



# ANÁLISE DE LIGAÇÕES DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS

**LEONARDO CASTANHO BARBOSA**

dezembro de 2016

# **ANÁLISE DE LIGAÇÕES DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS**

LEONARDO CASTANHO BARBOSA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES**

Orientador: José Carlos de Almeida Gouveia Lello

Co-Orientador: Eduardo Ioshimoto (Mackenzie)

## **ANÁLISE DE LIGAÇÕES DE ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS**

LEONARDO CASTANHO BARBOSA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES**

Orientador: José Carlos de Almeida Gouveia Lello

Co-Orientador: Eduardo Ioshimoto (Mackenzie)

**DEZEMBRO DE 2016**

# ÍNDICE GERAL

Resumo .....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Fotografias .....	xxi
Abreviaturas .....	xxiii
1 Introdução.....	1
2 Revisão da literatura .....	5
3 Estudo de caso: ligações de um estacionamento em estrutura pré-fabricada .....	69
4 Considerações finais.....	83
Referências Bibliográficas .....	85



## RESUMO

A utilização do sistema construtivo de elementos pré-fabricados vem se mostrando a melhor solução na atual busca do mercado pela racionalização de prazos e sustentabilidade. O estudo realizado neste trabalho visou analisar as ligações estruturais de pré-fabricados através da demonstração dos diversos tipos de ligações existentes. A partir da análise de conteúdo de um gráfico demonstrativo da incidência de utilização de pré-fabricados em tipos de obra específicos, constatou-se que a incidência da utilização de pré-fabricados na indústria brasileira vem se tornando cada vez mais recorrente, principalmente nas áreas de Shoppings Centers, Indústrias e Edifícios Comerciais. Foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica que possibilitou a conceituação e análise de elementos essenciais ao sistema construtivo dos pré-fabricados, como fundações, pilares, vigas, lajes, escadas e paredes, bem como dos tipos de sistemas estruturais e ligações estruturais existentes. Foram utilizados diversos elementos ilustrativos para exemplificar os vários tipos de ligações que podem ser encontradas nos elementos pré-fabricados. A análise das ligações estruturais utilizadas do sistema de elementos pré-fabricados, bem como da viabilidade e benefícios resultantes da utilização de tal sistema na construção civil, foram verificados por meio do estudo de caso de um estacionamento localizado na Praça dos Poveiros, Porto – Portugal. Constatou-se, por via desse estudo, que, ao fazer a montagem da estrutura e da ligação de seus componentes, é necessário que o projetista estrutural faça um detalhamento de todas as ligações existentes, visando que estas fiquem firmes e não resultem em nenhum dano à obra. Conclui-se que a utilização de sistemas pré-moldados proporciona maior rapidez e eficiência à construção, tornando-se, apesar do alto custo, o sistema mais apropriado para certos tipos de obras.

**Palavras-chave:** Pré-fabricados. Ligações estruturais. Rapidez. Economia. Viabilidade.



## **ABSTRACT**

The use of the constructive system of prefabricated elements has proved the best solution in the current search market by streamlining deadlines and sustainability. The study in this paper aimed to analyze the structural connections of prefabricated by demonstrating the different types of connections. From the content analysis of a statement graph of incidence of use of prefabricated specific types of work, it was found that the incidence of use of pre-made in Brazilian industry is becoming increasingly recurrent, especially in areas of Shopping Centers, Industries and Commercial Buildings. Was held a comprehensive literature search that led to the conceptualization and analysis of essential elements to the constructive system of prefabricated, as foundations, columns, beams, slabs, stairs and walls as well as the types of structural systems and the structural connections. Various illustrative components to exemplify the various types of connections that can be found in prefabricated elements were used. Analysis of the structural connections used system of precast elements as well as the feasibility and benefits resulting from the use of such a system in construction, have been checked through the case study of a parking located in the Plaza of Poveiros, Porto - Portugal . It was found, through this study, that by making the assembly of the structure and bonding of its components, it is necessary that the structural designer do a detailing of all the links, aiming it becomes firm and do not result in any damage to the construction. It follows that the use of precast systems provides faster and more efficient construction, making it despite its high cost, the most suitable system for certain types of works.

**Keywords:** Prefabricated. Structural connections. Quickness. Economy. Viability.



## **AGRADECIMENTOS**

A Faculdade de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie e ao seu corpo docente pela oportunidade de traçar meus primeiros passos no caminho da Engenharia.

Aos professores Eduardo Ioshimoto e José Lello, pela orientação, dedicação e incentivo ao longo deste trabalho.

Aos meus pais, pelos esforços que depreenderam na minha formação educacional.

A todos que de alguma forma contribuíram para que esta etapa fosse concluída.



# ÍNDICE DE TEXTO

Índice Geral .....	iii
Resumo .....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Fotografias .....	xxi
Abreviaturas .....	xxiii
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.1.1 Objetivo geral .....	1
1.1.2 Objetivos específicos.....	1
1.2 Justificativa .....	2
1.3 Metodologia.....	3
1.4 Estrutura do trabalho.....	3
2 Revisão da literatura .....	5
2.1 Conceito de pré-fabricados.....	5
2.2 Evolução histórica dos pré-fabricados.....	5
2.3 Elementos pré-fabricados.....	8
2.3.1 Fundações.....	8
2.3.2 Pilares .....	9

## ÍNDICE DE TEXTO

2.3.3	Vigas.....	11
2.3.4	Lajes .....	13
2.3.5	Escadas.....	17
2.3.6	Paredes/Painéis .....	18
2.4	Sistemas estruturais.....	19
2.4.1	Sistema de vigas e pilares (sistema de esqueleto) .....	19
2.4.2	Sistema de piso e teto (sistema de pavimentos).....	20
2.4.3	Sistema de painéis .....	21
2.4.4	Sistema de célula .....	22
2.4.5	Sistema de armação resistente a momento fletor .....	23
2.5	Ligações estruturais .....	24
2.5.1	Esforços a transmitir .....	25
2.5.2	Elementos a ligar .....	25
3	Estudo de caso: ligações de um estacionamento em estrutura pré-fabricada.....	69
3.1	Estacionamento da praça dos poveiros .....	70
3.2	Elementos estruturais.....	71
3.2.1	Lajes pré-fabricadas “duplo T” de betão dos pavimentos inferiores .....	71
3.2.2	Pré-lajes pré-fabricadas de betão com vigas “I” do pavimento superior .....	72
3.2.3	Vigas “T” e pilares pré-fabricadas de betão .....	73
3.3	Ligações estruturais .....	74
3.3.1	Ligação pilar-pilar: Ligação por conectores de barras de aço.....	74
3.3.2	Viga-pilar: Ligação por betonagem <i>in situ</i> .....	76
3.3.3	Viga-viga: Ligação com continuidade por juntas em dentes e barras de aço superiores soldadas .....	77
3.3.4	Viga-laje .....	78
3.3.5	Laje-laje: Ligação <i>in situ</i> de lajes “Duplo-T” .....	81
4	Considerações finais.....	83

4.1	CONCLUSÕES .....	83
4.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	84
	Referências Bibliográficas .....	85



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sapata pré-fabricada com cálice (El Debs, 2000) .....	9
Figura 2.2 – Seções transversais utilizadas nos pilares (Els Debs, 2000) .....	10
Figura 2.3 – Formas dos pilares ao longo do seu comprimento (Els Debs, 2000).....	10
Figura 2.4 – Tipos de vigas e suas seções transversais (Acker, 2002) .....	11
Figura 2.5 – Tipos de vigas e suas seções transversais (El Debs, 2000) .....	12
Figura 2.6 – Tipos de escadas (El Debs 2000).....	17
Figura 2.7 – Tipos de escadas helicoidais (El Debs 2000).....	18
Figura 2.8 – Sistema de esqueleto com pavimento único e com múltiplos pavimentos (Acker, 2008) ....	20
Figura 2.9 – Lajes alveolares (esquerda) e lajes duplo “T” (direita) (Acker, 2008) .....	20
Figura 2.10 – Painéis estruturais de fachada e painéis estruturais de interior (Acker, 2008) .....	21
Figura 2.11 – Painéis não estruturais de fachada (Acker, 2008) .....	21
Figura 2.12 – Sistema de células pré-fabricados (Acker, 2008) .....	23
Figura 2.13 – Fundação pré-fabricada com encaixe (Lello, 2015).....	26
Figura 2.14 – Fundação pré-fabricada com encaixe (Lello, 2015).....	26
Figura 2.15 – Fundações pré-fabricadas com encaixe com junta dentada (esquerda) e com junta lisa (direita) (NP EN, 2010) .....	27
Figura 2.16 – Ligação por encaixe Acker (2002).....	28
Figura 2.17 – Ligação por encaixe (Stupré, 1981) .....	28
Figura 2.18 – Ligação com chumbadores cravados com argamassa não retrátil (Acker, 2002) .....	28
Figura 2.19 – Ligação com chumbadores cravados com argamassa não retrátil (Levy, 2000) .....	28
Figura 2.20 – Ligação com chumbadores cravados com argamassa não retrátil (Levy, 2000) .....	29
Figura 2.21 – Ligação por ancoragens parafusada (Levy, 2000) .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.22 – Ligação por ancoragens parafusada (Acker, 2002).....	29
Figura 2.23 – Ligação por parafusos (Levy, 2000) .....	30
Figura 2.24 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981).....	30
Figura 2.25 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981).....	30
Figura 2.26 – Ligação por chapa (Levy, 2000).....	31
Figura 2.27 – Ligação por chapa (Levy, 2000).....	31
Figura 2.28 – Ligação por chapa (Stupré, 1981) .....	32
Figura 2.29 – Ligação por soldagem a chapa e barras de aço (Stupré, 1981) .....	32
Figura 2.30 – Ligação por soldagem a chapa (Stupré, 1981).....	33
Figura 2.31 – Ligação por soldagem a chapa (Stupré, 1981).....	33
Figura 2.32 – Ligação por conectores de barras de aço (Stupré, 1981) .....	33
Figura 2.33 – Ligação por conectores de barras de aço (Stupré, 1981) .....	33
Figura 2.34 – Ligação por soldagem de barras de aço (Stupré, 1981) .....	34
Figura 2.35 – Ligação por pós-tensão (Stupré, 1981).....	34
Figura 2.36 – Ligação por rótula (Stupré, 1981) .....	35
Figura 2.37 – Detalhamento placa e parafusos de ancoragem (PCI, 2004) .....	36
Figura 2.38 – Detalhamento de placas de base do pilar (PCI, 2004).....	36
Figura 2.39 – Ligação rígida (Lello, 2015) .....	38
Figura 2.40 – Ligação plástica (Lello, 2015) .....	39
Figura 2.41 – Ligação plástica (Lello, 2015) .....	39
Figura 2.42 – Ligação plástica (Lello, 2015) .....	39
Figura 2.43 – Ligação plástica (Lello, 2015) .....	40
Figura 2.44 – Ligação por conectores de barra de aço (Elliot, 1996) .....	41
Figura 2.45 – Ligação por conectores de barra de aço (Stupré, 1981).....	42
Figura 2.46 – Ligação por conectores de barra de aço (Stupré, 1981).....	42
Figura 2.47 – Ligação por chapa/barra de aço sobreposto soldada (Elliot, 1996) .....	42
Figura 2.48 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981).....	43

Figura 2.49 – Ligação por soldagem de chapas (Stupré, 1981).....	43
Figura 2.50 – Ligação por soldagem de chapas a barra de aço (Stupré, 1981).....	44
Figura 2.51 – Ligação por soldagem de perfis na face (Stupré, 1981) .....	44
Figura 2.52 – Ligação por soldagem de barras de aço (Stupré, 1981) .....	45
Figura 2.53 – Ligação por rótula (Stupré, 1981).....	45
Figura 2.54 – Posições preferidas para emendas de colunas em vários andares. Estrutura multicompartimentada. (Stupré, 1981).....	46
Figura 2.55 – Ligação por consolo metálico (Levy, 2000).....	48
Figura 2.56 – Ligação por consolo metálico (Levy, 2000).....	48
Figura 2.57 – Ligação por consolo metálico (Stupré, 1981) .....	48
Figura 2.58 – Ligação por consolo metálico (Stupré, 1981) .....	48
Figura 2.59 – Ligação por consolo de betão (Stupré, 1981).....	49
Figura 2.60 – Ligação por consolo de betão (Stupré, 1981).....	49
Figura 2.61 – Diferentes tipos de consolo de betão (Stupré, 1981) .....	49
Figura 2.62 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981) .....	50
Figura 2.63 – Ligação por consolo de betão e protensão (Stupré, 1981) .....	50
Figura 2.64 – Ligação por consolo de betão e armadura comum (Stupré, 1981).....	51
Figura 2.65 – Ligação por betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981) .....	51
Figura 2.66 – Interrupção de pilar com ligação por armadura e betonagem integral do nó (Stupré, 1981) .....	52
Figura 2.67 – Interrupção de pilar com ligação por armadura e betonagem integral do nó (Stupré, 1981) .....	52
Figura 2.68 – Ligação por chapas metálicas soldadas e betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981).....	53
Figura 2.69 – Ligação com placa de apoio de neoprene (Stupré, 1981) .....	53
Figura 2.70 – Ligação com placa de apoio de aço (Stupré, 1981) .....	54
Figura 2.71 – Ligação com armadura em gancho (Stupré, 1981).....	54
Figura 2.72 – Ligação por betonagem <i>in situ</i> do nó (Stupré, 1981) .....	55
Figura 2.73 – Ligação por pré-esforço (Stupré, 1981).....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.74 – por pré-esforço (Stupré, 1981) .....	56
Figura 2.75 – Ligação por chapas metálicas parafusadas e betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981).....	56
Figura 2.76 – Ligação por betonagem <i>in situ</i> (Stupré, 1981).....	56
Figura 2.77 – Ligação por dentes e barras de aço (Stupré, 1981) .....	57
Figura 2.78 – Ligação por juntas em dente e barras de aço inferiores soldadas (Stupré, 1981) .....	57
Figura 2.79 – Ligação por juntas em dente e barras de aço superiores soldadas (Stupré, 1981).....	58
Figura 2.80 – Ligação por chapas metálicas verticais (Stupré, 1981).....	58
Figura 2.81 – Ligação por juntas em dente (Stupré, 1981) .....	58
Figura 2.82 – Ligação por consolo metálico (Stupré, 1981) .....	59
Figura 2.83 – Ligação por consolo de betão (Stupré, 1981).....	60
Figura 2.84 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981).....	60
Figura 2.85 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981) .....	61
Figura 2.86 – Ligação por parafusos ligados inferiormente (Stupré, 1981) .....	61
Figura 2.87 – Ligação com armaduras em gancho (PCI, 2004).....	62
Figura 2.88 – Ligação com armaduras em gancho (Stupré, 1981) .....	62
Figura 2.89 – Ligação por consolo e barras de aço soldadas (Stupré, 1981).....	63
Figura 2.90 – Ligação por consolo de betão e chapas soldadas (Stupré, 1981).....	63
Figura 2.91 – Ligação por consolo de betão e barras de pré-esforço (Stupré, 1981) .....	64
Figura 2.92 – Ligação por betonagem <i>in situ</i> do nó (Stupré, 1981) .....	64
Figura 2.93 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981) .....	65
Figura 2.94 – Ligação por barras de pré-esforço (Stupré, 1981).....	65
Figura 2.95 – Ligação por barras de aço soldadas (Stupré, 1981).....	66
Figura 2.96 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene, perpendiculares à viga (PCI,2004) .....	66
Figura 2.97 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene, em uma viga metálica “I” (PCI,2004).....	66
Figura 2.98 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “T” invertida, através de armadura ordinária em lajes, sobre neoprene, em paralelo com a laje (PCI,2004).....	67

Figura 2.99 – Ligação de lajes alveolares através de amarração em paralelo com a laje (PCI,2004) .....	67
Figura 3.1 – Localização do Parque de Estacionamento dos Poveiros em Porto, Portugal (Google Maps, 2015) .....	70
Figura 3.2 – Ligação por conectores de barra de aço (Stupré, 1981).....	75
Figura 3.3 – Ligação por juntas em dente e barras de aço superiores soldadas (Stupré, 1981).....	78
Figura 3.4 – Ligação pré-laje com viga “I” (Albarran, 2008).....	80
Figura 3.5 – Detalhe ligação laje “duplo T” com a viga (Ballarin, 1993).....	80
Figura 3.6 – Detalhe ligação laje “duplo T” com laje “duplo T” (Ballarin, 1993).....	81



## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 2.1 – Sistema de células (PCI, 2004) .....	23
Fotografia 2.2 – Ligação pilar metálico – fundação de betão por chapa (Lello, 2003) .....	31
Fotografia 2.3 – Interrupção de pilar com ligação por armadura e betonagem integral do nó (Lello, 2015) .....	52
Fotografia 3.1 – Lajes “duplo T” dos pavimentos inferiores (Acervo pessoal, 2015) .....	71
Fotografia 3.2 – Pré-lajes pré-fabricadas com vigas “I” do pavimento superior (Acervo pessoal, 2015)..	72
Fotografia 3.3 – Pré-lajes pré-fabricadas (Alberran, 2008) .....	72
Fotografia 3.4 – Vigas “T” pré-fabricadas (Acervo pessoal, 2015) .....	73
Fotografia 3.5 – Pilares (Acervo pessoal, 2015) .....	73
Fotografia 3.6 – Ligação pilar-pilar (Acervo pessoal, 2015) .....	74
Fotografia 3.7 – Ligação viga-pilar (Acervo pessoal, 2015) .....	76
Fotografia 3.8 – Ligação viga-viga (Acervo pessoal, 2015) .....	77
Fotografia 3.9 – Ligação pré-laje com viga “I” (Acervo pessoal, 2015) .....	79
Fotografia 3.10 – Exemplo de ligação pré-laje com viga “I” sendo executada (Lello, 2015) .....	80



## **ABREVIATURAS**

FIB - Fédération Internationale du Béton

ABCIC - Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Brasileira

FGV - Fundação Getulio Vargas

PCI - Precast Concrete Institute

IPCA - Irish Precast Concrete Association

EUA - Estados Unidos da América

NP - Norma Portuguesa

EN - Norma Europeia



# **1 INTRODUÇÃO**

A competitividade do atual mercado da construção civil no Brasil e no mundo levou as empresas a buscarem cada vez mais métodos de produção sustentáveis e eficientes, como os pré-fabricados.

No Estado de São Paulo, tendo em vista o constante crescimento da competitividade na indústria da construção civil, a utilização dos pré-fabricados vem se mostrando cada vez mais necessária, graças a sua rapidez, eficiência e pouca necessidade de mão de obra.

Já em Portugal, devido à crise financeira e econômica que vem afetando a Europa, houve uma notável desaceleração do setor da construção civil no país, que resultou em uma redução da utilização dos pré-fabricados, mas não na extinção da mesma. Assim sendo, cabe às empresas portuguesas se modernizarem e inovarem, visando a sua manutenção no mercado português.

Desta forma, o presente trabalho tratará sobre a análise de ligações de estruturas pré-fabricadas usadas na construção de um estacionamento, localizado na cidade do Porto, Portugal.

No mais, uma vez que nas estruturas de elementos pré-fabricados as ligações estruturais são os pontos mais frágeis e mais afetados por patologias, o enfoque deste trabalho será analisar detalhadamente as ligações de estruturas pré-fabricadas, evidenciando seu comportamento estrutural e o passo a passo de como é feito em obra.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Analisar detalhadamente as ligações estruturais de um empreendimento com estrutura de elementos pré-fabricados nas suas diversas variantes.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Identificar os elementos pré-fabricados e tipos de ligações estruturais existentes no mercado;

Identificar os elementos pré-fabricados e tipos de ligações estruturais utilizados no empreendimento em estudo;

Identificar o comportamento estrutural das ligações estruturais;

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O uso de betão pré-moldado em edificações está amplamente relacionado à uma forma de construir econômica, durável, estruturalmente segura e com versatilidade arquitetônica.<sup>1</sup>

Sendo assim, a indústria de pré-fabricados está continuamente fazendo esforços para atender as demandas da sociedade, como, por exemplo: economia, eficiência, desempenho técnico, segurança, condições favoráveis de trabalho e de sustentabilidade.<sup>2</sup>

A utilização de elementos pré-fabricados vem se mostrando cada vez mais comum na construção civil e, sendo as conexões entre os elementos pré-fabricados responsáveis por alterar o comportamento global da estrutura, torna-se relevante a análise de suas ligações, uma vez que, escolhendo a ligação certa, pode-se economizar na estrutura.

Nesse sentido dispõe o grupo de trabalho da FIB:<sup>3</sup>

“As ligações estão entre as partes mais essenciais em estruturas pré-fabricadas. Seu desempenho está relacionado aos estados limites estruturais, bem como a fabricação, execução e manutenção da estrutura. Um design correto das ligações é a chave para uma pré-fabricação de sucesso.”

Como discorre Marcelo de A. Ferreira, o desempenho das ligações viga-pilar afeta tanto o comportamento local das vigas adjacentes quanto o comportamento global da estrutura pré-moldada.<sup>4</sup>

As ligações dos elementos pré-fabricados, em razão da ocorrência de constantes erros na sua execução, ocasionam em diversas patologias nas construções.

Assim sendo, torna-se relevante o conhecimento do passo-a-passo da execução dessas ligações, com vistas a necessidade de identificação dos erros mais comuns ocorridos no andamento da construção, de forma a prevenir a sua reiterada ocorrência.

Portanto, o enfoque deste trabalho será analisar detalhadamente as ligações de estruturas pré-fabricadas, evidenciando seu comportamento estrutural e o passo a passo de como é feito em obra.

---

<sup>1</sup> ACKER, Arnold Van. *Manual de sistemas pré-fabricados de concreto*. Tradução: Marcelo Ferreira. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2002. p. 2.

<sup>2</sup> Ibid. p. 2.

<sup>3</sup> ACKER, Arnold Van; RISE, Gunner; MENEGOTTO, Marco. *Conexões estruturais para prédios em concreto pré-moldado*. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2008. p. iii.

<sup>4</sup> FERREIRA, Marcelo de A.; CHUST CARVALHO, Roberto; ELLIOTT, Kim S. *Avanços para análise e projeto de estruturas pré-moldadas com ligações semi-rígidas*. *Concreto & Construções*, São Paulo, v. XXXVIII, n. 59, p. 74, 2010. ISSN 1809-7197.

### **1.3 METODOLOGIA**

Este trabalho será desenvolvido em duas etapas, primeiro será feita uma pesquisa teórica, posteriormente será elaborado um estudo de caso.

A pesquisa teórica terá como base a pesquisa bibliográfica sobre a história do pré-fabricado e os sistemas de ligações estruturais no Brasil e em Portugal. Através dessa pesquisa poderemos identificar quais são os tipos de empreendimentos mais indicados para se usar pré-fabricado, quais tipos de ligações mais usadas no mercado e também as dificuldades que se enfrentam para a aplicação correta do sistema.

No estudo de caso serão realizados relatórios fotográficos e analíticos, visando evidenciar a importância de um bom conhecimento do sistema, e entender os principais fatores que atrapalham a execução do mesmo. O empreendimento escolhido foi o Estacionamento do Parque dos Poveiros, em Porto, Portugal.

Com as informações do estudo de caso em mãos, será feita uma análise detalhada das ligações estruturais do empreendimento, identificando-se o comportamento estrutural das ligações estruturais.

E por último será feito a conclusão do trabalho, refletindo sobre o que foi aprendido com esse trabalho.

### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho estará estruturado em cinco seções.

A Seção 1 apresentará a Introdução, que é composta pelos seguintes itens: texto de conceituação e caracterização do tema; Objetivos; Justificativa; e Metodologia.

A Seção 2 apresentará uma revisão de literatura sobre o pré-fabricado na construção civil brasileira e portuguesa

A Seção 3 abordará uma análise das ligações estruturais do estudo de caso de um empreendimento em estrutura de elementos pré-fabricados.

A Seção 4 relatará as conclusões do trabalho e indicará algumas recomendações para pesquisas futuras.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 CONCEITO DE PRÉ-FABRICADOS

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 9062/2006, entende-se como elemento pré-moldado “aquele elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura”.<sup>5</sup>

Além disso, a Associação citada define como elemento pré-fabricado aquele “elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim”.<sup>6</sup>

Comparado aos métodos de construção tradicionais e outros materiais de construção, os sistemas pré-fabricados, como método construtivo, e o betão, como material, têm muitas características positivas.<sup>7</sup>

Portanto, é uma forma industrializada de construção com muitas vantagens, como: uso otimizado de materiais, produção mais eficiente, menor tempo de construção, controle de qualidade, eficiência estrutural, flexibilidade no uso, adaptabilidade e construção menos agressiva ao meio ambiente.<sup>8</sup>

### 2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS PRÉ-FABRICADOS

A Construção Civil tem sido vista como uma indústria atrasada quando comparada a outros ramos industriais, uma vez que ela apresenta, de uma maneira geral, baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade.<sup>9</sup>

Assim sendo, uma das formas de buscar a redução desse atraso é através da utilização de técnicas associadas à utilização de elementos pré-moldados de betão, cujo emprego recebe a denominação de betão pré-moldado ou de pré-moldagem.<sup>10</sup>

---

<sup>5</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Projeto NBR 9062: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro, 2006.

<sup>6</sup> Ibid.

<sup>7</sup> ACKER, Arnold Van. *Manual de sistemas pré-fabricados de concreto*. Tradução: Marcelo Ferreira. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2002. p. 2-5.

<sup>8</sup> Ibid., p. 2-5.

<sup>9</sup> EL DEBS, Mounir Khalil. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EESC-USP, 2000. p. 3.

<sup>10</sup> Ibid., p. 3.

## CAPÍTULO 2

Os pré-fabricados surgiram em razão da necessidade da implementação de técnicas mais rápidas, sustentáveis e menos dependentes de mão-de-obra em grande escala na indústria da construção civil.

Não se pode precisar a data em que começou a pré-moldagem, mas é possível dizer que o próprio nascimento do betão armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos fora do local de seu uso.<sup>11</sup>

Destarte, segundo Vasconcelos, pode-se afirmar que a pré-moldagem começou com a invenção do betão armado e a realização da estrutura com betonagem local surgiu depois.<sup>12</sup>

De acordo com Mounir Khalil El Debs<sup>13</sup>:

O período correspondente ao final do século XIX e início do século XX é marcado pelo grande incremento do emprego do betão armado na Construção Civil, e, como não poderia deixar de ser, ao aparecimento de aplicações da pré-moldagem.

Na Europa, após a Segunda Guerra Mundial, a construção civil passou por uma notável transformação em razão da escassez de mão de obra e da necessidade de reconstrução das cidades de forma rápida e em grande escala.

Nesse sentido, a construção pré-fabricada do betão acabou se mostrando a forma mais viável para a concretização do objetivo principal, qual seja a reconstrução das cidades europeias pós-guerra, resultando em um grande impulso das aplicações do betão pré-moldado na Europa, principalmente em habitações, galpões e pontes.<sup>14</sup>

Segundo Paulo Julio Valentino Bruna, “o esforço da reconstrução industrial absorveu a maior parte da mão-de-obra disponível e praticamente a totalidade daquela especializada”. Sendo assim, a construção civil assistiu a um abandono por parte dos trabalhadores, que davam preferência a empregos em fábricas ou escritórios em razão da estabilidade, segurança e melhores condições de trabalho que estes traziam.<sup>15</sup>

A consequência disto foi a necessidade de reduzir as operações no canteiro de obras a simples operações de montagem, que uma equipe de poucos homens, bem equipados, poderiam realizar, ou seja, a implantação de pré-fabricados.<sup>16</sup>

Nos dias atuais, tendo em vista a crise financeira que atingiu a União Europeia, houve uma significativa desaceleração da indústria de pré-fabricados em Portugal, que se mostrou um dos países mais afetados

---

<sup>11</sup> VASCONCELOS, Augusto Carlos de. *O concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações – Volume III*. São Paulo: Studio Nobel, 2002. p. 13.

<sup>12</sup> *Ibid.*, p. 13.

<sup>13</sup> *Ibid.*, p. 29.

<sup>14</sup> EL DEBS, Mounir Khalil. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EESC-USP, 2000. p. 29.

<sup>15</sup> BRUNA, Paulo J. V. *Arquitetura, industrialização e desenvolvimento*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2002. p. 86.

<sup>16</sup> *Ibid.*, p. 87.

pela crise, com o conseqüente fechamento de diversas fábricas especializadas na produção de pré-fabricados.

Já no Brasil, segundo Augusto Carlos de Vasconcelos<sup>17</sup>:

A primeira notícia que se tem de uma obra grande com utilização de elementos pré-moldados no Brasil, refere-se à execução do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro. Christiani-Nielsen, firma construtora dinamarquesa com sucursal no Brasil, executou em 1926 a obra completa do hipódromo, com diversas aplicações de elementos pré-moldados. Dentre eles, podem-se citar as estacas nas fundações e as cercas no perímetro da área reservada ao hipódromo.

Em São Paulo, a primeira construtora a utilizar os pré-moldados foi a Construtora Mauá, na década de 50, que executou diversos galpões pré-moldados no canteiro de obras. As principais obras executadas pela referida construtora foram: o Cortume Franco Brasileiro, em Barueri; pavilhões da Fábrica ELCLOR, em Rio Grande da Serra; fábrica de transformadores AEG, em Jundiaí; ampliação do edifício principal da fábrica da Ideal Standard, em Jundiaí; e os arcos da cobertura pré-moldada do pavilhão de Atlas-Copco, junto à ponte do Socorro em Santo Amaro, na cidade de São Paulo.<sup>18</sup>

Atualmente, a incidência da utilização de pré-fabricados na indústria brasileira vem se mostrando cada vez mais recorrente, principalmente nas áreas de Shoppings Centers, Indústrias e Edifícios Comerciais, conforme resta demonstrado pela pesquisa sobre a indústria de pré-fabricados de betão realizada pela FGV/IBRE, em março de 2015.<sup>19</sup>

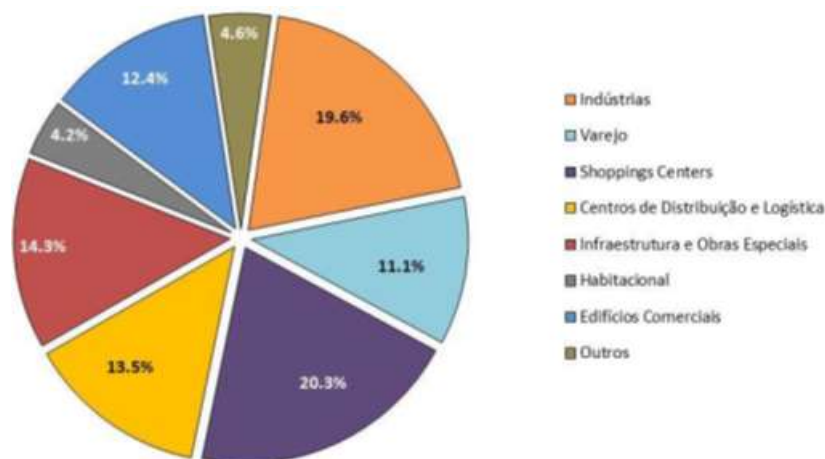


Gráfico 1.1 - demonstrativo da incidência de utilização de pré-fabricados em tipos de obra específicos (FGV/IBRE, 2015)

<sup>17</sup> VASCONCELOS, Augusto Carlos de. *O concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações – Volume III*. São Paulo: Studio Nobel, 2002. p. 13.

<sup>18</sup> Ibid., p. 14.

<sup>19</sup> A INDÚSTRIA de pré-fabricados de concretos. Fundação Getulio Vargas (FGV). Mar. 2015

## CAPÍTULO 2

Através da análise do gráfico acima, é possível perceber que a maior incidência de utilização de pré-fabricados se dá em empreendimentos que demandam maior rapidez para o início de sua utilização, por exemplo, shoppings centers, que quanto antes começarem a funcionar, mais rápido trarão o retorno do investimento.

O tempo de instalação de pré-fabricados, varia com cada projeto, mas os seguintes valores podem ser usados para se ter uma noção da velocidade de construção, supondo que seja somente uma equipe de montagem:<sup>20</sup>

- 12 a 14 pilares por dia;
- 12 a 15 vigas por dia;
- 12 a 18 painéis parede por dia;
- 350m<sup>2</sup> de laje por dia;
- 12 a 15 escadas e patamares por dia.

Portanto, conclui-se que os pré-fabricados, apesar de tardiamente implementados no Brasil, vêm se tornando essenciais em obras de grande porte em decorrência de sua eficiência e rapidez, que acabam compensando o seu alto custo.

## 2.3 ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS

### 2.3.1 Fundações

A fundação é, simplificada, o alicerce da construção, ou seja, é a parte da construção destinada a distribuir as cargas da edificação no terreno.<sup>21</sup>

Acerca do tema, Largatixo dispõe que:<sup>22</sup>

As sapatas, estacas e vigas de fundação são as soluções disponíveis para a concepção de elementos de fundação pré-fabricados. Em Portugal, apesar de existirem soluções de fundação pré-fabricadas os elementos de fundação adotados são muitas vezes betonados *in situ* e posteriormente ligados aos pilares.

---

<sup>20</sup> MURCHÚ, Brian Ó; QUINN, Caroline. *Precast concrete: frames guide*. Irish Precast Concrete Association (IPCA). Dublin. p. 33.

<sup>21</sup> ENGENHARIA CIVIL NA INTERNET. *Dicionário: letra "f"*. Disponível em: <http://www.engenhariacivil.com/dicionario/letra/f/page/7>. Acesso em: 13 mai. 2016.

<sup>22</sup> LAGARTIXO, Pedro Miguel dos Reis. *Sistemas estruturais de edifícios industriais pré-fabricados em betão*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2011. p. 19

Segundo EL DEBS, “o betão pré-moldado pode ser utilizado em vigas baldrames e elementos para a ligação de pilares por meio de cálice”.<sup>23</sup>

No caso das ligações de pilares por meio de cálice, os elementos pré-moldados podem ser tanto com o cálice completo, que consiste na junção do colarinho e da sapata, quanto somente com o colarinho.

A primeira hipótese é usada quando o peso e as dimensões forem adequados ao transporte e ao equipamento de montagem. Já na segunda opção, o elemento é relativamente leve e simplifica bastante a execução da fundação.

Pode-se também utilizar nervuras ligando o colarinho diretamente na base. Essa alternativa pode ser de duas formas: com elemento pré-moldado englobando todo o cálice, o que reduz consideravelmente o peso comparativamente à primeira alternativa do caso anterior, ou com a base moldada no local, que pode ser com sapata ou sobre estacas.<sup>24</sup>

Abaixo, apresenta-se a representação de uma sapata aguardando pela colocação de um pilar pré-fabricado.

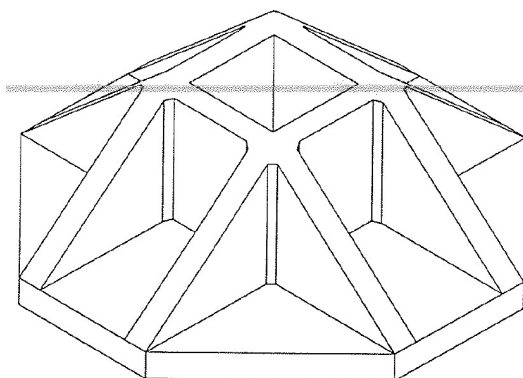


Figura 2.1 – Sapata pré-fabricada com cálice (El Debs, 2000)

### 2.3.2 Pilares

Os pilares são normalmente utilizados para apoiar vigas em sistemas estruturais de betão pré-moldado de todos os tipos.<sup>25</sup>

---

<sup>23</sup> EL DEBS, Mounir Khalil. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EESC-USP, 2000. p. 265.

<sup>24</sup> Ibid., p. 265.

<sup>25</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *MANUAL: Designing with Precast and Prestressed Concrete*. Chicago.p. 4A-4.

Eles normalmente são projetados como componentes de vários níveis que vão desde um único nível até seis níveis ou mais. Tamanhos e formas podem variar para satisfazer ambos os requisitos arquitetônicos e estruturais.<sup>26</sup>

As seções transversais empregadas nos pilares são: Seção quadrada, seção retangular, seção circular, seção “I”, seção quadrada vazada, seção retangular vazada, seção circular vazada, tipo Vierendel, conforme as imagens a seguir.<sup>27</sup>

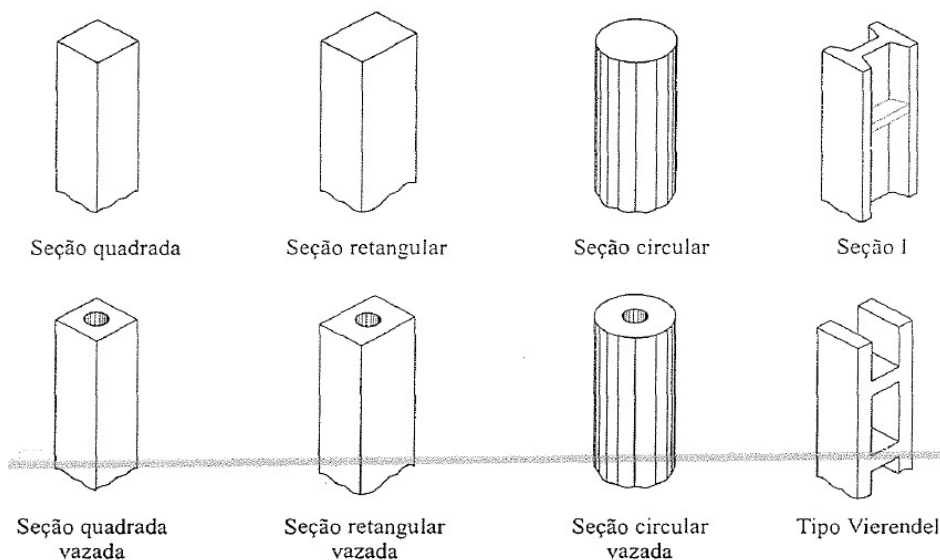


Figura 2.2 – Seções transversais utilizadas nos pilares (Els Debs, 2000)

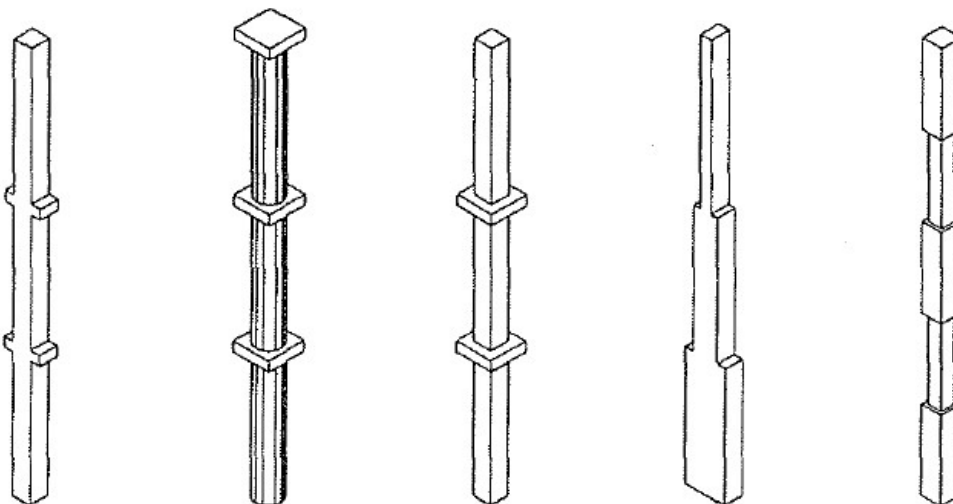


Figura 2.3 – Formas dos pilares ao longo do seu comprimento (Els Debs, 2000)

<sup>26</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *MANUAL: Designing with Precast and Prestressed Concrete*. Chicago.p. 4A-4.

<sup>27</sup> EL DEBS, Mounir Khalil. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EESC-USP, 2000. p. 249.

No que diz respeito ao processo de fabricação, os pilares podem ser feitos em uma instalação de pré-tensão longa, no qual é reforçado com fio de pré-esforço, ou fabricados em formas individuais, com qualquer tensão de pré-esforço ou barra de reforço convencional.<sup>28</sup>

Eles são feitos em uma posição horizontal e erguidos para a sua posição final no canteiro de obras pela equipe de montagem.

### 2.3.3 Vigas

As vigas são elementos horizontais que suportam elementos de pavimento como “T” duplos, lajes alveolares e lajes maciças, e, por vezes, outras vigas.<sup>29</sup>

Elas podem ser reforçadas com qualquer tensão de pré-esforço ou barra de reforço convencional. Isto irá depender das condições de carga, vãos, e métodos de produção utilizados pelo fabricante.<sup>30</sup>

Existem diversos tipos de vigas pré-fabricadas. Em termos funcionais, as vigas podem ser classificadas como: Vigas principais de cobertura, vigas secundárias de cobertura, vigas de piso, vigas calha e vigas platibanda.<sup>31</sup>

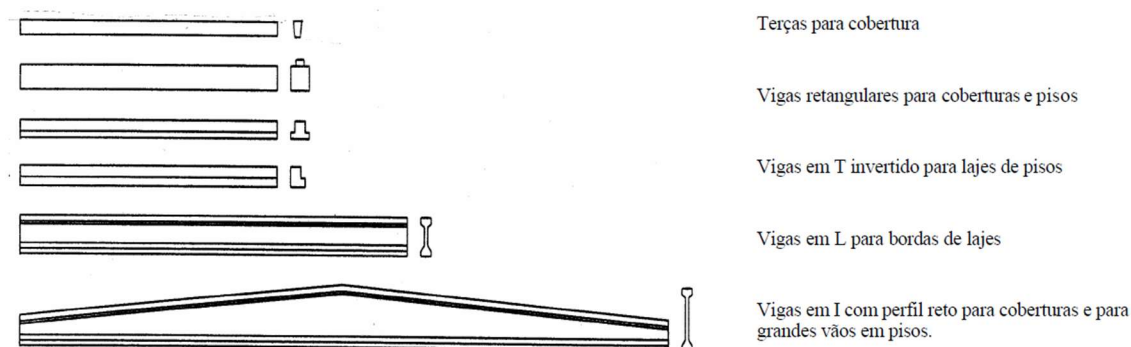


Figura 2.4 – Tipos de vigas e suas seções transversais (Acker, 2002)

As seções transversais mais empregadas em vigas são: seção retangular, seção “I”, seção “T” invertido e seção “L”, mas também, há outros tipos de seções transversais, menos utilizadas, como: seção “T”, seção caixão, tipo Vierendel, seção retangular vazada.<sup>32</sup>

<sup>28</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *MANUAL: Designing with Precast and Prestressed Concrete*. Chicago. p. 4A-4.

<sup>29</sup> *Ibid.*, p. 4A-2.

<sup>30</sup> *Ibid.*, p. 4A-2.

<sup>31</sup> LAGARTIXO, Pedro Miguel dos Reis. *Sistemas estruturais de edifícios industriais pré-fabricados em betão*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2011. p. 21.

<sup>32</sup> EL DEBS, Mounir Khalil. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EESC-USP, 2000. p. 252.

As vigas da cobertura são vigas com altura variável. Elas são normalmente utilizadas em edificações industriais onde se requer vãos maiores. A seção transversal em forma de I é geralmente empregada para vigas protendidas. A inclinação varia entre 5 e 12%.

No que diz respeito as terças (vigas secundárias da cobertura), existem aquelas com um grande número de seções transversais, que são bastante empregadas como vigas secundárias para coberturas. A seção transversal pode ser retangular ou em forma de "I". O comprimento dos vãos varia de 6 a 12m e a altura de 250 a 600 mm.

Já a viga para pisos (para apoio de pisos) são em betão protendido e armado. O tipo mais comum de viga para pisos em construções pré-moldadas é a viga com abas em forma de "L" ou em forma de "T" invertido. A principal vantagem das vigas com abas invertidas para apoio das lajes é a redução da espessura total dos subsistemas de piso."<sup>33</sup>

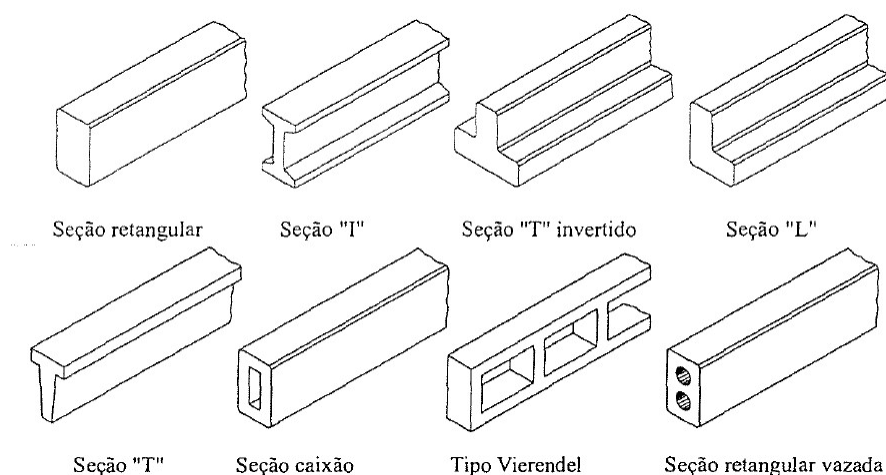


Figura 2.5 – Tipos de vigas e suas seções transversais (El Debs, 2000)

Sobre o processo de fabricação, as vigas pré-esforçadas são tipicamente pré-tensionadas e fabricadas em uma instalação de pré-tensão longa, semelhante ao utilizado para T duplos.

As vigas que são reforçadas com barras de reforço convencional podem ser moldadas como componentes individuais, em formas mais curtas, feitos especificamente para o tamanho da viga. Elas são tipicamente fabricadas na mesma posição que será utilizada na estrutura final."<sup>34</sup>

<sup>33</sup>ACKER, Arnold Van. *Manual de sistemas pré-fabricados de concreto*. Tradução: Marcelo Ferreira. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2002. p. 66

<sup>34</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *MANUAL: Designing with Precast and Prestressed Concrete*. Chicago. p. 4A-2.

### 2.3.4 Lajes

Laje é uma peça laminar de betão armado maciço ou aligeirado que faz parte da estrutura de uma construção, servindo de divisória e base aos vários níveis (pisos) da construção.<sup>35</sup>

No que se refere ao betão pré-moldado, o sistema de pisos oferece muitas vantagens como: a ausência de escoramentos, a rapidez na construção, as faces inferiores bem acabadas, o alto desempenho mecânico, os grandes vãos, durabilidade, etc.

Há uma grande variedade de sistemas pré-moldados para pisos no mercado, sendo os cinco tipos principais:<sup>36</sup>

- Pisos com lajes alveolares em betão protendido ou betão armado
- Pisos com painéis nervurados protendidos
- Pisos formados por lajes maciças
- Sistemas compostos por meio de placas (painéis) pré-moldadas
- Sistemas compostos por lajes com vigotas

As lajes de betão pré-moldado têm vantagens significativas de economia de tempo em relação aos métodos de lajes convencionais, que utilizam cofragem com escoramento.<sup>37</sup>

Sendo assim, reduzir o tempo de construção e entregar o edifício antes do prazo do cronograma são importantes fatores de redução de custos, principalmente no caso de hotéis e galpões, nos quais, quanto antes a obra terminar, mais rápido haverá o retorno do investimento.

---

<sup>35</sup> ENGENHARIA CIVIL NA INTERNET. *Dicionário: letra "l"*. Disponível em: <http://www.engenhariacivil.com/dicionario/letra/l>. Acesso em: 13 mai. 2016.

<sup>36</sup> ACKER, Arnold Van. *Manual de sistemas pré-fabricados de concreto*. Tradução: Marcelo Ferreira. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2002. p. 71

<sup>37</sup> MURCHÚ, Brian Ó; QUINN, Caroline. *Precast concrete: frames guide*. Irish Precast Concrete Association (IPCA). Dublin. p. 22.

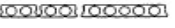







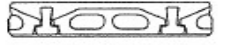
Tipo de elemento	Tipo de edifício	Vão máximo (m)	Altura (mm)	Larguras mais comuns (mm)	Peso por unidade de área (kN/m <sup>2</sup> )
 Painéis alveolares não protendidos	Habitacional/ Comercial	≤ 9	100-300	300-2.400	2,1-4,0
 Painéis alveolares protendidos	Habitacional/ Comercial/ Industrial/ Estacionamento	≤ 20	100-500	1.200	2,0-4,8
 Elementos de seção T	Comercial/ Industrial/ Estacionamento	≤ 24 (30)	200-800	1.200-2.400	2,1-5,0
 Elementos de seção T	Comercial/ Industrial/ Estacionamento	≤ 30	600-1.200	1.500-5.000	3,0-3,6
 Elementos de seção U	Comercial/ Industrial	≤ 9	150-300	600	1,45-3,5
 Elementos de seção U invertido	Comercial/ Industrial/ Estacionamento	≤ 20	200-700	1.200	1,75-6,9
 Elementos de pré-laje	Habitacional/ Comercial	≤ 7,2	100-200	600-2.400	2,4-4,8
 Painéis T ou TT invertidos	Habitacional/ Comercial	≤ 9	150-350	600-2.400	1,0-3,0
 Laje com nervuras pré-moldadas	Habitacional	≤ 7,2	200-300	—	1,8-2,4

Tabela 2.1 – Tipos de lajes (El Debs, 2000)

As unidades de lajes são fabricadas para padrões exatos, em condições de fábrica e instaladas pela equipe de montagem, podendo ser deixadas aberturas para serviços como cabeamento.

Os elementos de laje pré-fabricadas são normalmente suportados por vigas de betão ou de aço ou em paredes de blocos sólidos.

Assim sendo, as lajes de betão pré-fabricado são particularmente valorizadas por seu excelente isolamento acústico e por suas qualidades à prova de fogo.

Essas lajes podem ser concebidas para trabalhar em conjunto à estrutura do edifício, visando reduzir o tamanho de seções de outros elementos estruturais, por exemplo, vigas principais de apoio de laje podem ser concebidas como vigas “T”.<sup>38</sup>

<sup>38</sup> MURCHÚ, Brian Ó; QUINN, Caroline. *Precast concrete: frames guide*. Irish Precast Concrete Association (IPCA). Dublin. p. 23.

Os pisos protendidos podem ser amarrados à estrutura principal sendo, portanto, particularmente adequados para edifícios, onde o colapso progressivo é uma consideração no projeto.”<sup>39</sup>

Um dos tipos mais comuns de laje pré-fabricada é o Duplo “T”, que é utilizado principalmente como componente de plataforma, de piso e de telhado, uma vez que o betão pré-fabricado possibilita o uso de vãos maiores, tendo assim, espaços mais amplos, com menos pilares. Podem ser usados para qualquer tipo de edifício, mas são usados mais frequentemente em estruturas de estacionamento, edifícios de escritórios e instalações industriais.<sup>40</sup>

As lajes Duplos “T” podem ser fabricadas com espessuras de flanges de até 10 cm e podem ser fabricadas como pré-lajes, com uma flange de 5 cm, e posteriormente, em obra, aplica-se uma camada de betão de 5 a 10 cm. ”<sup>41</sup>

Elas normalmente são fabricadas e pré-tensionadas em uma instalação de pré-tensão longa (forma) que são subdivididas em comprimentos específicos para determinado projeto. O método de produção em geral consiste em:<sup>42</sup>

- Estabelecer tamanho das formas;
- Tensionar o cabo de protensão;
- Fazer um controle de qualidade antes da betonagem;
- Betonagem;
- Deixar curando de 12 a 16 horas;
- Destensionar e cortar os cabos de protensão nas extremidades da peça;
- Remoção da forma;
- Fazer um controle de qualidade;
- Mover o duplo “T” para a área de armazenamento, ficando à espera do embarque para a obra.”

Outro tipo comum de laje são as lajes alveolares, que também são conhecidas como pranchas. Elas são utilizadas em uma vasta gama de edifícios como componentes de pavimento e parede, por exemplo, em

---

<sup>39</sup> MURCHÚ, Brian Ó; QUINN, Caroline. *Precast concrete: frames guide*. Irish Precast Concrete Association (IPCA). Dublin. p. 23.

<sup>40</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *MANUAL: Designing with Precast and Prestressed Concrete*. Chicago. p. 1C-2.

<sup>41</sup> *Ibid.*, p. 1C-2.

<sup>42</sup> *Ibid.*, p. 4A-5.

## CAPÍTULO 2

habitações multifamiliar e unifamiliar, escolas, hotéis, centros de saúde, escritórios, fábricas e outras estruturas.<sup>43</sup>

As lajes alveolares medem tipicamente de 20 a 30 cm de espessura, mas podem ser fabricadas bem finas, como 10cm ou bem grossas, como 40 cm. Núcleos ocos e longos, alvéolos (vazios), percorrem todo o comprimento da peça. Em algumas aplicações, os núcleos podem ser usados para alocar equipamentos mecânicos e elétricos.<sup>44</sup>

Essas lajes normalmente são fabricadas usando um método de formas de pré-tensão longas de 90 a 150 metros de comprimento em que, uma máquina de propriedades específica, faz a extrusão do betão e cria os espaços vazios por meio de uma máquina de corte rotativa ou com a colocação de agregados que posteriormente serão removidos. Um sistema produz as peças de lajes alveolares de 18 metros de comprimento, terminando com o corte de um comprimento determinado.<sup>45</sup>

O método de produção em geral consiste em:<sup>46</sup>

- Preparar a forma;
- Puxar fios de suporte a suporte;
- Tensionar os fios a tensão adequada;
- Fazer um controle de qualidade antes da Betonagem;
- Betonagem de uma laje longa de 90 a 150 metros;
- Deixar curando de 12 a 16 horas;
- Marcar os comprimentos específicos do projeto;
- Destensionar os cabos de protensão nas extremidades da peça;
- Serrar as peças;
- Remoção da forma;
- Fazer um controle de qualidade;
- Mover o duplo "T" para a área de armazenamento, ficando à espera do embarque para a obra.

---

<sup>43</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *MANUAL: Designing with Precast and Prestressed Concrete*. Chicago. p. 1C-2.

<sup>44</sup> Ibid., p. 1C-2.

<sup>45</sup> Ibid., p. 4A-6.

<sup>46</sup> Ibid., p. 4A-6.

### 2.3.5 Escadas

As escadas de betão pré-moldado são a alternativa natural quando se emprega o betão pré-moldado na estrutura, em razão do transtorno de se executá-las no local.

Mesmo quando não se empregar o betão pré-moldado na estrutura principal, as escadas pré-moldadas não deixam de ser uma solução a ser considerada, em razão do citado transtorno.<sup>47</sup>

Conforme a Fig. 2.6, a forma da escada nos degraus pode ser: a) tipo placa maciça, o que resulta em elemento relativamente pesado; b) com paramento inferior acompanhando os degraus; ou c) com vigas laterais ou com viga central.<sup>48</sup>

As escadas podem ser ainda feitas com degraus independentes fixados em estrutura lateral, como por exemplo em vigas tipo "jacaré". A seção transversal pode ser retangular, ou na forma de L e Z etc.

As escadas pré-moldadas podem ser também em forma helicoidal, com elemento único, ou formadas a partir de pequenos elementos. Na Fig. 2.7 é possível ver alguns exemplos.<sup>49</sup>

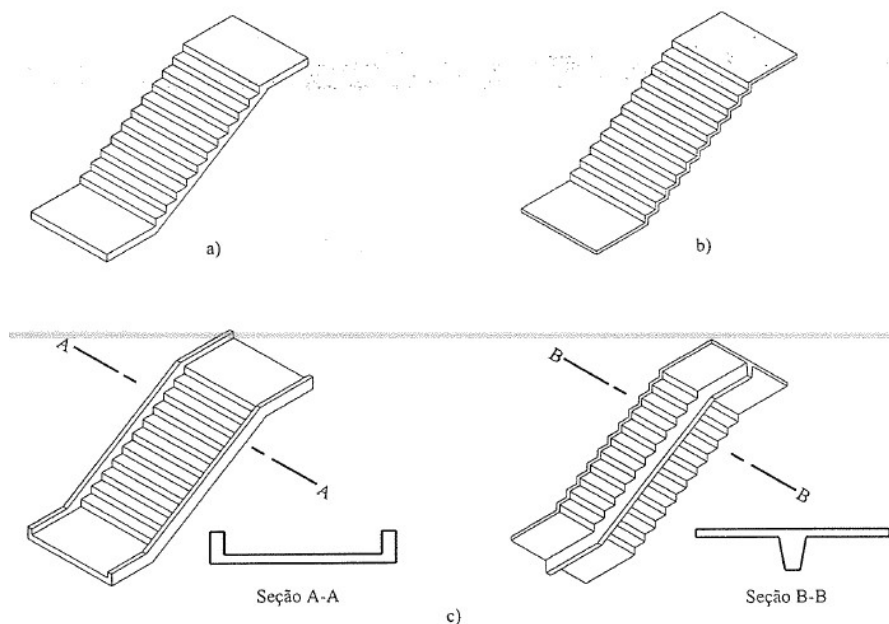


Figura 2.6 – Tipos de escadas (El Debs 2000)

<sup>47</sup> EL DEBS, Mounir Khalil. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EESC-USP, 2000. p. 263.

<sup>48</sup> Ibid., p. 263.

<sup>49</sup> Ibid., p. 263.

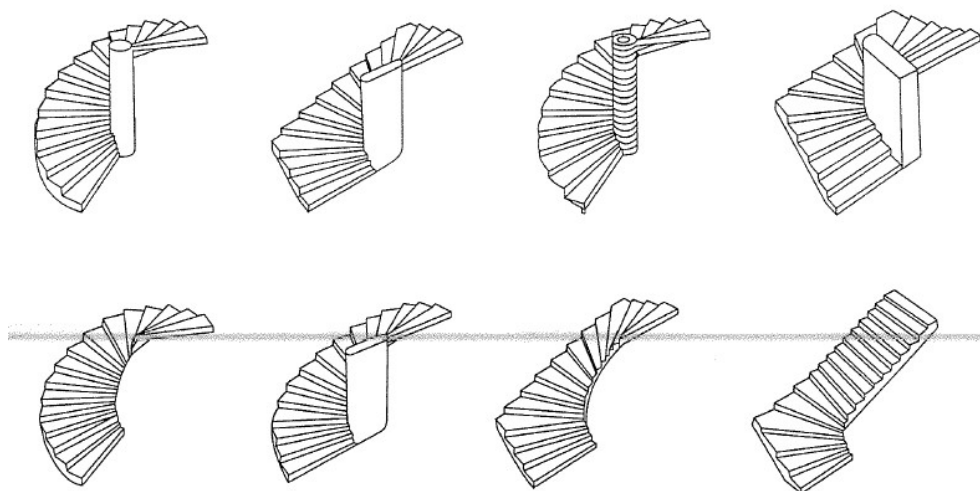


Figura 2.7 – Tipos de escadas helicoidais (El Debs 2000)

Esse tipo de escada não exigem o escoramento e a fixação, que são necessários para escadas *in situ*. Os elementos da escada são ligados aos pisos usando articulações e cantoneiras de aço. Outras conexões, tais como juntas contínuas ou juntas não contínuas são usadas às vezes.

Uma vez instaladas, escadas pré-moldadas permitem o acesso seguro e imediato para os andares superiores para seguir com serviços.<sup>50</sup>

Por fim, essas escadas são mais econômicas quando feitas em grandes quantidades, assim sendo, quanto maior for o número de unidades idênticas necessária, menor será o custo.<sup>51</sup>

### 2.3.6 Paredes/Painéis

Sistemas de paredes de betão pré-fabricado podem ser formados por uma variedade de formas e tipos de parede.

Normalmente, os sistemas de parede de betão pré-moldado se enquadram em três categorias básicas: sólido, sanduíche e thin-shell.

As paredes podem ser erguidas tanto na posição horizontal ou vertical, e usadas em todos os tipos de estruturas, como residencial, comercial, institucional e industrial.

Os painéis de parede podem ser concebidos como não estruturais ou estruturais, transportando cargas de piso e teto, bem como cargas laterais.

<sup>50</sup> MURCHÚ, Brian Ó; QUINN, Caroline. *Precast concrete: frames guide*. Irish Precast Concrete Association (IPCA). Dublin. p. 26.

<sup>51</sup> *Ibid.*, p. 26.

Eles podem ser feitos em uma instalação de pré-tensionamento e reforçados com fios de pré-esforço, ou fabricados em formas individuais, colocando-se fios de pré-esforço ou barras de reforço convencionais. Esses painéis são fabricados na posição horizontal e depois erguidos para a sua posição final, no canteiro de obras, pela equipe de montagem.”<sup>52</sup>

Os painéis de parede em sanduíche com isolamento têm uma camada de 5 cm ou mais de isolamento de alto desempenho entre duas placas de betão. Esta configuração fornece eficiência energética elevada à uma parede de betão interior, que pode ser finalizada, sem a necessidade de um tratamento final de sarrafos e drywall. Os pré-fabricados de betão de massa térmica elevada também minimizam o consumo de energia naturalmente.

Historicamente usado mais para edifícios industriais, tais como centros de distribuição e armazéns, mas com sua variedade de acabamentos e benefícios, painéis de parede sanduíche também estão sendo usados para outros empreendimentos como varejo, residencial e escritórios.”<sup>53</sup>

Já os painéis de parede LiteWalls, que consistem em paredes com aberturas centrais através do painel que visão diminuir o peso e permitir a passagem de luz, são usados principalmente em estruturas de estacionamento.<sup>54</sup>

Este espaço visual adicionado nas paredes estruturais permite que a luz do dia possa penetrar mais profundamente na estrutura, gerando economia energética”<sup>55</sup>

## 2.4 SISTEMAS ESTRUTURAIS

### 2.4.1 Sistema de vigas e pilares (sistema de esqueleto)

Os sistemas de esqueleto são compostos de colunas e vigas. Na Fig. 2.8, podemos ver um exemplo de como é a estrutura do sistema de esqueleto.

As conexões nestes sistemas são:<sup>56</sup>

- Viga-pilar
- Viga-viga

---

<sup>52</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *MANUAL: Designing with Precast and Prestressed Concrete*. Chicago. p. 4A-21.

<sup>53</sup> Ibid., p. 1C-2.

<sup>54</sup> Ibid., p. 1C-3.

<sup>55</sup> Ibid., p. 1C-3.

<sup>56</sup> ACKER, Arnold Van; RISE, Gunner; MENEGOTTO, Marco. *Conexões estruturais para prédios em concreto pré-moldado*. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2008. p. 5.

- Pilar-pilar
- Pilar-fundação

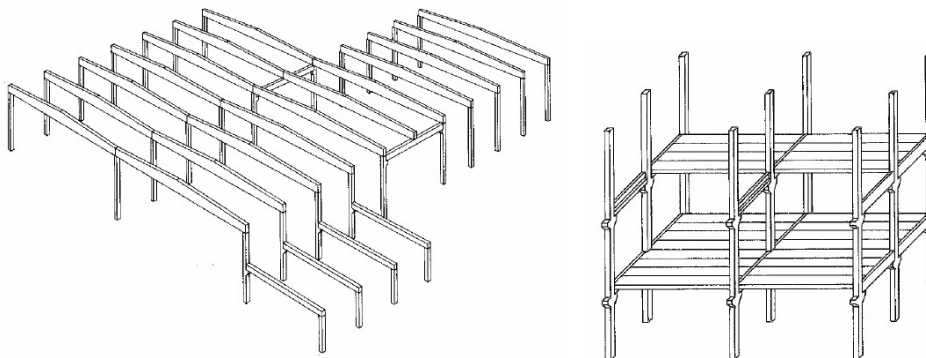


Figura 2.8 – Sistema de esqueleto com pavimento único e com múltiplos pavimentos (Acker, 2008)

### 2.4.2 Sistema de piso e teto (sistema de pavimentos)

O principal objetivo do sistema de piso e teto é o de transportar cargas verticais para os elementos estruturais resistentes a essas cargas.

Além disso, pisos pré-moldados e telhados são frequentemente utilizados como partes essenciais do sistema de estabilização, visando a transferência de cargas horizontais por ação diafragma para as unidades de estabilização.

Os tipos de lajes mais comuns são pisos alveolares e piso duplo T (ver Fig. 2.9), mas lajes duplo “T” também são utilizados em sistemas de telhado.<sup>57</sup>

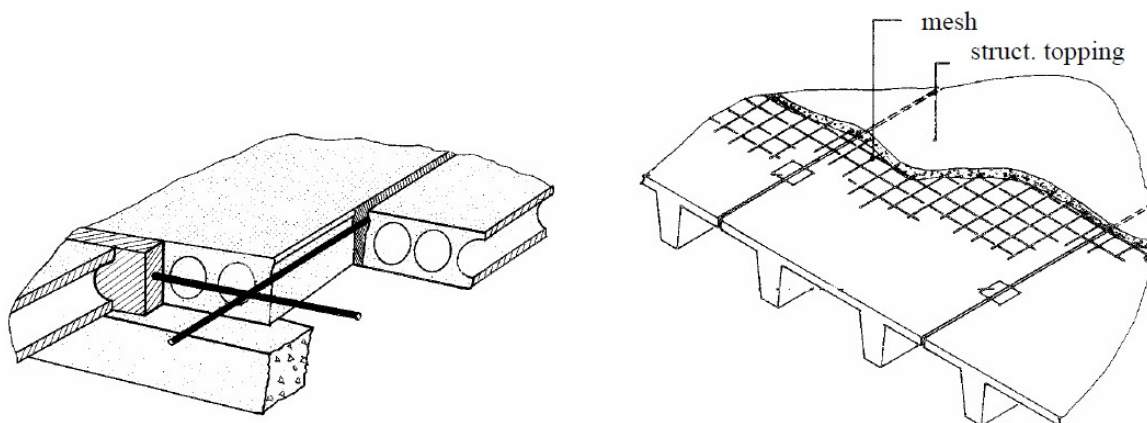


Figura 2.9 – Lajes alveolares (esquerda) e lajes duplo “T” (direita) (Acker, 2008)

<sup>57</sup> ACKER, Arnold Van; RISE, Gunner; MENEGOTTO, Marco. *Conexões estruturais para prédios em concreto pré-moldado*. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2008. p. 6.

### 2.4.3 Sistema de painéis

Os principais sistemas de painéis de betão pré-fabricados são apresentados nas Fig. 2.10 e 2.11.

Os painéis podem ser classificados como painéis estruturais e não-estruturais. Os painéis estruturais são aqueles usados para dar apoio a componentes como pisos, telhados e vigas (ver Fig. 2.10). Já os painéis não-estruturais são aqueles usados apenas para vedação do sistema. Podemos ver um exemplo de painéis não-estruturais na Fig. 2.11.

As conexões de tais sistemas são os seguintes:<sup>58</sup>

- Painel-painel em juntas verticais interiores e exteriores;
- Painel-painel em juntas horizontais interiores e exteriores;
- Painel-fundação.

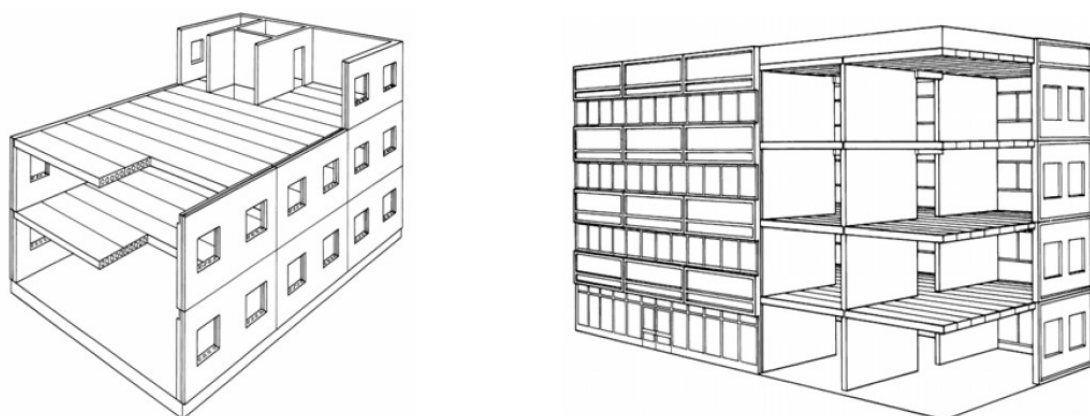


Figura 2.10 – Painéis estruturais de fachada e painéis estruturais de interior (Acker, 2008)

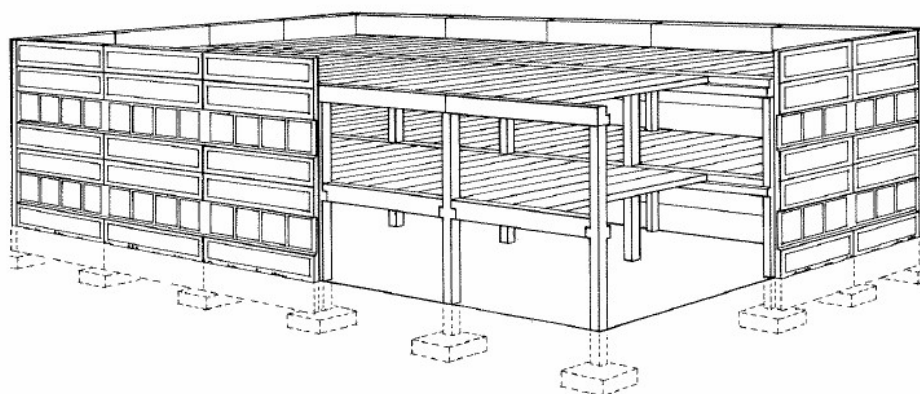


Figura 2.11 – Painéis não estruturais de fachada (Acker, 2008)

---

<sup>58</sup> ACKER, Arnold Van; RISE, Gunner; MENEGOTTO, Marco. *Conexões estruturais para prédios em concreto pré-moldado*. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2008. p. 7.

#### 2.4.4 Sistema de célula

As unidades modulares de betão pré-moldado têm sido muito utilizadas, principalmente, para a construção de prisões nos EUA (Estados Unidos da América). Seus usos estão se expandindo, cada vez mais, para salas de aula e outras aplicações, nas quais exige-se uma grande quantidade de quartos de tamanho similar e o cumprimento prazos apertados.<sup>59</sup>

Estes módulos podem ser concebidos para as estruturas de um a doze pavimentos.<sup>60</sup>

A capacidade de lançar os módulos e equipá-los com muitos dos seus sistemas incluindo canalização, eletricidade, camas, espelhos e mecânicas necessárias, tornou-o especialmente popular para instalações prisionais.

Os módulos são expressos como unidades simples ou multicelulares, com até quatro células em um componente monolítico.<sup>61</sup>

A configuração de um módulo de célula dupla inclui tipicamente um espaço vertical entre as duas células para alojamento de tubulação elétrica e mecânica.

As paredes exteriores são tipicamente isoladas com 10 cm de isolamento rígido e fibras de carbono não condutoras, que aumentam o desempenho térmico da estrutura.<sup>62</sup>

Os sistemas de células de betão pré-fabricados são compostos por elementos de célula fechada ou elementos celulares abertos.

Estruturas completas podem ser feitas através da combinação de elementos de células, sendo comum também sua utilização para partes específicas de uma estrutura, por exemplo, áreas molhadas, e combiná-las com paredes comuns e sistemas de chão.<sup>63</sup>

---

<sup>59</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *MANUAL: Designing with Precast and Prestressed Concrete*. Chicago. p. 1C-3.

<sup>60</sup> *Ibid.*, p. 1C-3.

<sup>61</sup> *Ibid.*, p. 1C-3.

<sup>62</sup> *Ibid.*, p. 1C-3.

<sup>63</sup> ACKER, Arnold Van; RISE, Gunner; MENEGOTTO, Marco. *Conexões estruturais para prédios em concreto pré-moldado*. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2008. p. 9.

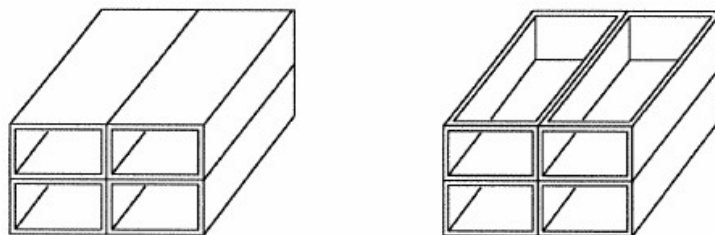


Figura 2.12 – Sistema de células pré-fabricados (Acker, 2008)



Fotografia 2.1 – Sistema de células (PCI, 2004)

#### 2.4.5 Sistema de armação resistente a momento fletor

Os sistemas de armação resistentes ao momento fletor de betão pré-moldado/fabricado são encontrados em sistemas esqueletos ou pórticos, onde a ação da estrutura é usada para a estabilização.

Isto é obtido através da combinação de elementos em forma de H, elementos em forma de L ou pórticos, com ligações monolíticas nas intersecções entre vigas e pilares dentro do elemento. Os elementos são ligados em locais onde a resistência à flexão não é necessária.<sup>64</sup>

Em alternativa, as ligações entre elementos de viga e pilar podem ser concebidas e detalhadas para obtenção da capacidade de continuidade e do momento resistente necessário, no entanto, isso muitas vezes faz com que as ligações fiquem mais complicadas e caras, e, em razão disso, tal solução raramente é utilizada na prática.<sup>65</sup>

<sup>64</sup> ACKER, Arnold Van; RISE, Gunner; MENEGOTTO, Marco. *Conexões estruturais para prédios em concreto pré-moldado*. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2008. p. 8.

<sup>65</sup> Ibid., p. 8.

## 2.5 LIGAÇÕES ESTRUTURAIS

Segundo a (ABNT) – NBR 9062/2006, entende-se como ligação:

Dispositivos utilizados para compor um conjunto estrutural a partir de seus elementos, com a finalidade de transmitir os esforços solicitantes, em todas as fases de utilização, dentro das condições de projeto, mantendo as condições de durabilidade ao longo da vida útil da estrutura conforme definido o conceito de vida útil da ABNT NBR 6118.<sup>66</sup>

Os elementos pré-fabricados podem ser conectados mecanicamente de diversas maneiras, como, parafusos, soldas, aço reforçado, *grout* e betão nas juntas.

Entretanto, conectar os elementos não é só uma questão de fixar os elementos uns aos outros, mas sim de garantir a integridade de toda estrutura.<sup>67</sup>

A FIB alega o seguinte sobre como as ligações estruturais afetam o comportamento global da estrutura:

Na construção completa, as ligações estruturais formarão uma parte essencial do sistema estrutural global. A resposta estrutural dependerá do comportamento e características destas ligações. O layout estrutural, o arranjo das unidades estabilizantes, o design do sistema estrutural, seus subsistemas e o design e detalhamento das ligações, devem ser feitos consistentemente e com conhecimento do comportamento estrutural desejado, para alcançar um design satisfatório.<sup>68</sup>

Para esta instituição, a principal finalidade das ligações estruturais, é a transferência de forças entre os elementos de betão pré-moldado/fabricado, a fim de se obter uma interação estrutural quando o sistema é carregado.

Dessa forma, pela capacidade de transferir forças, as ligações devem garantir o comportamento estrutural pretendido da superestrutura e os subsistemas de pré-moldados/fabricados que são integrados na mesma.

Por esta razão, as conexões estruturais devem ser consideradas como partes essenciais e integradas do sistema estrutural e devem ser concebidas em conformidade e com o mesmo cuidado, como para, os elementos de betão pré-moldado/fabricado.

---

<sup>66</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Projeto NBR 9062: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro, 2006.

<sup>67</sup> ACKER, Arnold Van; RISE, Gunner; MENEGOTTO, Marco. *Conexões estruturais para prédios em concreto pré-moldado*. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2008. p. 2.

<sup>68</sup> *Ibid.*, p. 2.

É insuficiente apenas considerar as conexões como detalhes para montagem local, uma vez que as vantagens que normalmente são obtidas com a pré-fabricação podem ser perdidas com um design impróprio e mal detalhamento das ligações estruturais.”<sup>69</sup>

### **2.5.1 Esforços a transmitir**

Para muitas conexões estruturais, o comportamento é dominado por um dos esforços a baixo.<sup>70</sup>

- Força de compressão
- Força de tração
- Força de corte
- Momento fletor
- Momento torsor
- Combinação de vários

Às vezes, as ligações são classificadas por esta ação dominante, como: “conexões de cisalhamento”, “conexões de compressão”, etc. No entanto, muitas vezes as ligações estruturais devem ser capazes de transferir uma combinação desses esforços.

### **2.5.2 Elementos a ligar**

#### **2.5.2.1 Ligação pilar-fundação**

A fabricação das fundações e dos pilares tem de ser realizada com elevada precisão, devendo sempre ter em mente o tipo de ligação que será feita, de forma a evitar que erros e eventuais correções aconteçam na hora da colocação do pilar na fundação em obra.

Os tipos de ligações de pilar-fundação existentes são as seguintes:

---

<sup>69</sup> ACKER, Arnold Van; RISE, Gunner; MENEGOTTO, Marco. *Conexões estruturais para prédios em concreto pré-moldado*. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2008. p. 31-32.

<sup>70</sup> Ibid., p. 35.

a) Ligação por encaixe;

A ligação considerada mais prática, econômica e mais utilizada é a ligação por encaixe.

Segundo José Lello, “a geometria da fundação pode apresentar formas bastante diversas. Normalmente, a fundação é constituída por uma sapata, que se prolonga na parte superior por uma caixa, na qual é introduzido o pilar”.<sup>71</sup>

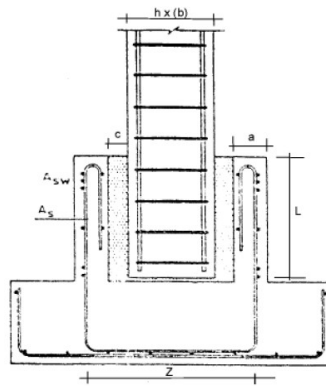


Figura 2.13 – Fundação pré-fabricada com encaixe (Lello, 2015)

Noutros casos, a sapata tem a forma de um paralelepípedo de grande altura, onde se realiza a cavidade.

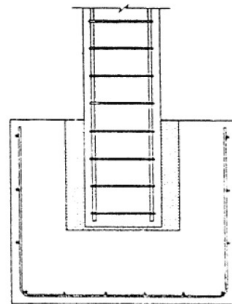


Figura 2.14 – Fundação pré-fabricada com encaixe (Lello, 2015)

A espessura da parede do pedestal, “a”, visto na figura 2.13, deve ser superior a 1/3 da maior distância interna entre paredes do pedestal, com um mínimo de 10cm, ou seja:

$$a \geq \text{Max} \left[ \frac{b + 2c}{3}; \frac{h + 2c}{3}; 10\text{cm} \right]$$

<sup>71</sup> LELLO, José Carlos de Almeida Gouveia. *Aula 3: pilar-sapata*. Porto, 2015. 35 slides. p. 10-13.

Segundo a NP EN 1992-1-1(2010):<sup>72</sup>

As fundações de encaixe devem ser capazes de transferir os esforços verticais, os momentos fletores e os esforços horizontais dos pilares ao terreno. As dimensões do encaixe devem ser suficientes para permitir boa betonagem (*grout*) sob a base do pilar e em torno dele.

Existem 2 tipos de fundação por encaixe: com junta dentada e com junta lisa, como mostra a figura 2.15.

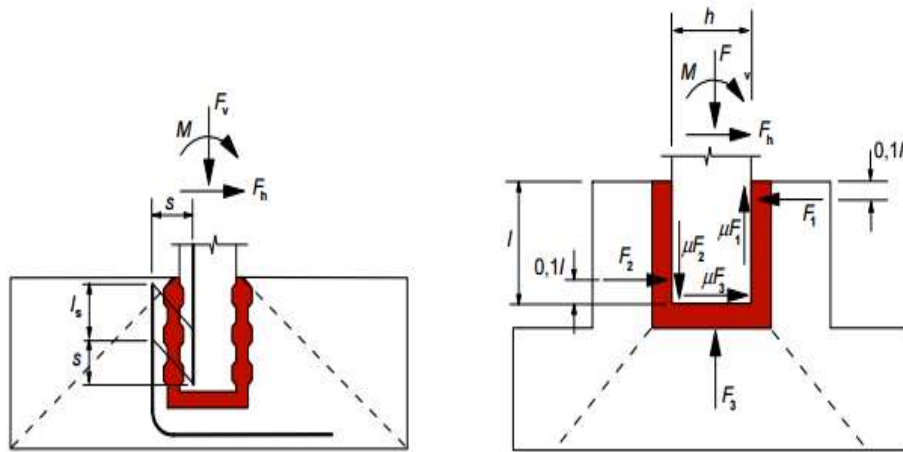


Figura 2.15 – Fundações pré-fabricadas com encaixe com junta dentada (esquerda) e com junta lisa (direita) (NP EN, 2010)

Os encaixes denteados, segundo a NP EN 1992-1-1(2010), são aqueles fabricados especificamente com paredes denteadas ou recortadas, atuando monoliticamente com o pilar.<sup>73</sup>

Já nos encaixes lisos, pode se considerar que a transmissão das forças e do momento do pilar para a fundação é efetuada por esforços de compressão  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ , através do betão de enchimento e das forças de atrito correspondentes, como representado na figura acima. Este modelo requer que seja verificada a condição  $l \geq 1,2h$ .<sup>74</sup>

Nas figuras 2.16 e 2.17, podemos ver alguns exemplos de ligação por encaixe. Nesta ligação, a fundação pode ser pré-fabricada em forma de cálice, como na figura 2.17, ou *in situ*.

<sup>72</sup> INSTITUTO PORTUGUÊS DE QUALIDADE. NP EN 1992-1-1: eurocódigo 8: projeto de estruturas de betão: regras gerais e regras para edifícios: regras adicionais relativas a elementos e estruturas pré-fabricadas de betão: fundações de encaixe. Caparica, 2010. p. 205.

<sup>73</sup> Ibid., p. 205.

<sup>74</sup> Ibid., p. 205.



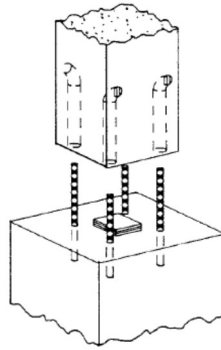


Figura 2.20 – Ligação com chumbadores cravados com argamassa não retrátil (Levy, 2000)

#### c) Ligações por ancoragens parafusadas

Nas ligações pilar-fundação parafusadas, representadas nas figuras 2.21 e 2.22, são utilizadas chapas ou cantoneiras na parte inferior do pilar, que são soldadas a armaduras longitudinais do pilar, onde posteriormente, na obra, serão parafusadas à fundação.

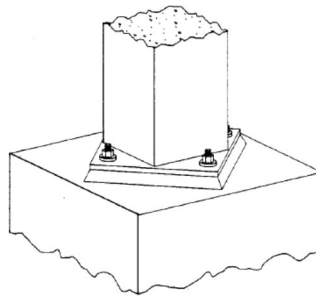


Figura 2.21 – Ligação por ancoragem parafusada (Levy, 2000)

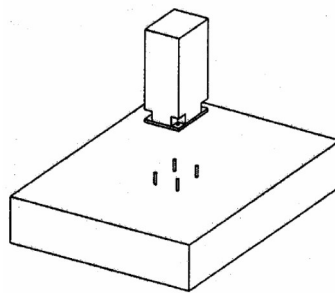


Figura 2.22 – Ligação por ancoragem parafusada (Acker, 2002)

#### d) Ligação por parafusos

Quando o pilar tiver uma grande dimensão, conseqüentemente, a cavidade da fundação de encaixe tem que ser maior para se adequar a esta dimensão. Neste caso, pode-se utilizar outras soluções de fundação, que podem, dependendo da dimensão do pilar, ser mais econômicas e eficazes que as ligações por encaixe. Podemos ver alguns exemplos dessas soluções nas figuras 2.23, 2.24 e 2.25.

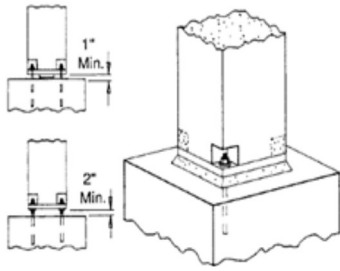


Figura 2.23 – Ligação por parafusos (Levy, 2000)

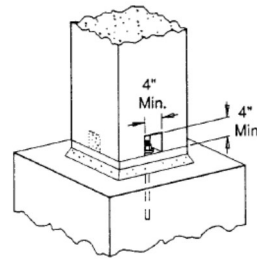


Figura 2.24 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981)

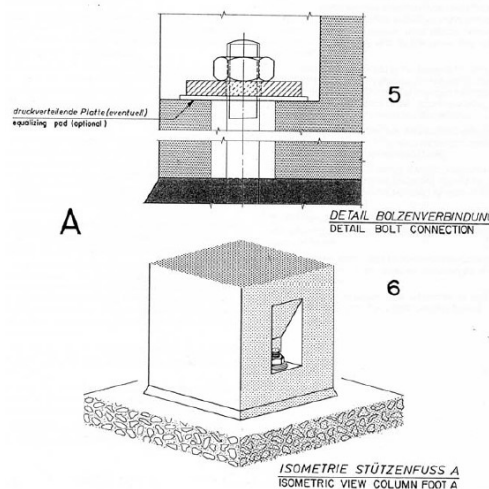


Figura 2.25 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981)

e) Ligação por chapa

Segundo Jose Lello:<sup>75</sup>

Neste tipo de ligações, a fundação dispõe de chumbadores, com extremidade saliente e roscada, embecidos e devidamente amarrados no betão (betão). A face inferior do pilar apresenta uma chapa metálica com a furação concordante com a posição dos chumbadores, à qual se encontram soldados os varões da armadura longitudinal do pilar.

Assim sendo, o pilar é posicionado sobre a fundação, sendo o nivelamento obtido através da colocação de calços de madeira ou com auxílio de um sistema de porcas e contraporcas colocadas na face inferior da chapa.<sup>76</sup>

O espaço entre a fundação e a chapa é selado com argamassa não retrátil, cuja resistência deverá ser igual ou superior à do betão dos elementos estruturais.<sup>77</sup>

<sup>75</sup> LELLO, José Carlos de Almeida Gouveia. *Aula 4: pilar-sapata*. Porto, 2015. 25 slides. p. 7-8.

<sup>76</sup> *Ibid.*, p. 7-8.

<sup>77</sup> *Ibid.*, p. 7-8.



Fotografia 2.2 – Ligação pilar metálico – fundação de betão por chapa (Lello, 2003)

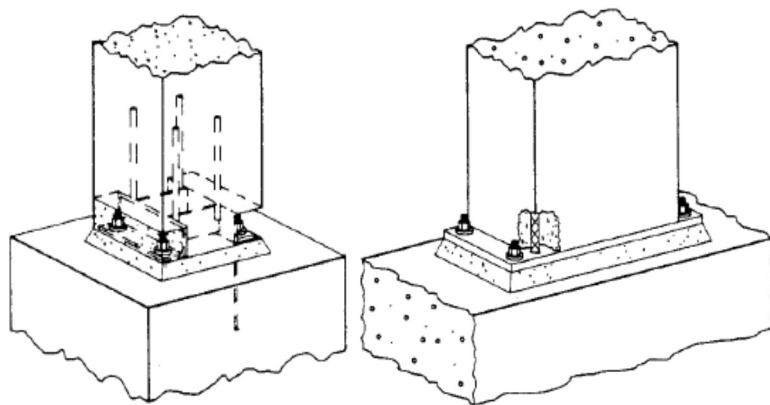


Figura 2.26 – Ligação por chapa (Levy, 2000)

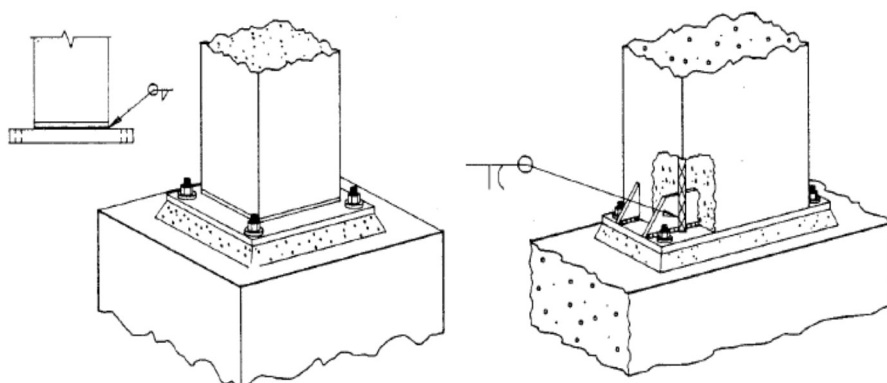


Figura 2.27 – Ligação por chapa (Levy, 2000)

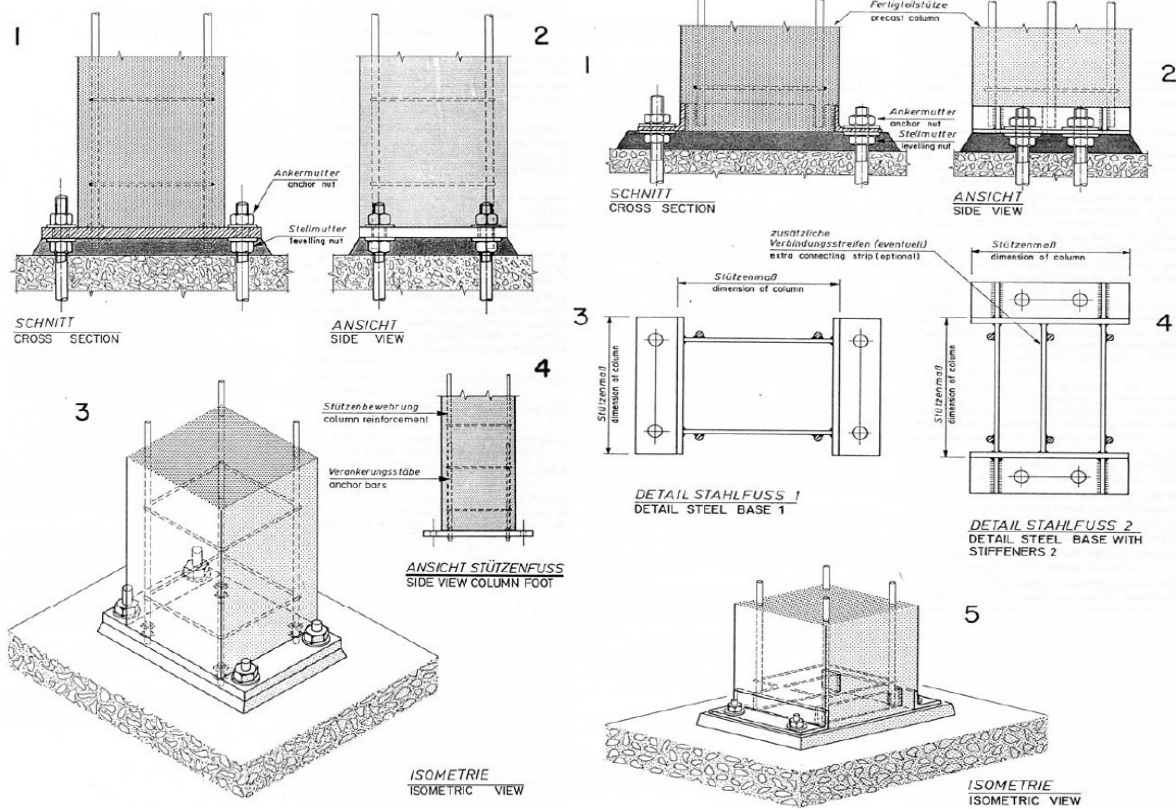


Figura 2.28 – Ligação por chapa (Stupré, 1981)

f) Ligação por soldagem a chapa e barras de aço

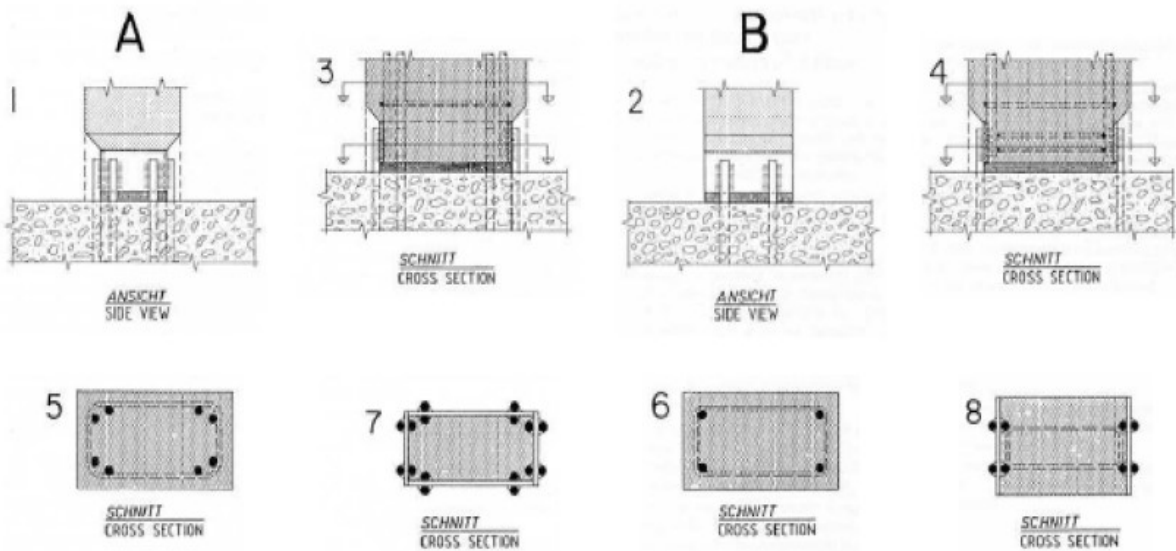


Figura 2.29 – Ligação por soldagem a chapa e barras de aço (Stupré, 1981)

g) Ligação por soldagem a chapa

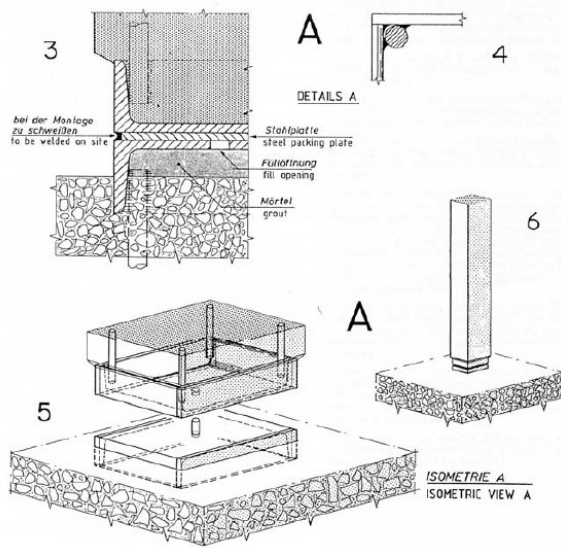


Figura 2.30 – Ligação por soldagem a chapa (Stupré, 1981)

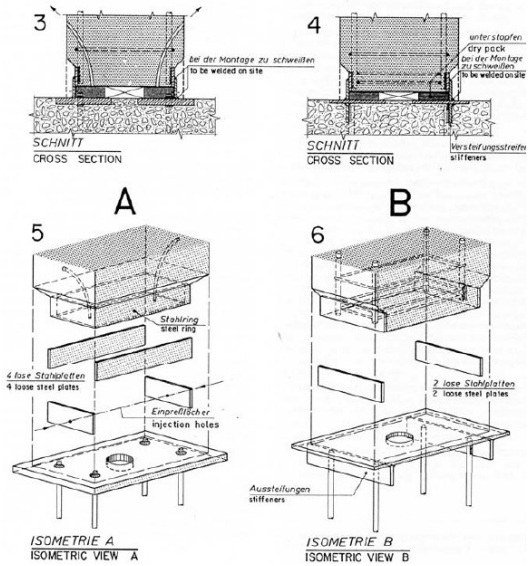


Figura 2.31 – Ligação por soldagem a chapa (Stupré, 1981)

h) Ligação por conectores de barras de aço

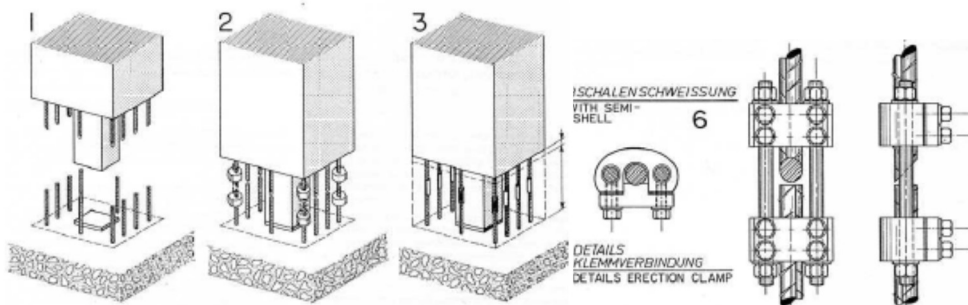


Figura 2.32 – Ligação por conectores de barras de aço (Stupré, 1981)

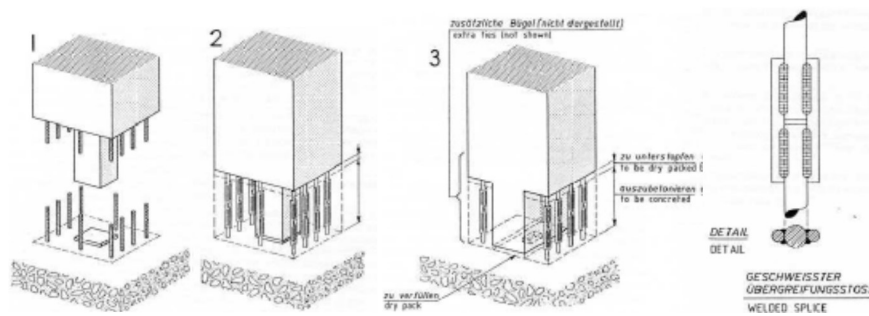


Figura 2.33 – Ligação por conectores de barras de aço (Stupré, 1981)

i) Ligação por soldagem de barras de aço

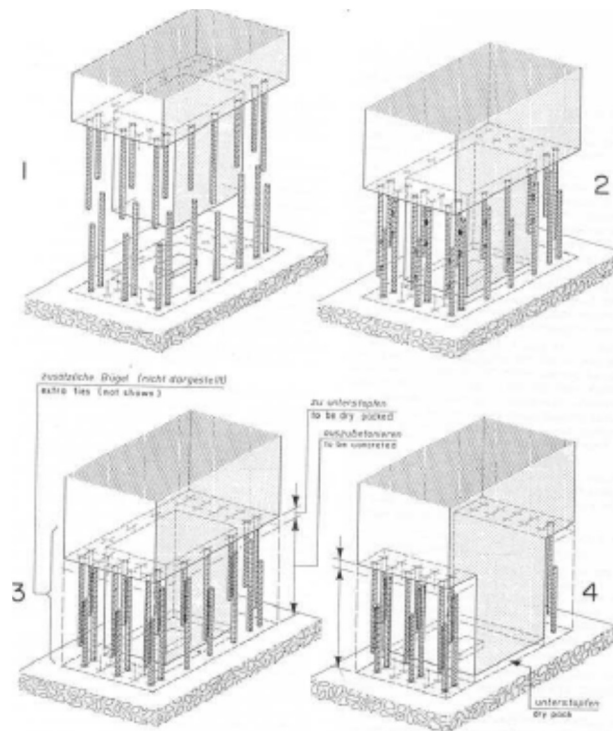


Figura 2.34 – Ligação por soldagem de barras de aço (Stupré, 1981)

j) Ligação por pós-tensão

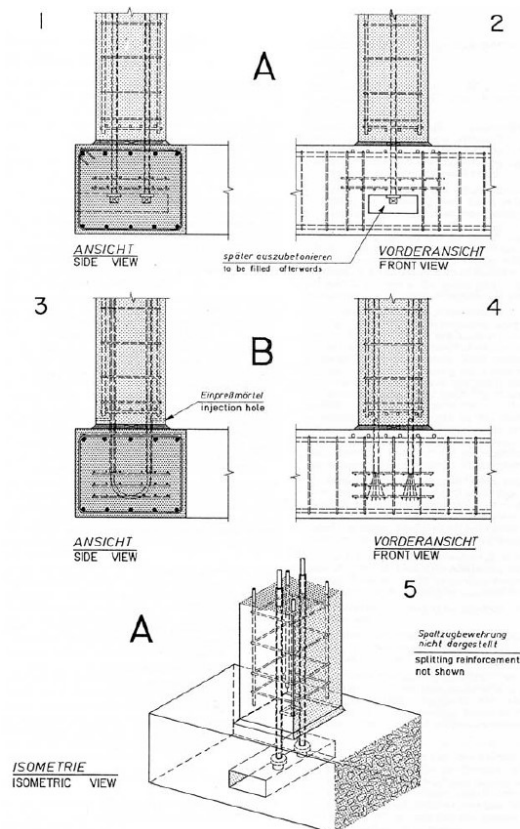


Figura 2.35 – Ligação por pós-tensão (Stupré, 1981)

## k) Ligação por rótula

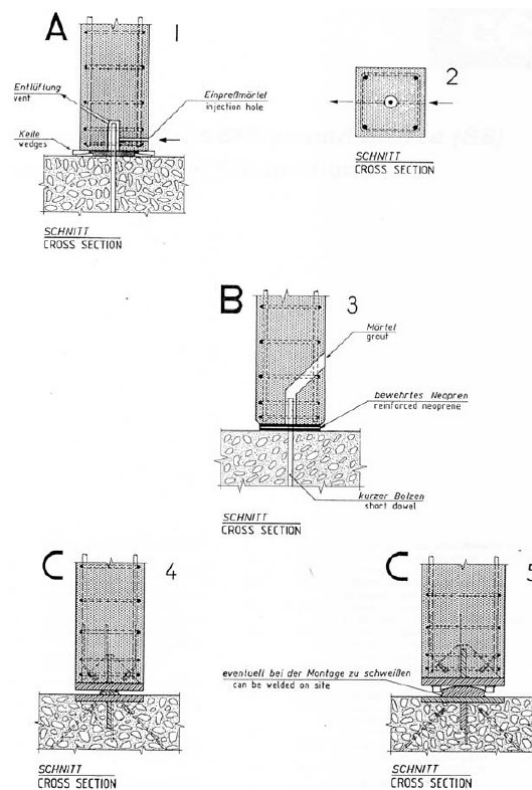


Figura 2.36 – Ligação por rótula (Stupré, 1981)

## 2.5.2.1.1 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 2.38, dois detalhamentos de bases que são mais usadas.<sup>78</sup>

Na análise das cargas de montagem ou cargas de construção temporárias, antes da aplicação da argamassa não retrátil 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 ancoragem é determinado pela tensão ou compressão na zona de tensão da parte rosqueada do parafuso. Os chumbadores podem ser executados com parafusos (ASTM A 307) ou, mais frequentemente, com barras 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 chumbadores, as tensões podem ser significativamente reduzidas, devido à

<sup>78</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *Design handbook: precast and prestressed concrete*. Chicago, 2004. p. 6-66

utilização de calços, colocados adequadamente durante a montagem. Na figura 2.37, pode-se ver um detalhamento da placa e dos parafusos de ancoragem.

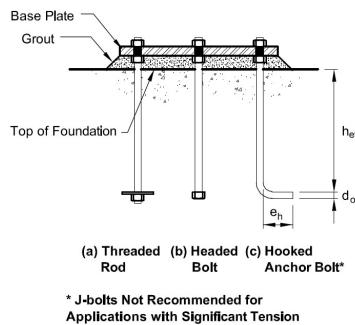


Figura 2.37 – Detalhamento placa e parafusos de ancoragem (PCI, 2004)

Quando os parafusos estão perto de um bordo livre, como num cais ou numa parede, deve-se levar em consideração a deformação dos parafusos antes da betonagem.

O confinamento da armadura deve ser previsto nos casos apresentados na figura 2.38. 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 ruptura do betão ou com base no escoamento do aço.

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

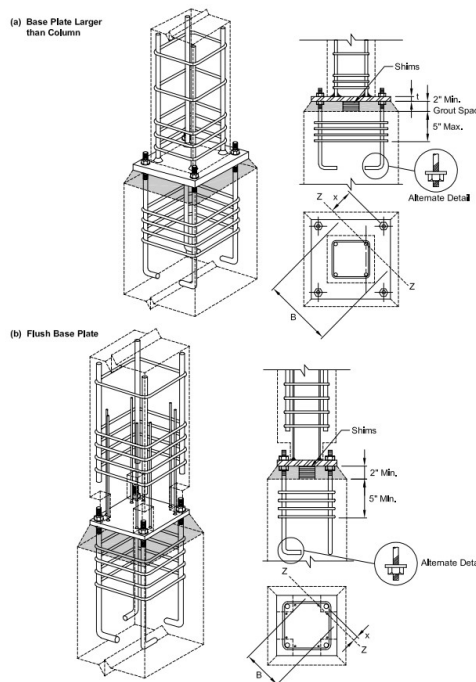


Figura 2.38 – Detalhamento de placas de base do pilar (PCI, 2004)

### 2.5.2.1.2 Modos de ruptura das ancoragens

Segundo Cardoso, a ruptura das ancoragens pode dar-se por:<sup>79</sup>

- a) Ruptura pelo aço: Esta dá-se quando é atingida a tensão de rotura à tração do aço;
- b) Ruptura por aderência: Resulta da aderência entre dois materiais diferentes, quer pela reação aço-“grout”, quer pela reação “grout”-betão, sendo a ruptura caracterizada, normalmente, pela formação de um pequeno cone superficial no betão;
- c) Ruptura pelo betão: As tensões de tração no betão desenvolvidas devido à tração da barra de aço ancorada podem levar à formação de uma superfície de ruptura em forma de cone, que se destaca em conjunto com a barra de aço. Este tipo de ruptura depende da profundidade da ancoragem e da resistência à tração do betão;
- d) Ruptura por fendilhamento (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 ( $W_k0.3\text{mm}$ ), então a resistência do cone de betão e a resistência ao arrancamento são válidas para ancoragens em betão fendilhado.

	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	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp}/\gamma_{M,sp}$	$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp}/\gamma_{M,sp}$

Tabela 2.2 – Verificações necessárias para garantir a segurança de uma ancoragem à tração (Cardoso, 2011)

### 2.5.2.1.3 Ligação Rígida

Segundo Jose Lello:<sup>80</sup>

Adoptando o princípio "ligação forte — pilar fraco", de modo a que a rotura ocorra na extremidade do pilar enquanto na ligação os chumbadores e a chapa se mantêm em regime linear (ligação rígida), o modelo de cálculo recomendado, designado por método do "estado de serviço", admite uma relação linear entre os esforços atuantes na ligação e a deformação dos chumbadores, bem como uma distribuição linear das tensões de contato.

<sup>79</sup> CARDOSO, D. M. B. Botelho. *Estudo experimental da ligação pilar-fundação em estruturas pré-fabricadas*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2011.p. 9-20.

<sup>80</sup> LELLO, José Carlos de Almeida Gouveia. *Aula 4: pilar-sapata*. Porto, 2015. 25 slides. p. 12 -15.

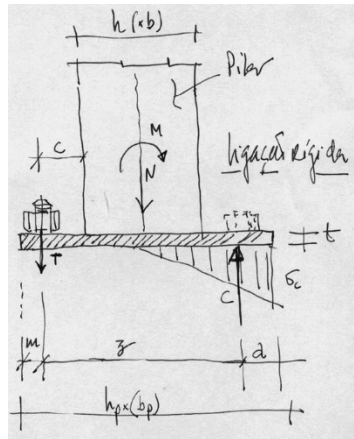


Figura 2.39 – Ligação rígida (Lello, 2015)

Sendo  $M$  e  $N$  os valores de cálculo dos esforços atuantes na base do pilar, fazendo o equilíbrio de forças e de momentos obtêm-se as seguintes equações:

$$N + T - \frac{3}{2} \cdot a \cdot b_p \cdot \sigma_c = 0$$

$$M - N \cdot \left( \frac{h_p}{2} - a \right) - T \cdot z = 0$$

com  $h_p = a + z + m$

Sendo:

- $T$  força nos chumbadouros traccionados
- $b_p, h_p$  dimensões da chapa
- $z$  braço do binário das forças interiores da ligação
- $a$  distância da resultante das compressões ao bordo da chapa
- $\sigma_c$  tensão máxima de compressão na superfície de contacto, não superior a  $0,6 f_{cd}$

#### 2.5.2.1.4 Ligação Plástica

De acordo com Jose Lello, “admitindo a possibilidade de plastificação dos chumbadouros ou da chapa, o modelo habitualmente recomendado considera uma distribuição uniforme de tensões de contacto. É o processo mais utilizado”.<sup>81</sup>

<sup>81</sup> LELLO, José Carlos de Almeida Gouveia. *Aula 4: pilar-sapata*. Porto, 2015. 25 slides. p.16

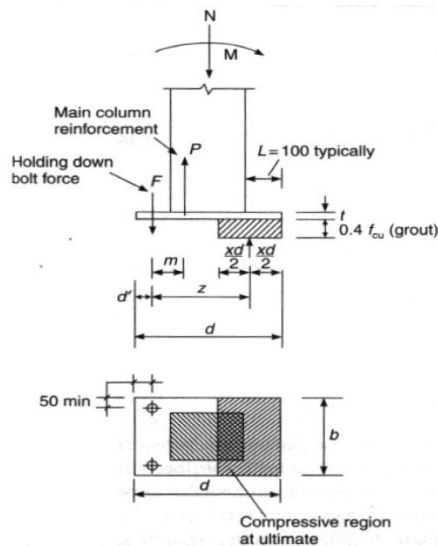


Figura 2.40 – Ligação plástica (Lello, 2015)

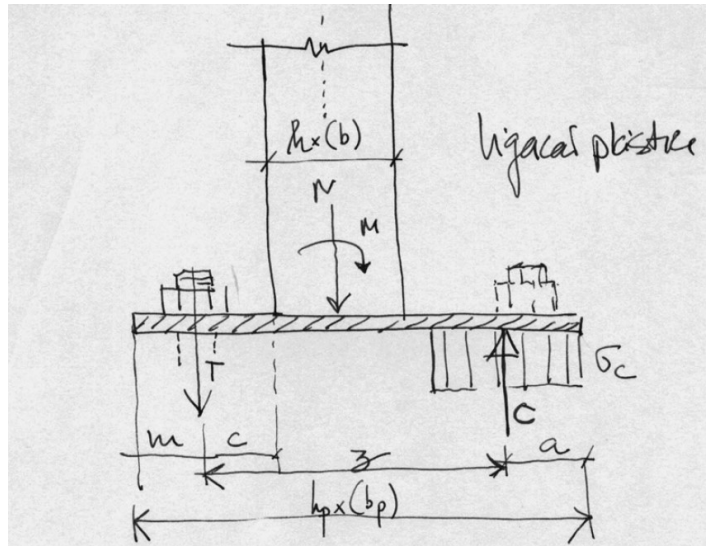


Figura 2.41 – Ligação plástica (Lello, 2015)

Sendo M e N os valores de cálculo dos esforços atuantes na base do pilar, fazendo o equilíbrio de forças e de momentos obtêm-se as seguintes equações:<sup>82</sup>

$$N + T - 2 \cdot a \cdot b_p \cdot \sigma_c = 0$$

$$M - N \cdot \left( \frac{h_p}{2} - a \right) - T \cdot z = 0$$

Neste tipo de ligação, há autores que admitem que  $\sigma_c$  (tensão máxima de compressão na superfície de contato) pode atingir o valor de 0,85 fcd.

O dimensionamento da chapa de ligação é efetuado garantindo-se que o momento resistente MRd de plastificação não é atingido quer nas zonas de trações quer na zona de compressões.

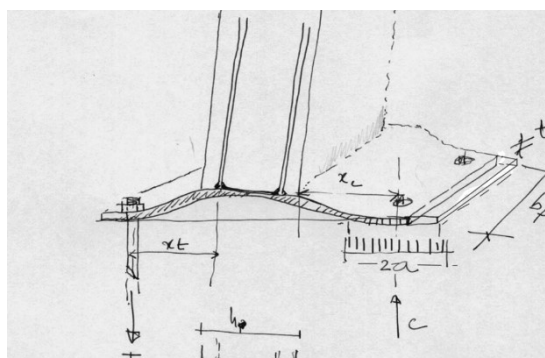


Figura 2.42 – Ligação plástica (Lello, 2015)

<sup>82</sup> LELLO, José Carlos de Almeida Gouveia. *Aula 4: pilar-sapata*. Porto, 2015. 25 slides. p.19-20

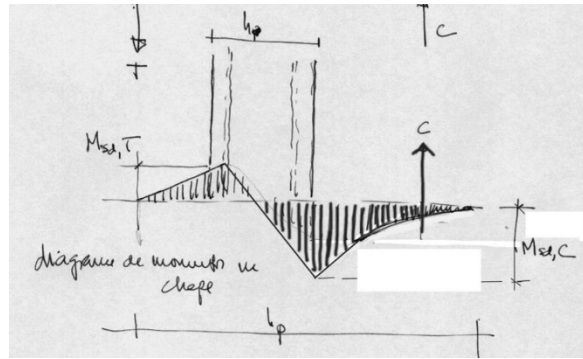


Figura 2.43 – Ligação plástica (Lello, 2015)

O momento plástico resistente da secção da chapa é dado por:<sup>83</sup>

$$M_{Rd} = \frac{W_p \cdot f_{pyd}}{\gamma_M}$$

No caso de uma chapa com espessura \$t\$ e largura \$b\_p\$ vem:

$$W_p = \frac{b_p \cdot t^3}{4}$$

$$M_{Rd} = \frac{b_p \cdot t^2 \cdot f_{pyd}}{4\gamma_M}$$

Sendo:

- $f_{pyd}$  tensão de cedência do aço que constitui a chapa
- $\gamma_M$  factor parcial de segurança, igual a 1,1
- $x_t$  distância entre o eixo dos chumbadouros à tração e a armadura longitudinal do pilar
- $x_c$  distância entre o eixo da resultante das tensões de compressão e a face do pilar

Os momentos atuantes são:

$$M_{sdT} = T \cdot x_t$$

$$M_{sdC} = C \cdot x_c$$

Pelo que a espessura da chapa é o maior dos seguintes valores:

$$t \geq 2 \times \frac{\sqrt{b_p \cdot f_{pyd} \cdot T \cdot x_t \cdot \gamma_M}}{b_p \cdot f_{pyd}}$$

$$t \geq 2 \times \frac{\sqrt{b_p \cdot f_{pyd} \cdot C \cdot x_c \cdot \gamma_M}}{b_p \cdot f_{pyd}}$$

<sup>83</sup> LELLO, José Carlos de Almeida Gouveia. *Aula 4: pilar-sapata*. Porto, 2015. 25 slides. p. 23-25.

### 2.5.2.2 Ligação pilar-pilar

A ligação pilar-pilar tem como principal objetivo criar uma ligação monolítica entre os pilares, para que estes trabalhem como um único elemento.

Essas ligações são feitas por conectores, soldagens ou aparafusamento de conectores mecânicos ancorados nos elementos pré-fabricados em separado, ou pela continuidade do reforço, através de uma junta preenchida com “grout”.<sup>84</sup>

Os tipos de ligações existentes são:

a) Ligação por conectores de barra de aço

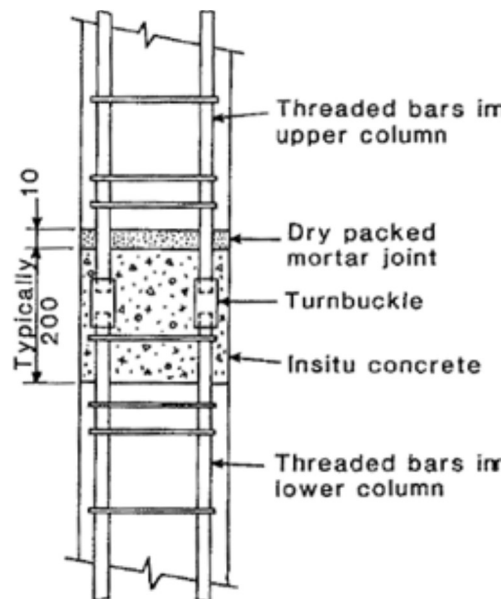


Figura 2.44 – Ligação por conectores de barra de aço (Elliot, 1996)

<sup>84</sup> MAGALHÃES, António José Soares de. *A pré-fabricação em betão em edifícios*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013. p. 82.

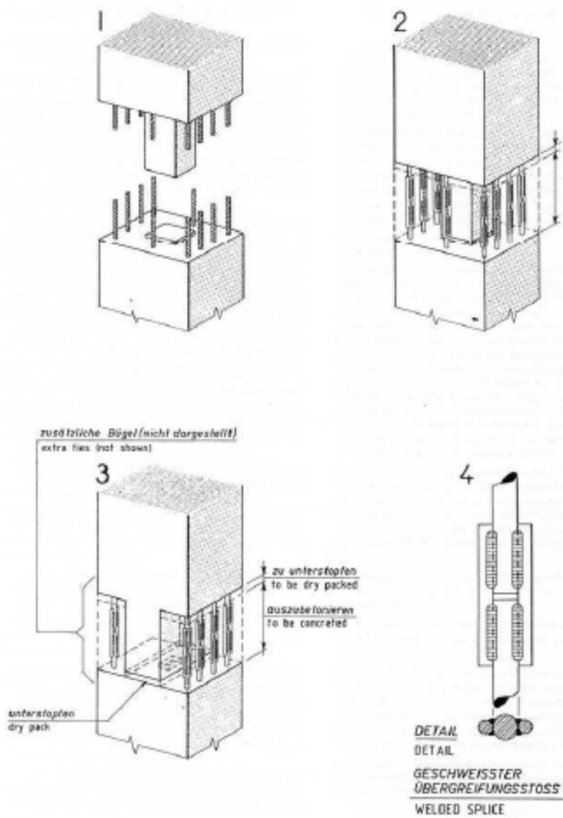


Figura 2.45 – Ligação por conectores de barra de aço (Stupré, 1981)

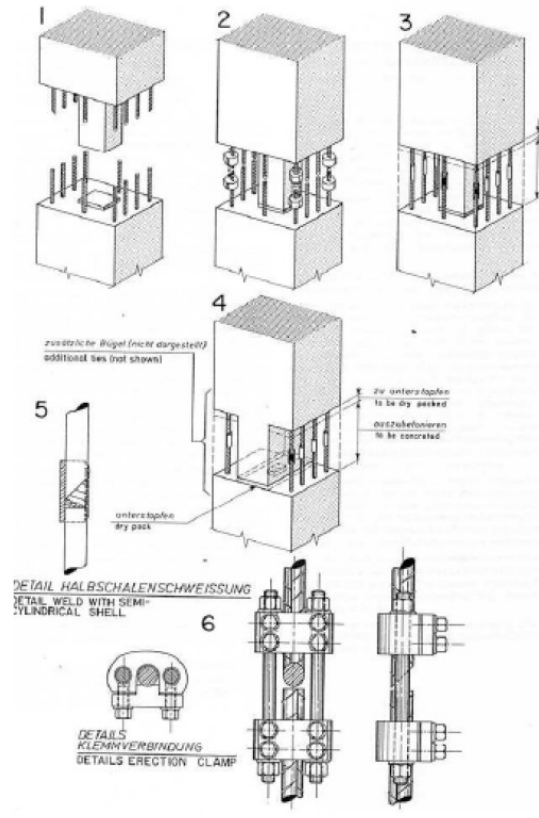


Figura 2.46 – Ligação por conectores de barra de aço (Stupré, 1981)

b) Ligação por chapa/barra de aço sobreposto soldada

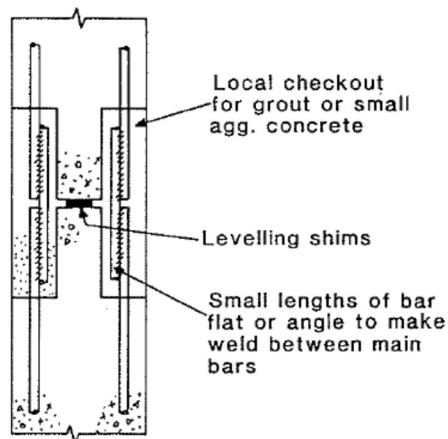


Figura 2.47 – Ligação por chapa/barra de aço sobreposto soldada (Elliot, 1996)

c) Ligação por parafusos;

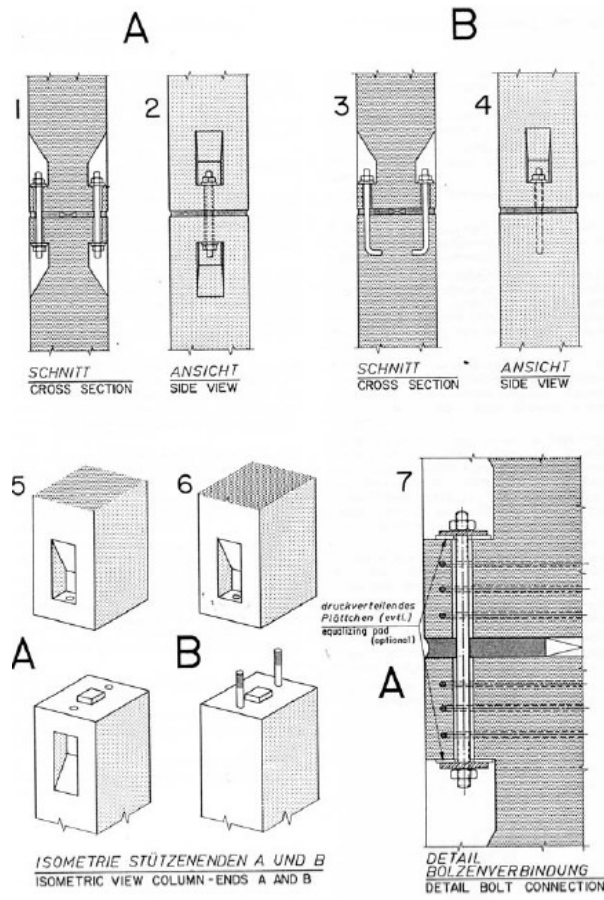


Figura 2.48 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981)

d) Ligação por soldagem de chapas;

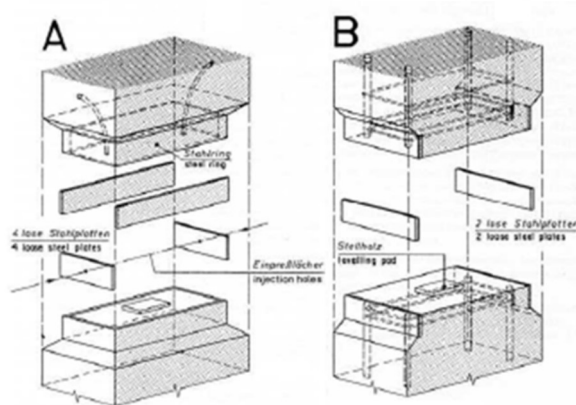


Figura 2.49 – Ligação por soldagem de chapas (Stupré, 1981)

e) Ligação por soldagem de chapas a barras de aço;

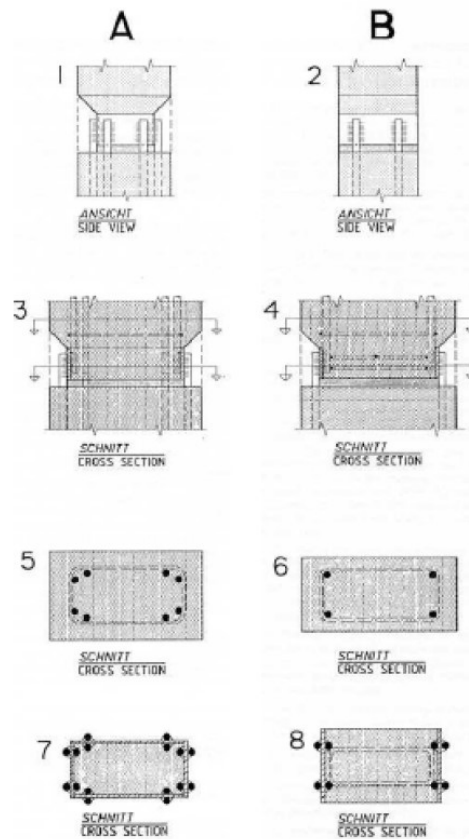


Figura 2.50 – Ligação por soldagem de chapas a barra de aço (Stupré, 1981)

f) Ligação por soldagem de perfis nas faces;

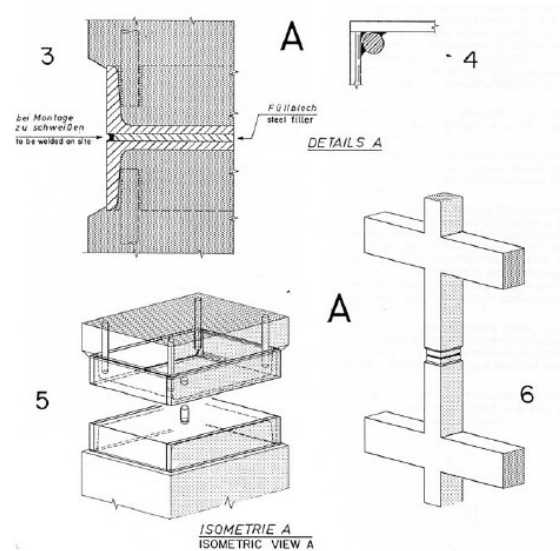


Figura 2.51 – Ligação por soldagem de perfis na face (Stupré, 1981)

g) Ligação por soldagem de barras de aço.

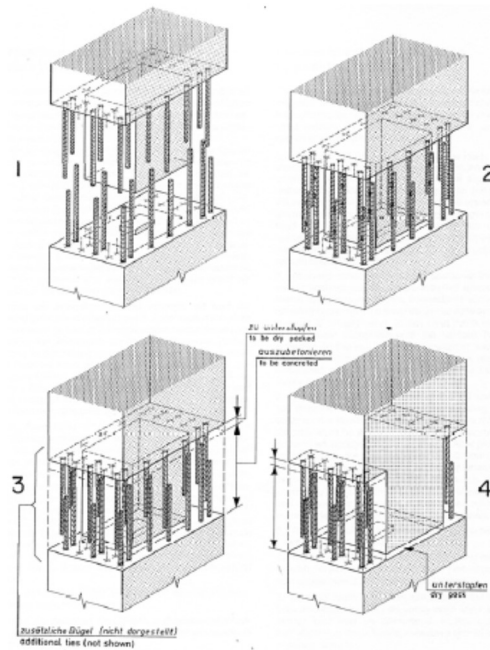


Figura 2.52 – Ligação por soldagem de barras de aço (Stupré, 1981)

h) Ligação por rótula

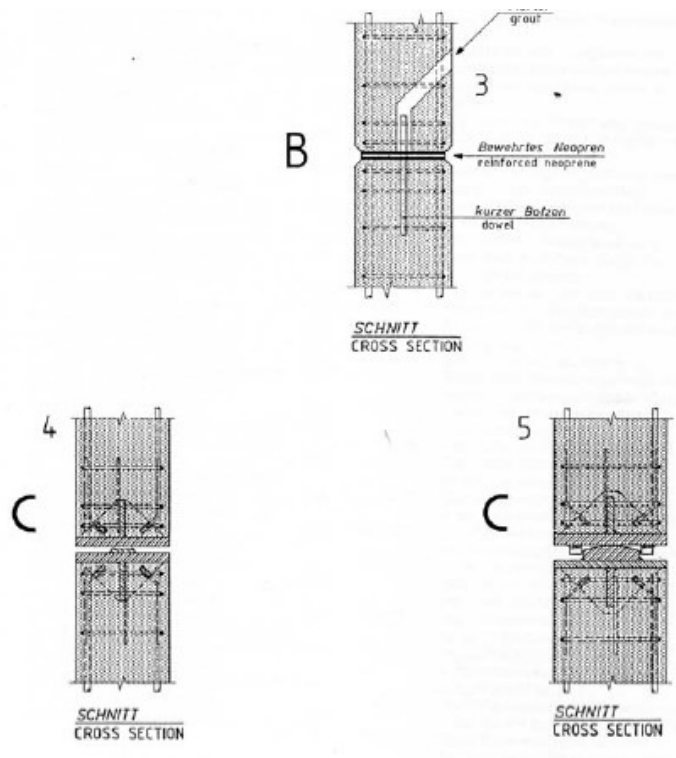


Figura 2.53 – Ligação por rótula (Stupré, 1981)

Antonio Magalhaes defende que “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 2.54”.<sup>85</sup>

O nível das primeiras ligações é geralmente repartido entre os terceiro e quarto andares, exceto as 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.<sup>86</sup>

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.

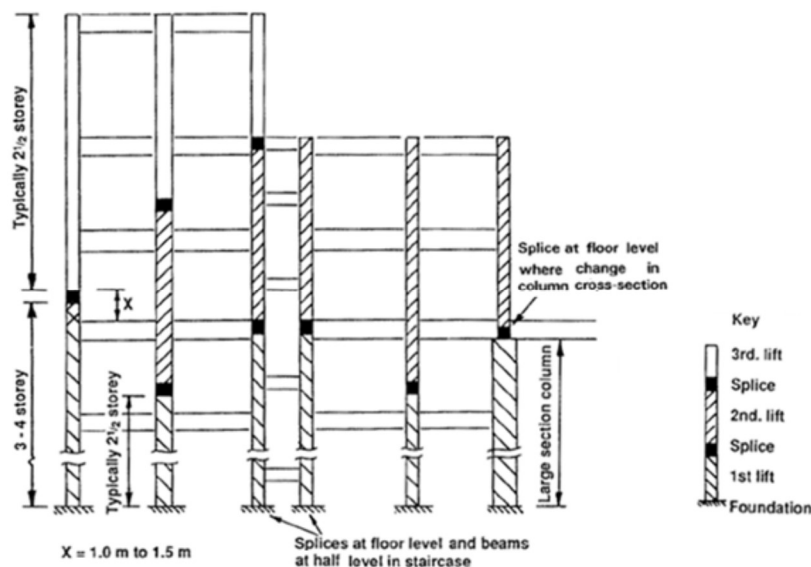


Figura 2.54 – Posições preferidas para emendas de colunas em vários andares. Estrutura multicompartimentada. (Stupré, 1981)

<sup>85</sup> MAGALHÃES, António José Soares de. *A pré-fabricação em betão em edifícios*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013. p. 82.

<sup>86</sup> *Ibid.*, p. 82.

### 2.5.2.3 Ligação viga-pilar

A ligação viga-pilar tem como objetivo a transferência das cargas das vigas para os pilares.

Podemos dividir essas ligações em 2 grupos, ligações em vigas de piso e em vigas de cobertura. Esses grupos podem ser divididos em outros 2 grupos, ligações sem continuidade e ligações com continuidade.

Em todas as ligações que a viga ficar apoiada sobre o pilar ou sobre o consolo, será necessário o uso de aparelhos de apoio, como o neoprene.

De acordo com Antonio Magalhães, “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:<sup>87</sup>

- 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.<sup>88</sup>

---

<sup>87</sup> MAGALHÃES, António José Soares de. *A pré-fabricação em betão em edifícios*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013. p. 89.

<sup>88</sup> *Ibid.*, p. 89.

2.5.2.3.1 Vigas de piso:

As ligações sem continuidade são:

a) Ligação por consolo metálico

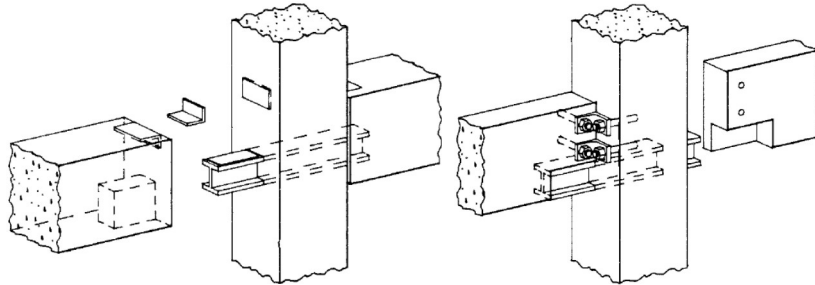


Figura 2.55 – Ligação por consolo metálico (Levy, 2000)

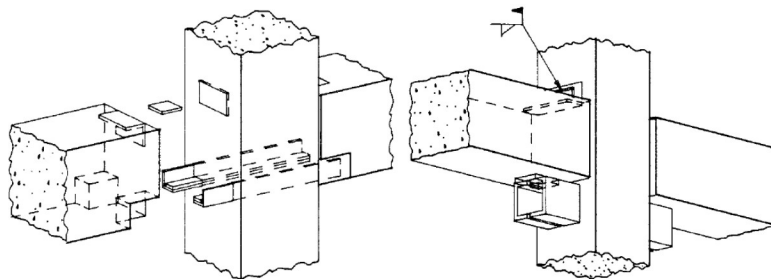


Figura 2.56 – Ligação por consolo metálico (Levy, 2000)

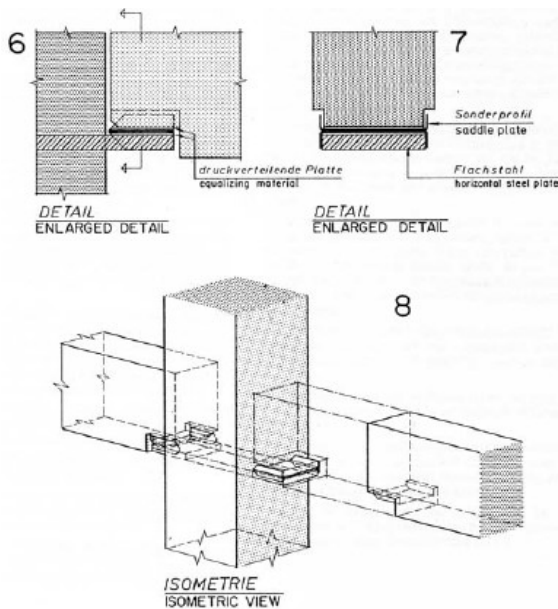


Figura 2.57 – Ligação por consolo metálico (Stupré, 1981)

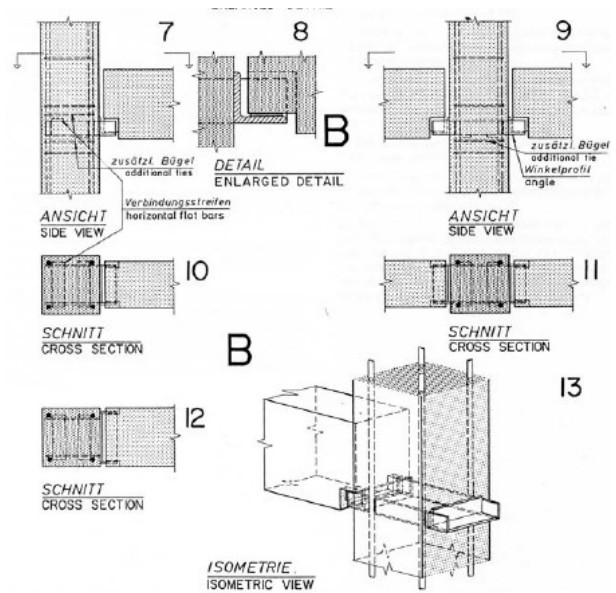


Figura 2.58 – Ligação por consolo metálico (Stupré, 1981)

b) Ligação por consolo de betão

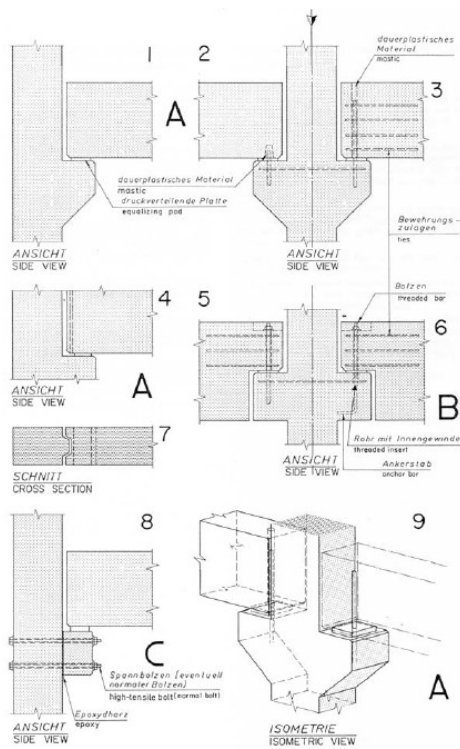


Figura 2.59 – Ligação por consolo de betão (Stupré, 1981)

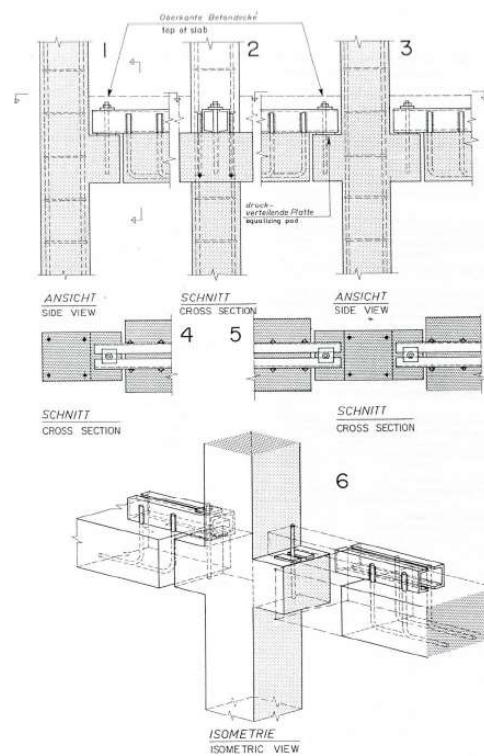


Figura 2.60 – Ligação por consolo de betão (Stupré, 1981)

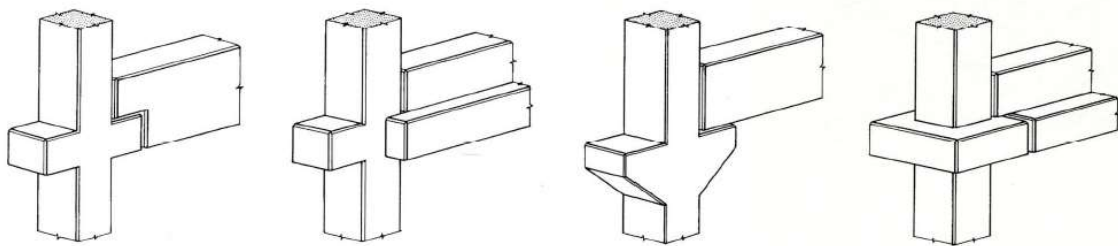


Figura 2.61 – Diferentes tipos de consolo de betão (Stupré, 1981)

Já as ligações com continuidade são:

a) Ligação por chapas soldadas:

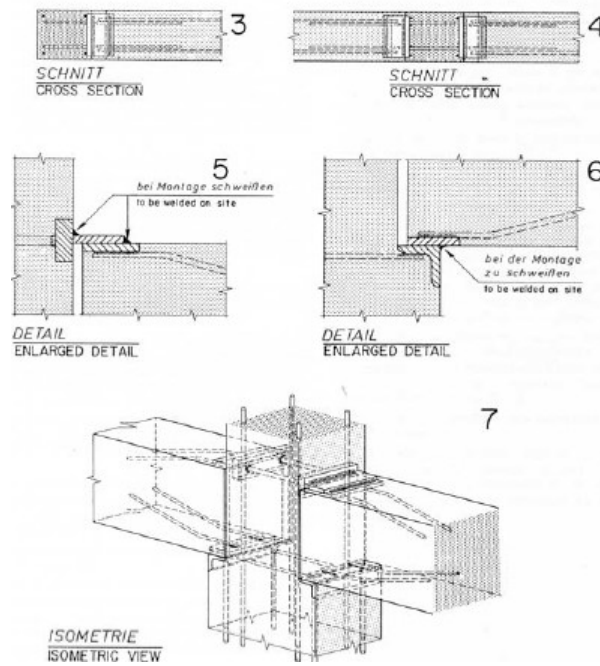


Figura 2.62 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981)

b) Ligação por consolo de betão e protensão

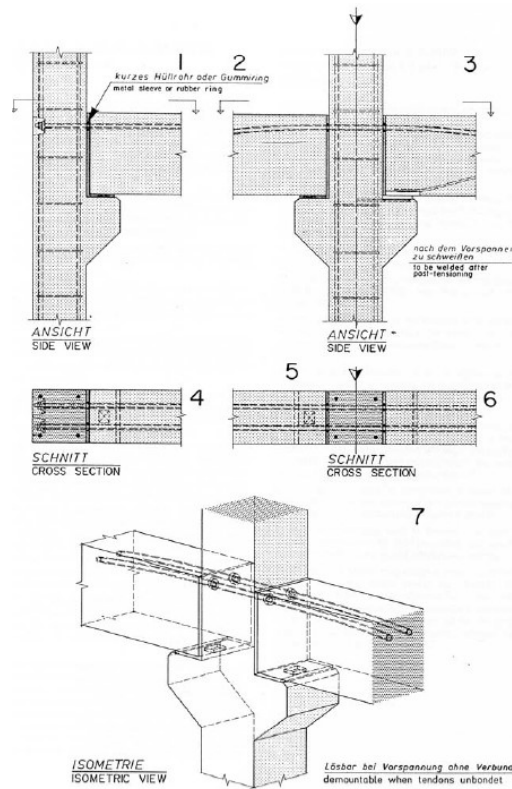


Figura 2.63 – Ligação por consolo de betão e protensão (Stupré, 1981)

c) Ligação por consolo de betão e armadura comum

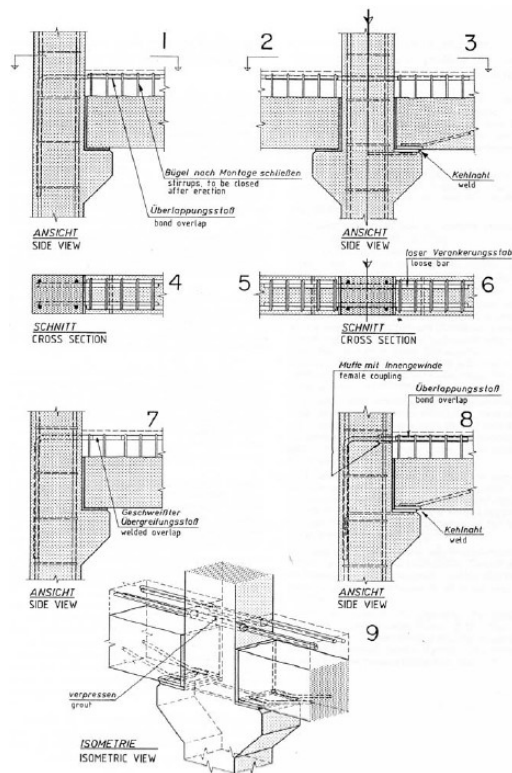


Figura 2.64 – Ligação por consolo de betão e armadura comum (Stupré, 1981)

d) Ligação por betonagem *in situ*

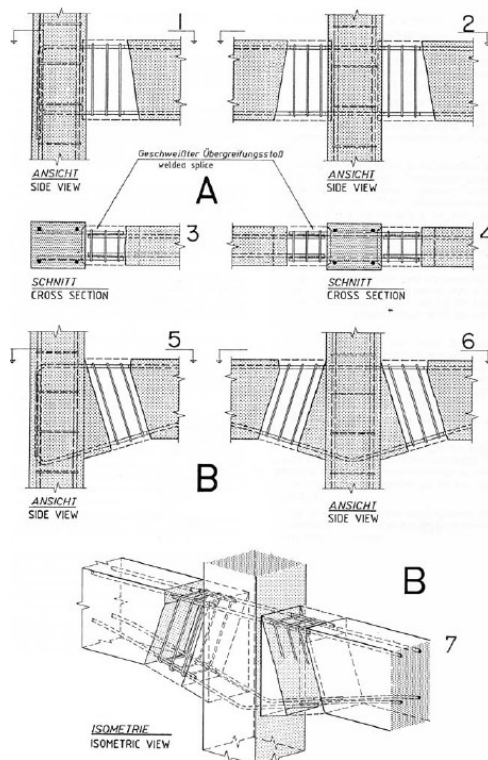


Figura 2.65 – Ligação por betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

e) Interrupção de pilar com ligação por armadura e betonagem integral do nó



Fotografia 2.3 – Interrupção de pilar com ligação por armadura e betonagem integral do nó (Lello, 2015)

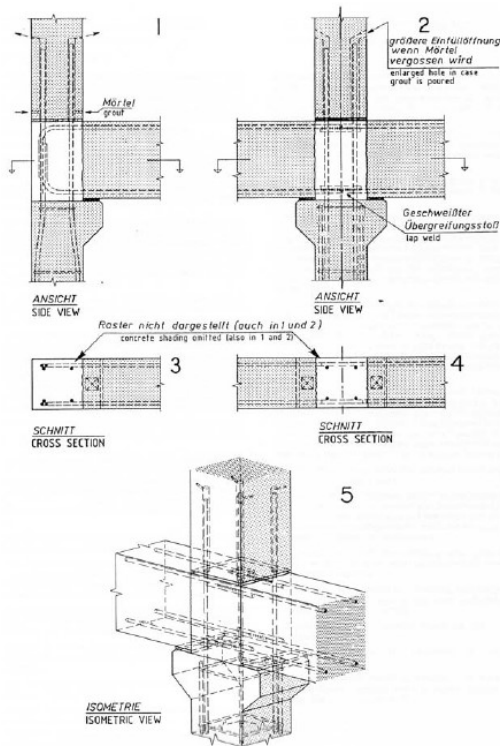


Figura 2.66 – Interrupção de pilar com ligação por armadura e betonagem integral do nó (Stupré, 1981)

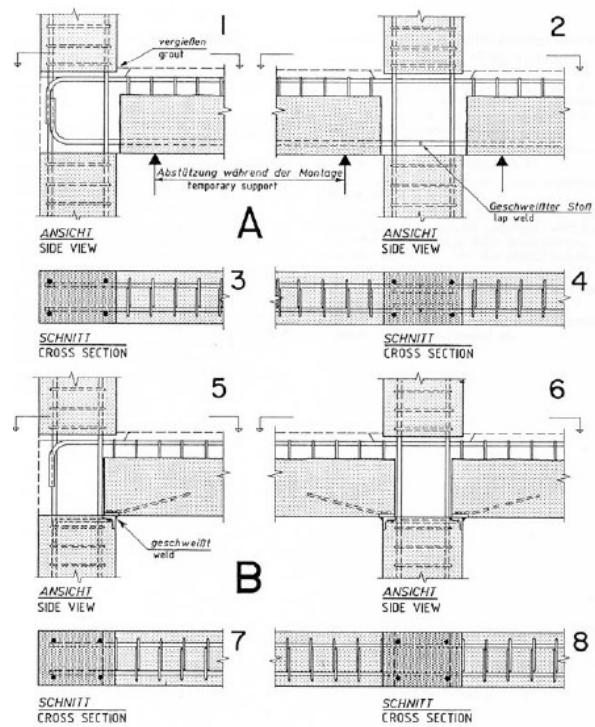


Figura 2.67 – Interrupção de pilar com ligação por armadura e betonagem integral do nó (Stupré, 1981)

f) Ligação por chapas metálicas soldadas e betonagem *in situ*

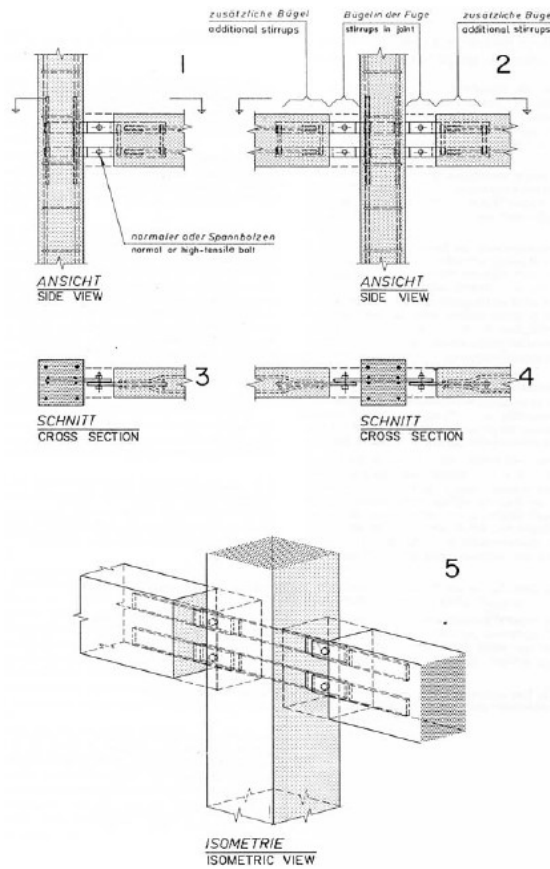


Figura 2.68 – Ligação por chapas metálicas soldadas e betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

2.5.2.3.2 Vigas de cobertura:

As ligações sem continuidade são:

a) Ligação com placa de apoio de neoprene

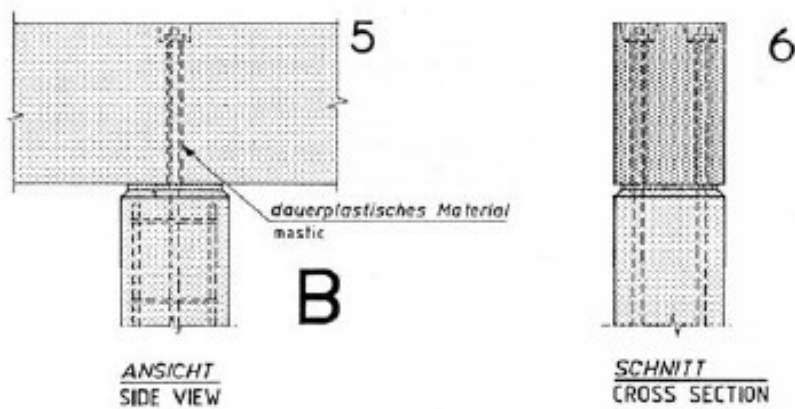


Figura 2.69 – Ligação com placa de apoio de neoprene (Stupré, 1981)

b) Ligação com placa de apoio de aço

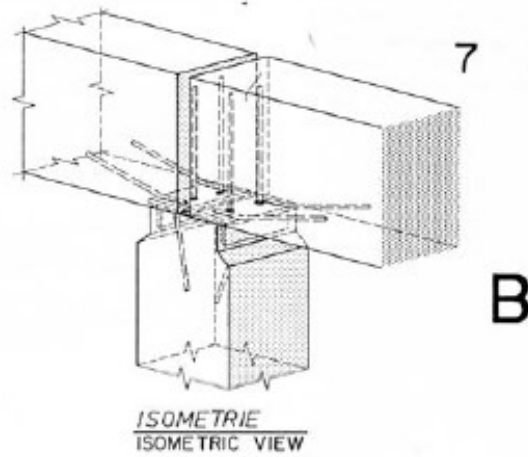


Figura 2.70 – Ligação com placa de apoio de aço (Stupré, 1981)

c) Ligação com armadura em gancho

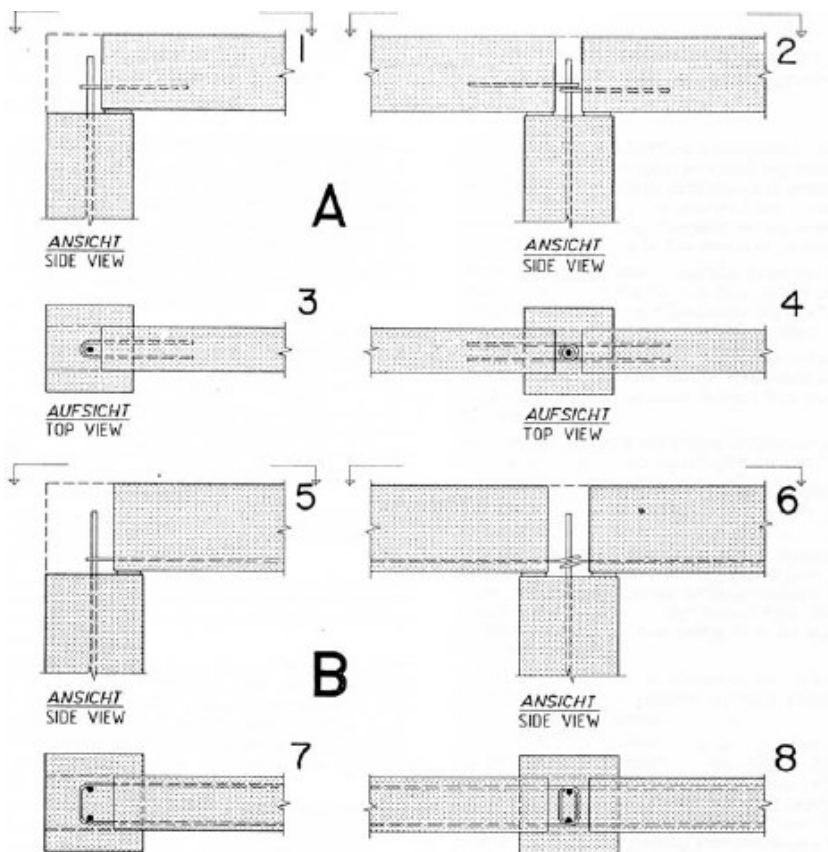


Figura 2.71 – Ligação com armadura em gancho (Stupré, 1981)

Ligações com continuidade:

a) Ligação por betonagem *in situ* do nó

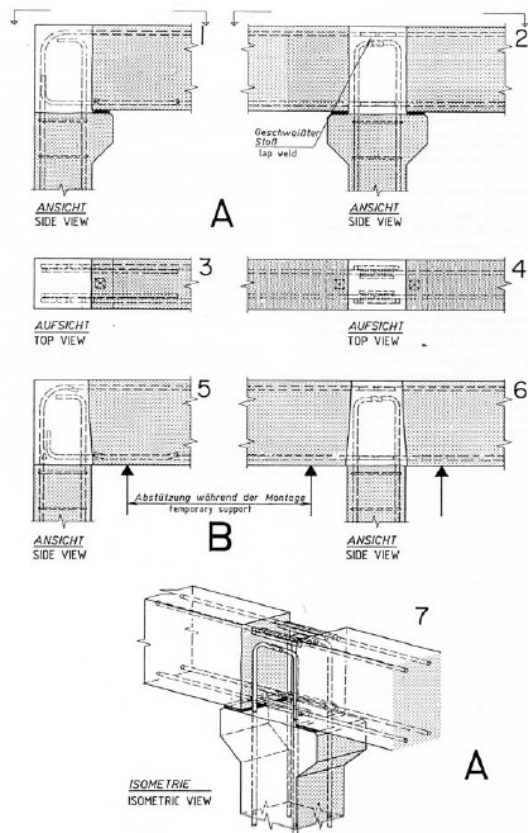


Figura 2.72 – Ligação por betonagem *in situ* do nó (Stupré, 1981)

b) Ligação por pré-esforço

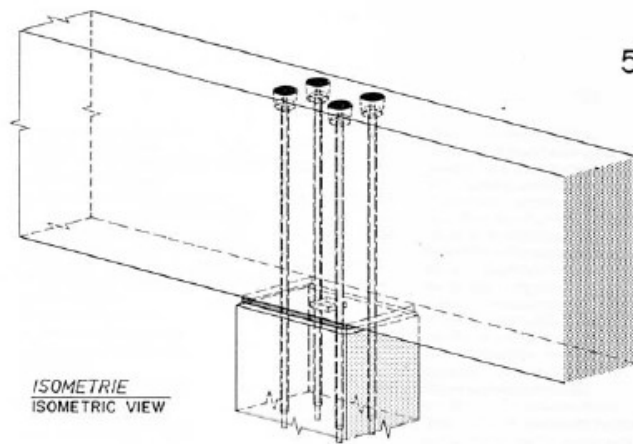


Figura 2.73 – Ligação por pré-esforço (Stupré, 1981)

### 2.5.2.4 Ligação viga-viga

As ligações viga-viga têm como principal objetivo criar uma ligação monolítica entre as vigas para que estas trabalhem como um único elemento.

Existem 2 grupos de ligações: com continuidade e sem continuidade.

#### 2.5.2.4.1 Ligações com continuidade:

##### a) Ligação por pré-esforço

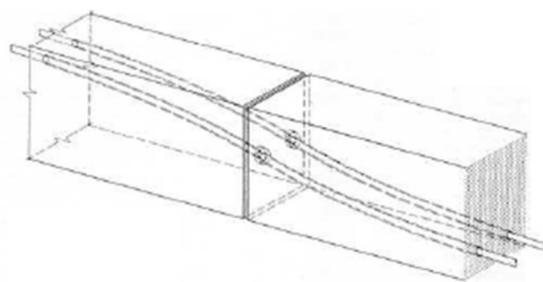


Figura 2.74 – por pré-esforço (Stupré, 1981)

##### b) Ligação por chapas metálicas parafusadas e betonagem *in situ*

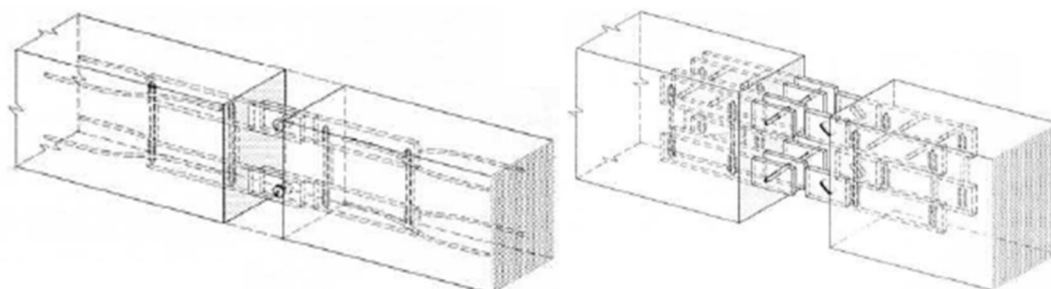


Figura 2.75 – Ligação por chapas metálicas parafusadas e betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

##### c) Ligação por betonagem *in situ*

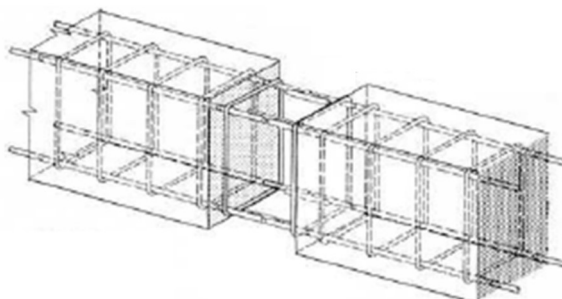


Figura 2.76 – Ligação por betonagem *in situ* (Stupré, 1981)

d) Ligação por junta em dente e barras de aço

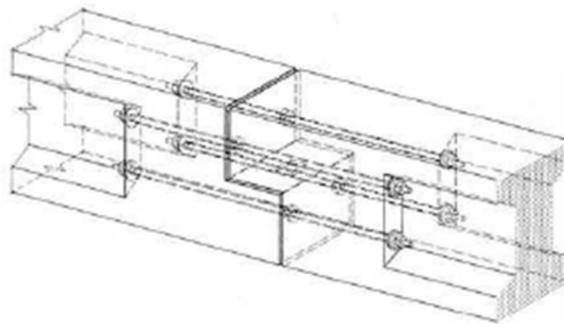


Figura 2.77 – Ligação por dentes e barras de aço (Stupré, 1981)

e) Ligação por juntas em dente e barras de aço inferiores soldadas

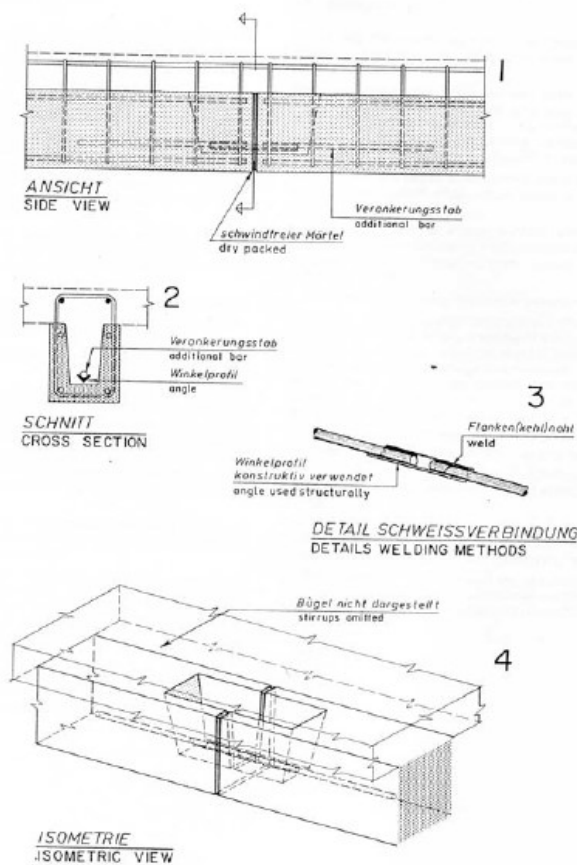


Figura 2.78 – Ligação por juntas em dente e barras de aço inferiores soldadas (Stupré, 1981)

f) Ligação por juntas em dente e barras de aço superiores soldadas

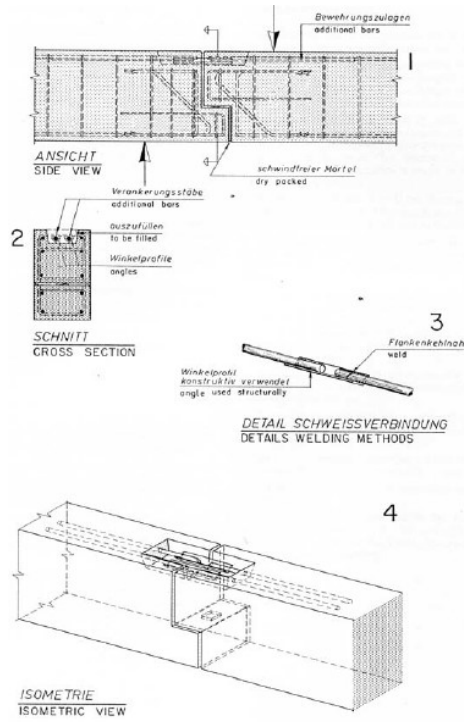


Figura 2.79 – Ligação por juntas em dente e barras de aço superiores soldadas (Stupré, 1981)

2.5.2.4.2 Ligações sem continuidade:

a) Ligação por chapas metálicas verticais

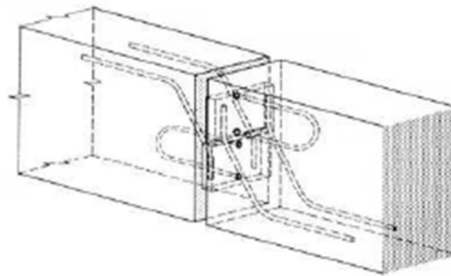


Figura 2.80 – Ligação por chapas metálicas verticais (Stupré, 1981)

b) Ligação por juntas em dente

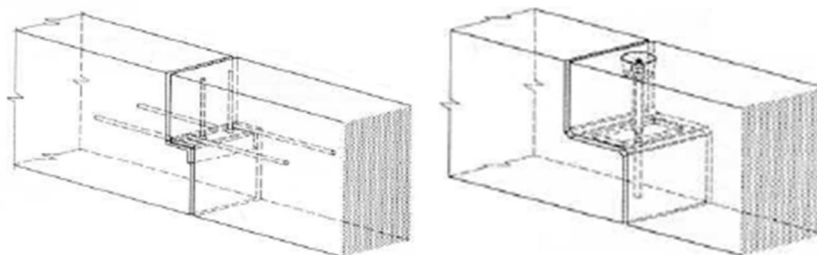


Figura 2.81 – Ligação por juntas em dente (Stupré, 1981)

### 2.5.2.5 Ligação viga secundária-viga principal

O objetivo principal dessa ligação é transferir as cargas da viga secundária para a viga principal.

Existem 2 grupos de ligações: com continuidade e sem continuidade.

#### 2.5.2.5.1 Ligações sem continuidade:

##### a) Ligação por consolo metálico

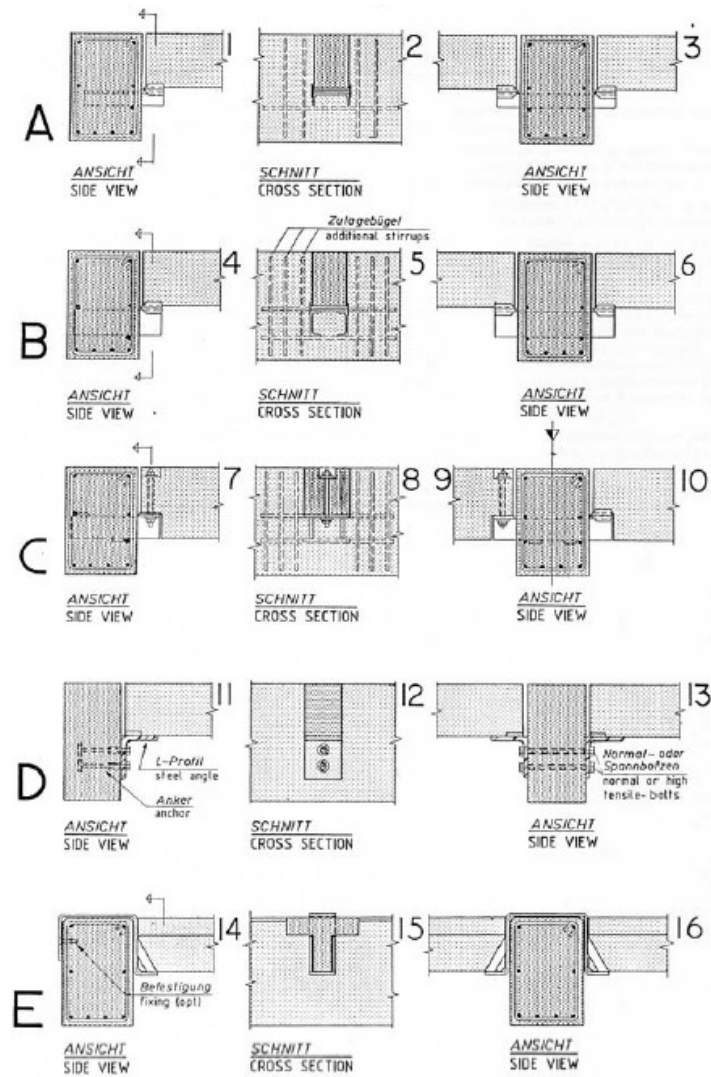


Figura 2.82 – Ligação por consolo metálico (Stupré, 1981)

b) Ligação por consolo de betão

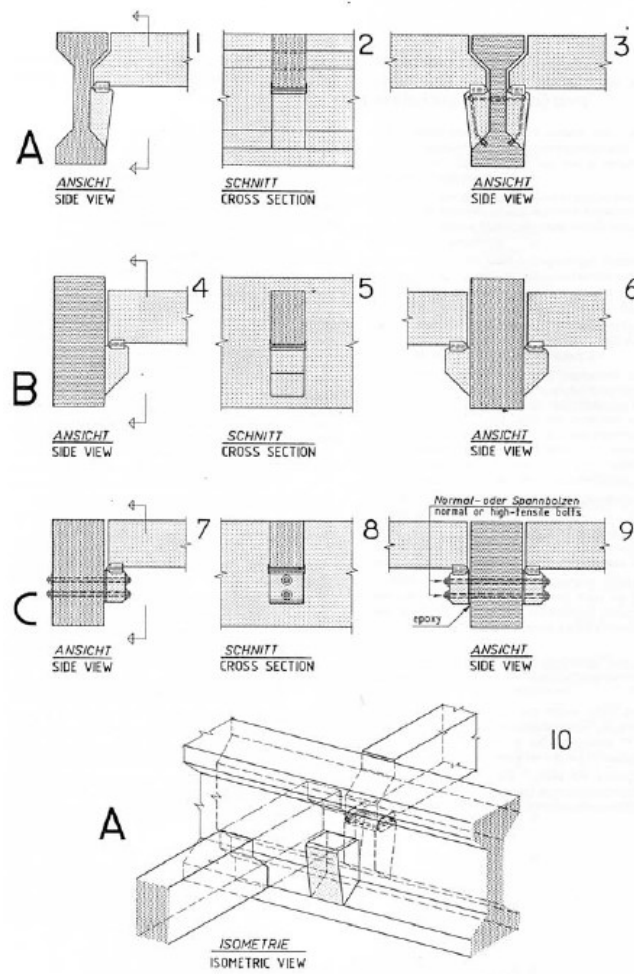


Figura 2.83 – Ligação por consolo de betão (Stupré, 1981)

c) Ligação por parafusos

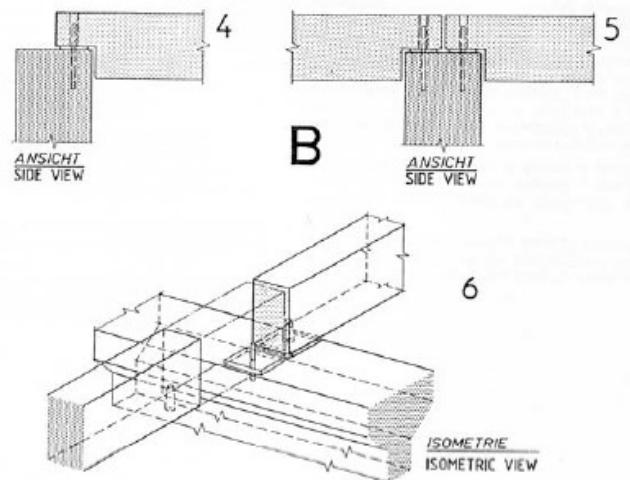


Figura 2.84 – Ligação por parafusos (Stupré, 1981)

d) Ligação por chapas soldadas;

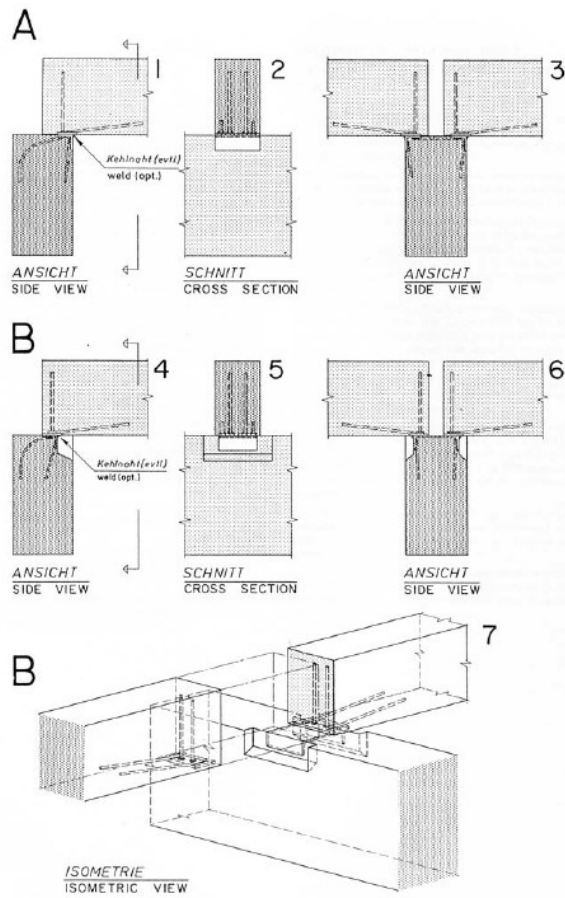


Figura 2.85 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981)

e) Ligação por parafusos ligados inferiormente;

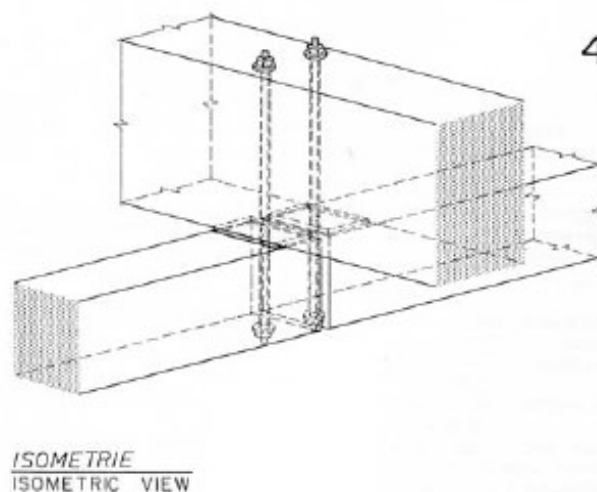


Figura 2.86 – Ligação por parafusos ligados inferiormente (Stupré, 1981)

f) Ligação com armaduras em gancho

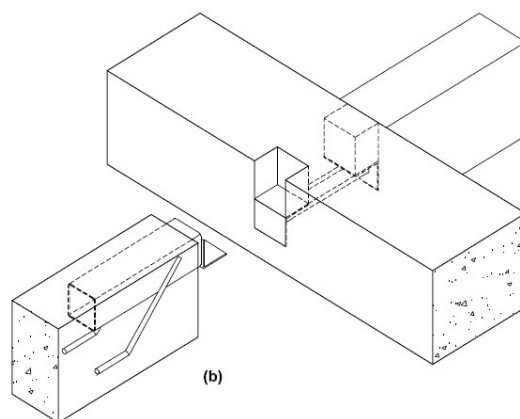


Figura 2.87 – Ligação com armaduras em gancho (PCI, 2004)

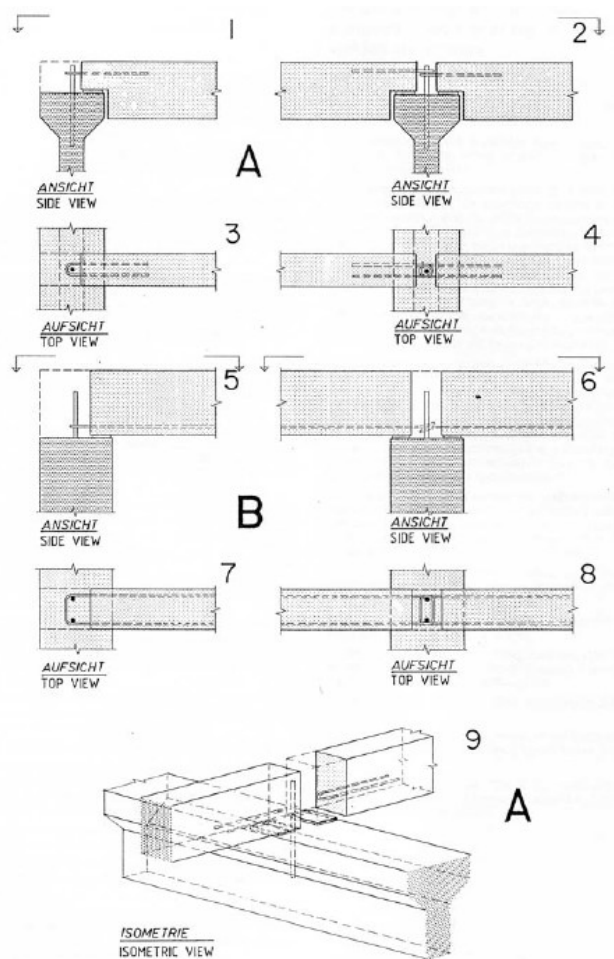


Figura 2.88 – Ligação com armaduras em gancho (Stupré, 1981)

2.5.2.5.2 Ligações com continuidade:

a) Ligação por consolo e barras de aço soldadas;

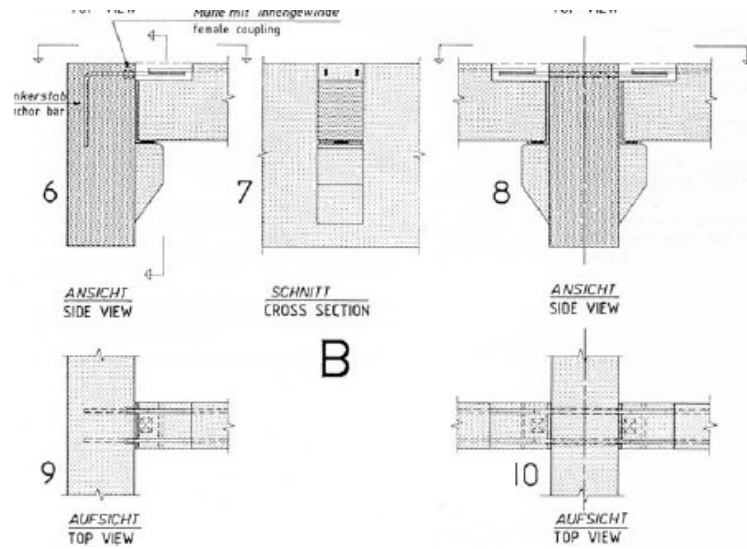


Figura 2.89 – Ligação por consolo e barras de aço soldadas (Stupré, 1981)

b) Ligação por consolo de betão e chapas soldadas;

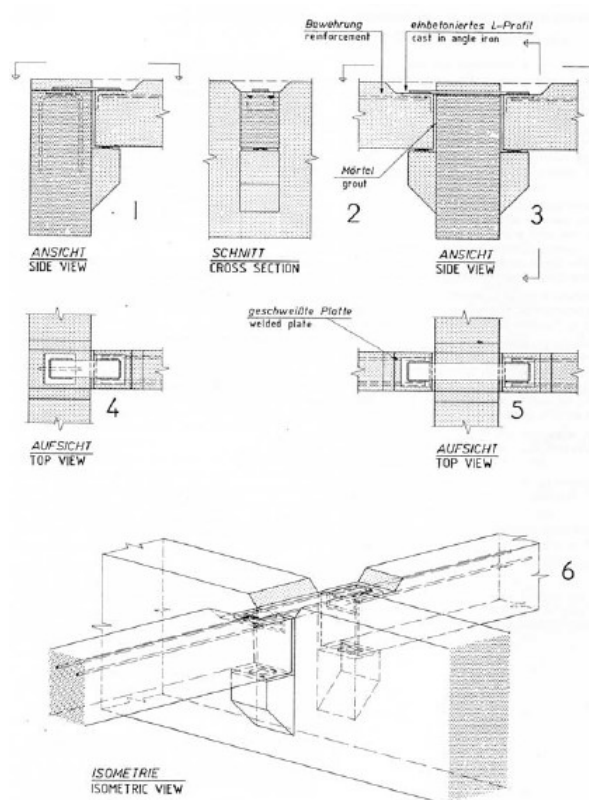


Figura 2.90 – Ligação por consolo de betão e chapas soldadas (Stupré, 1981)

c) Ligação por consolo e barras de pré-esforço;

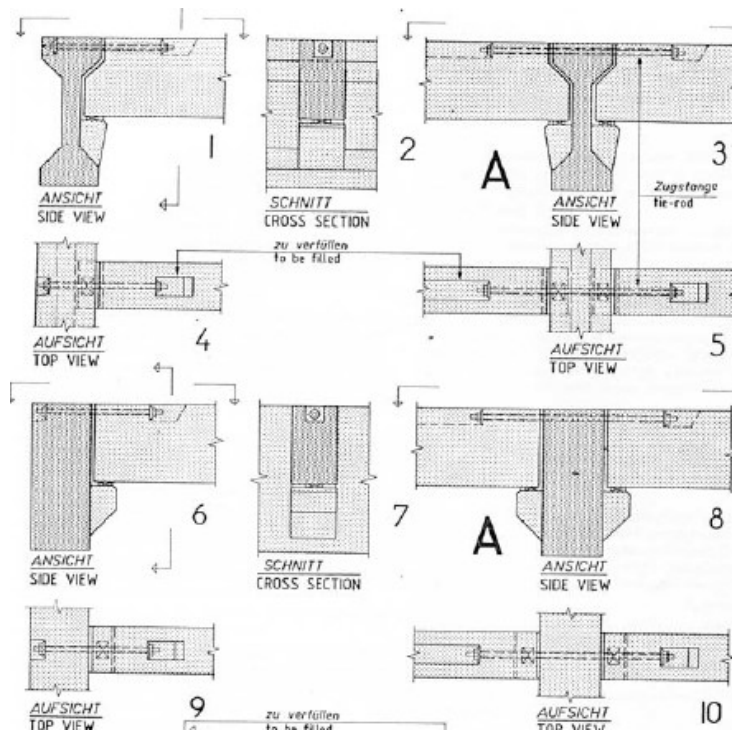


Figura 2.91 – Ligação por consolo de betão e barras de pré-esforço (Stupré, 1981)

d) Ligação por betonagem *in situ* do nó;

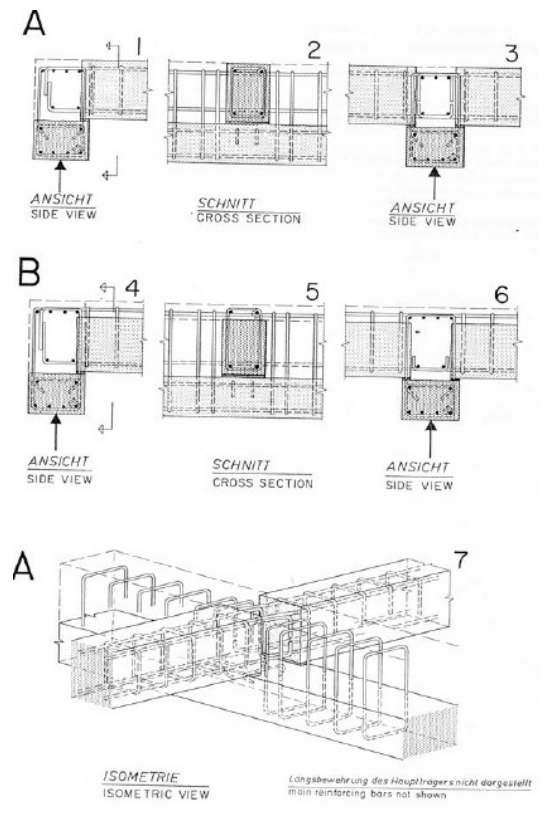


Figura 2.92 – Ligação por betonagem *in situ* do nó (Stupré, 1981)

e) Ligação por chapas soldadas;

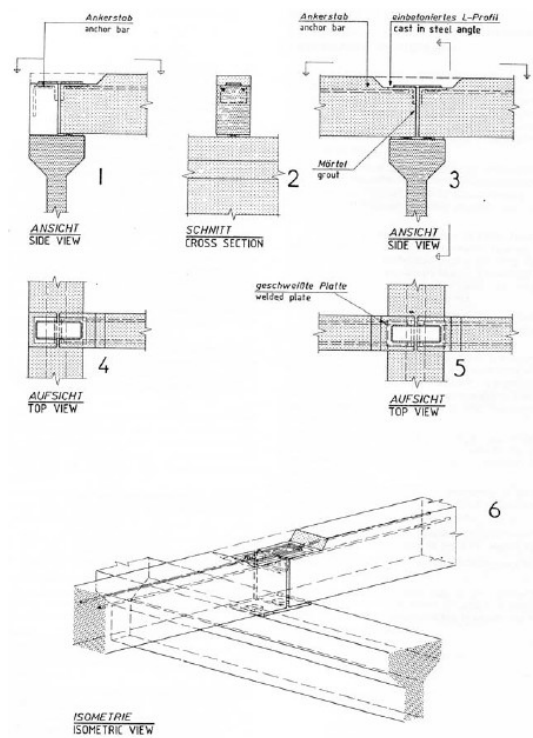


Figura 2.93 – Ligação por chapas soldadas (Stupré, 1981)

f) Ligação por barras de pré-esforço;

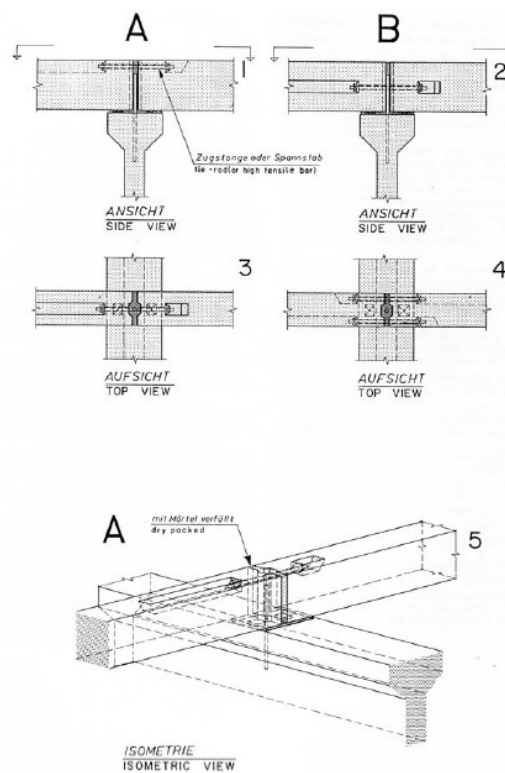


Figura 2.94 – Ligação por barras de pré-esforço (Stupré, 1981)

g) Ligações por barras de aço soldadas;

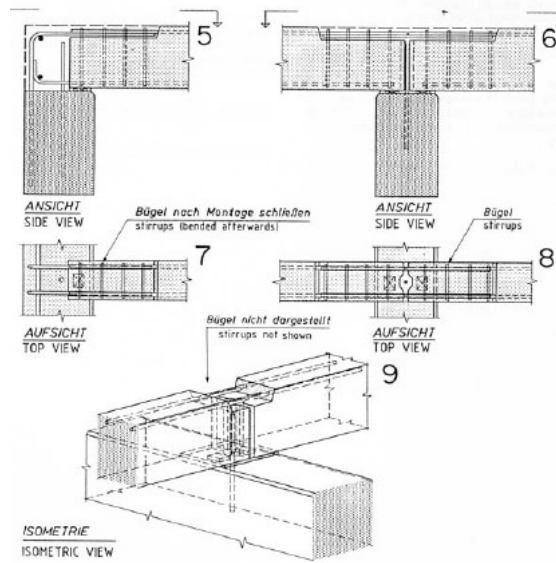


Figura 2.95 – Ligação por barras de aço soldadas (Stupré, 1981)

**2.5.2.6 Ligação viga-laje**

A ligação viga-laje tem como objetivo a transferência das cargas da laje para a viga de forma distribuída ao longo da viga.

Existem 2 grupos de ligações viga-laje, sem continuidade e com continuidade. Nas figuras 2.96, 2.97, 2.98 e 2.99 podemos ver alguns exemplos.

**2.5.2.6.1 Ligações sem continuidade:**

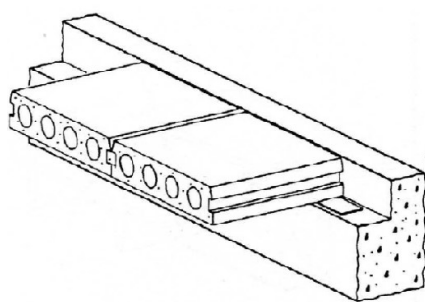


Figura 2.96 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene, perpendiculares à viga (PCI,2004)

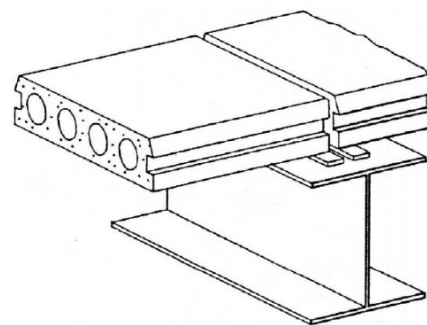


Figura 2.97 – Ligação de lajes alveolares simplesmente apoiadas sobre neoprene, em uma viga metálica “I” (PCI,2004)

## 2.5.2.6.2 Ligações com continuidade:

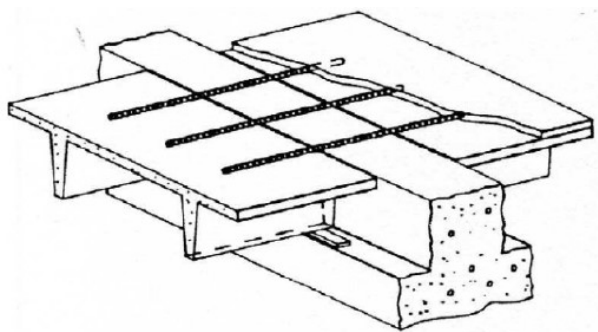


Figura 2.98 – Ligação de lajes duplo “T” em vigas “T” invertida, através de armadura ordinária em lajes, sobre neoprene, em paralelo com a laje (PCI,2004)

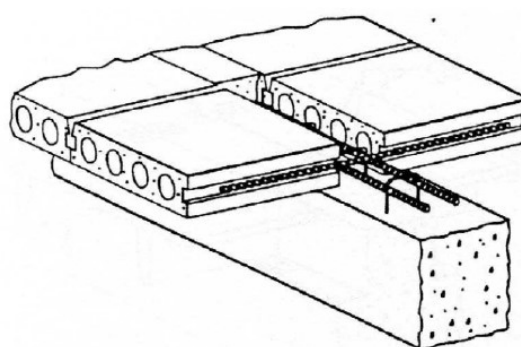


Figura 2.99 – Ligação de lajes alveolares através de amarração em paralelo com a laje (PCI,2004)

## 2.5.2.7 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 deve betonar mais de dois pisos antes dos pisos em construção estarem perfeitamente ligados ao restante da estrutura e com tempo de cura que lhe permita ter adquirido uma resistência bastante significativa.<sup>89</sup>

<sup>89</sup> MAGALHÃES, António José Soares de. *A pré-fabricação em betão em edifícios*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013. p. 111.

## CAPÍTULO 2

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.<sup>90</sup>

---

<sup>90</sup> MAGALHÃES, António José Soares de. *A pré-fabricação em betão em edifícios*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013. p. 111.

### 3 ESTUDO DE CASO: LIGAÇÕES DE UM ESTACIONAMENTO EM ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA

Ao analisarmos uma estrutura de betão pré-fabricada, devemos destacar o estudo de suas ligações, uma vez que o conhecimento do comportamento do sistema estrutural está diretamente relacionado ao conhecimento do comportamento de suas ligações.<sup>91</sup>

O estudo do comportamento estrutural possui uma grande importância para o desenvolvimento dos sistemas construtivos de betão pré-fabricado, tendo em vista que a presença das ligações é o que diferencia basicamente uma estrutura de betão pré-fabricado de uma estrutura convencional.<sup>92</sup>

Os arquitetos, engenheiros, desenvolvedores e donos têm como preferência a utilização de betão pré-fabricado como material para estacionamentos.<sup>93</sup>

Embora classificados e construídos como edificações, estruturas de estacionamento são únicas, sendo que, às vezes, elas podem ser comparadas a uma ponte com múltiplos pavimentos.

A estrutura do estacionamento está sujeita a tráfego de veículos e o pavimento de cobertura está exposto a intempéries climáticas, como o deck de uma ponte. Além disso, geralmente a estrutura não é totalmente fechada e, por isso, toda a estrutura está sujeita a intempéries climáticas.<sup>94</sup>

Estudos comprovam que o betão com baixa relação água-cimento, que os fabricantes de pré-fabricados usam, aumenta a resistência à deterioração, além de apontarem que curas aceleradas fazem com que o betão pré-fabricado torne-se mais resistente à penetração de cloretos do que as curas em campo.<sup>95</sup>

---

<sup>91</sup> EL DEBS, Mounir Khalil; MIOTTO, Anamaria Malachini. *Estudo de uma ligação viga-pilar utilizada em galpões de concreto pré-moldado*. 2007. p. 1.

<sup>92</sup> Ibid., p. 2.

<sup>93</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *Design handbook: precast and prestressed concrete*. Chicago, 2004. p. 1-9.

<sup>94</sup> Ibid., p. 1-9.

<sup>95</sup> Ibid., p. 1-10.

Devido a sua alta durabilidade unida com um baixo custo, rápida montagem em qualquer tipo de clima, diversos tipos de arquiteturas possíveis e possibilidade de grandes vãos, o pré-fabricado torna-se a escolha natural para estruturas de estacionamento. ”<sup>96</sup>

### 3.1 ESTACIONAMENTO DA PRAÇA DOS POVEIROS

O local escolhido para esse estudo de caso, foi o estacionamento da praça dos Poveiros, Porto, Portugal.

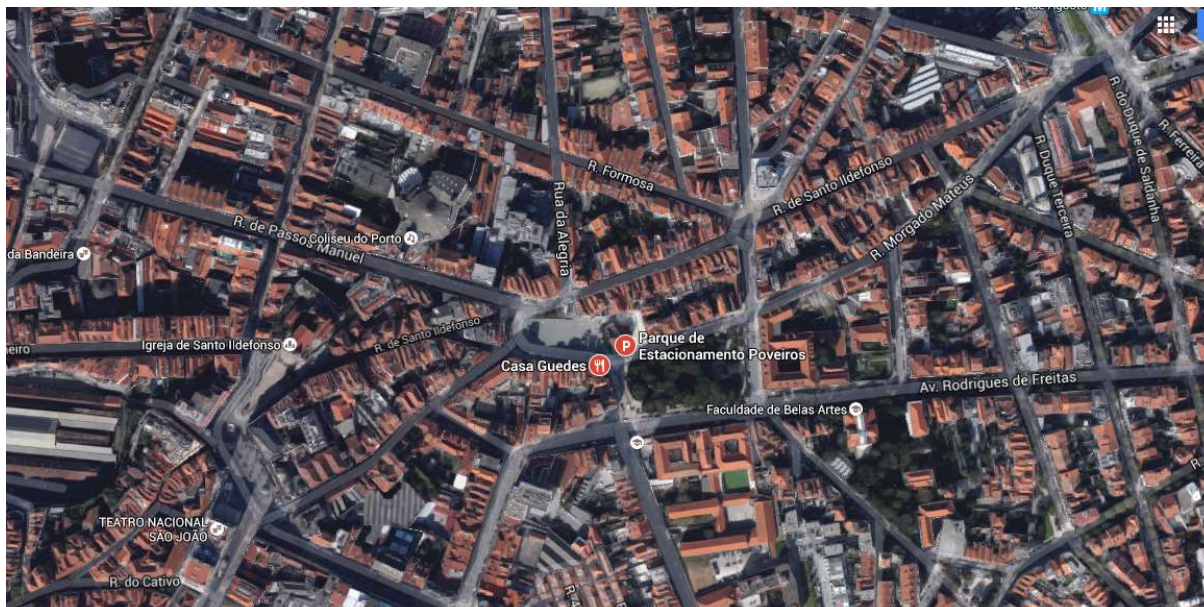


Figura 3.1 – Localização do Parque de Estacionamento dos Poveiros em Porto, Portugal (Google Maps, 2015)

O Estacionamento da Praça dos Poveiros fica localizado em uma das regiões mais importantes da Cidade do Porto, estando situado bem próximo à Biblioteca Pública Municipal do Porto.

O Estacionamento possui 3 pavimentos, todos eles construídos com elementos estruturais pré-fabricados de betão.

Nos dois primeiros pavimentos, as lajes são feitas do tipo “Duplo T” ou “Pi” pré-fabricadas de betão. Já no pavimento da cobertura, a laje é composta por pré-lajes suportadas por vigas “I”, também pré-fabricadas de betão.

As ligações estruturais analisadas (Pilar-Pilar, Pilar-Viga, Viga-Pilar, Viga-Laje e Pilar-Painel) no estacionamento variam em dois tipos, pré-fabricadas de betão e betonadas *in situ*.

<sup>96</sup> PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *Design handbook: precast and prestressed concrete*. Chicago, 2004. p. 1-10.

## 3.2 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

### 3.2.1 Lajes pré-fabricadas “duplo T” de betão dos pavimentos inferiores



Fotografia 3.1 – Lajes “duplo T” dos pavimentos inferiores (Acervo pessoal, 2015)

As lajes “duplo T” ou “PI” são feitas por 2 pequenas vigas de betão, que contam com uma armadura superior no formato de treliça. Por serem manipuladas facilmente, têm a vantagem de diminuir a mão de obra.

Esse tipo de laje possui excelente resistência, aproximadamente de  $1\text{ton}/\text{m}^2$ , e, por isso, são muito usadas em grandes obras e infraestruturas, como: pontes, estações de metrô, estacionamentos, etc.<sup>97</sup>

---

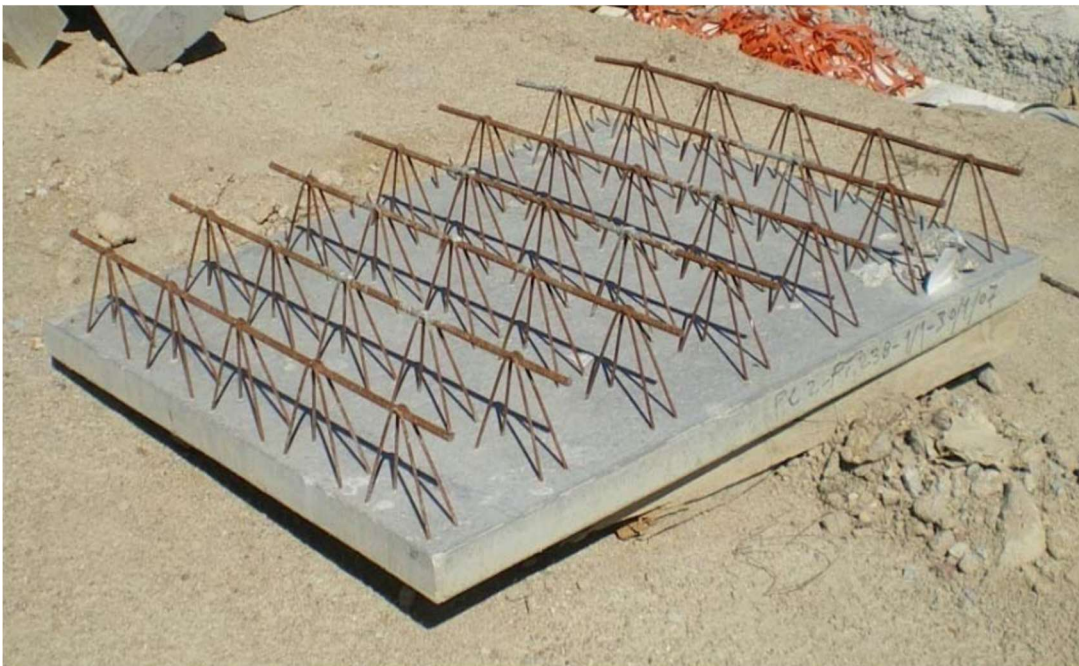
<sup>97</sup> HOMETEKKA. *Guia Completo de Lajes: tudo sobre lajes maciças, pré-fabricadas e mistas*. Belo Horizonte: Hometeka, 2014.

### 3.2.2 Pré-lajes pré-fabricadas de betão com vigas “I” do pavimento superior



Fotografia 3.2 – Pré-lajes pré-fabricadas com vigas “I” do pavimento superior (Acervo pessoal, 2015)

Esse tipo de laje é indicado para vãos pequenos a médios. Uma das vantagens desse tipo de laje é a possibilidade de diminuir ou mesmo dispensar a necessidade de escoramento, servindo simultaneamente de cofragem para a betonagem da camada de compressão, liberando o piso de baixo para outra frente de trabalho, como contrapiso, marcação de alvenaria, drywall, etc. Outra vantagem, é que por ter uma baixa espessura, a pré-laje, passa a ser mais leve, facilitando o seu transporte, manuseamento e montagem em obra.

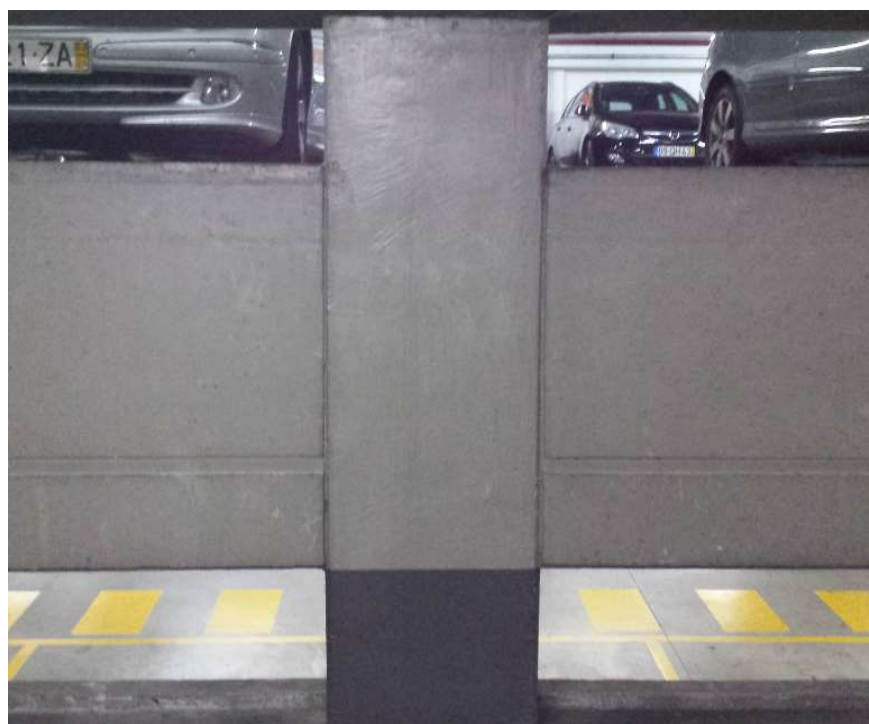


Fotografia 3.3 – Pré-lajes pré-fabricadas (Alberran, 2008)

### 3.2.3 Vigas “T” e pilares pré-fabricadas de betão



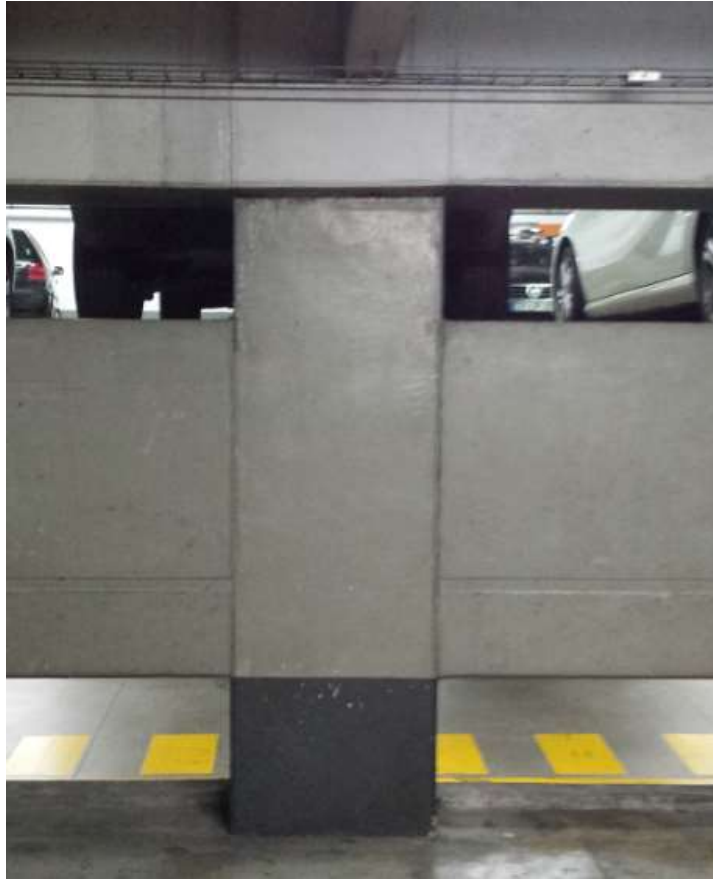
Fotografia 3.4 – Vigas “T” pré-fabricadas (Acervo pessoal, 2015)



Fotografia 3.5 – Pilares (Acervo pessoal, 2015)

### 3.3 LIGAÇÕES ESTRUTURAIS

#### 3.3.1 Ligação pilar-pilar: Ligação por conectores de barras de aço



Fotografia 3.6 – Ligação pilar-pilar (Acervo pessoal, 2015)

O comportamento estrutural da ligação pilar-pilar é basicamente o mesmo que da ligação fundação-pilar. Estando normalmente solicitada à flexão, deve-se garantir a transferência de um binário, através de um contato perfeito entre as partes comprimidas do material e a continuidade das armaduras nas partes tracionadas.

A ligação pilar-pilar do Estacionamento dos Poveiros foi considerada como “Ligação por conectores de barras de aço”. Nesta ligação, durante a montagem, o pilar superior apoia-se no inferior através de saliência existente na seção transversal. Depois as barras de aço são conectadas por conectores, como mostra a figura 3.2. Deve-se verificar essa pressão de contato entre os pilares, pois ela, eventualmente, pode ser fator condicionante.

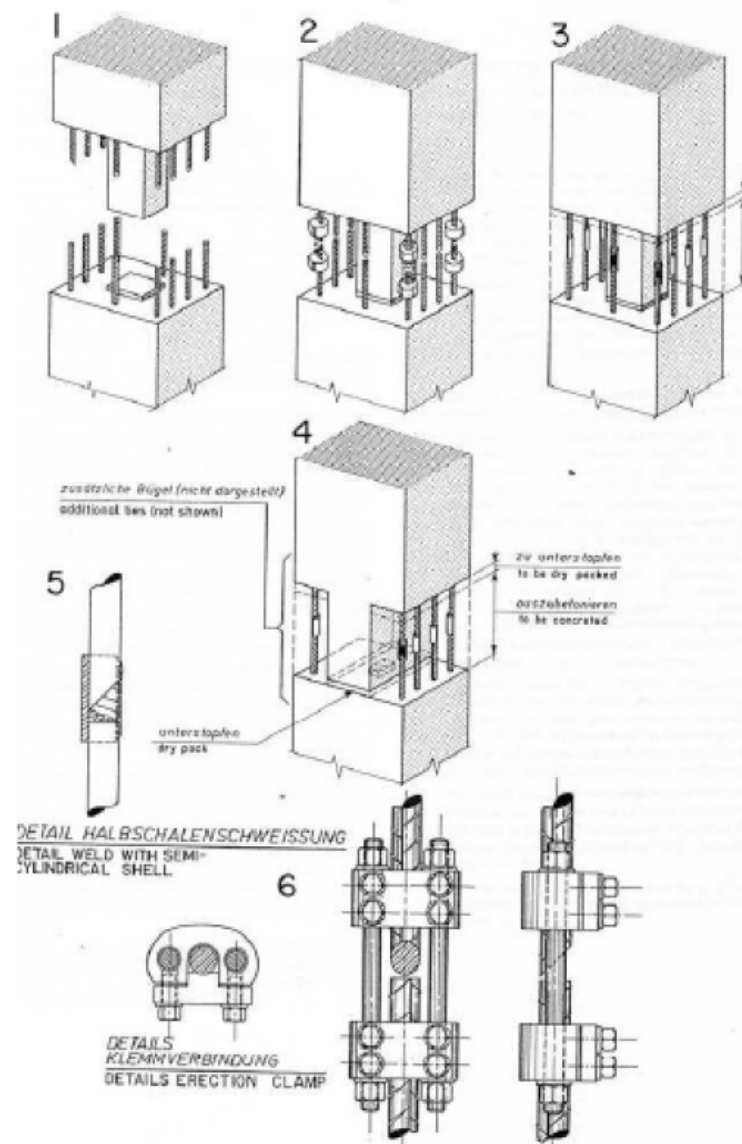


Figura 3.2 – Ligação por conectores de barra de aço (Stupré, 1981)

### 3.3.2 Viga-pilar: Ligação por betonagem *in situ*



Fotografia 3.7 – Ligação viga-pilar (Acervo pessoal, 2015)

Neste caso, a ligação pilar-viga foi feita com betonagem *in situ*, até porque não possui consolo. Este tipo de ligação é muito comum em lugares nos quais há mais de uma viga apoiando-se no mesmo pilar.

O apoio da viga sobre o pilar pode ser feito através de algum elemento metálico, p.ex. chapas, cantoneiras, etc. Na sua utilização mais simples, as chapas e cantoneiras trabalham como enrijecedores de borda dos elementos pré-fabricados e também como placas de apoio, substituindo as camadas de argamassa.

As placas de apoio são normalmente soldadas à armadura dos elementos pré-moldados ou ligadas ao betão através de grapas ou parafusos ancorados. Os dispositivos metálicos podem também ser empregados como consolos para apoio das vigas.

As verificações das ligações devem estar adequadas as normas correspondentes, devendo ser verificado: o não levantamento da borda menos carregada, a deformação por compressão, a deformação por cisalhamento, a segurança ao deslizamento, a tensão de cisalhamento e a resistência das chapas de aço.

### 3.3.3 Viga-viga: Ligação com continuidade por juntas em dentes e barras de aço superiores soldadas



Fotografia 3.8 – Ligação viga-viga (Acervo pessoal, 2015)

As ligações viga-viga devem ser ligações monolíticas, fazendo com que dois elementos independentes se transformem em um único elemento.

Pela análise visual e fotográfica, supõem-se que essa ligação é com continuidade do tipo “ligações por juntas dente e barras de aço superiores soldadas”, que consiste em uma ligação que possui um dente superior na viga emissora e um dente inferior na viga receptora. Estas vigas, quando apoiadas uma em cima da outra e feita a soldagem das barras, conforme o projeto, resultam em uma ligação viga-viga, onde os esforços solicitados são transmitidos monoliticamente entre as vigas.

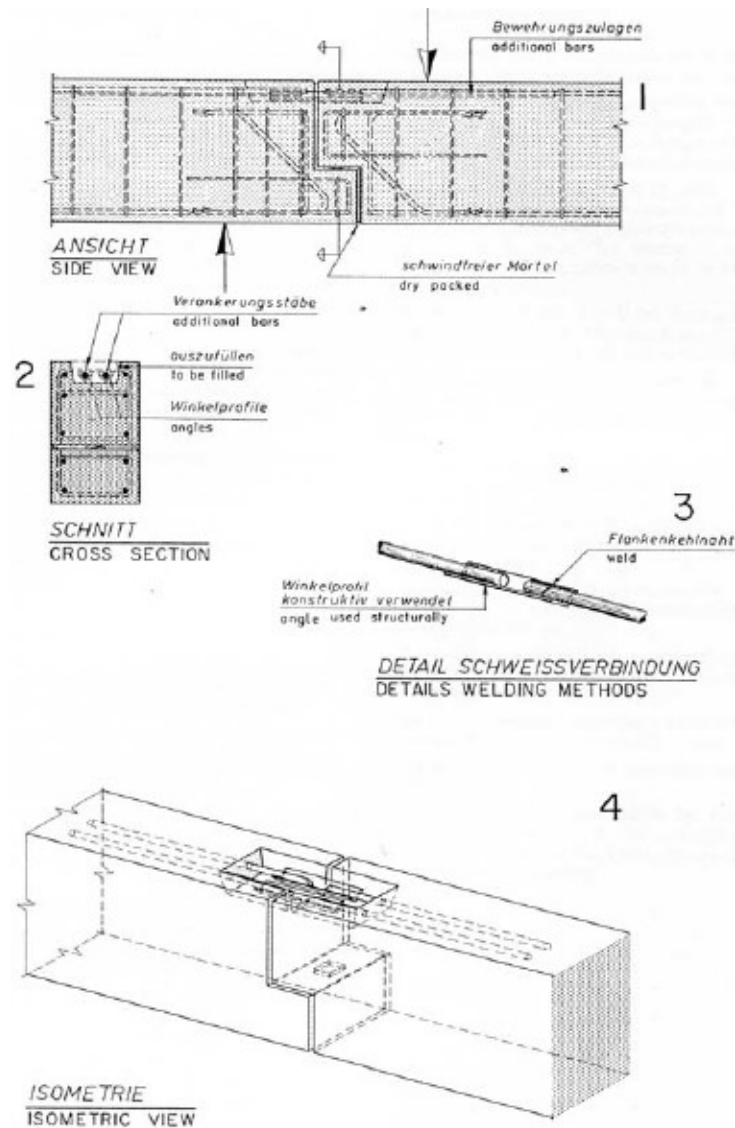


Figura 3.3 – Ligação por juntas em dente e barras de aço superiores soldadas (Stupré, 1981)

### 3.3.4 Viga-laje

A ligação viga-laje 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.

Essa ligação tem ocorrência frequente nos sistemas pré-fabricados convencionais. As lajes “duplo T” e as pré-lajes recebem uma capa de betão superior, constituindo uma estrutura composta (elemento estrutural de betão pré-moldado + capa de betão moldado “in loco”), depois do endurecimento do betão.

A capa de betão, quando presente, traz algumas vantagens à estrutura e à ligação viga-laje, como: aumenta a capacidade portante das lajes, possibilita a utilização da laje como painel-diafragma, facilita a

obtenção de continuidade estrutural da laje e facilita o detalhamento da ligação, possibilitando a obtenção simples do engastamento da laje à viga.<sup>98</sup>

### 3.3.4.1 Ligação pré-laje com vigas “I”



Fotografia 3.9 – Ligação pré-laje com viga “I” (Acervo pessoal, 2015)

A viga “I” vem da fábrica sem a parte de cima estar betonada e com os estribos expostos para posterior betonagem na obra, pode-se chamar esse elemento de pré-viga.

De acordo com Albarran:<sup>99</sup>

“A superfície de contato entre a pré-laje, a pré-viga e o betão complementar deve ser a mais rugosa possível, de modo a garantir uma melhor ligação entre os elementos, como na figura 97. Os estribos salientes da pré-viga destinam-se não só a resistir ao esforço transversal, mas também a garantir a resistência ao corte na junta entre a viga pré-fabricada e o betão complementar.”

---

<sup>98</sup> BALLARIN, Adriano Wagner. *Desempenho das ligações de elementos estruturais pré-moldados de concreto*. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993. p. 122-123.

<sup>99</sup> ALBARRAN, Eduardo Gonzales. *Adaptação de uma solução estrutural “in situ” à uma solução pré-fabricada*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008. p. 11 - 12

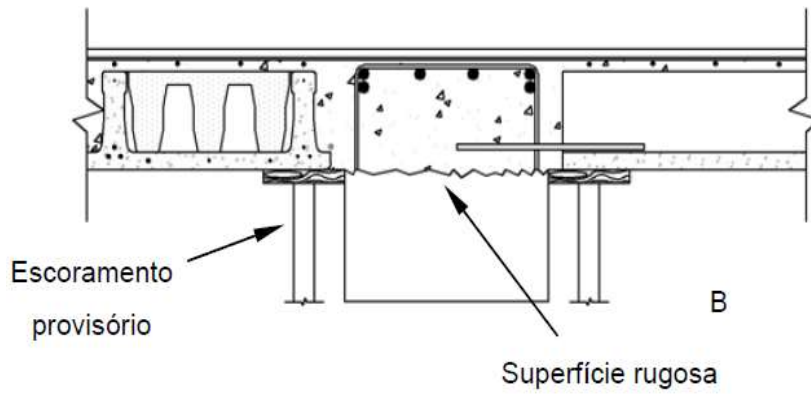


Figura 3.4 – Ligação pré-laje com viga "I" (Albarran, 2008)

A fotografia 3.10 não diz respeito a obra do parque de estacionamento dos Poveiros, mas mostra um exemplo de ligação pré-laje com viga "I" sendo executada.



Fotografia 3.10 – Exemplo de ligação pré-laje com viga "I" sendo executada (Lello, 2015)

### 3.3.4.2 Ligação laje duplo "T" com viga

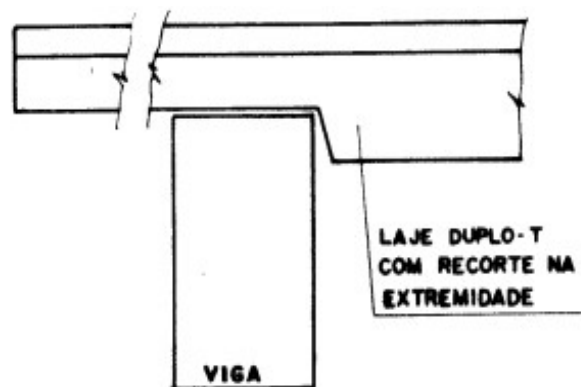


Figura 3.5 – Detalhe ligação laje "duplo T" com a viga (Ballarin, 1993)

### 3.3.5 Laje-laje: Ligação *in situ* de lajes “Duplo-T”

A ligação entre elementos de laje sempre busca três itens principais, são eles: evitar a movimentação diferencial, mobilizar o comportamento conjunto entre os elementos de laje adjacente e fazer com que a laje trabalhe de forma integral.

É muito comum que a ligação entre lajes do tipo “duplo-T” seja feita *in situ*.

O primeiro passo é a soldagem ou amarração provisória das junções entre duas lajes. Posteriormente, é feita a locação de uma armadura e, para finalizar, será feita a betonagem de espessura, definida pelo projetista, conforme as suas devidas solicitações.

O esquema da figura 3.6 mostra cada etapa desse tipo de ligação.

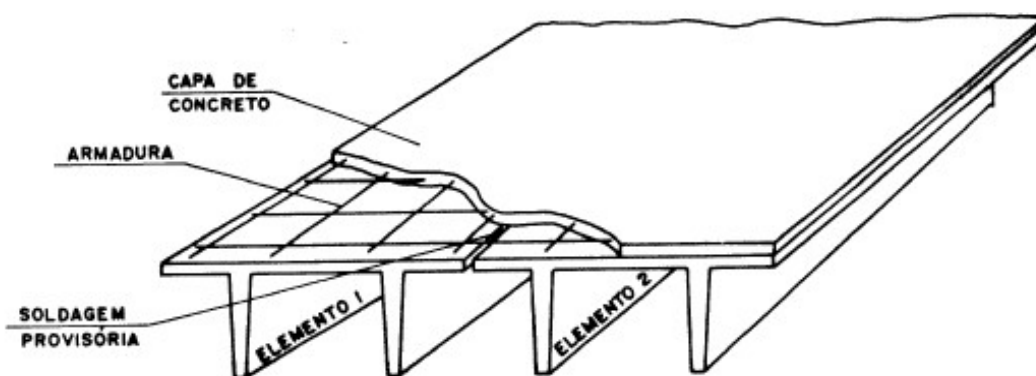


Figura 3.6 – Detalhe ligação laje “duplo T” com laje “duplo T” (Ballarin, 1993)



## **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **4.1 CONCLUSÕES**

Através de diversas pesquisas em sites, revistas e trabalhos referentes as estruturas e ligações pré-fabricadas, e também podendo ver no local a estrutura desse estacionamento percebeu-se a importância que as estruturas pré-fabricas vem ganhando no mercado da engenharia civil. Com um certo planejamento e organização, este tipo de construção torna-se muito rentável, tanto ao prazo de obra quanto pelo orçamento da mesma, assim atraindo o interesse de todos. Entretanto, nem toda tipologia de edifício consegue aproveitar a rápida execução do pré-fabricado, pois existem serviços que podem não acompanhar o ritmo acelerado da execução das estruturas, por exemplo, em edifícios residenciais, os serviços de acabamento são mais lentos, não havendo uma compatibilização do tempo da estrutura com o acabamento. Assim sendo, os pré-fabricados tem melhor rendimento em tipologias cuja a rentabilidade está diretamente relacionada com o prazo da obra como shoppings, hotéis, escolas, hospitais e galpões comerciais.

Esse tipo de estrutura também tem enorme eficiência e interesse em projetos de obras temporárias, como o caso do Parque de Estacionamento da Trindade que o projeto inicial era de 3 anos após a sua montagem, e um caso mais recente e de bastante visibilidade que foi a instalação de arquibancadas provisórias feitas inteiramente em estruturas pré-fabricadas em estádios da copa do mundo realizada no Brasil em 2014. Assim sendo de grande interesse, durante um certo tempo, a montagem de uma determinada estrutura que poderá ser desmontada e montada em outro local.

Ao fazer a montagem da estrutura e a ligação de seus componentes, o mais importante é que os elementos se solidarizem entre si e que as ligações fiquem bem firmes, pois as ligações são os pontos mais fracos de toda a estrutura, se apenas uma ligação ficar mal feita ou mal encaixada, toda a estrutura pode cair. Assim sendo, é de extrema importância que o projetista estrutural faça um detalhamento de todas as ligações e que a equipe de montagem de obra seja qualificada.

## 4.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Existem diversos manuais internacionais para dimensionamento das ligações de estruturas pré-fabricadas publicados por associações técnicas, como a americana PCI, a irlandesa IPCA, a holandesa STUPRÉ. A ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada do Concreto) tem muitas publicações e guias quanto a este assunto, mas sem a mesma qualidade que as outras associações citadas. Isso se deve a um problema cultural no Brasil, onde o uso de pré-fabricados vem crescendo, mas em ritmo lento. Seria interessante em trabalhos futuros a comparação entre esses manuais internacionais e as publicações e guias da ABCIC.

Este trabalho se restringiu a evidenciar os diversos tipos de ligações, porém em trabalhos futuros podem ser feitas pesquisas mais aprofundadas e focadas em um só tipo de ligação, como ligação pilar-fundação, e como a mudança da escolha deste tipo de ligação pode alterar a estabilidade global da estrutura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKER, Arnold Van. *Manual de sistemas pré-fabricados de concreto*. Tradução: Marcelo Ferreira. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2002.

ACKER, Arnold Van; RISE, Gunner; MENEGOTTO, Marco. *Conexões estruturais para prédios em concreto pré-moldado*. França: FIB - Fédération Internationale du Béton. 2008.

ALBARRAN, Eduardo Gonzales. *Adaptação de uma solução estrutural "in situ" à uma solução pré-fabricada*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

*A INDÚSTRIA de pré-fabricados de concretos*. Fundação Getulio Vargas (FGV). mar. 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Projeto NBR 9062: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado*. Rio de Janeiro, 2006.

BALLARIN, Adriano Wagner. *Desempenho das ligações de elementos estruturais pré-moldados de concreto*. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993. Disponível em: [http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1993DO\\_AdrianoWagnerBallarin.pdf](http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1993DO_AdrianoWagnerBallarin.pdf). Acesso em: 15 set. 2016.

BRUNA, Paulo J. V. *Arquitetura, industrialização e desenvolvimento*. São Paulo: Editora Perspectiva, 2002.

CARDOSO, D. M. B. Botelho. *Estudo experimental da ligação pilar-fundação em estruturas pré-fabricadas*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2011.

ELLIOTT, Kim S. *Multi-storey precast concrete frame structures*. Cambridge: Blackwell Science, 1996.

EL DEBS, Mounir Khalil; MIOTTO, Anamaria Malachini. *Estudo de uma ligação viga-pilar utilizada em galpões de concreto pré-moldado*. 2007.

EL DEBS, Mounir Khalil. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EESC-USP, 2000.

ENGENHARIA CIVIL NA INTERNET. *Dicionário: letra "f"*. Disponível em: <http://www.engenhariacivil.com/dicionario/letra/f/page/7>. Acesso em: 13 mai. 2016.

ENGENHARIA CIVIL NA INTERNET. *Dicionário: letra "l"*. Disponível em: <http://www.engenhariacivil.com/dicionario/letra/l>. Acesso em: 13 mai. 2016.

FERREIRA, Marcelo de A.; CHUST CARVALHO, Roberto; ELLIOTT, Kim S. *Avanços para análise e projeto de estruturas pré-moldadas com ligações semi-rígidas*. *Concreto & Construções*, São Paulo, v. XXXVIII, n. 59, 2010. ISSN 1809-7197.

HOMETEKA. *Guia Completo de Lajes: tudo sobre lajes maciças, pré-fabricadas e mistas*. Belo Horizonte: Hometeka, 2014. Disponível em: <https://www.hometeka.com.br/aprenda/guia-completo-de-lajes-tudo-sobre-lajes-macicas-pre-fabricadas-e-mistas/>. Acesso em: 10 set. 2016.

INSTITUTO PORTUGUÊS DE QUALIDADE. *NP EN 1992-1-1: eurocódigo 8: projeto de estruturas de betão: regras gerais e regras para edifícios: regras adicionais relativas a elementos e estruturas pré-fabricadas de betão: fundações de encaixe*. Caparica, 2010.

LELLO, José Carlos de Almeida Gouveia. *Aula 3: pilar-sapata*. Porto, 2015. 35 slides.

LELLO, José Carlos de Almeida Gouveia. *Aula 4: pilar-sapata*. Porto, 2015. 25 slides.

LAGARTIXO, Pedro Miguel dos Reis. *Sistemas estruturais de edifícios industriais pré-fabricados em betão*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2011.

LEVY, Sidney M. *Construction Building Envelope and Interior Finishes Databook*. New York : McGraw-Hill Professional, 2000.

MAGALHÃES, António José Soares de. *A pré-fabricação em betão em edifícios*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013. Disponível em: [recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/4664/1/DM\\_AntonioMagalhaes\\_2013\\_MEC.pdf](http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/4664/1/DM_AntonioMagalhaes_2013_MEC.pdf). Acesso em: 08 mai. 2016

MURCHÚ, Brian Ó; QUINN, Caroline. *Precast concrete: frames guide*. Irish Precast Concrete Association (IPCA). Dublin.

PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *Design handbook: precast and prestressed concrete*. Chicago, 2004.

PRECAST CONCRETE INSTITUTE (PCI). *MANUAL: Designing with Precast and Prestressed Concrete*. Chicago. Disponível em: [http://www.gcpci.org/index.cfm/precast\\_solutions/primer](http://www.gcpci.org/index.cfm/precast_solutions/primer). Acesso em: 14 mai. 2016.

STUPRÉ, SOCIETY FOR STUDIES ON THE USE OF PRECAST CONCRETE. *Precast Concrete Connections Details*. Netherlands, 1981.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. *O concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações – Volume III*. São Paulo: Studio Nobel, 2002.