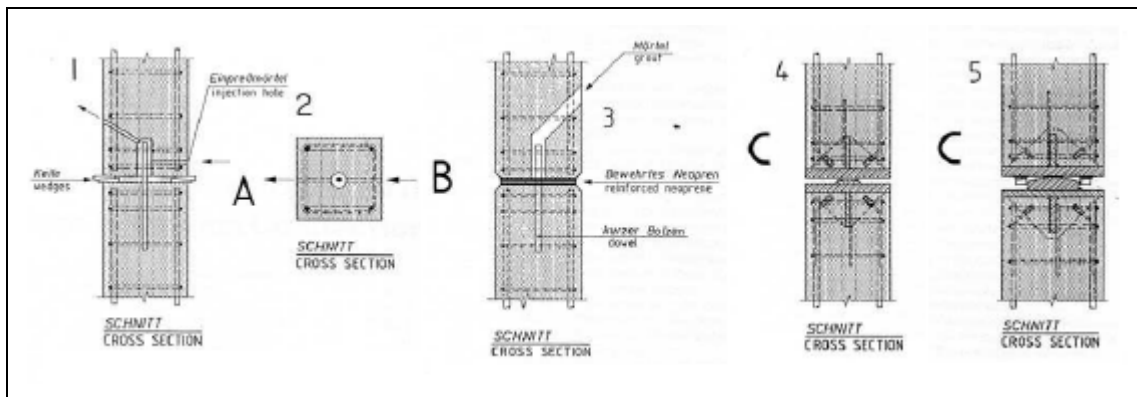


Figura 98 – Ligação por rótula (Stupré, 1981)

4.3.2.3 Ligação viga-pilar

As ligações viga-pilar são ligações que oferecem uma grande variedade de soluções, destacando-se as seguintes:

- Vigas assentes diretamente num pilar contínuo;
- Vigas de piso
 - Ligações sem continuidade
 - por consola curta de betão;
 - por consola curta de betão com ferrolho;
 - por consola curta de betão/aço com armaduras em ganho;
 - por consola curta metálica;
 - por consola curta metálica aparafusada;
 - por consola curta metálica com armaduras em gancho;
 - por consola curta metálica com chapas soldadas;
 - por perfis de aço;
 - por placa deslizante oculta;
 - por chapas encaixadas ocultas;
 - por consola curta: laje-parede.
 - Ligações com continuidade
 - por chapas soldadas;
 - por consola curta de betão e pré-esforço;
 - por consola curta de betão e chapas aparafusadas;
 - por consola curta de betão e pré-esforço;
 - por consola curta de betão e armadura ordinária;
 - por consola curta de betão e armadura com ligadores;
 - Interrupção de pilar e da viga com ligação por armaduras e betonagem *in situ*;
 - por betonagem *in situ*;
 - por chapas metálicas soldadas e com betonagem *in situ*;
 - por pré-esforço;
 - Interrupção de pilar com ligação por armaduras;
 - Interrupção de pilar com ligação por pré-esforço;
 - Interrupção de pilar com ligação por varão roscado;
 - Interrupção de pilar com ligação por grampos roscados;
 - Interrupção de pilar com ligação por armaduras e betonagem do nó;
 - por consola curta de betão e armadura.

- Vigas de cobertura
 - Ligações sem continuidade
 - com placa de apoio (aço);
 - com pré-esforço;
 - com varões roscados e chapas;
 - com ferrolho.
 - Ligações com continuidade
 - por betonagem *in situ* do nó;
 - por pré-esforço.

A ligação viga-pilar é geralmente executada com chumbadouros verticais e almofada de elastômero, comportando-se como uma rótula. A figura 99 apresenta a deformada aproximada de uma estrutura com três pisos, com pilares contínuos encastrados na base e as respectivas ligações viga-pilar articuladas. Na realidade as ligações viga-pilar com chumbadouros não são completamente rotuladas, mas semirrígidas, por causa da capacidade de rotação limitada em estado limite último. Contudo, os métodos de cálculo para estruturas pré-fabricadas no regime pós-elástico ainda não são inteiramente compreendidos para serem considerados nos projetos estruturais (Arnold, 2002).

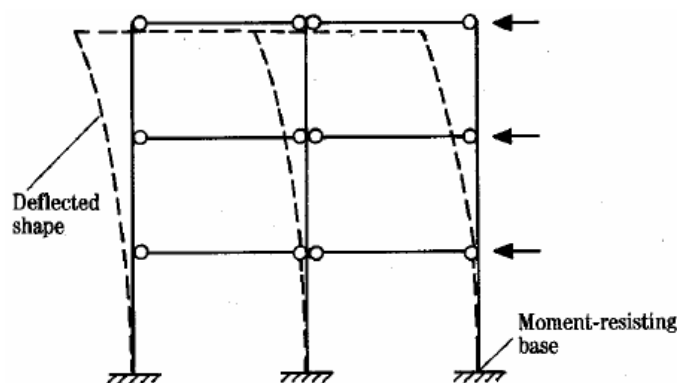


Figura 99 – Configuração da deformada de uma estrutura não contraventada (Arnold, 2002)

Neste método de ligação por consola curta de aço, são deixadas mangas de plástico rígido no pilar que são betonadas posteriormente com o fabrico do elemento. Na montagem dos dois elementos, viga e pilar, são utilizados parafusos de aço ou varões roscados. Na base da ligação são colocados através das mangas pré-instaladas, para receber a consola curta de aço (ou dispositivos semelhantes) aplicada na face do pilar, como mostra a figura 100. Na parte superior da ligação, o

mecanismo é semelhante ao montado na base, mas com a complicação adicional de que o parafuso de ajuste não é apertado na manga, mas sim diretamente no betão. A distribuição de pressão resultante no interior do pilar é transferido diretamente para o betão.

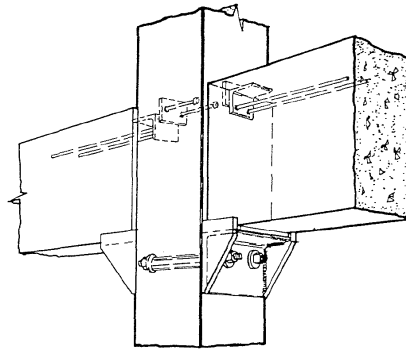


Figura 100 – Ligação por consola curta metálica ligada por parafusos (Elliott, 1996)

Vigas assentes diretamente em pilares contínuos

Esta ligação envolve apenas a disposição de uma superfície de suporte adequada ao nível do intradorso da viga.

Este tipo de junta não é utilizado em projetos com vários andares por causa do aumento da dimensão do pilar mediante a altura do edifício. Por cada andar que tenha de suportar, maior será a dimensão do pilar colocado no nível mais baixo do edifício.

Assim, este tipo de ligações pode ser utilizado em edifícios baixos, em estruturas onde o aumento da dimensão do pilar é benéfica para a ação atuante, ou em situações em que a magnitude da reação final da viga não pode praticamente ou estruturalmente ser acomodada numa consola curta ou seja impossível a inserção de aço, isto é, cargas superiores a cerca de 500 kN.

A aplicação de um apoio entre as superfícies de betão, com a dimensão mínima de 10 cm de espessura, é altamente recomendada por várias razões:

- Para garantir uma pressão no apoio uniforme e assegurar que a reação da viga é transferida para o pilar na posição pretendida;
- Para evitar a excentricidade de carga;
- Para evitar a fragmentação localizada;
- Para acomodar tolerâncias, em particular nos pilares muito longos;
- Para permitir que ocorram rotações na viga.

A almofada de apoio pode ser constituída por um neoprene, ou uma construção mista de dois materiais, chapas de aço finas (3 mm de espessura) pelo exterior com neoprene (10 mm), aplicado entre elas. Em todos os casos, a borda da placa de apoio deve-se prolongar para além de um ponto de ligação.

Vigas de piso - Ligações sem continuidade (figuras 101 a 124)

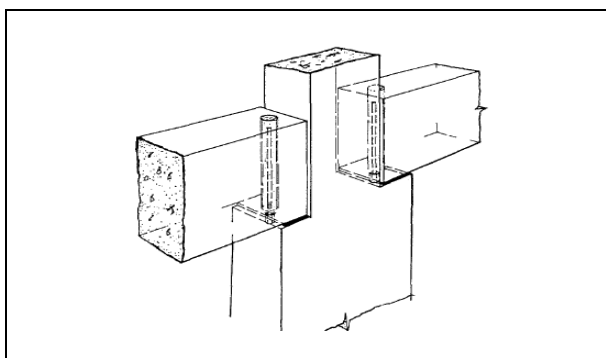


Figura 101 – Vigas assentes diretamente num pilar contínuo (Elliott, 1996)

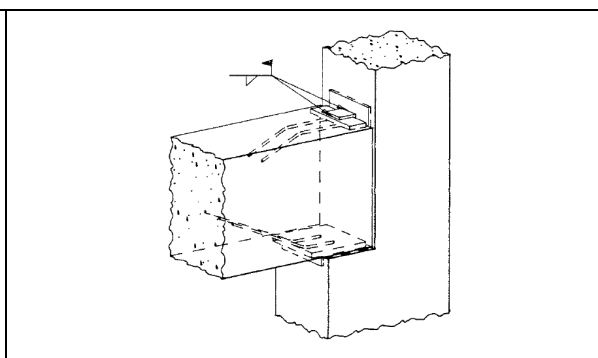


Figura 102 – Vigas assentes diretamente num pilar contínuo (Sidney, 2000)

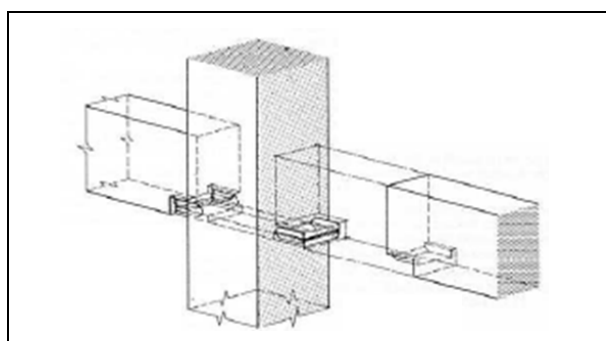


Figura 103 – Ligação por consola curta metálica (Stupré, 1981)

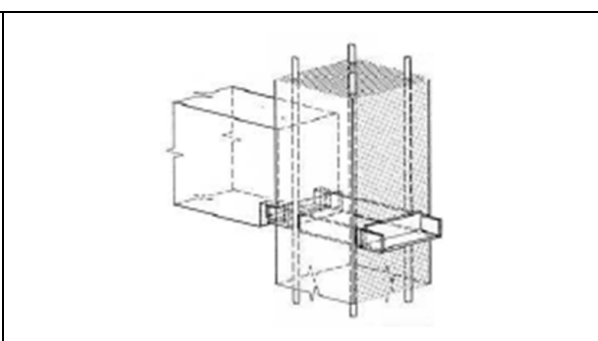


Figura 104 – Ligação por consola curta metálica (Stupré, 1981)

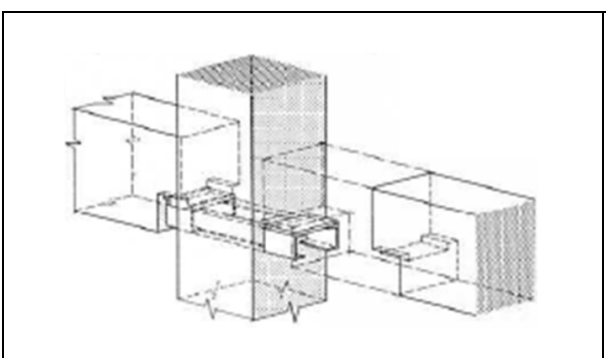


Figura 105 – Ligação por consola curta metálica (Stupré, 1981)

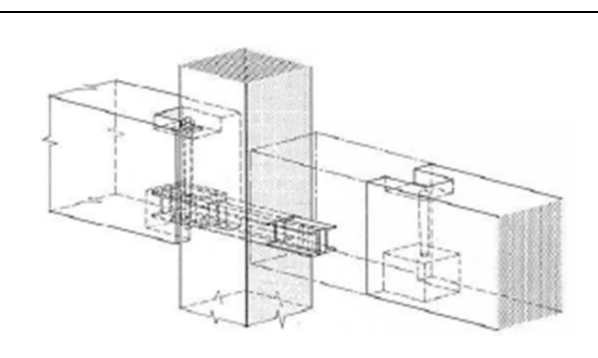


Figura 106 – Ligação por consola curta metálica (Stupré, 1981)

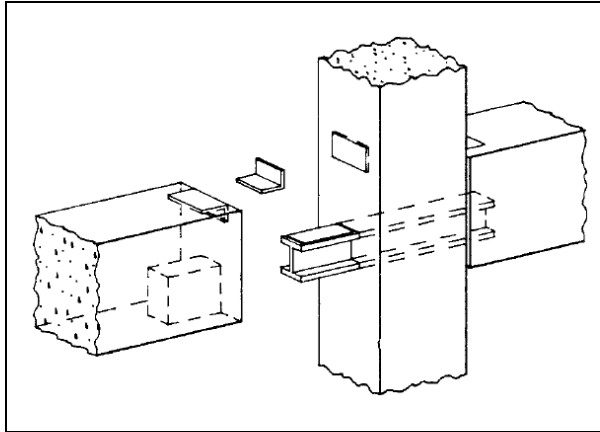


Figura 107 – Ligação por consola curta metálica
(Sidney, 2000)

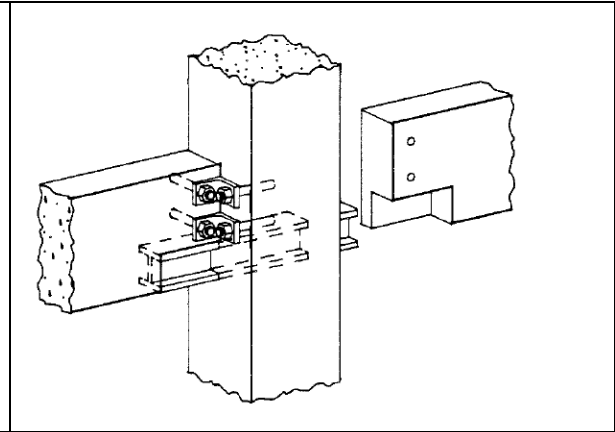


Figura 108 – Ligação por consola curta metálica
aparafusada (Sidney, 2000)

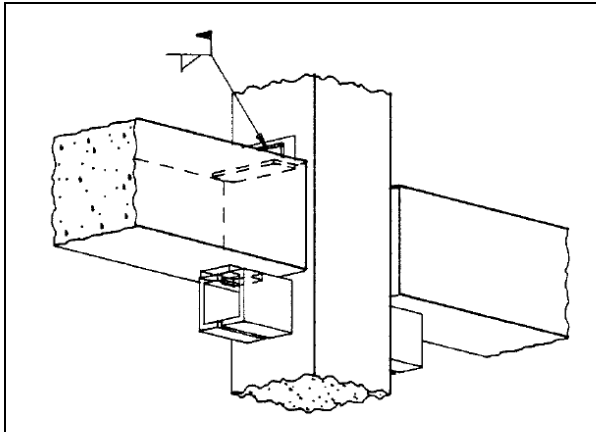


Figura 109 – Ligação por consola curta metálica
(Sidney, 2000)

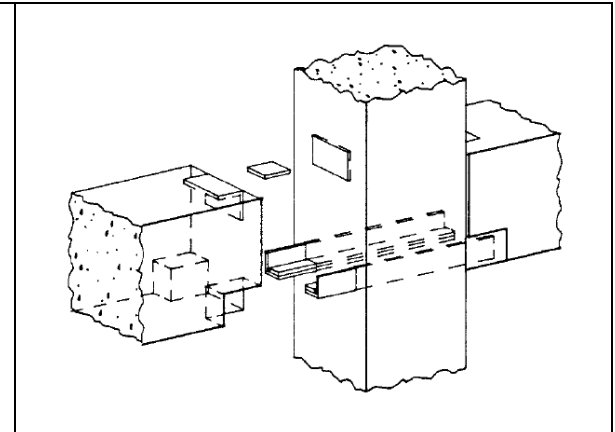


Figura 110 – Ligação por consola curta metálica
(Sidney, 2000)

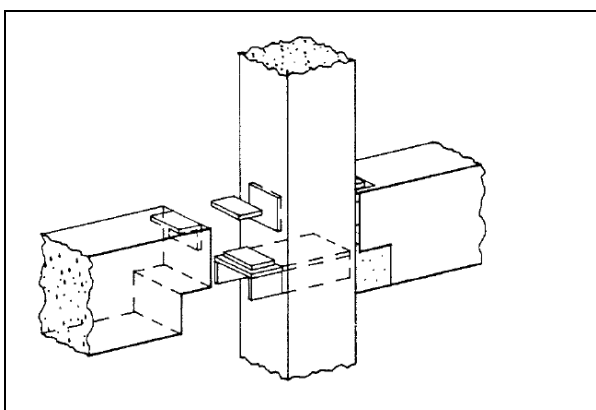


Figura 111 – Ligação por consola curta metálica
(Sidney, 2000)

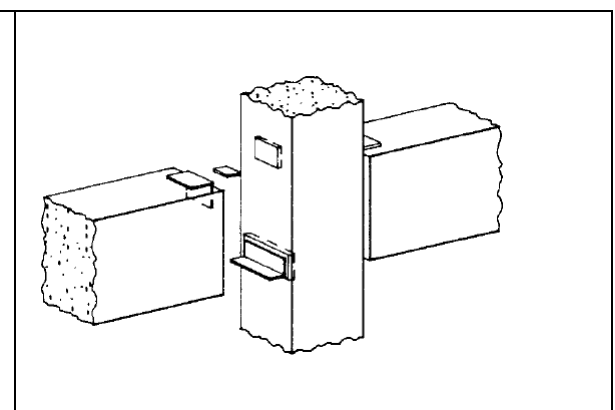


Figura 112 – Ligação por consola curta metálica
(Sidney, 2000)

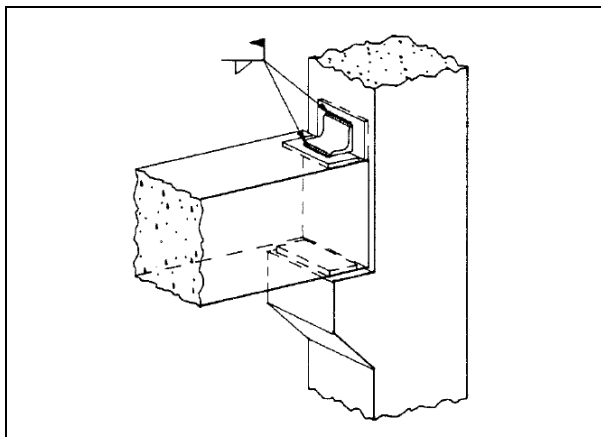


Figura 113 – Ligação por consola curta com chapas soldadas (Sidney, 2000)

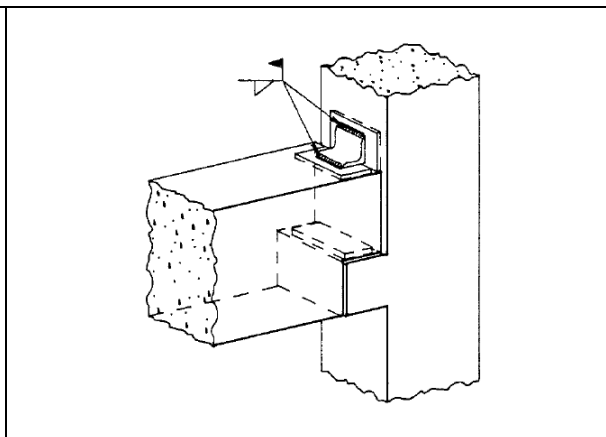


Figura 114 – Ligação por consola curta com chapas soldadas (Sidney, 2000)

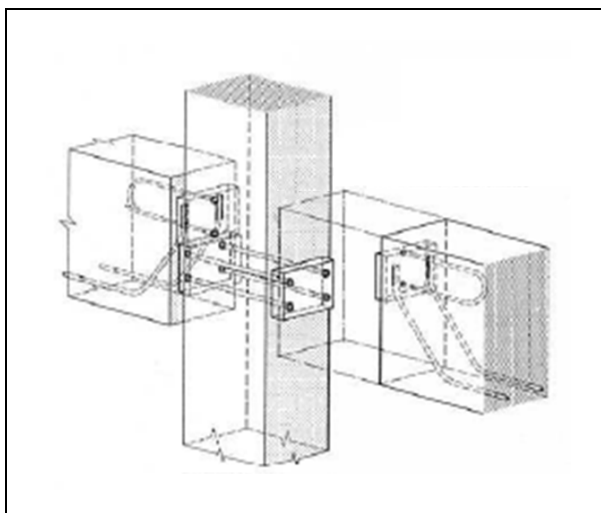


Figura 115 – Ligação por consola curta metálica com armaduras em gancho (Stupré, 1981)

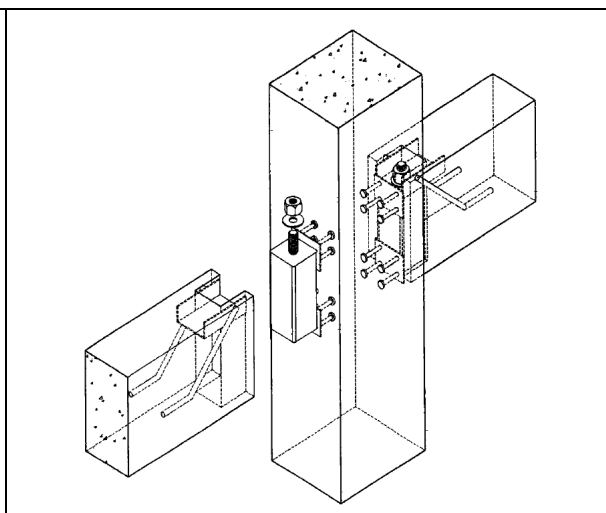


Figura 116 – Ligação por consola curta metálica com armaduras em gancho (PCI, 1999)

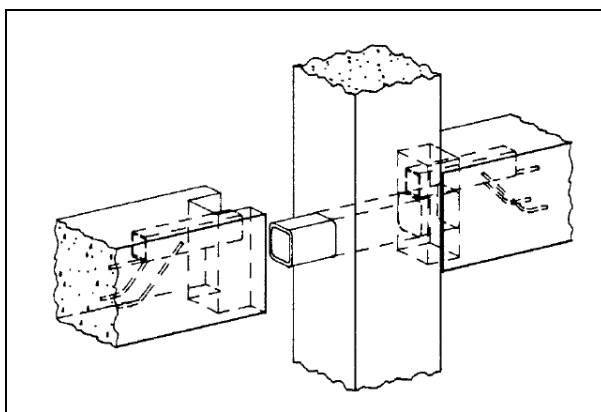


Figura 117 – Ligação por consola curta metálica com armaduras em gancho (Sidney, 2000)

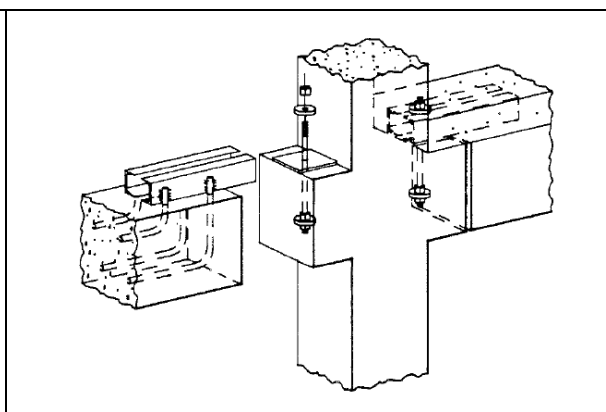


Figura 118 – Ligação por consola curta com armaduras em gancho (Sidney, 2000)

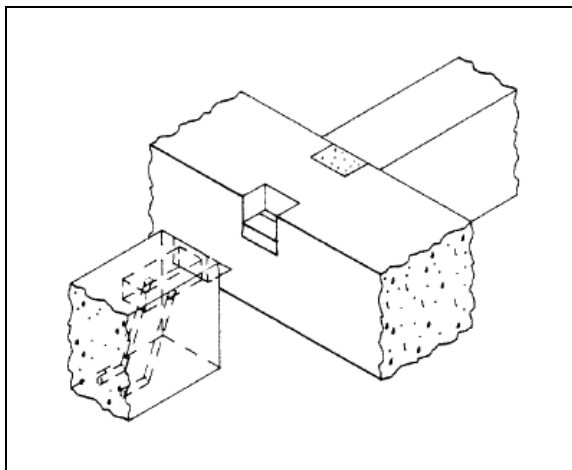


Figura 119 – Ligação por consola curta metálica com armaduras em gancho (Sidney, 2000)

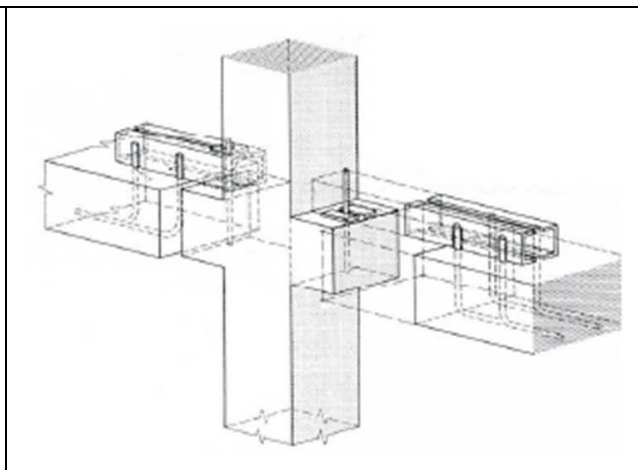


Figura 120 – Ligação por consola curta de betão/aço com armaduras em gancho (Stupré, 1981)

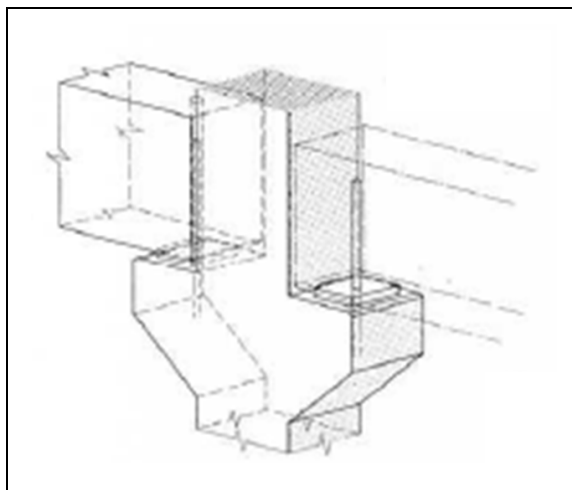


Figura 121 – Ligação por consola curta de betão com ferrolho (Stupré, 1981)

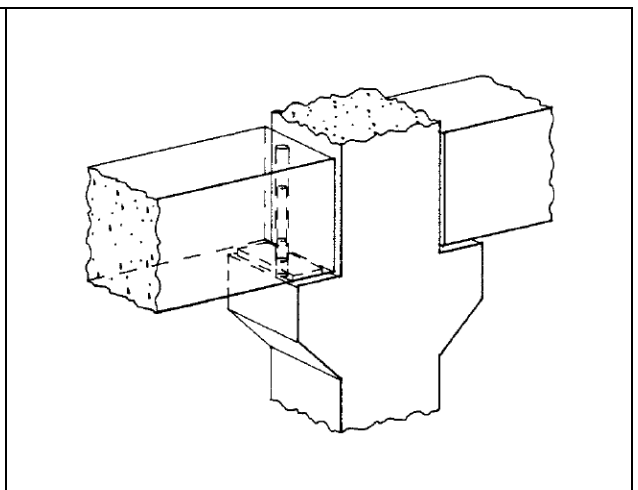


Figura 122 – Ligação por consola curta de betão com ferrolho (Sidney, 2000)

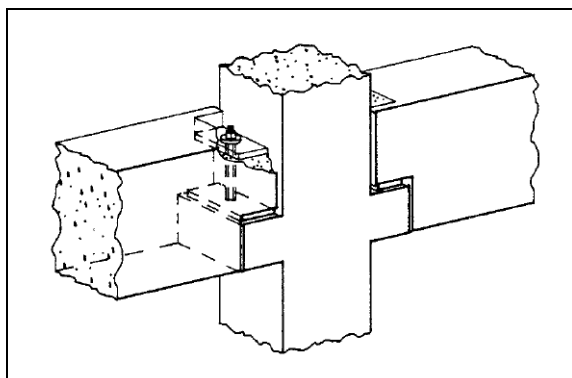


Figura 123 – Ligação por consola curta de betão com ferrolho (Sidney, 2000)

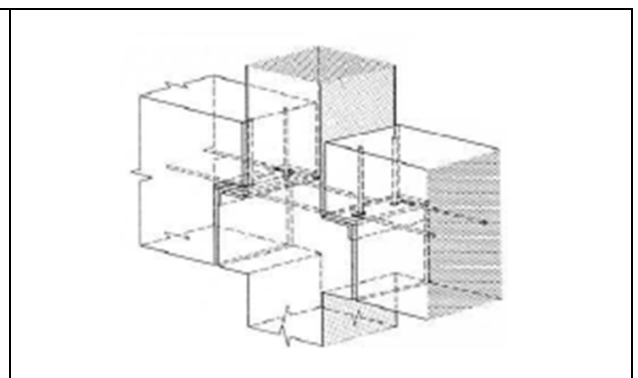


Figura 124 – Ligação por consola curta de betão (Stupré, 1981)

Ligações pilar-viga por perfis de aço

Os perfis estruturais de aço, tais como vigas de aço com banzo largo, em “I” ou “H”, perfis duplos, tubos ou placas verticais, muitas vezes servem como consolas ou suportes (ver figura 125).

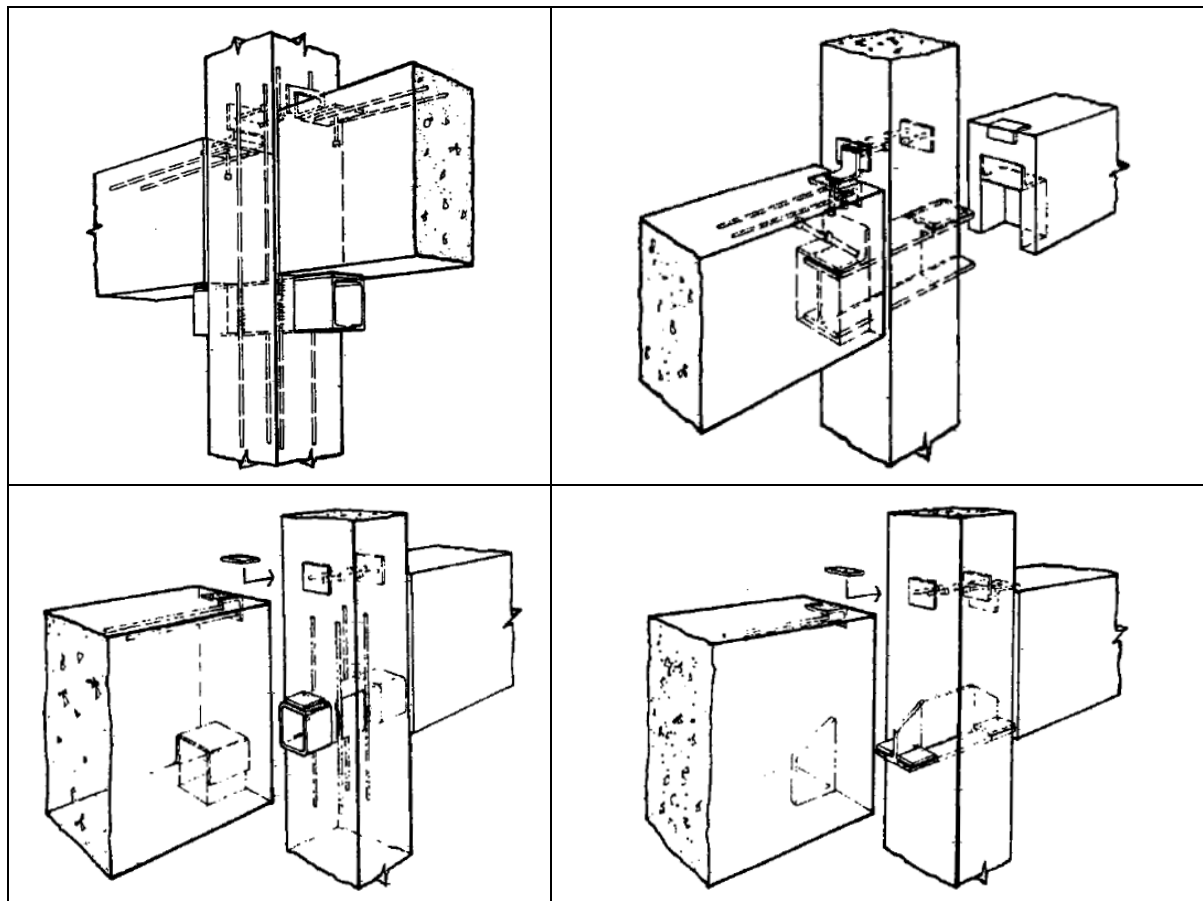


Figura 125 – Ligações pilar-viga por perfis de aço (PCI, 1999)

Há uma tendência para embutir peças metálicas nas ligações viga-pilar. Esta solução permite que a ligação entre pilar e viga seja limpa, isto é, fique disfarçada sem o destaque da solução da saliência de consola curta, ficando uma ligação atraente do ponto de vista estético. Existem algumas soluções no mercado, como se pode ver nas figuras 126, 127, 128 e 129.

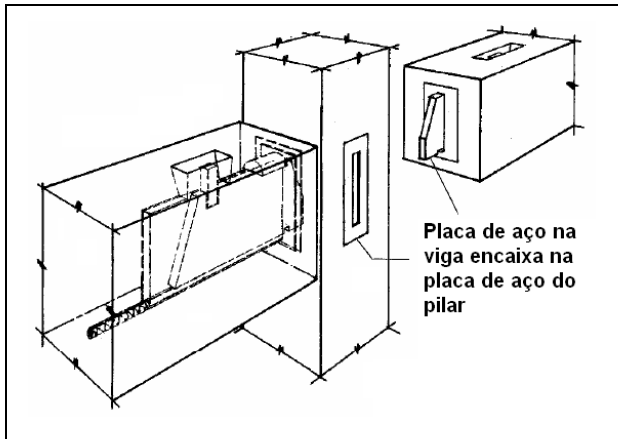


Figura 126 – Ligação por placa deslizante oculta
(Arnold, 2002)

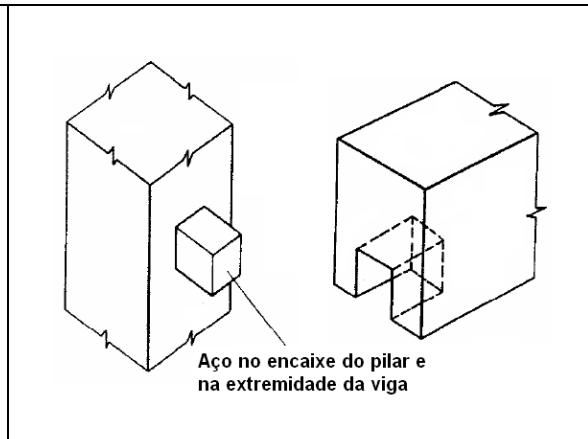


Figura 127 – Ligação por chapas encaixadas ocultas (Arnold, 2002)

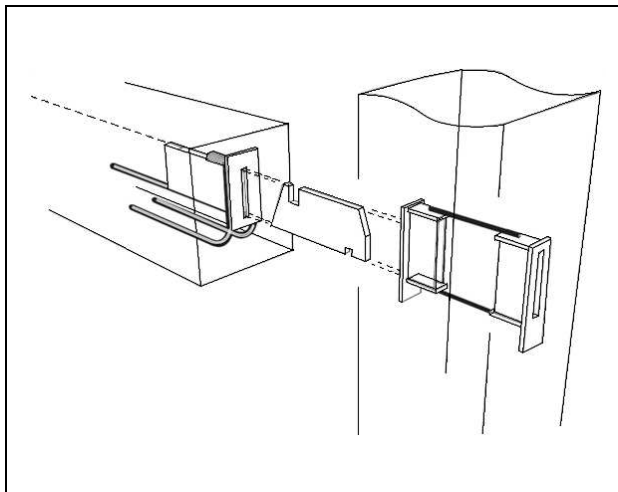


Figura 128 – Ligação por placa deslizante oculta
(Elliott, 2002)

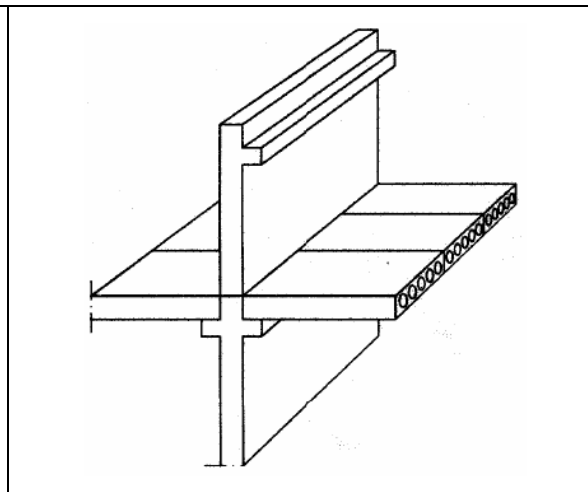


Figura 129 – Ligação por consola curta: ligação laje-parede (Arnold, 2002)

As consolas curtas são geralmente utilizadas em estruturas pré-fabricadas, nas ligações pilar-viga, ligações viga-viga e nas ligações laje-parede.

Vigas de piso - Ligações com continuidade (figuras 130 a 149)

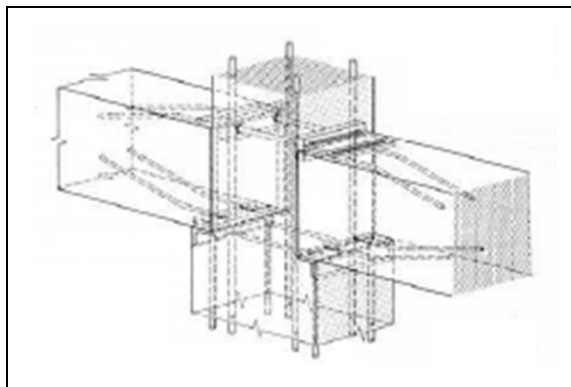


Figura 130 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981)

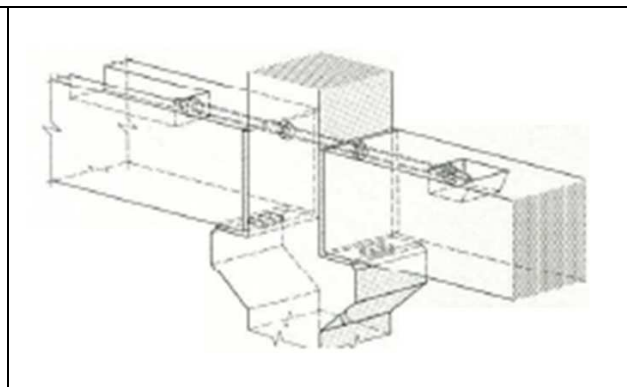


Figura 131 – Ligação por consola curta de betão e pré-esforço (Stupré, 1981)

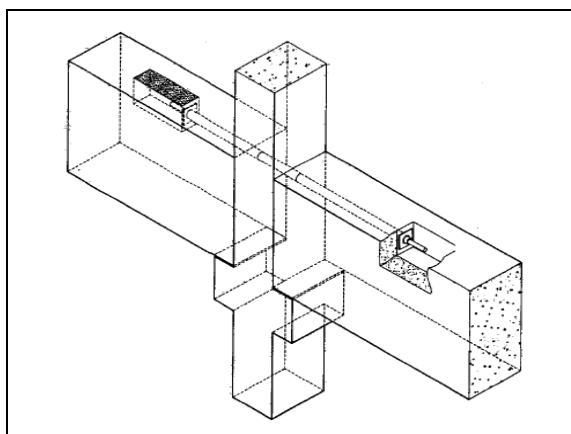


Figura 132 – Ligação por consola curta de betão e pré-esforço (PCI, 1999)

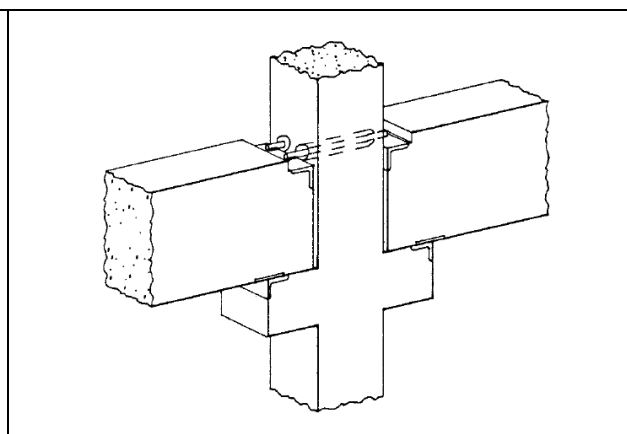


Figura 133 – Ligação por consola curta de betão e chapas aparafusadas (Sidney, 2000)

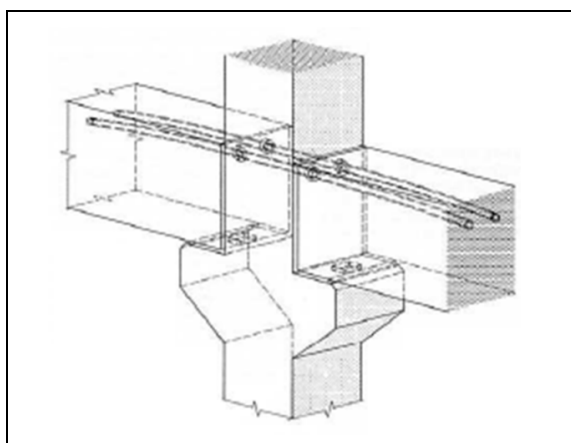


Figura 134 – Ligação por consola curta de betão e pré-esforço (Stupré, 1981)

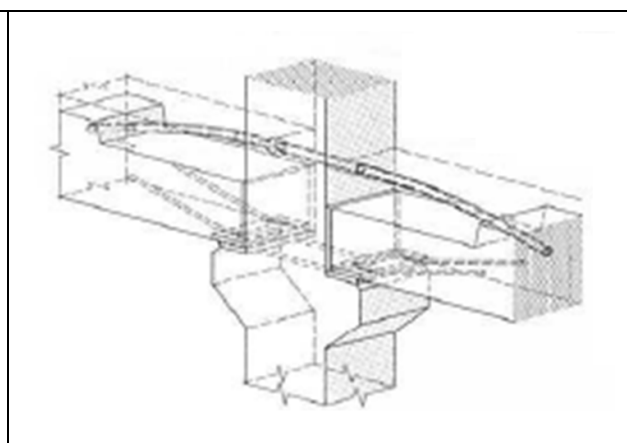


Figura 135 – Ligação por consola curta de betão e pré-esforço (Stupré, 1981)

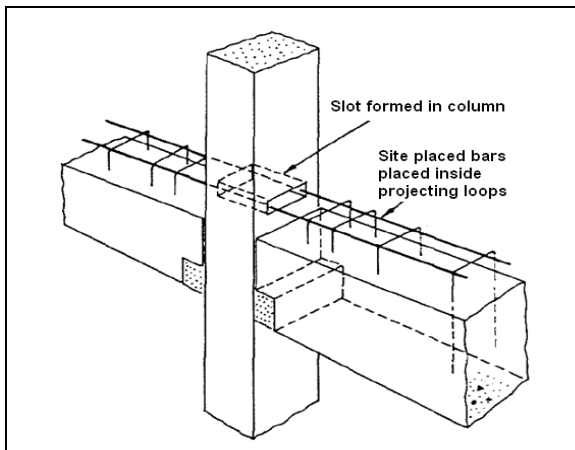


Figura 136 – Ligação por consola curta de betão e armadura ordinária (Elliott, 1996)

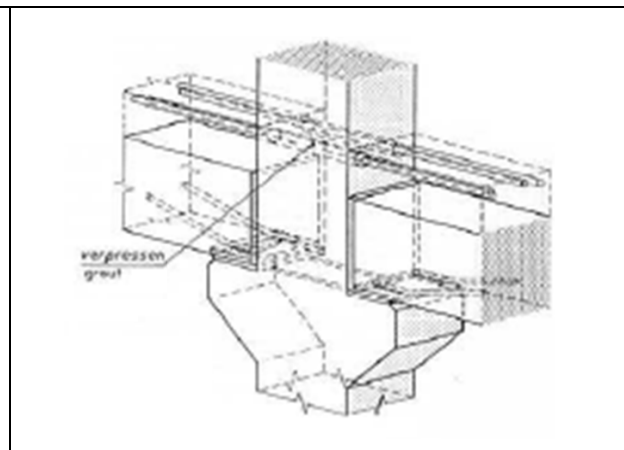


Figura 137 – Ligação por consola curta de betão e armadura ordinária (Stupré, 1981)

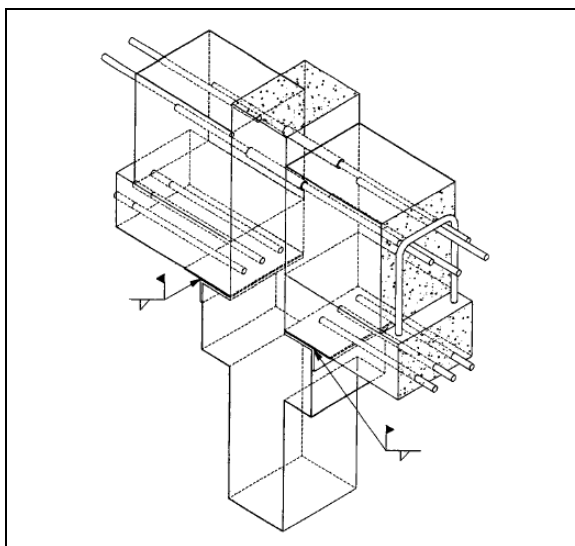


Figura 138 – Ligação por consola curta de betão e armadura com ligadores (PCI, 1999)

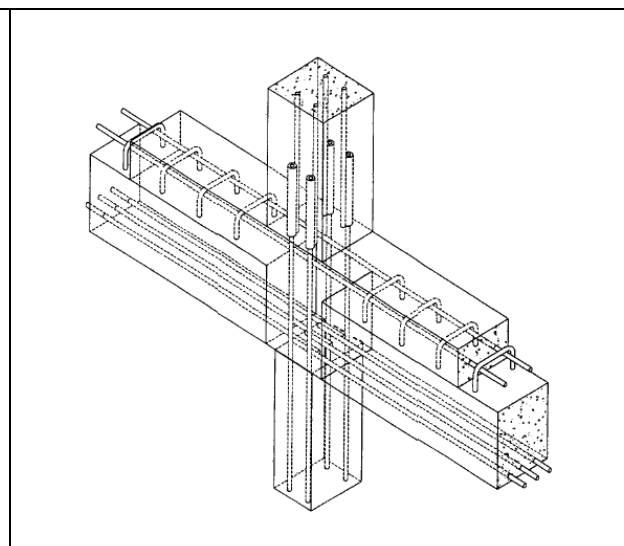


Figura 139 – Interrupção de pilar e da viga com ligação por armaduras e betonagem *in situ* (PCI, 1999)

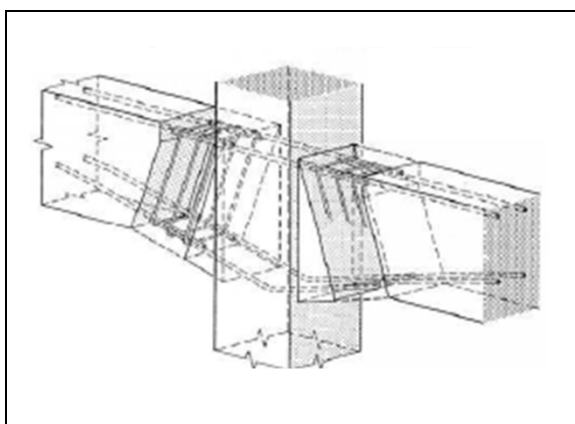


Figura 140 – Ligação por betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

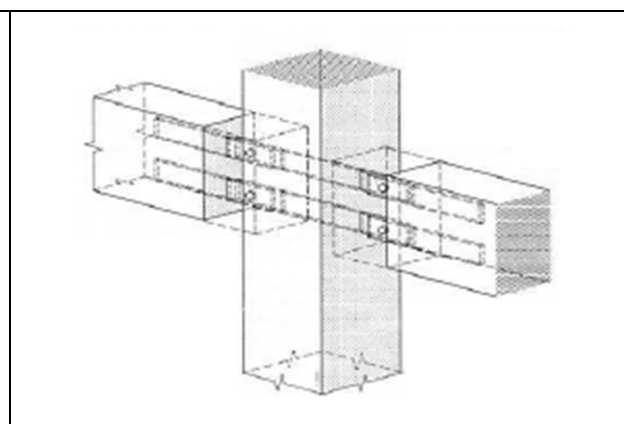


Figura 141 – Ligação por chapas metálicas soldadas e com betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

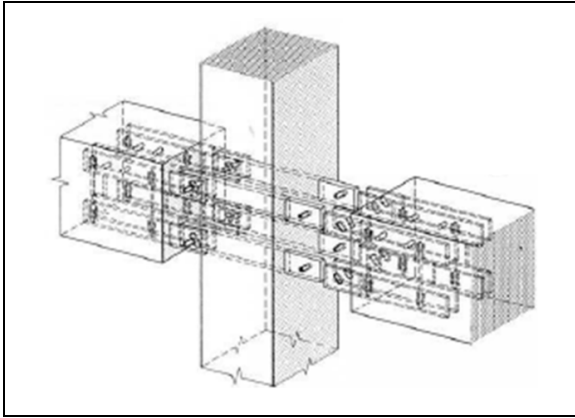


Figura 142 – Ligação por chapas metálicas soldadas com betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

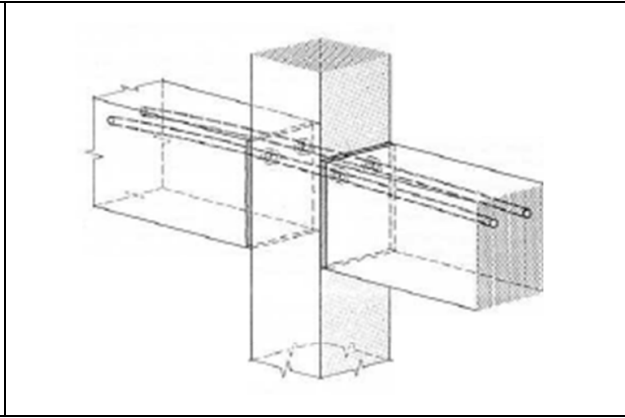


Figura 143 – Ligação por pré-esforço (Stupré, 1981)

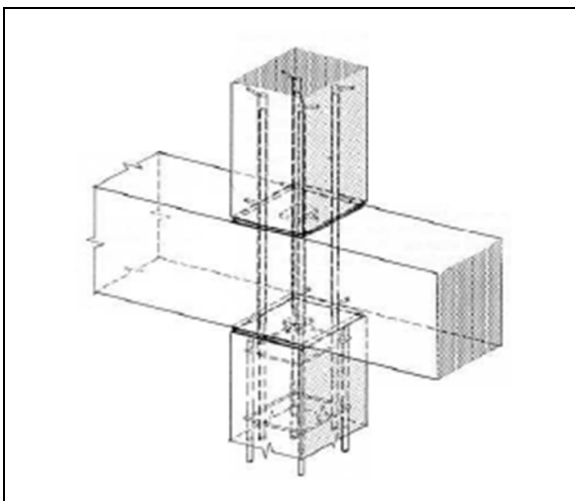


Figura 144 – Interrupção de pilar com ligação por armaduras (Stupré, 1981)

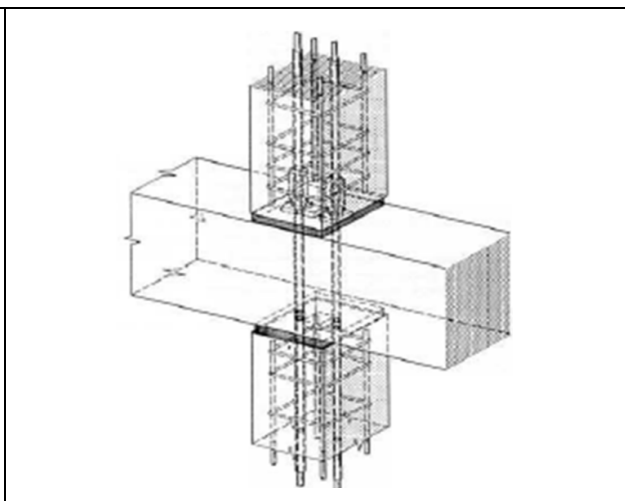


Figura 145 – Interrupção de pilar com ligação por pré-esforço (Stupré, 1981)

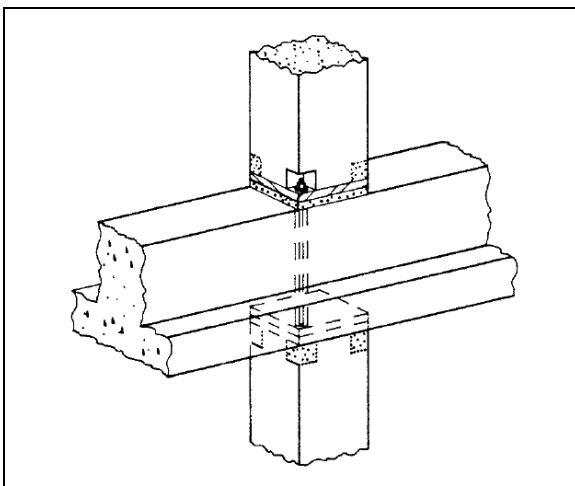


Figura 146 – Interrupção de pilar com ligação por varão roscado (Sidney, 2000)

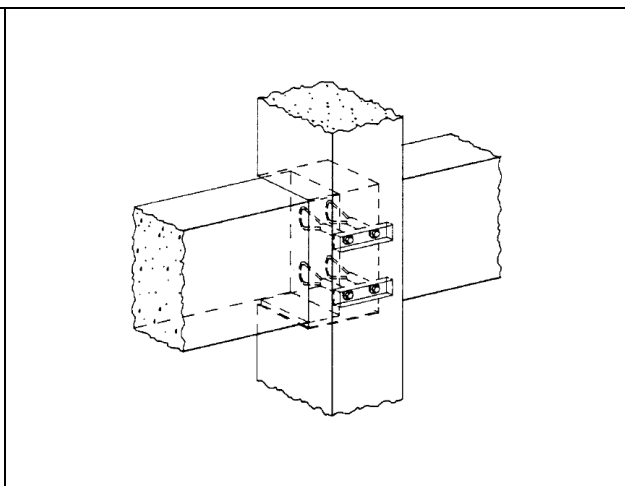


Figura 147 – Interrupção de pilar com ligação por grampos roscados (Sidney, 2000)

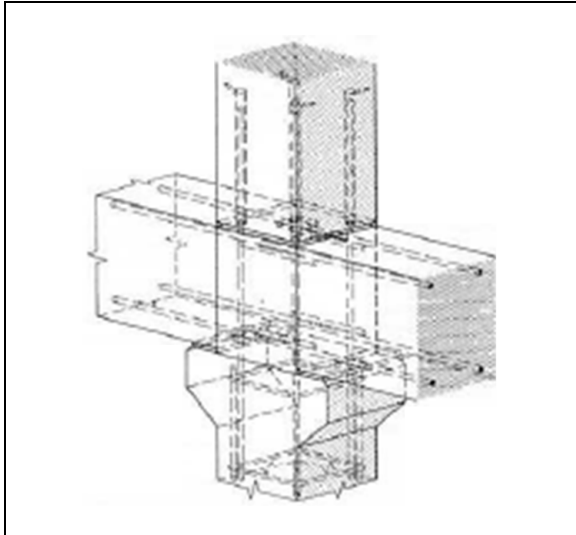


Figura 148 – Interrupção de pilar com ligação por armaduras e betonagem integral do nó (Stupré, 1981)

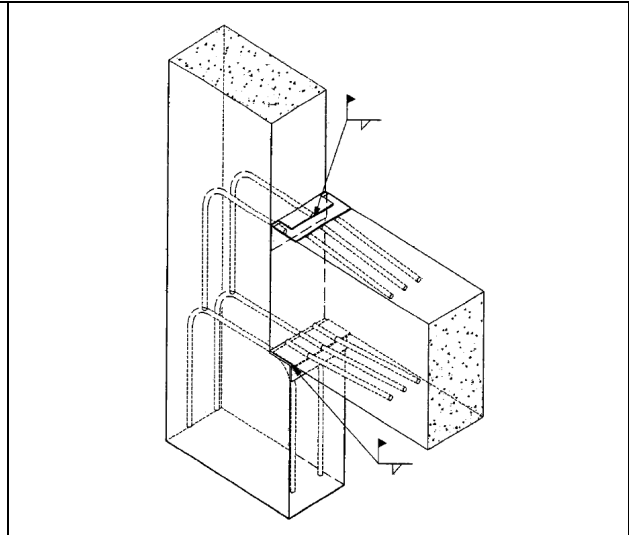


Figura 149 – Ligação por consola curta de betão e armadura (PCI, 1999)

Vigas de cobertura

- Ligações sem continuidade (figuras 150 a 153)

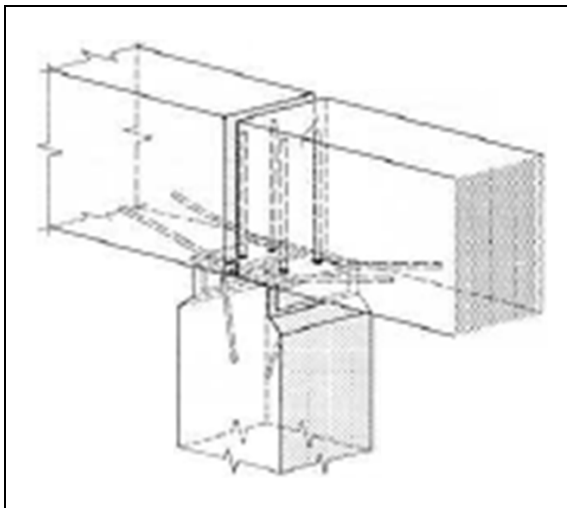


Figura 150 – Ligação com placa de apoio (aço) (Stupré, 1981)

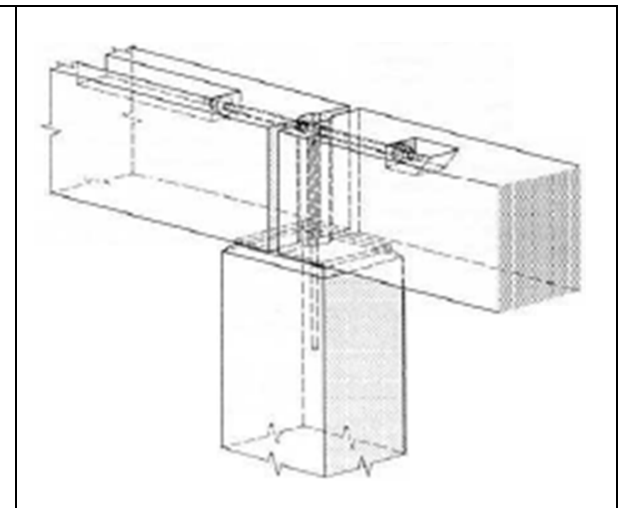


Figura 151 – Ligação com pré-esforço (Stupré, 1981)

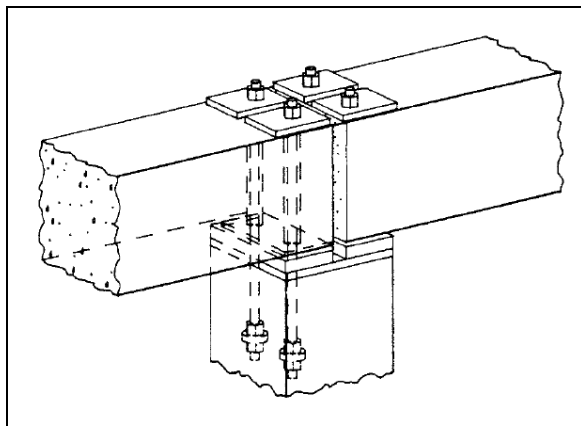


Figura 152 – Ligação com varões roscados e chapas (Sidney, 2000)

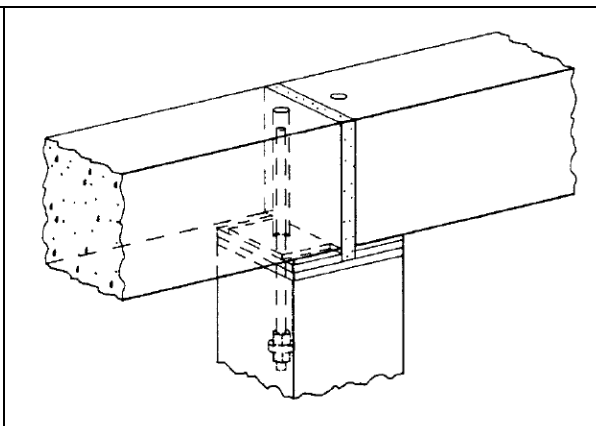


Figura 153 – Ligação com ferrolho (Sidney, 2000)

- Ligações com continuidade (figuras 154 e 15)

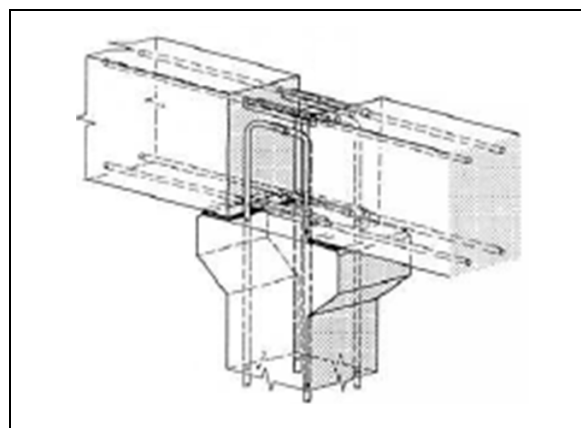


Figura 154 – Ligação por betonagem *in situ* do nó (Stupré, 1981)

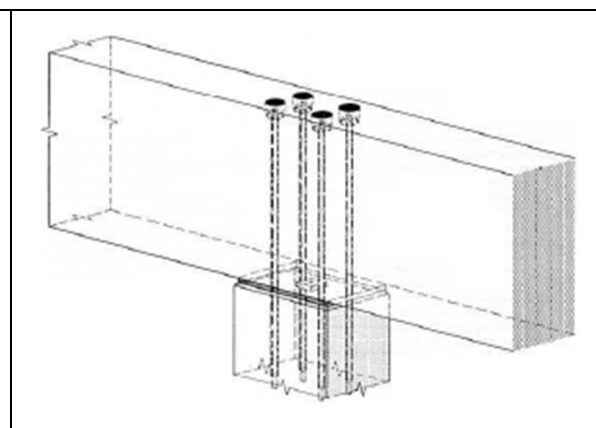


Figura 155 – Ligação por pré-esforço (Stupré, 1981)

O número de soluções de ligações pré-fabricadas é tão grande e diversificado, como o número de fabricantes de estruturas de betão pré-fabricado.

No entanto a solução mais robusta para a ligação dos elementos é a ligação mecânica, pois esta depende do betão pré-fabricado para ancorar as secções de aço laminado, sendo fabricada na posição projetada, de modo a materializar uma junta de aço.

As razões para o grande número de variações de ligações é em parte pelo facto de que quanto maior for a sua capacidade de carga, mais complexo é o ligador, em virtude de ter de ser capaz de lidar com as tensões resultantes.

Os principais fatores que influenciam os custos são os custos de fabricação e do material. Estes aumentam acentuadamente com o aumento da capacidade de ligação.

Os projetistas de pré-fabricados delegam as questões mais complicadas do ligador para o controlo em fábrica, ficando as operações *in situ* reduzidas à aplicação de cavilhas simples, parafusos ou solda.

Foram elaboradas algumas soluções de ligações que provaram ser caras e de difícil montagem *in situ*, o que as tornou técnico-financeiramente inviáveis, exemplo disso são as representadas na figura 156.

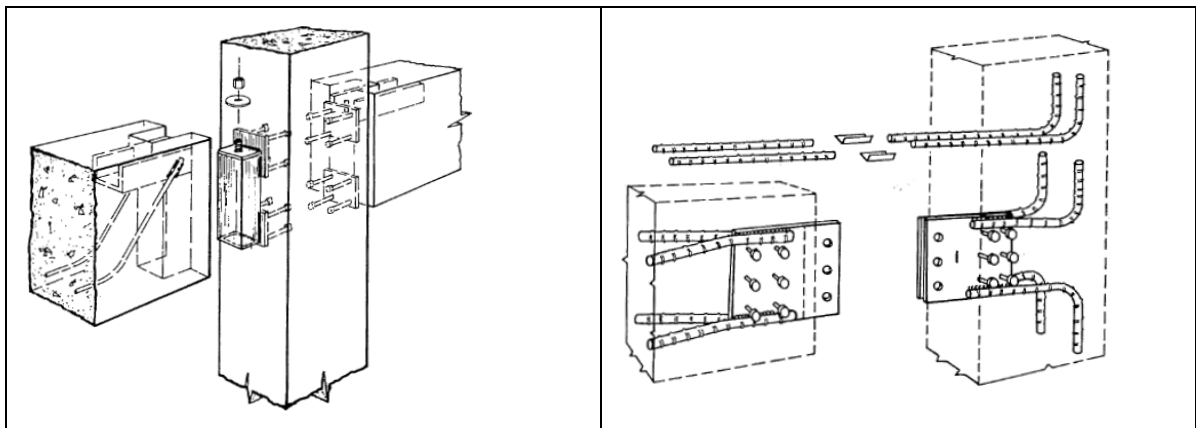


Figura 156 – Tipos de ligações viga-pilar sem sucesso

4.3.2.4 Ligação viga-viga

As ligações viga-viga, tal como as ligações pilar-pilar, devem ser ligações monolíticas, fazendo com que dois elementos independentes se tornem num único elemento. As soluções que podem preconizar esta ligações são as seguintes:

- Ligações sem continuidade
 - por chapas metálicas verticais;
 - por juntas em dente (consolas curtas).
- Ligações com continuidade
 - por juntas em dente e varões superiores soldados,
 - por juntas em dente e varões inferiores soldados;
 - por juntas em dente e barras;
 - por betonagem *in situ*;
 - por chapas metálicas aparafusadas com betonagem *in situ*;
 - por pré-esforço.

- Ligações sem continuidade (figuras 157 a 166)

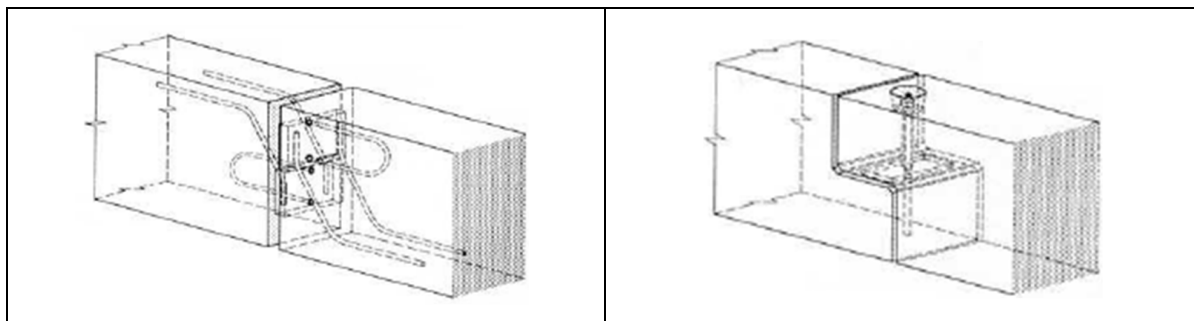


Figura 157 – Ligação por chapas metálicas verticais (Stupré, 1981)

Figura 158 – Ligação por juntas em dente (consolas curtas) (Stupré, 1981)

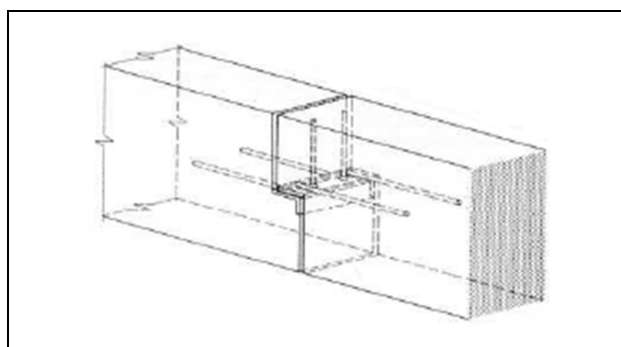


Figura 159 – Ligação por juntas em dente (consolas curtas) (Stupré, 1981)

- Ligações com continuidade

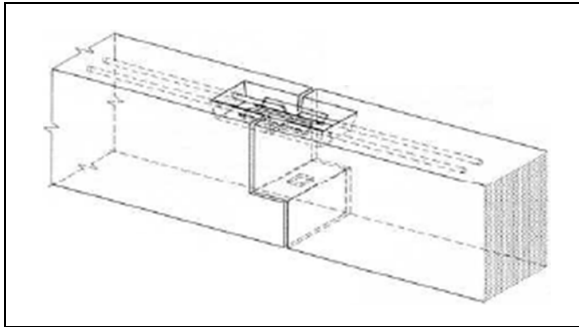


Figura 160 – Ligação por juntas em dente e varões superiores soldados (Stupré, 1981)

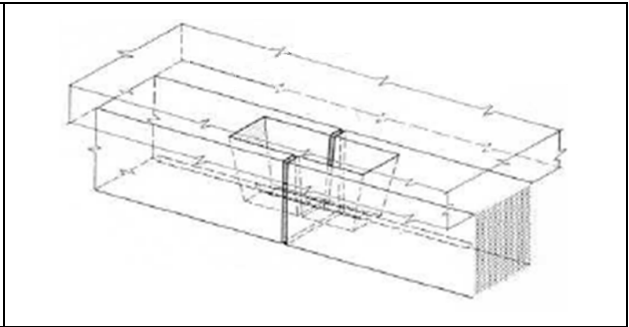


Figura 161 – Ligação por juntas em dente e varões inferiores soldados (Stupré, 1981)

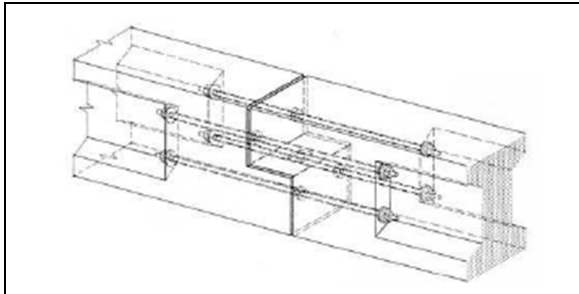


Figura 162 – Ligação por juntas em dente e barras (Stupré, 1981)

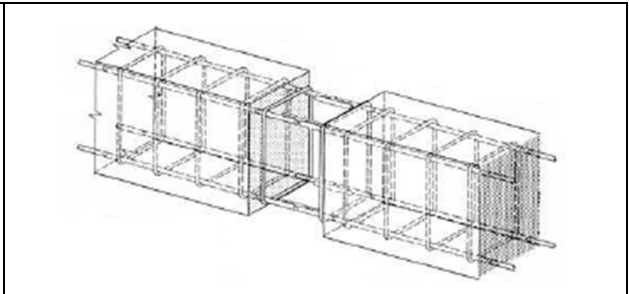


Figura 163 – Ligação por betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

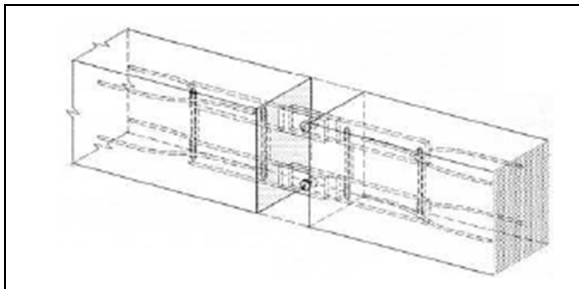


Figura 164 – Ligação por chapas metálicas aparafusadas e betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

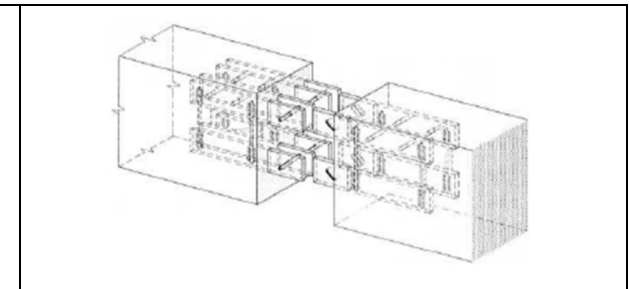


Figura 165 – Ligação por chapas metálicas aparafusadas e betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

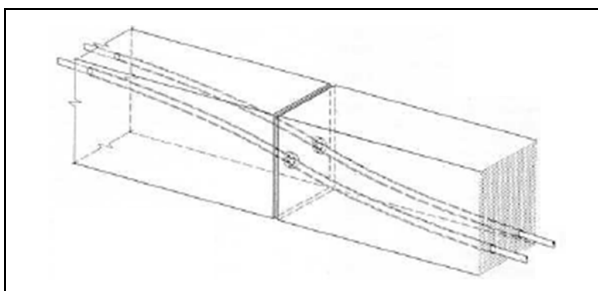


Figura 166 – Ligação por pré-esforço (Stupré, 1981)

4.3.2.5 Ligação viga secundária-viga principal

O objetivo da ligação viga secundária-viga principal, é fazer com que haja uma descarga da viga secundária na viga principal, pelo que é necessário assegurar um ponto de descarga de uma força vertical resultante das ações atuantes na viga secundária que não colapsem o elemento recetor (viga principal), pelo que se apresentam as seguintes soluções:

- Ligações sem continuidade
 - por consola curta de betão;
 - por parafusos;
 - por chapas soldadas;
 - por parafusos ligados inferiormente;
 - com armaduras em gancho.
- Ligações com continuidade
 - por consolas curtas e chapas soldadas;
 - por betonagem *in situ* do nó;
 - por chapas soldadas;
 - por barras de pré-esforço;
 - por varões soldados.

- Ligações sem continuidade (figura 167 a 172)

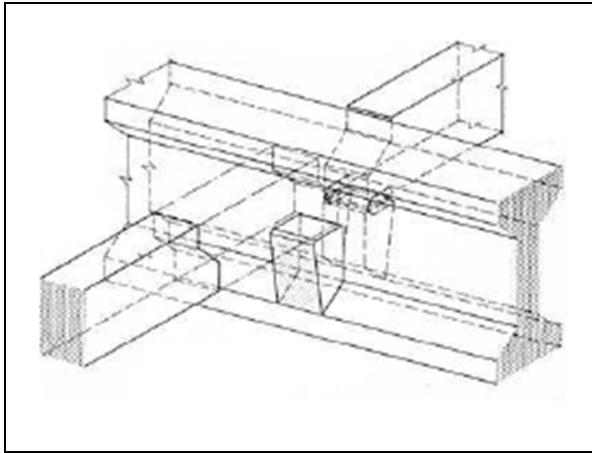


Figura 167 – Ligação por consola curta de betão
(Stupré, 1981)

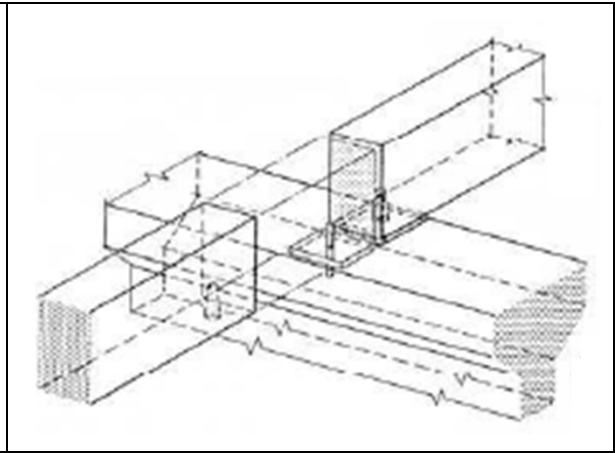


Figura 168 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981)

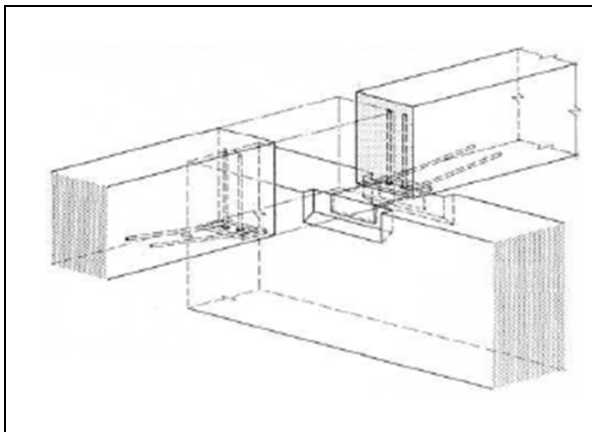


Figura 169 – Ligação por chapas soldadas (Stupré,
1981)

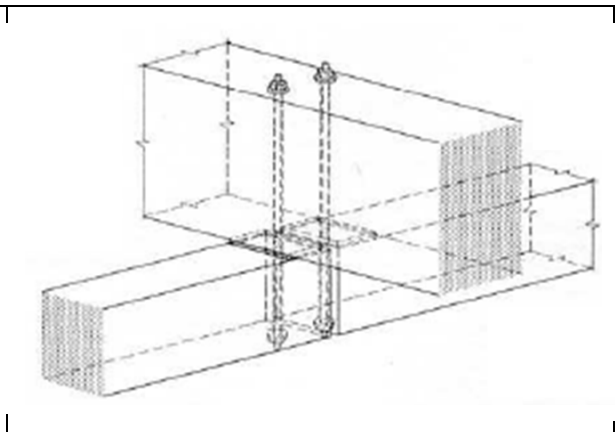


Figura 170 – Ligação por parafusos ligados
inferiormente (Stupré, 1981)

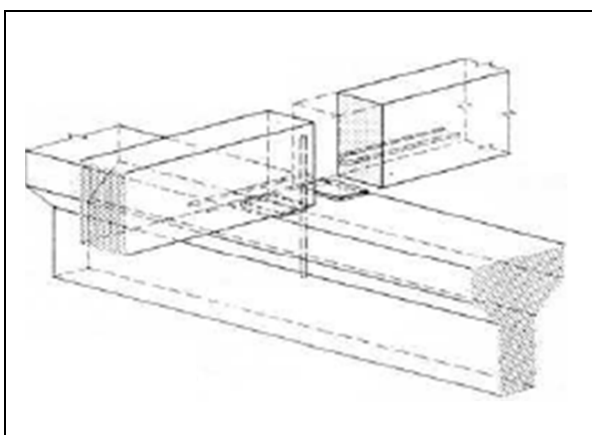


Figura 171 – Ligação com armaduras em gancho
(Stupré, 1981)

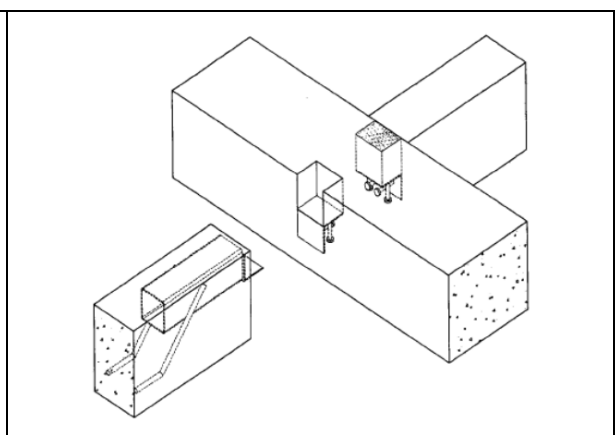


Figura 172 – Ligação com armaduras em gancho
(PCI, 1999)

- Ligações com continuidade (figura 173 a 177)

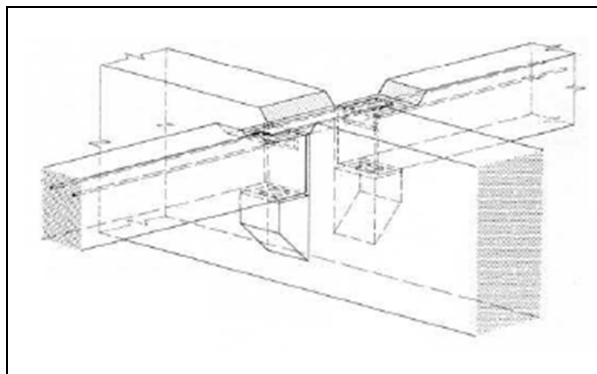


Figura 173 – Ligação por consolas curtas e chapas soldadas (Stupré, 1981)

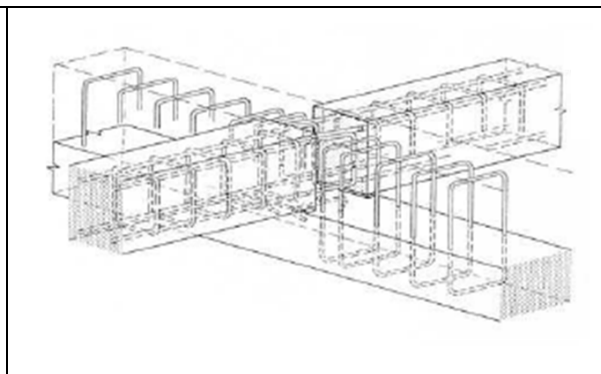


Figura 174 – Ligação por betonagem *in situ* do nó (Stupré, 1981)

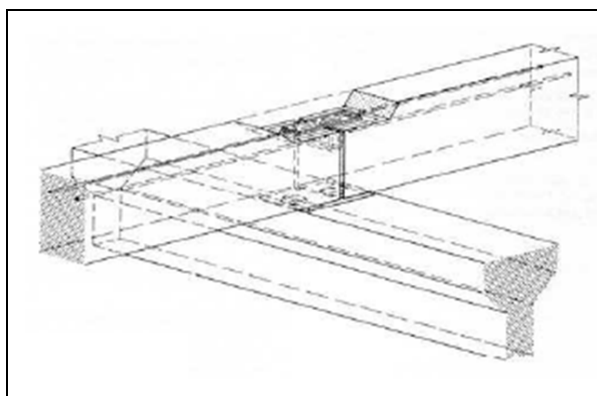


Figura 175 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981)

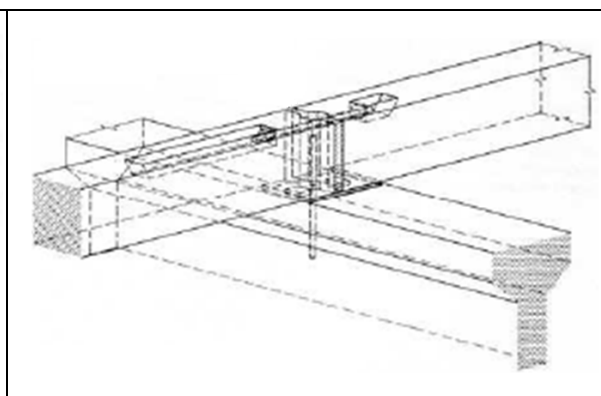


Figura 176 – Ligação por barras de pré-esforço (Stupré, 1981)

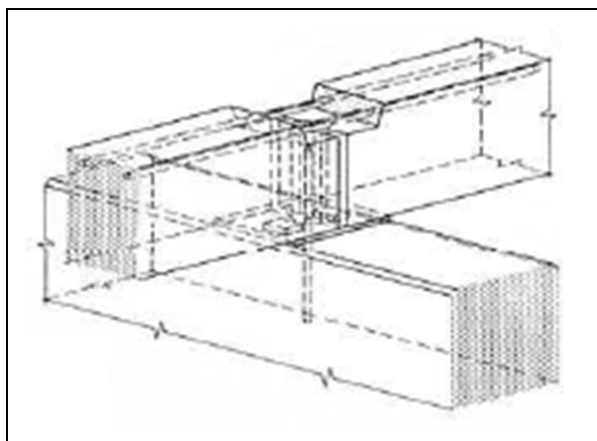


Figura 177 – Ligação por varões soldados (Stupré, 1981)

4.3.2.6 Ligação laje-viga

A ligação laje-viga permite que a viga receba cargas provenientes da laje em toda a sua extensão, tratando-se de uma carga distribuída que será absorvida pela viga. Deste modo é necessário que este elemento suporte as cargas a que se encontra solicitado, podendo ser transmitido por vários tipos de soluções de ligação, tais como:

- Ligações com continuidade
 - de lajes alveolares através de amarração, em paralelo com a laje;
 - de lajes através de chapas soldadas, assentes em neoprene , em paralelo com a laje;
 - de lajes através de chapas aparafusadas, assentes em neoprene , em paralelo com a laje;
 - de lajes duplo “T” em vigas quadradas, através de chapas soldadas aparafusadas, em paralelo com a laje;
 - de lajes duplo “T” em vigas “T” invertido, através de chapas aparafusadas, assentes em neoprene, em paralelo com a laje;
 - de lajes duplo “T” em vigas “T” invertido, através de armadura ordinária em lajes, assentes em neoprene , em paralelo com a laje;
 - de lajes alveolares através de amarração, perpendiculares à laje de piso;
 - de laje com chapas aparafusadas na laje, assente em neoprene , perpendiculares à laje de piso;
 - de lajes duplo “T” em vigas “L”, com chapas soldadas, assentes em neoprene, perpendiculares à laje de piso.
- Ligações sem continuidade
 - de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene , numa viga metálica “T”, em paralelo com a laje ;
 - de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene, perpendiculares à laje de piso;
 - de lajes alveolares simplesmente apoiadas, em viga “L”, com junta seca, perpendiculares à laje de piso;
 - de lajes duplo “T” apoiadas no encaixe na viga-parede, perpendiculares à laje de piso.

- Ligações com continuidade (figura 178 a 188)

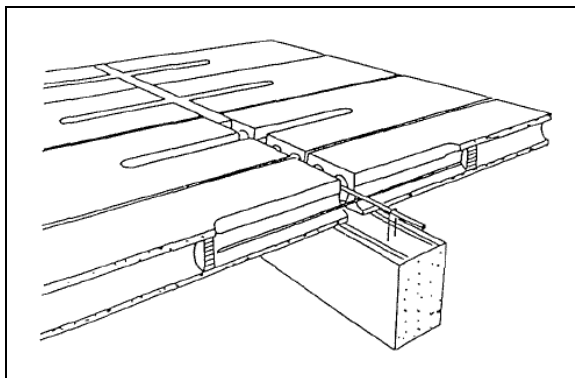


Figura 178 – Ligação de lajes alveolares através de amarração, em paralelo com a laje (Elliott, 1996)

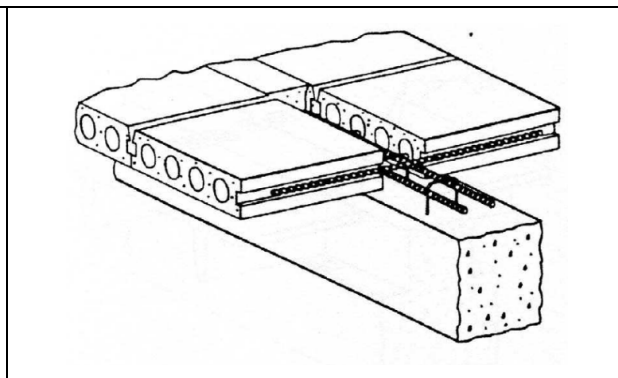


Figura 179 – Ligação de lajes alveolares através de amarração, em paralelo com a laje (PCI)

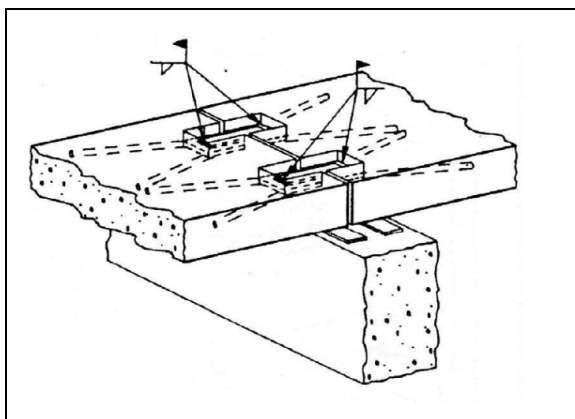


Figura 180 – Ligação de lajes através de chapas soldadas, assentes em neoprene, em paralelo com a laje (PCI)

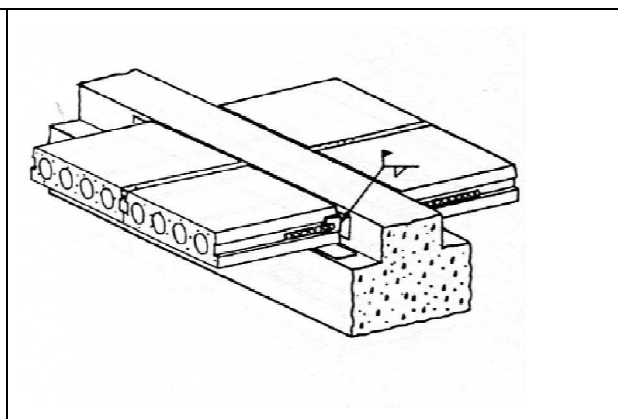


Figura 181 – Ligação de lajes através de chapas aparafusadas, assentes em neoprene, em paralelo com a laje (PCI)

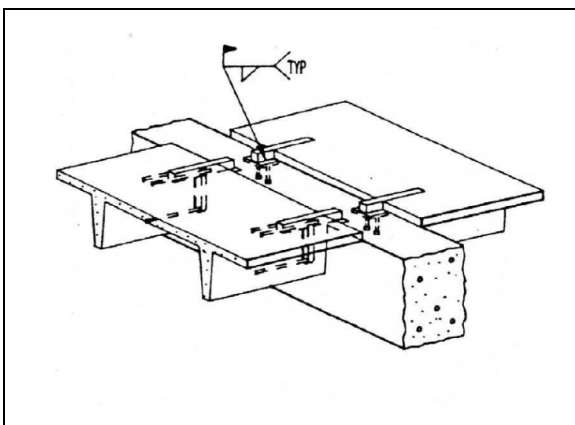


Figura 182 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas quadradas, através de chapas soldadas aparafusadas, em paralelo com a laje (PCI).

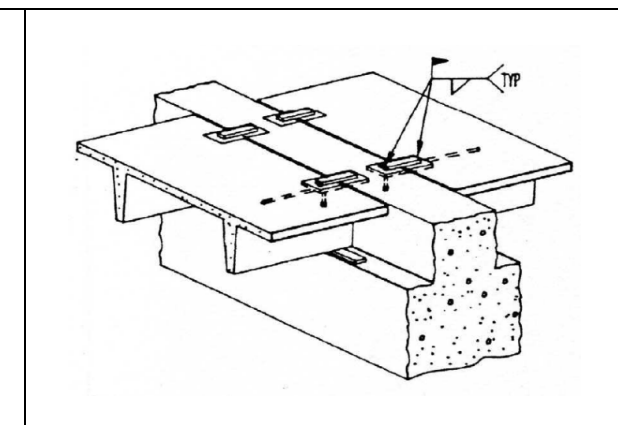


Figura 183 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “T” invertido, através de chapas aparafusadas, assentes em neoprene, em paralelo com a laje (PCI).

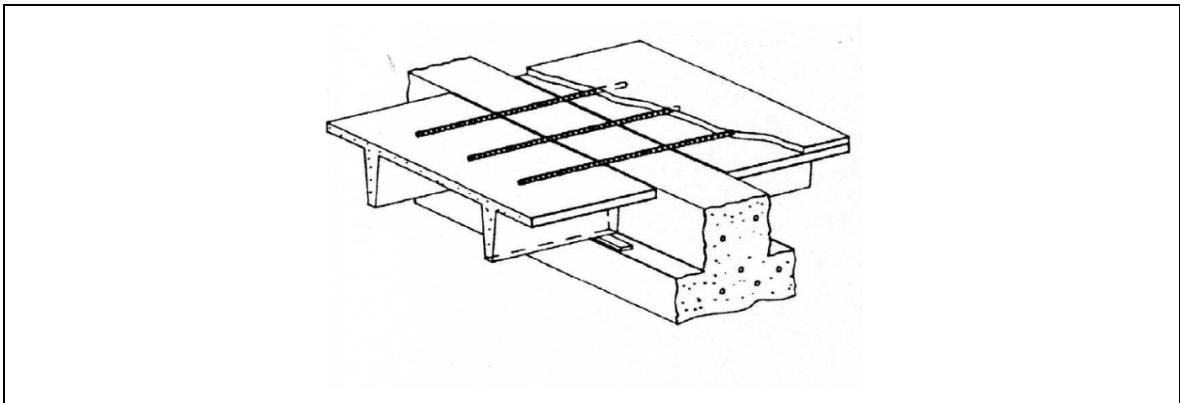


Figura 184 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “T” invertido, através de armadura ordinária em lajes, assentes em neoprene , em paralelo com a laje (PCI)

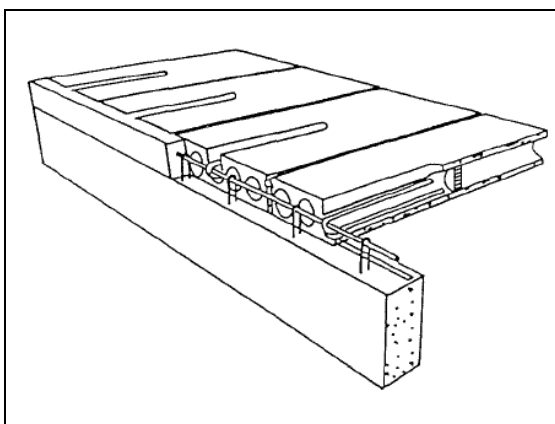


Figura 185 – Ligação de lajes alveolares através de amarração, perpendiculares à laje de piso (Elliott, 1996)

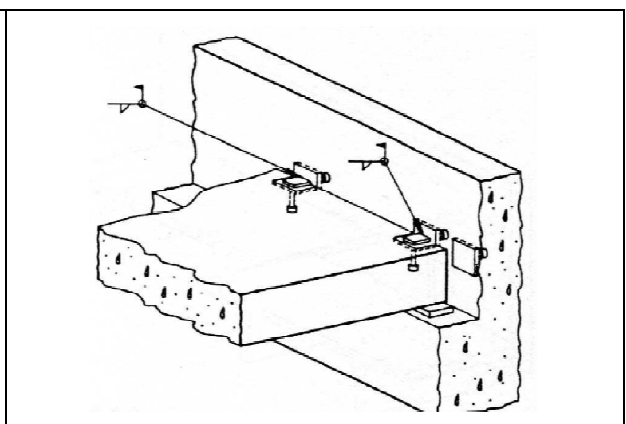


Figura 186 – Ligação de laje com chapas aparafusadas na laje, assente em neoprene , perpendiculares à laje de piso (PCI)

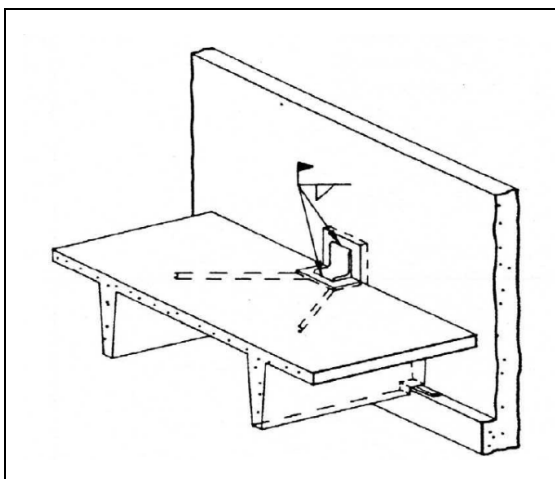


Figura 187 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “L”, com chapas soldadas, assentes em neoprene, perpendiculares à laje de piso (PCI)

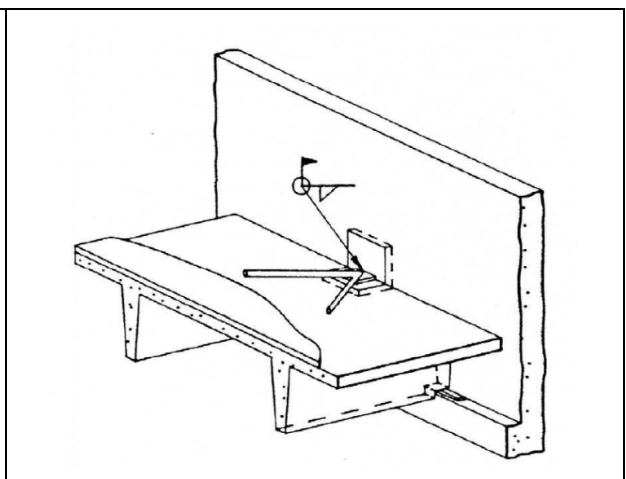


Figura 188 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “L”, com chapas soldadas, assentes em neoprene, perpendiculares à laje de piso (PCI)

- Ligações sem continuidade (figura 189 a 192)

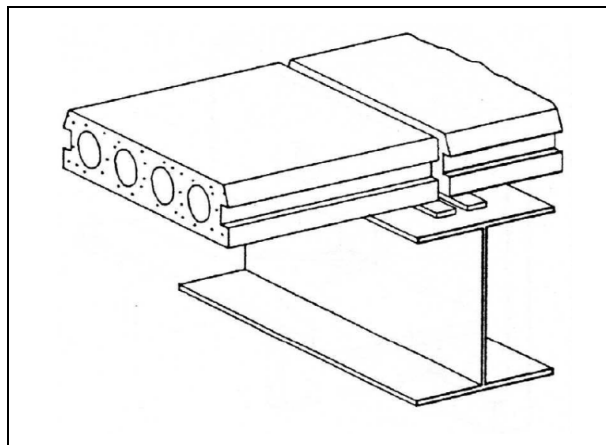


Figura 189 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene, numa viga metálica “I”, em paralelo com a laje (PCI)

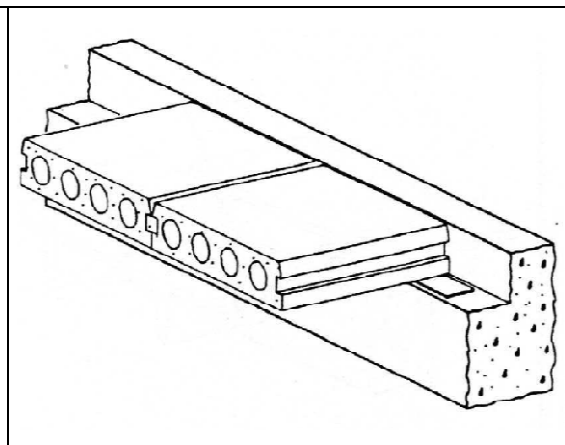


Figura 190 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene, perpendiculares à laje de piso (PCI)

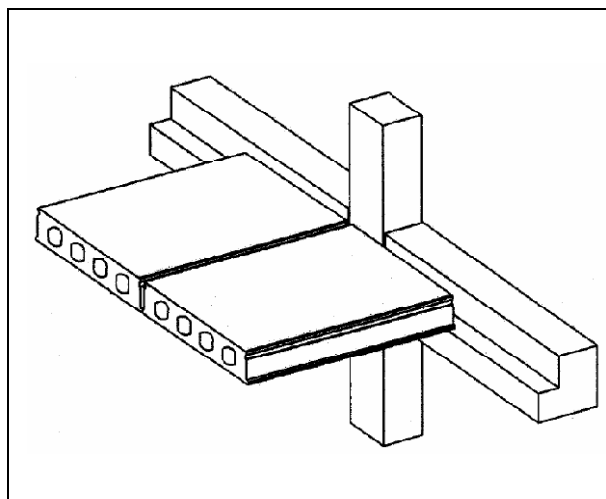


Figura 191 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas, em viga “L”, com junta seca, perpendiculares à laje de piso (Arnold, 2002)

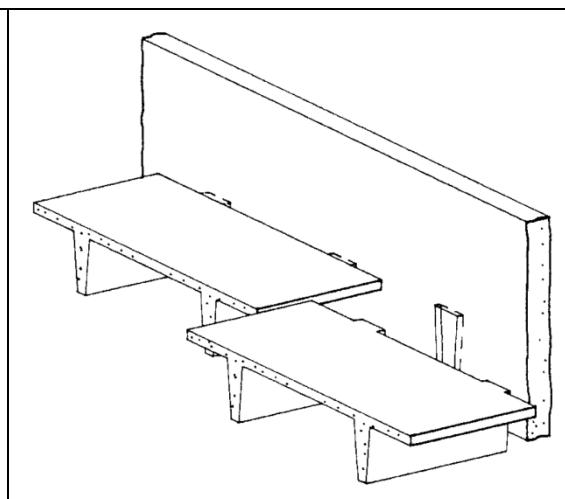


Figura 192 – Ligação de lajes duplo “T” apoiadas no encaixe na viga-parede, perpendiculares à laje de piso (PCI)

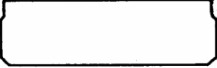
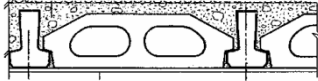


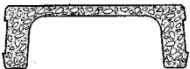
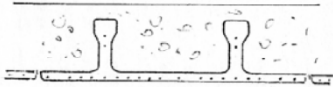

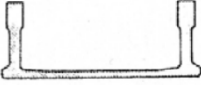
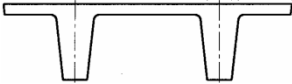
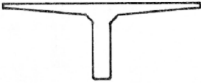
4.3.2.7 Ligação laje-laje

As ligações laje-laje definem o pavimento do piso (laje) propriamente dito. O seu comportamento estrutural é comparável ao de uma laje com armadura resistente unidirecional. Estas podem ser constituídas com:

- vigotas;
- lajes alveolares;
- lajes abobadadas;
- pré-laje;
- lajetas;
- lajes duplo “T”.

Como princípio de betonagem das lajes, não se devem betonar mais de dois pisos, antes dos pisos em construção estarem perfeitamente ligados à restante estrutura e com tempo de cura, que lhe permita ter adquirido uma resistência bastante significativa. A importância deste princípio não reside tanto na estabilidade horizontal, porque os pilares podem atuar como consolas de projeto, mas na segurança e na integridade da laje, em caso de queda acidental de elementos de betão pré-fabricado na laje. A experiência demonstrou que as lajes não seladas podem ser desalojadas do seu apoio pela carga de impacto, provocada pela queda de uma unidade de laje localizada no nível superior do piso. Enquanto as lajes seladas (com mais de três dias de cura) podem sobreviver a uma carga de impacto a partir de duas dessas placas.

Tabela 10 – Dimensões e pesos próprios dos principais tipos de pisos pré-fabricados.

Tipo de piso	Vão máximo (m)	Espessura do piso (mm)	Largura normal do elemento (mm)	Peso próprio do elemento (KN/m ²)
	≤ 6	100 - 250	300 - 600	0.7 - 3.0
	≤ 7	200 - 300	200 - 600	1.8 - 2.4
	≤ 7.2	100 - 200	600 - 2400	2.4 - 4.8
	≤ 9	100 - 300	300 - 2400	2.0 - 4.0
	≤ 9	150 - 300	600	1.45 - 3.5
	≤ 9	150 - 350	600 - 2400	1.0 - 3.0
	≤ 20	100 - 500	1200	2.0 - 4.8
	≤ 20	200 - 700	1200	1.75 - 6.9
	≤ 24 (30)	200 - 800	1200-2400	2.1 - 5.0
	≤ 30	600 - 1200	1500 - 5000	3.0 - 3.6

Ligações laje-laje com vigotas

As ligações laje-laje com vigotas, apresentadas na figura 193, são constituídas por vigotas de betão pré-esforçado e blocos de cofragem (abobadilhas) e uma camada de betão armado. A armadura das vigotas é constituída por fios de aço aderentes homologados pelo LNEC, segundo a especificação LNEC E 452-2004. Após a montagem das vigotas e dos blocos em obra é executada uma armadura de solidarização do conjunto, com função resistente e efetuada uma betonagem complementar *in situ*, sendo indispensável que se assegure e mantenha a necessária aderência entre o betão complementar e as vigotas. As vigotas podem ser com armadura pré-tracionada ou com armadura treliçada, como se pode ver dois exemplos na figura 194.

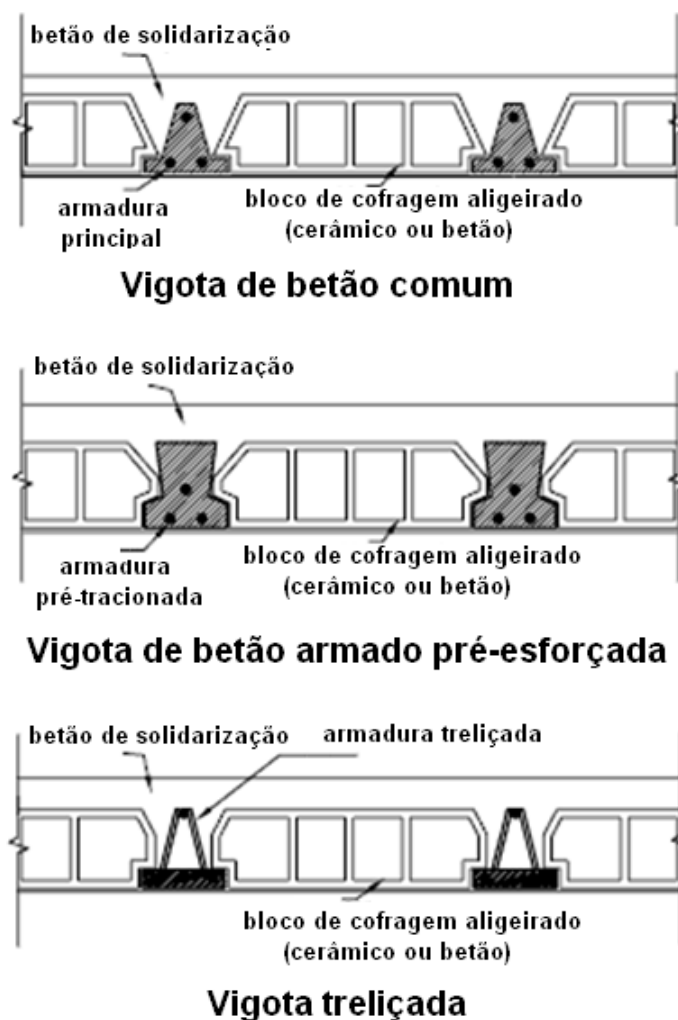


Figura 193 – Ligação laje-laje com vigotas

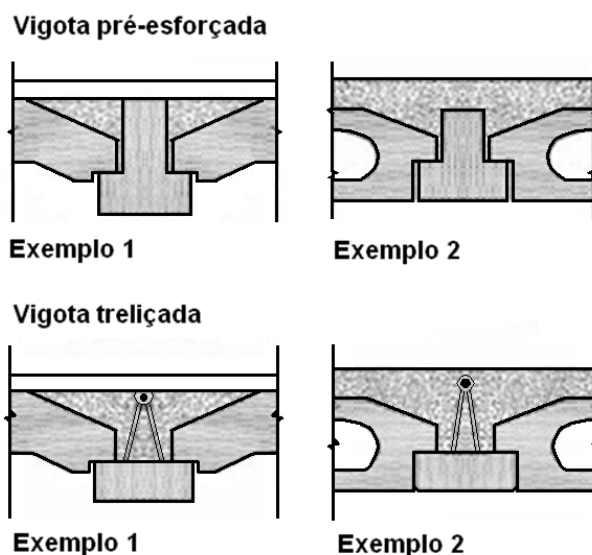


Figura 194 – Exemplos de ligação laje-laje com vigotas (Stupré, 1981)

Ligações laje-laje com lajes alveolares

As ligações laje-laje com lajes alveolares, apresentadas nas figuras 195, 196 e 197, permitem um aligeiramento de toda a estrutura de um edifício, uma vez que a laje alveolar é um elemento estrutural autoportante, fabricado com betão de alta resistência, aço pré-esforçado e uma secção vazada, mas que garante uma boa resistência aos esforços transversais, tendo um comportamento térmico eficaz.

Na execução destas ligações as lajes alveolares são dispostas lado a lado, ficando os bordos laterais inferiores encostados e um espaço vazio acima destes, formando uma concavidade, que é preenchida *in situ* com betão, solidarizando o conjunto. O seu funcionamento é comparável ao de uma laje monolítica com armadura resistente unidirecional. As diferentes alturas dos elementos e a execução de uma camada complementar de betão armado *in situ* sobre as mesmas, permitem atingir maiores resistências mantendo a capacidade autoportante, isto é, dispensa qualquer tipo de escoramento para a execução dos pavimentos

Este tipo de ligações permite a execução de pavimentos que suportem diferentes sobrecargas de utilização, tais como, edifícios habitacionais, comerciais e/ou de serviços, escolares, desportivos, industriais, armazéns, salas de espetáculos, igrejas, garagens, parqueamentos e pontões, etc., traduzindo-se numa forma rápida, económica e segura de os executar.

Consegue-se com esta solução garantir qualidade na execução, permite a aplicação em vãos de grandes dimensões, com flechas baixas apesar da esbelteza. Sendo de fácil e rápida montagem em obra, com rendimentos elevados, uma vez que a utilização de cofragens e de escoramentos é muito

reduzida, e há uma menor utilização de armaduras complementares em obra. O seu acabamento inferior dispensa qualquer outro tipo de acabamento, tal como reboco ou tetos falsos.

Para além destas características, apresenta elevados esforços resistentes, permitindo atingir vãos entre 9 a 20 m, diminuindo conseqüentemente o número de pilares e fundações, e melhorando a funcionalidade dos espaços, sem perturbar outras atividades durante a fase de execução.

A sua constituição alveolar confere ao elemento um peso próprio reduzido e uma boa performance térmica. Por outro lado a classe do betão constituinte e o controlo de fendilhação resultante do pré-esforço aplicado, confere uma excelente durabilidade.

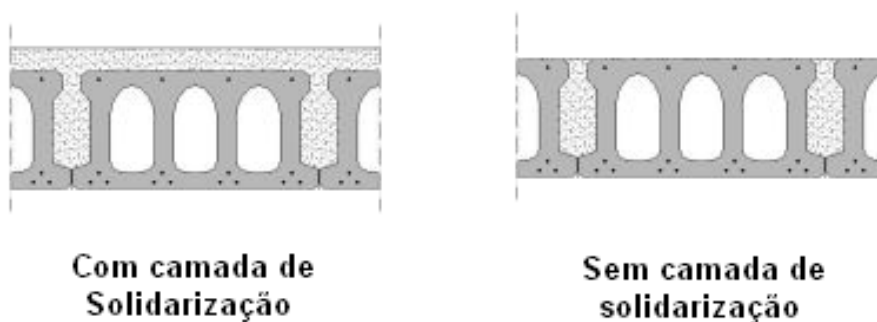


Figura 195 – Ligação laje-laje com lajes alveolares

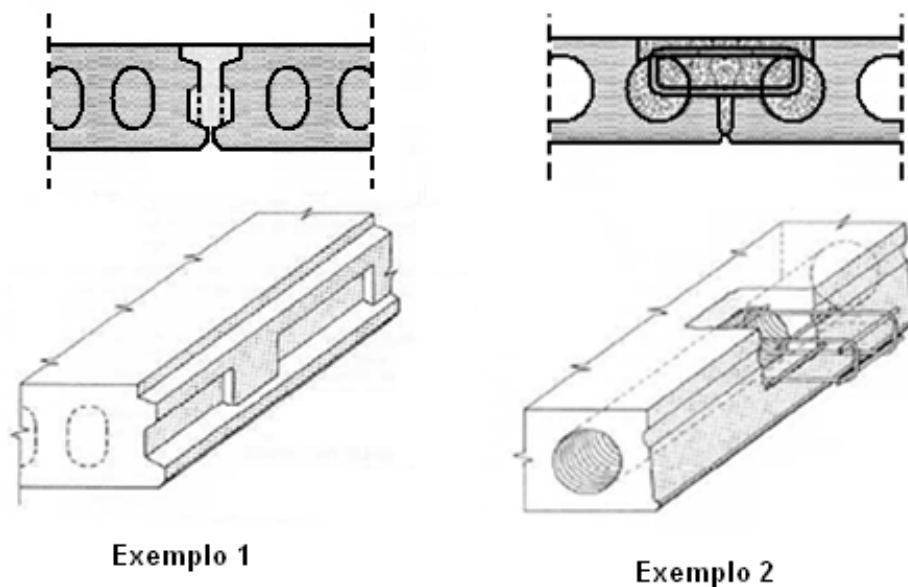


Figura 196 – Ligação laje-laje com lajes alveolares (Stupré, 1981)

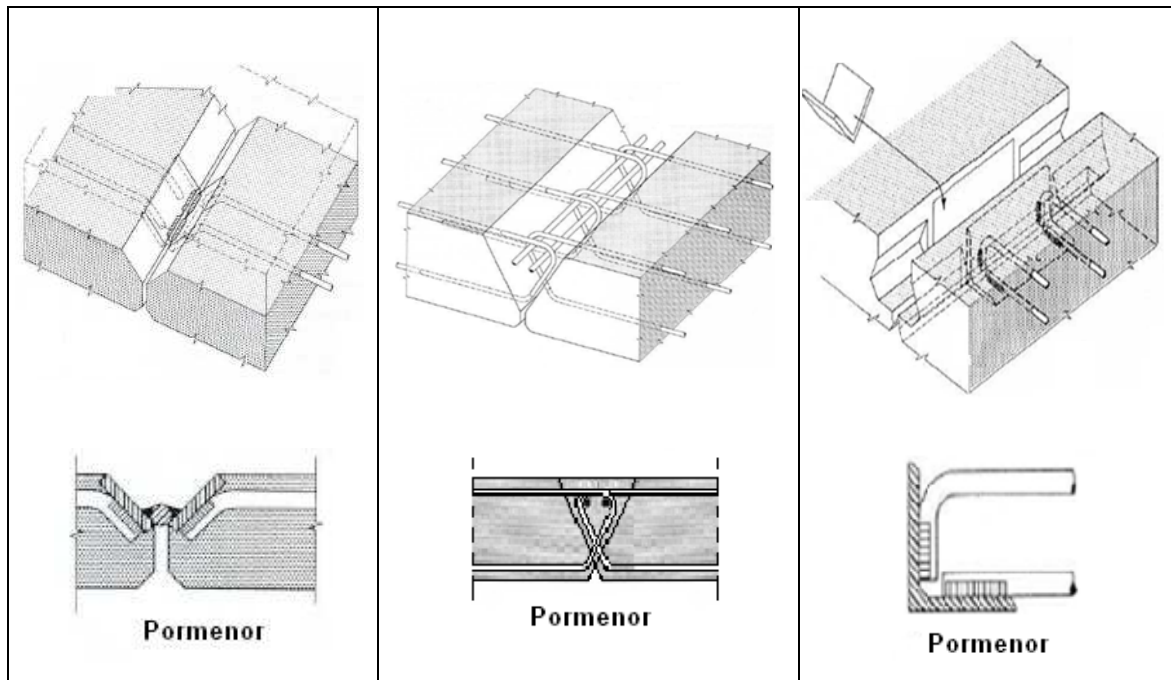


Figura 197 – Ligação laje-laje (Stupré, 1981)

Ligações laje-laje com lajes abobadadas

As ligações laje-laje com lajes abobadadas, apresentadas na figura 198, referidas no livro “Precast Concrete Connections Details”, da Society for Studies on the Use of Precast Concrete (Stupré), são uma solução idêntica à das lajes alveolares, também permitindo um aligeiramento de toda a estrutura do edifício sendo um elemento estrutural autoportante, fabricado com betão de alta resistência, aço pré-esforçado e uma secção abobadada ou arqueada, o que lhe confere uma boa resistência aos esforços transversais. A grande diferença entre esta solução e a das lajes alveolares encontra-se ao nível do comportamento térmico, uma vez que esta tem um comportamento muito reduzido, logo pouco eficaz. Esta solução não é muito usual na pré-fabricação corrente usada na construção civil, tendo sido apresentada nesta dissertação, apenas para dar conhecimento de todas as soluções possíveis.

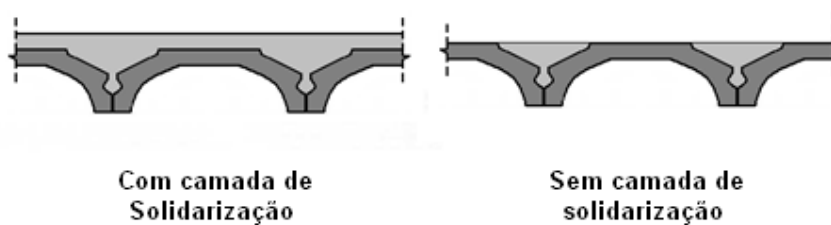


Figura 198 – Ligação laje-laje com lajes abobadadas (Stupré, 1981)

Ligações com pré-laje

A pré-laje, apresentada na figura 199 é uma estrutura pré-fabricada com cerca 1,20 m de largura e comprimento variado, conforme o vão em causa, podendo vencer vãos de grandes dimensões. É constituída por betão de alta resistência, armaduras pré-esforçadas, e enchimento em poliestireno expandido conferindo excelentes propriedades térmicas e acústicas (Pavicer, 2013). O seu baixo peso e as suas características autoportantes permitem uma montagem fácil, devido à diminuição de escoramento e cofragem, conduzindo a uma significativa redução dos prazos de execução de construção. Estas pré-lajes permitem também a execução de pavimentos que suportem diferentes sobrecargas de utilização, apresentando o peso próprio da estrutura de suporte reduzido.

A utilização desta solução aumenta a qualidade na execução da construção e permite o acabamento final da face inferior. Esta solução integra-se facilmente na construção tradicional e na reabilitação de edifícios, com especial destaque para o excelente isolamento térmico.



Figura 199 – Ligação laje-laje com pré-laje (Pavicer, 2013)

Ligações com lajeta

As lajetas, apresentadas na figura 200, podem ser utilizadas como complemento dos blocos de cofragem (abobadilhas), sendo o elemento de cofragem perdida (definitiva), colocado nas zonas de maciçamento de uma laje, como zonas que confinam com varandas ou escadas, devido à sua elevada resistência mecânica, reduzindo o consumo de betão complementar.

Esta solução é bastante aligeirada, apresenta um bom isolamento térmico e acústico, um bom comportamento ao fogo, e reduz a mão de obra na aplicação de cofragem.



Figura 200 – Ligação laje-laje com lajetas (Pavicer, 2013)

Ligação laje-laje com lajes duplo “T”

As lajes duplo “T”, apresentadas na figura 201, são constituídas por painéis de betão, possuem uma secção transversal com altura constante e nervuras longitudinais pré-esforçadas que proporcionam a sustentação e a estabilidade estrutural do elemento.

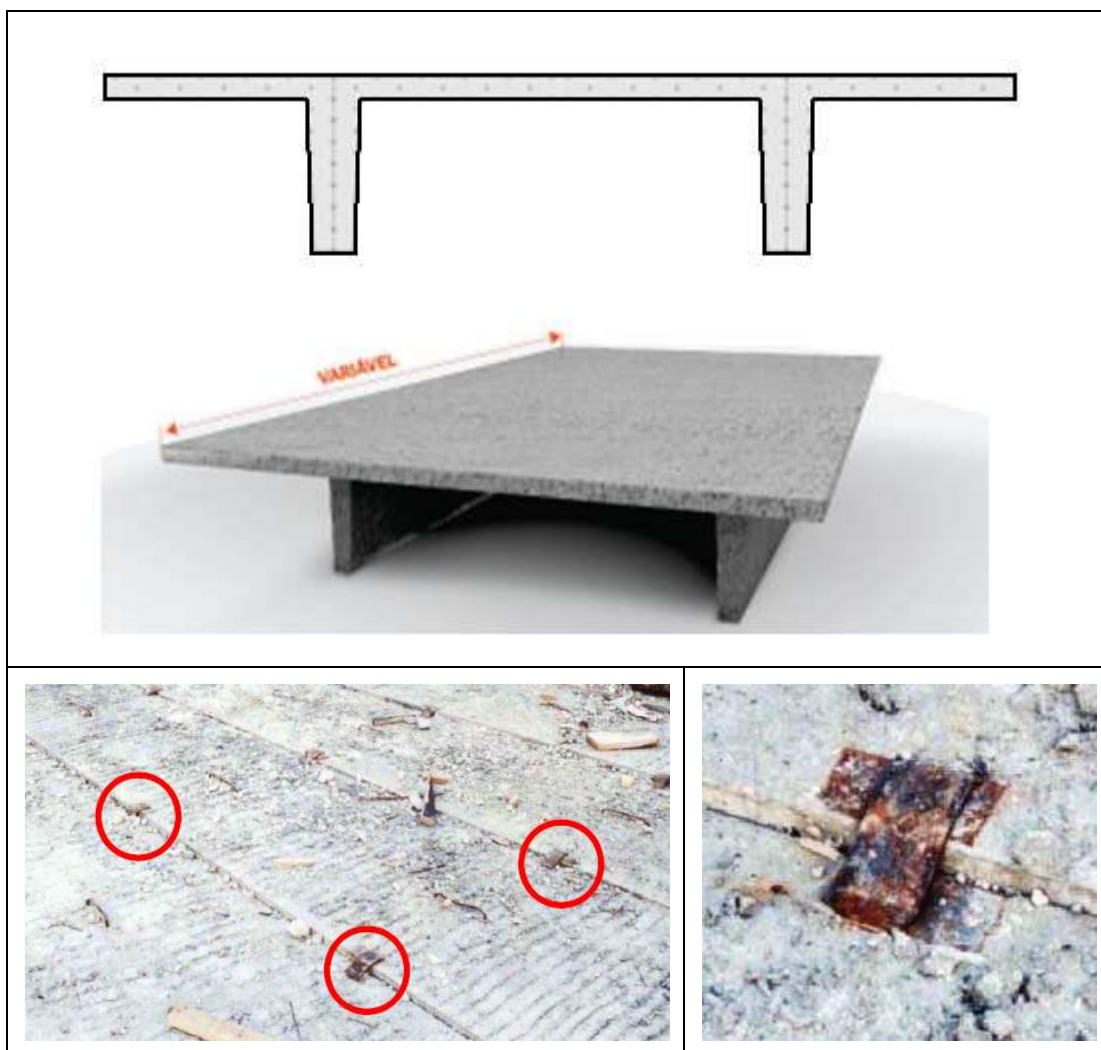


Figura 201 – Ligação laje-laje com lajes duplo “T”

4.3.2.8 Ligação laje-pilar

Ligação Laje-pilar:

- pós-tensionada.

O sistema pré-esforçado de ligação laje-pilar, apresentado na figura 202, utiliza o pré-esforço horizontal nas duas direcções ortogonais para conseguir obter a continuidade da ligação. Os pilares de betão pré-fabricados podem ter de 1 a 3 andares de altura. As lajes de betão armado estão

dimensionadas para preencherem o vão livre entre os pilares. Depois de montadas as lajes e os pilares, são pré-esforçados, através de pré-esforço aplicado aos cordões que passam através das mangas de encamisamento (negativos) nos pilares ao nível das lajes e ao longo dos espaços deixados entre as lajes adjacentes. Depois de aplicado o pré-esforço, os espaços entre as lajes são preenchidas com betão vazado *in situ*, ficando após a cura os cordões integrados no vão da laje. A resistência às cargas sísmicas é garantida principalmente pelas paredes de corte (pré-fabricadas ou executadas *in situ*), posicionadas entre os pilares e em locais apropriados.

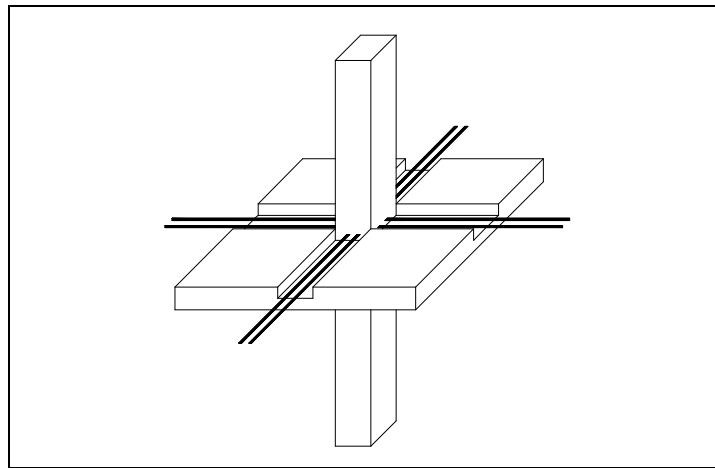


Figura 202 – Ligação laje-pilar pós-tensionada (Paradigm)

4.3.2.9 Ligações de painéis de parede

Parede Resistente

A eficácia das paredes resistentes pré-fabricadas depende da sua capacidade para transmitir as ações axiais (compressão e tração). Apresenta-se na figura 203 o esquema de transmissão de forças de corte nas juntas, entre diferentes painéis pré-fabricados, quer na vertical, quer na horizontal.

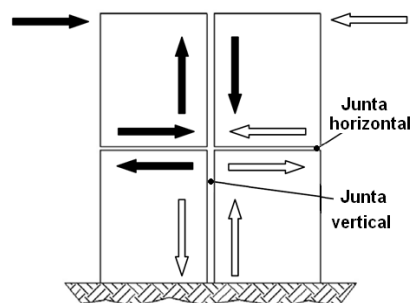


Figura 203 – Transmissão de forças de corte painéis de parede (Albarran, 2008)

Conforme se pode observar na figura 204, as forças horizontais têm tendência a gerar forças de tração nas extremidades superiores, devendo este efeito ser considerado na concepção da ligação entre os diferentes painéis.

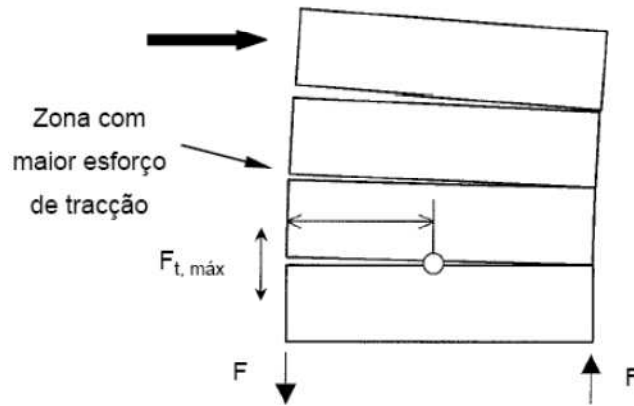


Figura 204 – Forças de tração nos painéis de parede resistente (FIB, 2008)

Os principais esforços a serem transmitidos aos diferentes painéis de parede são as forças de corte nas juntas horizontais e verticais e as forças de tração e compressão nas extremidades das juntas horizontais. A figura 205 apresenta um estudo elaborado por Vambersky, em 2000, em que é comparada a relação entre a tensão e o escorregamento em juntas verticais, preenchidas com betão, entre painéis com ligação plana e ligação indentada.

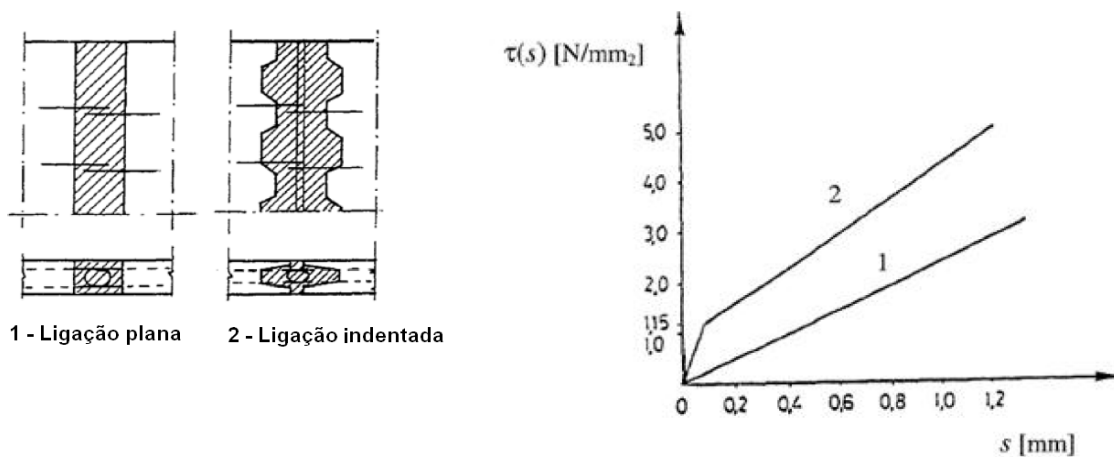


Figura 205 – Tensão e escorregamento em junta vertical em painéis de parede (Albarran, 2008)

As ligações entre painéis com interface indentado geram tensões de corte bastante superiores às das ligações planas, pelo que aquelas devem ser sempre que possível adotadas. Na figura 206 apresenta-se o pormenor de uma ligação indentada típica entre painéis de parede.

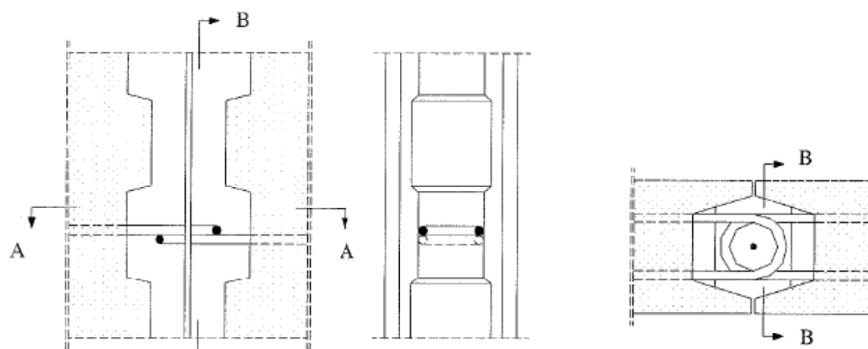


Figura 206 – Ligação indentada típica entre painéis de paredes (Albarran, 2008)

Painel de GRC

O painel de GRC ou GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete), designado como “casca”, é um elemento estrutural formado por uma camada fina de betão exterior, composto com fibras de vidro, estruturalmente solidarizada com uma estrutura metálica galvanizada, sendo a sua fixação conseguida através de ligadores. Esta solução é utilizada na execução de fachadas ventiladas. O peso do conjunto estrutura/painel é bastante reduzido, sendo cerca de 40,00 Kg/m² e a sua espessura mínima de 120 mm.

As ligações utilizadas neste tipo de painéis permitem a redução de pontes térmicas, sendo de salientar que normalmente as dimensões máximas dos painéis são determinadas pelas limitações legais do transporte e em função do trajeto a percorrer. Uma das grandes vantagens da utilização do GRC é a trababilidade dos acabamentos, permitindo ao projetista uma liberdade “quase” total. O GRC pode ficar em bruto, com o acabamento do próprio fabrico, sem qualquer tipo de tratamento, se for uma opção arquitetónica, permitindo uma maior uniformidade dos tons do betão produzidos.

Outra das vantagens é a face exterior permitir uma grande variedade de texturas (lisas, aveludadas, com riscas, etc.), conforme as características imprimidas ao molde do painel linear, bem como as formas conseguidas nos cantos, esquinhas, cornijas, parapeitos, etc..

A nível de utilização de cimentos, pode-se trabalhar tanto em cimento cinzento como branco, podendo a superfície ficar como pronta, no entanto os painéis admitem um tratamento superficial pintado de grande qualidade, que deve ser dado em fábrica, mas que pode também ser dado em obra. O painel de GRC pode apresentar na face exterior um acabamento com diferentes texturas e cores, conforme o aspeto pretendido pelo projetista, podendo ser liso, imitação de areado ou imitação de uma pedra específica. A incorporação de outros materiais no GRC também é possível,

tais como placagens de pedras ou elementos cerâmicos, eliminando assim a posterior colocação desses materiais em obra. O dimensionamento dos painéis ou outras peças em GRC é normalmente efetuado de acordo com os limites geométricos e propriedades físicas do material, tais como as tensões superficiais e a retração do material, que provoca fissurações superficiais. Evidentemente que o fator mais corrente e determinante na limitação das geometrias é a capacidade do veículo de transporte e o trajeto a efetuar, desde a fábrica até ao local de obra. Outra das grandes vantagens de utilização do GRC é a grande liberdade geométrica, sem limitações, situação que não acontece com outros materiais mais tradicionais.

A variação dos custos do GRC por metro quadrado de painel é pouco acentuada, sendo o custo de um painel plano mais barato do que um painel com desenvolvimento poligonal ou curvo, isto porque este tipo de painéis pressupõe uma maior atenção ao detalhe durante a produção e consequentemente maior disponibilidade de mão de obra.

O fecho das juntas é obtido através da aplicação de mástiques de silicone ou poliuretano, garantindo uma perfeita estanqueidade e absorvendo as possíveis dilatações dos painéis.

Os produtos utilizados para obtenção do GRC devem ser de alta qualidade, para garantir a manutenção das suas propriedades e evitar a migração de componentes da junta para o painel e as consequentes descolorações ao longo do tempo.

O sistema de ligação dos painéis de GRC à estrutura principal ou secundária é muito simples, podendo efetuar-se com ligações soldadas ou aparafusadas, em função do tipo de painel, conforme as exigências de cada obra. Cada painel deverá ter já incorporadas as peças necessárias, quer para a sua manipulação, quer para a montagem. A solução escolhida permite executar qualquer tipo de fachada, sem que a montagem constitua um impedimento ou dificuldade à aplicação do GRC.

Os elementos pré-fabricados de betão tipo painel de sanduíche são já fabricados com acabamento da face exterior e interior, evitando a perda de tempo e custo de aplicação do reboco e de afagamento. Estes elementos têm uma elevada eficiência energética.

Tipos de ligações de parede

Estas ligações permitem fechar e colmatar o espaço exterior do espaço interior, bem como dividir os espaços interiores de uma construção, podendo ser efetuados através de ligações do tipo:

- parede-laje;
- parede-viga;
- parede-estrutura (pilar e fundação);
- Parede fundação.

Ligação parede-laje (figura 207)

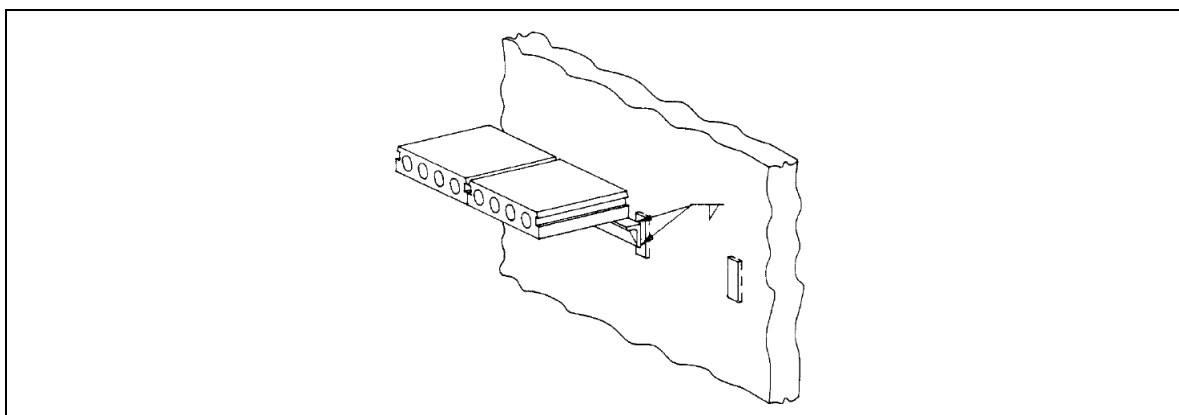


Figura 207 – Ligações de parede-laje (PCI)

Ligações parede-viga (figura 208)

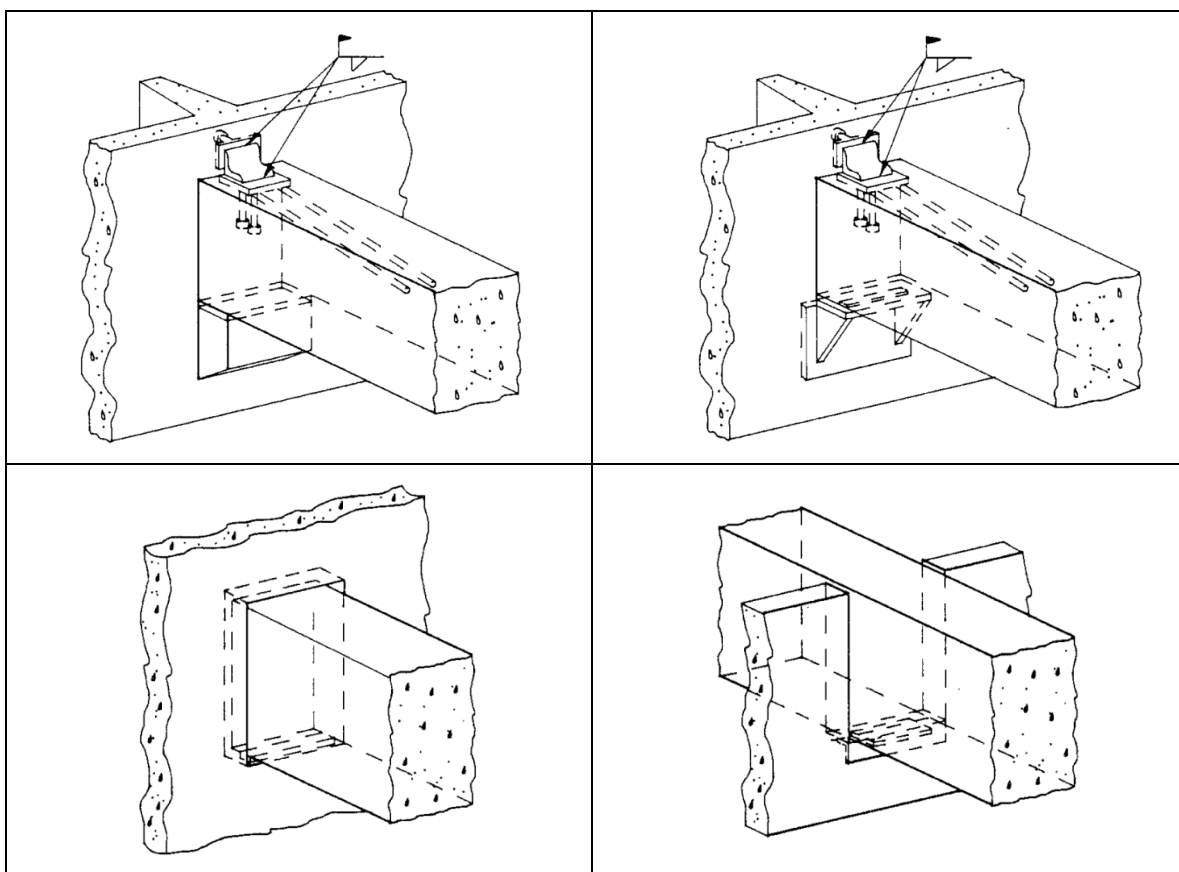


Figura 208 – Ligações de parede-viga (PCI)

Muros de vedação pré-fabricados

Os muros de vedação pré-fabricados são semelhantes aos painéis de parede pré-fabricados, mas geralmente são de tamanho inferior. Isso torna-os ideais para a produção em série, uma vez que a pré-fabricação de painéis de menores dimensões significa que o empreiteiro terá menos dificuldade com o seu manuseamento, transporte e instalação no local. Ao mesmo tempo, a utilização adicional de tais elementos pré-fabricados resulta na melhoria da produtividade e da qualidade de construção *in situ*.

• Pormenores das juntas

As considerações para os pormenores adequados das juntas nos painéis pré-fabricados de vedação são semelhantes aos painéis de parede pré-fabricados. A conceção das juntas de parede deve incluir as seguintes considerações:

- estanqueidade;
- método de instalação;
- movimento estrutural;
- tipo de acabamentos de paredes;
- tamanhos de painéis;
- intempéries;
- tolerância.

• Acabamentos

A utilização de muros de vedação pré-fabricados continua a permitir uma grande variedade de soluções de projeto e de inovação. Há uma grande variedade de acabamentos de superfície que o projetista pode usar no projeto de muro de vedação pré-fabricado. As técnicas usadas mais comuns são técnicas de modelagem, como o jateamento de areia, lavagem ácida, polimento e aperfeiçoamento, martelando e lascando para criar os efeitos pretendidos. Estes acabamentos podem então ser tratados com revestimentos de proteção adequados para evitar problemas de intempéries e de coloração. Uma vasta gama de cores para os painéis de vedação pré-fabricados pode ser conseguida a partir dos agregados, cimento ou pigmentos. O agregado pode dar cor aos acabamentos finais. O cimento com cores diferentes também pode dar a cor desejada ao painel de

parede de vedação. Outras formas de acabamentos de cor são conseguidas através de pigmentos de óxido.

Apresenta-se na figura 209 pormenores de ligação de muros de vedação as pilares e fundação.

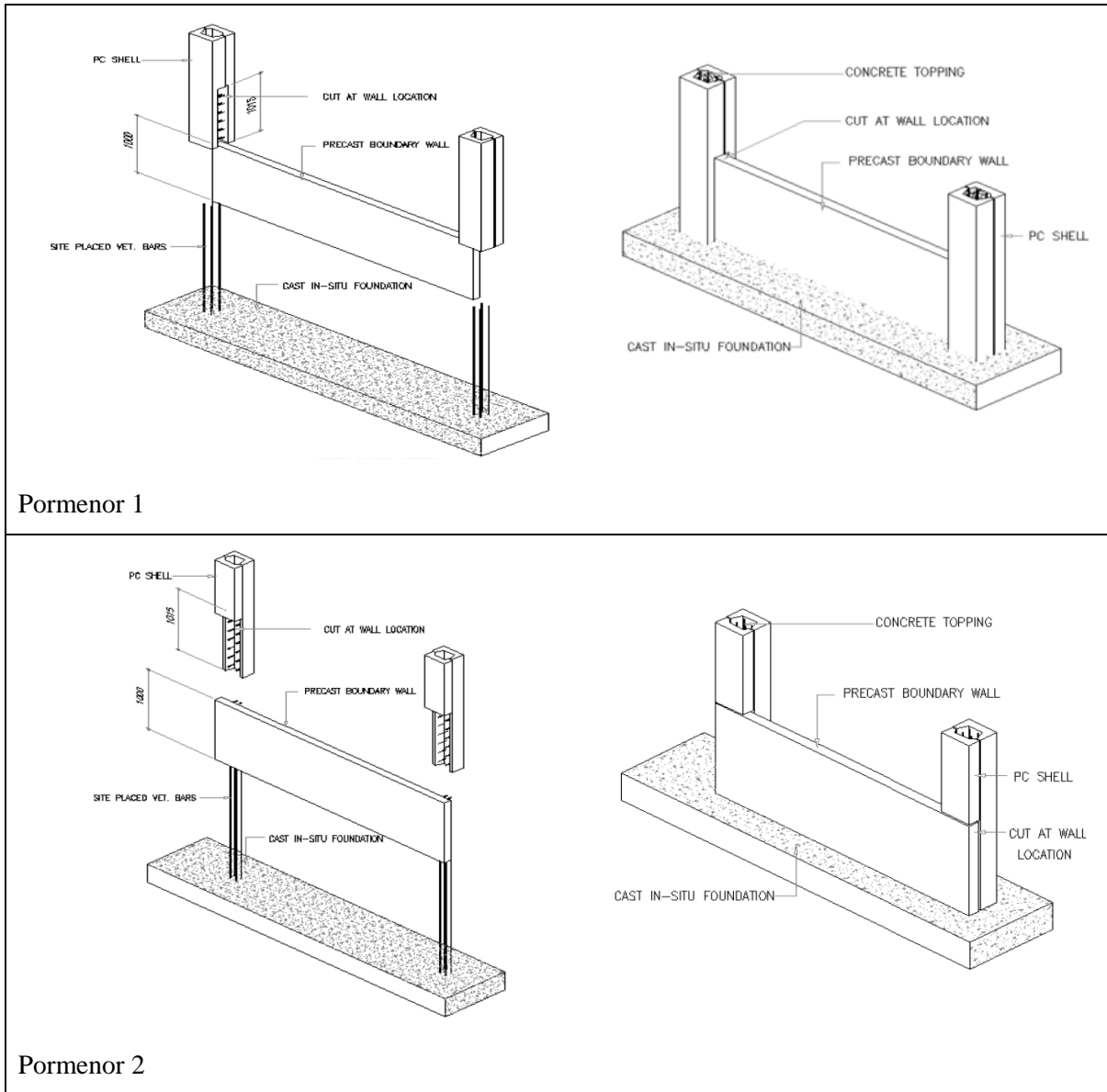


Figura 209 – Pormenores de ligação de muros de vedação, pilares e fundação

Estruturas apoiadas

Segundo Elliott, a sequência da construção deve garantir que a ação de escoramento do piso deve ser autorizada a desenvolver-se entre as estruturas ou paredes de contraventamento, particularmente se a estrutura do esqueleto é para ser revestida em parte ou no todo, em torno do perímetro, ou internamente. A figura 210 mostra a sequência correta, o ponto a) encontra-se num plano crítico e deve ser tratado o mais cedo possível, na sequência de fixação.

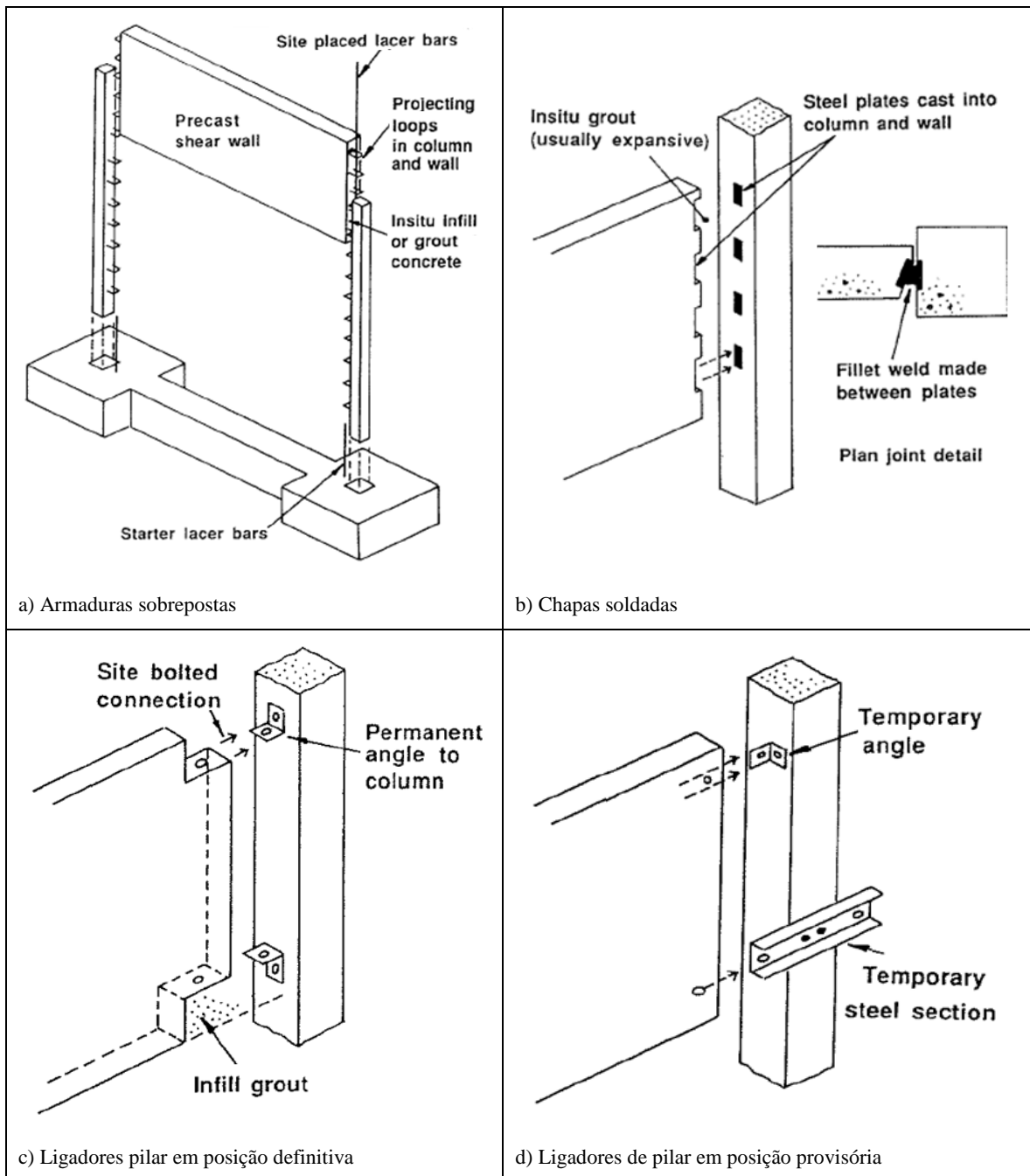


Figura 210 – Ligações parede-estrutura (pilar e fundação) (Elliott, 1996)

Na execução das lajes não devem ser esquecidas as estruturas de escoramento ou as paredes de corte.

Cada nível de laje deve ser betonado, de tal forma que a argamassa deverá ter tempo para ganhar cura antes da fixação do piso (ou telhado), começando a laje seguinte, do segundo nível superior. O tempo de cura normal é de três a cinco dias em climas temperados (10-20 ° C) ou um ou dois dias em climas quentes e húmidos (25-30 ° C). As conexões de ligação entre lajes adjacentes de piso, vigas, pilares e paredes devem ser fixadas de acordo com o projeto. As distâncias de cobertura e o comprimento de sobreposição devem ser verificados, e o comprimento de penetração de rosca no negativo.

As estruturas de contraventamento, núcleos de corte ou paredes de corte, etc., devem ser construídas pelo menos num andar à frente das vigas, piso e montagem das escadas em qualquer nível do chão. Se a resistência e a rigidez da parede permitem resistir à ação composta de uma estrutura em esqueleto betonada *in situ*, deve ser dado tempo para a argamassa ganhar presa antes da construção dos componentes ao nível do andar superior, onde o muro começa.

Ligação Parede – Fundação

As ligações das paredes à fundação são semelhantes às ligações dos pilares à fundação.

Apresenta-se na figura 211 uma ligação em cálice onde as cunhas de madeira servem para alinhar a parede na posição correta.

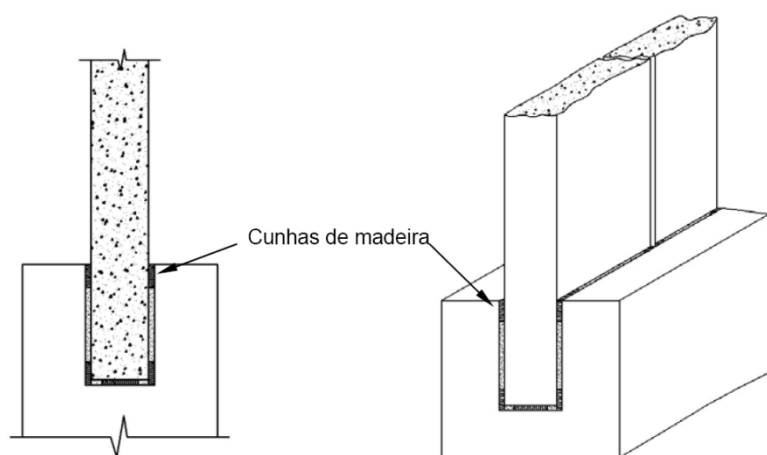


Figura 211 – Ligações parede-fundação em cálice

5 CARACTERÍSTICAS DA PRÉ-FABRICAÇÃO

5.1 Produção, transporte e montagem

5.1.1 Produção

A regra geral é que o dispositivo de ligação deve ser o mais "à prova de falhas" quanto possível. Deve ser possível colocá-lo no molde na orientação correta e dentro das tolerâncias necessárias, com um mínimo de esforço.

No local das ligações são frequentemente requeridas armaduras adicionais de reforço, placas embebidas, inserções, negativos, etc. Não é frequente que muitos itens estejam concentrados num pequeno local em que resta pouco espaço para o betão. Deve-se ter em mente que os varões e cordões de aço, que aparecem como linhas no desenho, ocupam espaço real nos elementos.

As armaduras de reforço exigem mais espaço do que o seu diâmetro nominal, e deve haver espaço para a curvatura dos varões de aço dobrados. Se houver suspeita de congestionamento, é útil desenhar pormenores em escala ampliada da zona em questão.

Devem ser evitados elementos que requerem negativos nas cofragens, tanto quanto possível, especialmente em moldes de aço. Exceções a esta regra podem ser feitas se houver uma quantidade substancial de repetições na produção.

Os negativos nas cofragens são necessários, não só porque os dispositivos de ligação são salientes dos elementos, mas também para manter os dispositivos de ligação no lugar durante a execução.

Os elementos devem ser concebidos de modo a que na descofragem dos mesmos, não sejam danificadas as cofragens, uma vez que, supostamente a maioria das cofragens são para ser utilizadas mais do que uma vez.

Os dispositivos de ligação a serem colocados no topo das superfícies dos elementos, durante a produção, devem garantir a todo o momento a estabilidade do molde, utilizando para esse efeito, dispositivos de fixação. Estes dispositivos são mais caros, tornando mais difícil a obtenção de uma superfície lisa, e por tal o dispositivo de fixação pode dificultar a colocação de outros elementos.

No entanto, se um negativo for colocado na parte inferior da cofragem, ele pode ser instalado com grande precisão, uma vez que pode ser fixado diretamente ao fundo.

Uma operação de moldagem é mais eficiente quando o elemento pode ser levado diretamente para a área de armazenamento imediatamente após a remoção da cofragem. Qualquer operação

necessária após a descofragem e antes de montagem *in situ*, tais como a limpeza, o acabamento, a soldadura ou outros, devem ser evitados.

Estas operações aumentam a possibilidade de danos nos elementos, pelo que requerem um aumento do espaço de trabalho, da mão de obra e do espaço de manobra, recorrendo muitas vezes a trabalhos especializados.

A execução de pormenores deve ser sistematizada, tanto quanto possível. Pormenores semelhantes devem ter soluções iguais, mesmo que isso resulte numa ligeira alteração ao projeto.

Acessórios, tais como inserções, pregos, elementos de aço, etc., devem estar sempre disponíveis e padronizados, mesmo que sejam de diferentes fornecedores. Estes acessórios devem ser padronizados quanto ao tamanho e forma, reduzindo os riscos de erro. O mesmo princípio aplica-se às armaduras reforçadas, placas embutidas, etc.

Exemplos disso são os limites de flexão dos varões, condicionados pelos comprimentos padrão para determinados vãos dos elementos, etc..

Tolerâncias dimensionais, que sejam previstas para serem mais rígidas do que as normas construtivas, são difíceis de alcançar. Ligações, que exigem encaixes muito apertados sem possibilidade de ajuste, devem ser evitados o mais possível.

Muitas vezes, durante a produção de pré-fabricados, é necessária a alteração de pequenos detalhes. Ao responsável pela produção deve ser permitida a utilização de métodos ou materiais alternativos, desde que se vá de encontro ao projeto. As soluções alternativas resultam muitas vezes em alternativas mais económicas e com melhor desempenho.

5.1.2 Transporte

Durante o transporte, todas as peças salientes dos elementos de betão têm de ser protegidas, a fim de não criarem um perigo para as pessoas durante o seu manuseamento, devendo ter a capacidade de resistir a choques. Peças salientes, como armaduras de reforço, podem em muitos casos ser de difícil transporte. Por exemplo, um painel de parede deve ser transportado na vertical, com as armaduras de reforço viradas para cima, podendo nesta situação optar-se por substituir os varões salientes por varões roscados ou soldados, sendo necessário para acomodar melhor os painéis a construção de cavaletes. Deve-se ter em atenção a altura total dos elementos, para que não ultrapasse a altura máxima legal permitida para este tipo de transporte. Para além desta situação, deve-se ter também em atenção à altura (mesmo legal) e ao comprimento dos elementos, devendo efetuar-se um reconhecimento prévio do percurso a ser utilizado para o transporte evitando assim problemas durante o mesmo.

O elemento quando é transportado na horizontal excedendo a dimensão do transporte, passa a ter um momento negativo que não estava previsto no seu comportamento estrutural. Por exemplo, uma viga simplesmente apoiada gera um momento positivo. Se este elemento ultrapassar o comprimento do transporte passará a ter um corpo em consola gerando um momento negativo, tendo o elemento que resistir a um momento positivo e um momento negativo. Deste modo, o elemento ou terá de ser dimensionado, para suportar o momento negativo, ou o transporte terá de ter uma estrutura (por exemplo em aço) que evite que se gere esse momento negativo.

5.1.3 Montagem

Para aproveitar totalmente os benefícios da rápida montagem das estruturas pré-fabricadas, mantendo os custos dentro de limites razoáveis, as ligações de obra deve ser mantidas o mais simples possível. A fim de cumprir as exigências do projeto, é por vezes necessário ajustar a produção e simplicidade da montagem.

Materiais, como “grout”, blocos secos, fabricados *in situ* e resinas epóxi³⁵, necessitam de cuidados especiais na sua aplicação em ambientes frios. A soldadura é mais lenta quando a temperatura ambiente é baixa. As ligações devem ser projetadas de modo a que estejam concluídas antes da continuação da montagem, não se cumprindo esse objetivo, podem ser gerados atrasos e aumento de custos.

Içar um elemento pré-fabricado é geralmente o processo mais crítico e mais caro da montagem. As ligações devem ser concebidas de modo a que o elemento possa ser movimentado, no menor tempo possível. Antes do elemento ser desprendido, deve estar estável na sua posição final.

Alguns elementos podem exigir sustentação, escoramento, contraventamento de fixação antes de serem libertados. Deve-se planear as operações para que sejam o mais rápido, mais seguro e em menor número possível antes de libertar os elementos.

Os aparelhos de apoio, calços ou outros dispositivos, sobre os quais os elementos irão ser aplicados, devem estar colocados perto do local da montagem. Peças soltas que sejam necessárias para a ligação do elemento devem estar imediatamente disponíveis para que a fixação seja a mais rápida possível. Por exemplo, se a fixação permanente requerer soldadura, ou “grouting”, ou betão feito *in situ*, ou aparafusamento, os equipamentos e soldas, as argamassas e os acessórios de montagem, como parafusos, pinos ou anilhas, devem estar disponíveis para serem utilizados. Em alguns casos, pode ser necessário efetuar fixações temporários e/ou dispositivos de nivelamento,

³⁵ Uma resina epóxi ou poliepóxido é um plástico termofixo que endurece quando se mistura com um agente catalisador ou endurecedor.

até se concretizar a fixação permanente, após a qual o elemento será removido do equipamento de elevação.

Deve ser dada atenção redobrada a estes acessórios temporários, assegurando que cada elemento seja colocado numa posição correta para melhor montagem, e que a colocação dos diversos elementos seja feita de forma a estarem já montados antes das fixações finais serem efetuadas.

Nas diversas etapas do processo de montagem, a estabilidade da estrutura, como um todo, tem de ser planeada e assegurada, se assim não for terão de ser tomadas medidas adicionais, com custos adicionais. O tipo de ligação usada pode desempenhar um papel decisivo neste processo.

Durante a montagem podem ocorrer diversas situações, que induzam tensões ou deformações em elementos pré-fabricados ou em ligações, que serão mais elevados do que em condições de serviço.

Todos os acessórios de ligação, que tenham funções semelhantes no interior do edifício, devem ser normalizados, tanto quanto possível. A sistematização dos procedimentos necessários à execução das ligações irá incrementar a produtividade e reduzir a possibilidade de erro.

Alguns tipos de ligação exigem mão de obra qualificada para executar, por exemplo, soldaduras e operações de pós-tensionamento. Quanto menos operações especializadas desse género forem necessárias, mais económica será a ligação.

Sempre que possível, os acessórios tais como parafusos, cantoneiras, etc., devem ser de tamanho padronizado para todas as ligações. Isto reduz a possibilidade de erro, e o tempo requerido para a procura da peça apropriada.

Varões, chumbadouros, buchas e parafusos pertencentes ao elemento pré-fabricado, são muitas vezes danificados no manuseamento, obrigando à sua reparação ou substituição, especialmente se forem de pequeno diâmetro ou espessura, pelo que devem ser utilizados acessórios de elevada resistência.

O pormenor de ligação deve permitir que o elemento seja, o mais facilmente possível, colocado no lugar. Por exemplo, uma peça com varões salientes em duas direções faz com que seja impossível montar essa peça, se não houver uma folga na furação. Se houver um pormenor de suporte ou de ligação que faça com que seja necessário deslocar o elemento horizontal ou verticalmente na última parte da sequência de montagem, a sua montagem é difícil de realizar, e representa um potencial perigo que pode causar eventuais danos aos suportes.

Os detalhes das ligações que obrigam ao levantamento do elemento num ângulo inclinado não devem ser permitidos. A operação de levantamento de um elemento num ângulo inclinado é em si muito perigosa, e as manobras necessárias para a sua montagem são muito difíceis.

Na montagem de um elemento horizontal, que tenha de encaixar nas duas extremidades em dois apoios, apenas um pode ser fixo antes da montagem do elemento, caso contrário não será possível a sua montagem.

Nas situações onde a armaduras de reforço ou amarrações de elementos pré-fabricados, criam dificuldades por encravamentos ou sobreposições com outras armaduras de reforço, deve-se ter cuidado para garantir que as armaduras não interfiram na montagem e que haja espaço suficiente (incluindo as tolerâncias necessárias) para a correta montagem dos elementos na sua posição final numa só operação. Este aspeto deve ser especialmente verificado nas situações onde elementos pré-fabricados sejam ligados ou acoplados a estruturas betonadas *in situ*, uma vez que as armaduras de reforço destas estruturas podem não estar no local exato onde foram projetadas.

Quando o elemento estiver na posição final, as ligações têm que estar acessíveis. Muitas vezes é necessário ter acesso a uma ligação após a montagem do elemento, para reapertar um parafuso, fazer uma solda, colocar calços, verificar o alinhamento, etc. A situação onde isto é mais facilmente esquecido é no pormenor da ligação que liga um painel de fachada a um pilar. Tem de ser possível a colocação dos parafusos que irão assegurar a boa ligação entre os dois elementos.

5.2 Controle de produção

A produção de elementos, com especificações de fábrica em ambiente controlado, oferece uma garantia de qualidade inigualável. Esta qualidade só traz vantagens, beneficiando o projeto de diversas formas.

Os projetistas são muito meticolosos na escolha dos acabamentos e na aparência final das estruturas. A escolha dos elementos de betão pré-fabricado passa pela observação de catálogos com todo o tipo de amostras de acabamento, que pode variar de acordo com o fabricante, bem como por ensaios experimentais com os elementos, que permitem ter uma perspetiva prévia do resultado pretendido, antes do início da produção em grande escala. O arquiteto e dono da obra podem visitar as instalações de fabrico dos pré-fabricados, para monitorizar o bom funcionamento e progresso, garantindo que não haverá surpresas na obra.

A fabricação dos elementos respeita altos padrões de controlo de qualidade da produção, resultando em tolerâncias mais apertadas. Esta abordagem garante uma mais rápida colocação durante a montagem, que acelera o tempo da operação e minimiza a necessidade de correções no local.

Tendo apenas um único “fornecedor” de diversos elementos arquitetónicos e estruturais, bem como o fornecedor de alvenaria, pedra natural, ou outros acabamentos, o fabricante trabalha em estreita

colaboração com o empreiteiro, para garantir a satisfação do projeto e rapidamente resolver os desafios que surjam na obra.

Ao usar elementos pré-fabricados de betão, vários trabalhos e materiais são eliminados do processo de construção. A estrutura da parede impermeável não permite a migração de humidade, que pode surgir com outros materiais de construção, evitando assim, o surgimento de mofo e bolor. Estes problemas quando aparecem podem resultar numa deterioração da qualidade do ar dentro do edifício.

5.3 Flexibilidade do projeto

Os elementos arquitetónicos pré-fabricados em betão disponibilizam diversos tipos de acabamentos, visto terem uma vasta gama de materiais para o efeito, incluindo calcário e tijolo. Essa possibilidade permite ter a certeza que as construções possam encontrar as melhores opções estéticas, permitindo enquadrar o edifício dentro da arquitetura local, quer seja contemporânea ou mais histórica, ou em projetos com uma estética distinta e inovadora conseguindo ainda ir ao encontro de um orçamento apertado.

Uma fachada de tijolos é facilmente imitada com painéis pré-fabricados, utilizando técnicas de aplicação de finas lâminas de barro (espessura varia entre 1,25 cm a 2,50 cm). Alternativamente, moldes reguados finos (pequenas régua, em madeira, plástico ou metal) podem ser usados criando uma aparência moldada na face do painel, imitando a aparência de tijolos. Esta técnica elimina a necessidade de aplicação de tijolo diminuindo o tempo dos trabalhos. Garante uma aparência de alta qualidade imitando o espaçamento do tijolo acabado, que é difícil de conseguir com alvenaria. E o sistema de painéis proporciona uma montagem rápida de paredes inteiras, acelerando a construção.

Os elementos arquitetónicos pré-fabricados em betão oferecem uma versatilidade em formas, curvas e geometrias que podem interagir sem problemas com o vidro e outros materiais modernos.

O projetista pode também definir a pigmentação do betão e fornecer várias possibilidades de tons aos elementos, usando variados acabamentos nas superfícies. Estas características proporcionam aos projetistas uma maior versatilidade de projeto e redução do número de elementos. Existe uma vasta gama de combinações de acabamentos com texturas, com a possibilidade de diversos acabamentos para cada elemento. O nome de empresas, emblemas, e outros dísticos podem ser aplicados nos elementos, como assinatura, criando uma personalização única nos trabalhos. O betão reforçado com fibras de vidro (GFRC) pode ser utilizado para construir formas esculturais em projetos personalizados, destacando-se com muita facilidade.

5.4 Flexibilidade do “Layout”

Existem pré-fabricados de diversos tipos, desde a laje alveolar e laje duplo “T” de grande dimensão que proporcionam vãos livres, espaços abertos em projetos de edifícios de escritórios e até estruturas de estacionamento, que permitem aos projetistas maximizar os layouts de forma mais funcional. Aquando da carga dos painéis com grua, a altura para movimentação pode atingir os 16,0 m, enquanto as lajes duplo “T” podem chegar aos 24,0 m ou mais. Os pré-fabricados de betão tipo painel sanduíche com isolamento proporcionam uma secção transversal fina maximizando o espaço interior, enquanto minimiza a sua secção de apoio. Um painel de betão pré-fabricado tem 20 cm de espessura (7,5 cm exterior, 5,0 cm camada de isolamento e 7,5 cm interior). A poupança de espaço em relação a outros materiais de construção diminui os elevados custos em materiais, a velocidade de construção aumenta e obtém-se um edifício eficiente em termos de energia.

5.5 Capacidade de expansão

Os projetos com elementos pré-fabricados de betão permitem a expansão futura fácil dos edifícios, de acordo com as necessidades de crescimento ou mudança dos mesmos. Isto pode ser conseguido por adição de novos espaços adjacentes, ou fundindo o novo espaço com a estrutura existente.

Em alguns casos, uma instalação existente, revestida com painéis pré-fabricados de betão, pode ser expandida, desligando os painéis não-resistentes na parede de extremidade da estrutura que se pretende expandir, adicionando os painéis e elementos necessários para formar a nova estrutura.

Os projetos de pré-fabricados de betão também podem prever suporte estrutural, podendo por exemplo, montar-se mais tarde um segundo andar no telhado existente, se assim for desejado, ampliando a estrutura.

A produção controlada em fábrica dos elementos pré-fabricados permite que as texturas e as formas de novas inserções a efetuar em obra possam refletir a aparência estética original criada para a estrutura existente. O resultado é um complemento que oferece um aspeto semelhante ao projeto original em pré-fabricados de betão.

5.6 Baixa manutenção

Os elementos pré-fabricados de betão exigem calafetagem apenas a cada 15 a 20 anos, para manter a sua eficiência. Isso faz com que os pré-fabricados de betão sejam de mais fácil manutenção em relação a outros materiais de fachada. Com menos pontos de infiltração e possibilidade de humidade, evitam-se manchas esteticamente desagradáveis e danos interiores. As juntas de ligação

podem ser facilmente inspecionadas, permitindo a detecção dos locais que precisam de intervenção. Os fabricantes trabalham conjuntamente com os projetistas e donos da obra, assegurando que a gestão do edifício entenda as necessidades de manutenção necessárias para manter o edifício com uma boa conservação por muitas décadas.

5.7 Controle acústico

A densidade e o isolamento do pré-fabricado de betão têm um excelente desempenho acústico, produzindo um ambiente mais calmo, menos perturbador, particularmente em estruturas com pés direitos mais altos, que usam lajes de alvéolos para o piso. A sua densidade e qualidade de amortecimento reduzem a vibração dos edifícios onde isso é pretendido, como por exemplo em habitações, escolas e hospitais.

5.8 Certificação de qualidade

Segundo o PCI, no manual “Designing with precast & prestressed concrete”, as instalações de fabrico de pré-fabricados de betão de empresas certificadas, exigem o cumprimento de um rigoroso sistema de controlo de qualidade, englobando a fabricação, os materiais e o pessoal. São efetuadas duas inspeções surpresa (não anunciadas) por ano à unidade de fabricação, para rever os seus procedimentos de controlo de qualidade e garantindo que cada produto cumpra com os padrões exigidos. Mais de 120 áreas são inspecionadas e monitorizadas durante o tempo de execução da obra. A certificação (PCI) atende aos requisitos do “International Building Code” e elimina a necessidade de inspeções especiais.

Empresas com instalações de fabricação de pré-fabricados de betão oferecem uma diversidade de ferramentas e eficiência a cada trabalho que pode ajudar no processo de construção, especialmente se o fabricante estiver presente desde o processo inicial do projeto. O arquiteto, com a ajuda do fabricante, pode criar efeitos arquitetónicos, tamanhos e formas eficientes, diferentes técnicas de ligação, e outros aspetos que poderão trazer benefícios estéticos, maior funcionalidade e pré-fabricados com melhor custo/benefício.

5.9 Proteção e segurança

Um dos principais desafios dos projetistas é proporcionar aos donos da obra e utentes soluções que garantam a sua proteção e segurança. A integração desses aspetos funcionais críticos, atendendo na mesma aos objetivos estéticos e a necessidades programáticas, requer que os projetistas se

mantenham atualizados sobre novas técnicas que possam minimizar a intrusão de elementos de segurança e de proteção na perspetiva geral do projeto. Como a preocupação com a segurança é hoje em dia fundamental e prioritária, essas preocupações tornam-se fatores chave para todos os clientes. As construções edificadas com pré-fabricados de betão podem ter a proteção contra incêndios, sismos, furacões, tornados e explosões, se na sua conceção ao nível do projeto as especificidades dos elementos forem corretamente escolhidas. Os requisitos para alcançar esses objetivos devem ser levados em conta, logo no início da conceção do projeto, para maximizar a eficácia dos recursos dos pré-fabricados de betão em cada solicitação.

Os pré-fabricados de betão são produzidos com material não combustível. Este material atende às disposições gerais dos regulamentos contra incêndios, sem ter necessidade alguma de alteração ao projeto ou proteção superficial contra fogo nos materiais. Esta característica proporciona a redução do tempo de execução da obra, eliminando trabalhos suplementares que teriam de ser realizados em obra, aumentando a proteção dos elementos, que não precisam ser ativados caso um incêndio deflagre. Os pré-fabricados não emitem fumos nocivos ou letais e mantêm a sua integridade estrutural, mesmo quando sujeitos a um calor intenso. Projetar um edifício totalmente com painéis pré-fabricados, permite obter um quadro estrutural duradouro, colocando os painéis de forma a compartimentar qualquer fogo. Esta abordagem atrasa a propagação do incêndio, aumentando o tempo de deteção, evacuação e supressão. O betão falha geralmente pela transmissão de calor muito antes do colapso da estrutura, ao passo que outros materiais de construção só falham quando o colapso é iminente.

Para um conjunto de lajes e/ou painéis de parede pré-fabricados, uma resistência ao fogo de duas horas significa que medindo a passagem de calor através da espessura da parede, regista-se um aumento da temperatura média de 120 °C ou uma leitura de temperatura máxima de 163 °C. As lajes ou painéis de parede equipados com materiais de proteção ao fogo podem oferecer uma resistência adicional. A tabela 11 mostra a resistência ao fogo de lajes de betão com 13,0 cm e 20,0 cm de espessura, ou de painéis parede tipo X “Gypsum wallboard”, para se ter uma resistência ao fogo durante 2 a 3 horas.

Tabela 11 – Resistência de lajes de betão ou painéis de parede, Tipo X “Gypsum wallboard”

Espessura do painel de betão para a resistir de fogo				
Material	Sem espaço de ar entre o gesso e a laje		Com 15 cm de espaço de ar entre o gesso e a laje	
	13 cm	20 cm	13 cm	20 cm
agregado	2,0 hr	3,0 hr	2,0 hr	3,0 hr
areia leve	2,5 hr	3,6 hr	2,0 hr	2,5 hr
carbonato	2,8 hr	4,0 hr	2,0 hr	2,7 hr
silicioso	2,9 hr	4,2 hr	2,0 hr	2,8 hr

A transmissão de calor através de um painel com nervuras é influenciada pela parte mais fina do painel e pelo painel de "espessura equivalente." Este termo é definido como a área da secção transversal do painel dividido pela largura da secção transversal.

Os pré-fabricados de betão tipo painel podem cumprir os requisitos sísmicos em qualquer zona. As novas técnicas de ligação ajudam os edifícios, após uma ocorrência sísmica, a assegurar que não sejam permanentemente ou estruturalmente danificados.

Os materiais utilizados são de elevada densidade, o que com a sua forma em painel, permite também respeitar as exigências legais para estruturas com resistência a explosões. Os elementos pré-fabricados de betão podem também ser usados para criar canteiros e outros elementos ao nível da rua, que sejam definidos pela regulamentação local durante a construção. A fabricação destes elementos, respeitando as normas de qualidade, higiene e segurança, proporciona um ambiente de fabricação controlado, elimina trabalhos extraordinários e resíduos em obra.

5.10 Sustentabilidade

O elemento pré-fabricado de betão ajuda os projetos a atingir os critérios de classificação utilizados pelas normas LEED³⁶ do USGBC³⁷. Por exemplo, os elementos são normalmente produzidos no local, não geram resíduos, podem incorporar cinzas, pó de sílica, e resíduos de forno para reduzir a quantidade de cimento utilizado. Os elementos pré-fabricados de betão oferecem alta durabilidade, o que significa menos produtos químicos para mantê-los limpos e conservados.

A utilização de painéis de parede tipo sanduíche, com isolamento de alto desempenho de 2 cm ou mais, entre duas camadas de betão, proporciona uma elevada eficiência energética. A alta massa térmica do pré-fabricado de betão diminui também o consumo de energia.

O pré-fabricado de betão garante que os utentes da construção terão um ambiente de trabalho seguro e saudável durante a longa vida útil da mesma. Com poucas juntas e pontos de infiltração, assegura-se que não surgirão fungos que poderiam deteriorar a qualidade do ar.

³⁶ Leadership in Energy and Environmental Design.

³⁷ U. S. Green Building Council (Conselho Nacional de Construções Verdes dos Estados Unidos) - É o órgão regulamentador das normas de construção e certificador daquelas que atendam as normas mundiais. Tem como principal objetivo: diminuir o consumo na fabricação de materiais, manutenção de prédios e gestão de resíduos.

5.11 Ambientes controlados

Os projetos com elementos pré-fabricados de betão podem ser fornecidos para edifícios que exigem extrema limpeza, como processamento de alimentos e a sua entrega ou áreas de pesquisa em laboratório. A durabilidade dos elementos garante que eles podem resistir a mofo e bactérias, desde que sejam efetuadas limpezas regulares com produtos químicos adequados.

Os compartimentos de congelação são normalmente necessários em instalações de processamento de alimentos e podem ser criados com os painéis pré-fabricados de betão, proporcionando o necessário isolamento ao mesmo tempo que faz a separação dos equipamentos, e de áreas em volta que podem induzir a que a humidade ou águas subterrâneas congelem e afetem o bom funcionamento do equipamento de congelação.

O betão é um material inorgânico, que não ajuda ao crescimento de esporos de bolor. Em “layouts” normais de painéis encontramos muito poucos locais onde humidade possa penetrar e esses locais podem ser inspecionadas e reparados de forma rápida e fácil. Além disso, os fabricantes em conjunto com os projetistas criam uma rede de drenagem eficaz, assegurando que a água da chuva será dirigida para o exterior da construção evitando qualquer possibilidade de humidade residual que poderia penetrar no edifício.

5.12 Economia

A velocidade de produção e a montagem de elementos pré-fabricados permite diminuir o prazo previsto num plano de trabalhos de uma obra, resultando na redução geral de custos e de riscos do empreiteiro, na eliminação de despesas, de outros trabalhos e custos com subempreiteiros, dando mais responsabilidade ao fornecedor, pois passa a ser o único.

A técnica do elemento pré-fabricado de betão torna-se mais económica ao combinar elementos arquitetónicos e estruturais numa única peça. Podem em alguns casos serem fundidos painéis de parede em elementos de fundação, eliminando assim as ligações que seriam necessárias. Nestes casos não será preciso uma base de grande dimensão, devido à secção transversal de uma parede pré-fabricada de betão ser menor em relação a uma parede de alvenaria (20,0 cm em vez 40,0 cm de espessura). Isto também reduz o peso total da estrutura, reduzindo o revestimento em cerca 25% em relação ao custo de uma construção de tijolo / bloco / aço.

Estas vantagens são decisivas nos projetos em diferentes aspetos, com base nas suas necessidades específicas, logística, localização e orçamento. Ao trabalhar com o fabricante logo no início do projeto, pode-se retirar o máximo proveito dos benefícios dos elementos pré-fabricados de betão. A

eficiência no tamanho dos elementos, ligações, transporte e montagem podem ser tidos em conta no projeto, maximizando os benefícios oferecidos pelo pré-fabricado de betão.

6 CONCLUSÕES

A utilização de soluções pré-fabricadas em betão na construção civil oferece uma série de vantagens a todas as partes envolvidas, nomeadamente ao projetista, ao empreiteiro, ao dono da obra e ao utilizador final.

As vantagens são inúmeras uma vez que se pode dividir a construção em duas partes. A construção *in situ* e a produção em fábrica dos elementos estruturais. Isto permite a aceleração da obra e a consequente redução dos prazos de execução face à construção tradicional, uma vez que a obra em si pode decorrer sem ter interferência na produção dos elementos pré-fabricados de betão. Ao iniciar-se uma obra, pode ser paralelamente iniciada a produção dos elementos pré-fabricados de betão específicos para essa obra, ou a aquisição de soluções pré-fabricadas de betão existentes já no mercado, o que permite que o plano de trabalhos possa antecipar situações que na construção tradicional seriam sempre dependentes de outras atividades, por exemplo quando estiverem a decorrer as terraplenagens em obra pode-se produzir as vigas de cobertura em fábrica.

A execução dos elementos em fábrica permite um melhor controlo da produção, com altos padrões de qualidade e um elevado nível de segurança na produção, sobretudo se comparado com a produção *in situ*.

A adoção deste tipo de construção permite a futura expansão dos edifícios sem grandes consequências para as estruturas existentes, sendo fácil a desconstrução e construção de novos “layouts”. Por outro lado, a elevada qualidade dos elementos produzidos em fábrica leva a que as operações de manutenção sejam reduzidas. A eficácia dos recursos dos pré-fabricados de betão nestas construções, ao nível da proteção e segurança, nomeadamente na proteção contra incêndios, sismos, furacões, tornados e explosões são uma mais valia.

Outros dos aspetos positivos é a sua sustentabilidade, uma vez que os elementos são produzidos em fábrica local e geram poucos resíduos. A alta durabilidade destes elementos implica um menor recurso a produtos químicos para limpeza e conservação, com capacidade para resistir a mofo e bactérias. Esta capacidade permite a sua aplicação em edifícios que exijam ambientes controlados, tais como processamento de alimentos ou laboratórios.

A nível de flexibilidade do projeto há uma grande variedade das soluções de acabamentos. A escolha dos elementos pré-fabricados em betão permite um excelente desempenho térmico e acústico, resolvendo muitas das questões no campo da certificação energética e em termos de licenças de ruído.

Um dos fatores que se evidencia dos demais e é determinante nos custos das obras é a velocidade de produção e a montagem dos elementos pré-fabricados, encurtando os prazos de execução

previstos num plano de trabalhos de uma obra tradicional, diminuindo a mão de obra, equipamentos e acessórios de construção afetos à execução dos elementos em obra e reduzindo a subcontratação, resultando na eliminação de despesas e a consequente redução geral de custos.

7 PERSPETIVAS FUTURAS

A construção civil tem de se reinventar apesar das técnicas de construção terem evoluído muito nos últimos anos. No entanto, e até muitas vezes por imposição dos projetos, acaba-se por recorrer à construção tradicional, com a execução da maior parte dos elementos em obra.

Muitos projetistas e construtores não estão ainda sensibilizados para as vantagens de recorrer aos pré-fabricados de betão.

Um das soluções passará pela elaboração dos projetos em grande escala recorrendo a soluções pré-fabricadas de betão, sendo uma das vantagens a normalização dos elementos, com vista à produção em série.

Seria bastante interessante que os fabricantes, projetistas e empreiteiros conseguissem catalogar as soluções construtivas, nomeadamente os elementos estruturais pré-fabricados, tipos de ligação, acessórios e técnicas de ligação.

Esta solução não implicaria que houvesse produção em série com o objetivo de armazenar para vender posteriormente, pois seria demasiado dispendioso e praticamente inviável economicamente. No entanto o facto de já existirem os moldes em fábrica, permitiria a produção “quase” que imediata após a encomenda.

Esta normalização resultaria na compatibilização dos produtos de todos os fornecedores, não criando dependência de um único fabricante, permitindo que todos pudessem contribuir com os seus produtos.

Outra questão importante seria o desenvolvimento de programas de cálculo que apresentassem como solução estrutural todos os elementos pré-fabricados, com as soluções térmicas e acústicas integradas.

E por último desenvolver a certificação da construção pré-fabricada, como garantia da qualidade do produto final.

8 BIBLIOGRAFIA

- A. S. G. Bruggeling, G. F. Huyghe. 1991.** *Prefabrication With Concrete*. s.l. : Balkema, 1991.
- Albarran, Eduardo G. 2008.** *Construção com Elementos Pré-fabricados em Betão Armado: Adaptação de uma Solução Estrutural in situ a uma Solução Pré-fabricada*. s.l. : Insituto Técnico Superior de Lisboa, 2008.
- ANIPB. 2008.** *A Indústria de Prefabricação em Betão em Portugal* . Lisboa : ANIPB, 2008.
- ANIPC. 1998.** *Estudo Sectorial para a Indústria de Produtos de cimento*. s.l. : ANIPC – Associação Nacional dos Industriais de Produtos de Cimento, 1998.
- Arnold, Van Acker. 2002.** *Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto*. s.l. : FIB, 2002.
- Babcock, Stephen G. e Battles, Thomas B. 1973.** *Fachadas Prefabricacion de Hormingon*. Madrid : s.n., 1973.
- Bachmann, Hubert e Steinle, Alfred. 2011.** *Precast concrete structures*. s.l. : Withelm Ernst & Sohn, 2011.
- Bruna, P. 1976.** *Arquitetura, Industrialização e Desenvolvimento*. São Paulo : EDUSP, 1976.
- Camacho Alves, João Miguel. 2008.** *Análise e Dimensionamento de Pavimentos Construídos a partir de Pré-lajes de Betão – Tese para Mestrado em Engenharia Civil*. Porto : FEUP, 2008.
- Cardoso, D. M. B. Botelho. 2011.** *Estudo experimental da ligação pilar-fundação em estruturas pré-fabricadas*. Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.
- Castro, Guy.** *Acerca do projeto de fundações em estacas de betão armado*. s.l. : LNEC.
- Corbioli, N. 2001.** A nova geração de pré-fabricados. <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia11.asp>>. [Online] 2001.
- Council, British Precast.** *Sustainability White Paper, “Towards a more sustainable precast industry”*. s.l. : British Precast Council.
- Couto, João.** *Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-Fabricação*. s.l. : Universidade do Minho.
- Eduardo.** *Boletim Mensal do Comércio Internacional, Análise sectorial dos minerais não metálicos*.
- Elliott, Kim S. 1996.** *Multi-storey precast concrete frame structures:Blackwell Science*. 1996.
- . **2002.** *Precast concrete structures :ButterworthHeinemann*. 2002.

—. **2002.** *Precast Frame Concepts, Economics and Architectural Requirements*. Singapore : In workshop on Design & Construction of Precast Concrete Structures. Construction Industry Training Institute., 2002.

Enrico, Dassori. 2001. *La prefabbricazione in calcestruzzo*. s.l. : ASSOBETON, 2001.

ENV 1992-1-3. 1997. *Projecto de Estruturas de Betão - Regras Gerais - Elementos e estruturas de betão pré-fabricados*. 1997.

Eurocódigo 2 – parte 1.3 – Estruturas pré-fabricadas de betão.

EUROSTAT. 2007. *European Business, Facts and Figures, (Other non-metallic mineral products)*. s.l. : EUROSTAT, 2007.

FEPICOP. 2007. *Conjuntura da Construção*. s.l. : FEPICOP - Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas, 2007.

—. **2013.** *Conjuntura da Construção n.º 69; Maio / 2013*. s.l. : FEPICOP - Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas, 2013.

Ferreia, M.A. 2003. *A importância dos sistemas flexibilizados*. São Paulo : Universidade Federal de São Carlos, 2003.

FIB. 2002. *Manual de sistemas pré-fabricados de concreto*. s.l. : Traduzido: Marcelo de Araújo Ferreira, 2002.

—. **2010.** *Model Code 2010 Final draft*. s.l. : FIB - Fédération Internationale du Béton, 2010.

—. **2008.** *Structural connections for precast concrete buildings*. s.l. : FIB - Fédération Internationale du Béton, 2008. Bulletin N° 43.

FIP. 1994. *Planning and design handbook on precast building structures*. s.l. : FIP - Commission on Prefabrication, 1994.

Giedion, Sigfried. 2009. *Espacio, tiempo y arquitectura*. Barcelona : Editorial Reverté, 2009.

Greven, Adão e Balda, Alexandra. 2007. *Introdução à coordenação modular da construção no Brasil*. Porto Alegre : Coleção HABITARE / FINEP, 2007.

IIF. 2000. *Construção Civil e Obras Públicas em Portugal*. s.l. : Instituto para a Inovação na Formação, 2000.

INE. 2013. *Empresas em Portugal 2011*. Lisboa : Instituto Nacional de Estatística, 2013.

—. **2005.** *FGUE – Ficheiro Geral de Unidades Estatísticas (dados de 2005)*. s.l. : INE – Instituto Nacional de Estatística, 2005.

—. **2005.** *Ficheiro Geral de Unidades Estatísticas (FGUE)*. s.l. : Instituto Nacional de Estatística, 2005.

IPQ. 2009. *Manual de Normalização*. s.l. : Instituto Português da Qualidade, 2009.

J. Azevedo, Figueiras. 1993. *Dimensionamento de Estruturas de Betão Pré-Esforçado, Curso de Formação*. Porto : FEUP, 1993.

Jacinto Tomas, Quirino José. 2008. *Concepção e Projecto de um Edifício de Habitação com Estrutura em Betão Pré-fabricado – Tese para Mestrado em Engenharia Civil*. s.l. : UNL - Universidade Nova de Lisboa, 2008.

Kelly, Burnham. 1951. *The Prefabrication of Houses*. Unites States of America : The Massachusetts Institute of Technology, 1951.

Koncz, Tihamér. 1975. *Manual de la Construcción Prefabricada: com elementos de hormingón armado e pretensado: construcción, cálculo e ejecución*. Madrid : Hermann Blume, 1975.

—. **1966.** *Manuale della Prefabbricazione*. Bouverlag, Milano : Edizioni Technique, 1966.

Lagartixo, Pedro M. R. 2011. *Sistemas Estruturais de Edifícios Industriais - Tese de Mestrado*. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

Leohnardt, F. *Design of Prestressed concrete structures*.

Lúcio, V. 2000. *Ligações em estruturas pré-fabricadas. Curso de Pré-Fabricação*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2000.

Martins, José Augusto. 2009. *Análise Comportamental do Fogo em Sistemas de Fachada com Isolamento pelo Exterior – Tese para Mestrado em Engenharia Civil*. s.l. : UNL - Universidade Nova de Lisboa, 2009.

Mondragão, Luís. 2011. *Sistemas industrializados de betão armado para a construção de armazéns*. Porto : FEUP, 2011.

Morris, A. E. J. *El Hormigón Premoldeado en la Arquitectura*.

NP EN 1992-1-1. 2008. *Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão: Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*. 2008.

NP EN 1992-1-1: 2008 (EC 2).

Ordonéz, J. A. F. 1974. *Pre-fabricacion: teoría y práctica*. Barcelona : Editores Técnicos Asociados, 1974.

Painsa. 2013. *Catálogo de Estructura Delta*. Espanha : s.n., 2013.

Pavicer. 2013. http://www.pavicer.pt/catalogo/pavimentos_aligeirados_pre_esforçados.pdf. [Online] 15 de 09 de 2013.

PCI. 1999. *Design handbook - Precast and prestressed concrete*. Chicago : PCI - Precast/Prestressed Concrete Institute, 1999.

—. *Designing with precast & prestressed concrete*. s.l. : PCI - Prestressed Concrete Institute.

PCI, Committee on Connection Details. 1998. *Design and typical details of connections for precast and prestressed concrete*. s.l. : PCI - Prestressed Concrete Institute, 1998.

Pinto, A. Reaes. 2000. *A Pré-fabricação na Indústria de Construção, 1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão*. Porto : Associação Nacional dos Industriais de Produtos de Cimento, 2000.

Prodcom. 2005. *Annual detailed enterprise statistics on manufacturing subsections DF-DN*. s.l. : EUROSTAT, 2005.

Quirino, Jacinto T. J. 2008. *Concepção e Projecto de um Edifício de Habitação com Estrutura em Betão Pré-fabricado – Tese para Mestrado em Engenharia Civil*. s.l. : UNL - Universidade Nova de Lisboa, 2008.

REBAP. 1983. *Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado: Dec. Lei n.º 349-C/83*. 1983.

Reis, Pedro S. R. 2000. *Ligação Contínua Viga - Pilar em estruturas Pré-moldadas de betão - Tese de Mestrado*. Lisboa : Universidade Técnica de Lisboa - IST, 2000.

Revel, Maurice. 1973. *La prefabricacion en la construccion*. Bilbao : Urmo, 1973.

Rosso, T. 1976. *Teoria e prática da coordenação modular*. São Paulo : FAUUSP, 1976.

Rostema. 2013. <http://rotesma.com.br/site/produtos/lajes/>. [Online] 14 de 09 de 2013.

Santiago, A. 1999. *Pré-fabricação aberta e pré-fabricação fechada, 3ª Jornadas de Estruturas, FEUP*. 1999.

Santos, Pompeu. *Comportamento de Ligações de estruturas pré-fabricadas de betão*. s.l. : LNEC.

SECIL, SA. Histórico do Cimento. www.secil.pt. [Online] [Citação: 16 de 07 de 2013.] http://www.secil.pt/default.asp?pag=historico_cimento.

Sena Cardoso, Francisco M. H. 2008. *Coberturas em Betão Armado e Pré-esforçado Solução Estrutural Tipo Casca, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre de Engenharia Civil*. s.l. : IST - Instituto Superior Técnico, 2008.

Serrano, Julián. 1997. *Construcción industrializada: prefabricación, elementos de la edificación*. Madrid : Fundación Escuela de la Edificación, Colegio Oficial de Aparejadores y A.T., 1997.

Sidney, M. Levy. 2000. *Construction Building Envelope and Interior Finishes Databook*. New York : McGraw-Hill Professional, 2000.

Stupré, Society for Studies on the Use of Precast Concrete. 1981. *Precast Concrete Connections Details*. Netherlands : Beton-Verlag, 1981.

Telford, Thomas. 1990. *CEB-FIP Model Code 1990*. s.l. : CEB - Comité Euro-International du Béton, 1990.

Tomás, Quirino J. J. 2010. *Concepção e Projecto de um Edifício de Habitação com Estrutura em Betão Pré-Fabricado*. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia , 2010.

—. **2010.** *Concepção e Projecto de um Edifício de Habitação com Estrutura em Betão Pré-Fabricado - Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa - FCT, 2010.

Ungar, Eduard. *Gray – Steel Designers Manual*.

Vanguard. 2012. Pré-fabricados de Hormigon. <http://www.vanguard.es/productos>. [Online] Novembro de 2012.

Vasconcelos, A. C. 2002. *O Betão no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações. Volume III*. São Paulo : Studio Nobel, 2002.