

1

Estruturas pré-moldadas no mundo

*Carlos Chastre*¹ & *Válter Lúcio*²

Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

A indústria do betão pré-fabricado é, por tradição, inovadora, precursora de novas tecnologias e de novos materiais.

Importa referir que se designam *estruturas pré-moldadas* todas aquelas que são moldados fora do local da sua utilização definitiva e *estruturas pré-fabricadas* as que são moldados em instalações industriais. A produção de estruturas com elementos pré-fabricados passa pela fabricação dos elementos em ambientes que permitem um controlo de qualidade eficiente, garantindo a qualidade e durabilidade dos produtos pré-fabricados. Esta é uma das vantagens das estruturas pré-fabricadas em relação às estruturas moldadas em obra. No entanto, as ligações entre elementos, quando não são projectadas e executadas convenientemente, podem tornar-se numa desvantagem para as estruturas pré-fabricadas. Os técnicos de engenharia têm hoje ao seu dispor materiais e conhecimento que permitem conceber e executar ligações eficientes e seguras e que não põem em causa a qualidade e a segurança das estruturas pré-fabricadas.

¹ Engenheiro Civil, Mestre em Eng. de Estruturas, Doutorado em Eng. Civil.
Professor Auxiliar na Universidade NOVA de Lisboa, Portugal.
Membro da Comissão 6 - Prefabrication da *fib*.

² Engenheiro Civil, Mestre em Eng. de Estruturas, Doutorado em Eng. Civil
Pró-Reitor da Universidade NOVA de Lisboa.
Professor Associado na Universidade NOVA de Lisboa, Portugal.
Sócio Gerente da empresa VERSOR - Consultas, Estudos e Projectos Lda.
Membro da Comissão 6 - Prefabrication da *fib*. Coordenador do TG 6.14 da *fib*.

Este livro divide-se em duas grandes áreas; numa primeira abordam-se algumas aplicações de estruturas pré-moldadas no mundo e, numa segunda, descreve-se o seu comportamento estrutural face a diferentes acções.

Em termos de aplicações relata-se nos capítulos 2 a 4 a experiência da pré-fabricação em três países de diferentes continentes: o Brasil, Portugal e a Austrália. Ressalta-se, neste caso, a abordagem que a indústria da pré-fabricação fez em anteriores ciclos económicos e como superou as dificuldades encontradas. Para finalizar esta parte do livro, revelam-se, no capítulo 5, novas oportunidades que poderão surgir para a indústria da pré-fabricação.

No que diz respeito ao comportamento estrutural das estruturas pré-moldadas dá-se um especial enfoque no comportamento das ligações (rígidas e semi-rígidas), com os capítulos 6 a 8 dedicados à investigação nesta área. Depois, atendendo ao facto do comportamento das estruturas ser diferente conforme se está em zonas sísmicas ou não, da mesma forma a conceção da estrutura também tem de ser diferente. Assim sendo, no capítulo 9 aborda-se o projecto de estruturas de betão pré-fabricado às acções acidentais, uma preocupação muito característica de países onde não há registo da ocorrência de sismos e onde as ligações e as estruturas são, por norma, pouco redundantes. Por fim, reservou-se um conjunto de cinco capítulos aos fenómenos do comportamento das estruturas face às acções sísmicas. Nesta área, grande parte do conhecimento e da tecnologia actual advém da resposta dada pelos investigadores, engenheiros e construtores aos fenómenos naturais que afectam as nossas construções. Neste sentido, relata-se, no capítulo 10, a experiência do sismo de L'Aquila 2009, em Itália, e, nos capítulos 11 e 12, abordam-se os princípios básicos e o projecto de estruturas de edifícios pré-fabricados em zonas sísmicas. No capítulo 13 descreve-se um importante programa de investigação realizado nos EUA para estudar e viabilizar a inclusão de estruturas pré-fabricadas em zonas sísmicas. A terminar, no capítulo 14, relata-se a implementação de ligações dúcteis resistentes a momentos em edifícios pré-fabricados de betão e do seu bom desempenho no verdadeiro teste sísmico que foram os sismos de Christchurch (2010-2011).

Em particular, no Capítulo 2, aborda-se o tema das estruturas de betão pré-moldado no Brasil, começando por apresentar o histórico da pré-fabricação em betão e as vantagens deste tipo de construção. Em seguida, desenvolvem-se dois temas cada vez mais importantes na construção, como são o caso da sustentabilidade e da normalização. Por fim, mostram-se alguns casos de aplicações da pré-fabricação no Brasil.

Por sua vez, no Capítulo 3, apresenta-se um olhar sobre a pré-fabricação em betão em Portugal. Começando por situar a indústria da pré-fabricação no panorama português, faz-se, em seguida, uma descrição das vantagens e dificuldades tradicionais na utilização de elementos estruturais pré-fabricados em Portugal. Na continuação, refere-se o tema das ligações típicas utilizadas em viadutos e em edifícios. Por fim, mostram-se algumas realizações da indústria de pré-fabricação portuguesa.

O desenvolvimento da pré-fabricação em Melbourne, na Austrália, é abordado no capítulo 4, onde se detalham e ilustram os conceitos (soluções, componentes, ligações e montagem) que têm sido adotados e desenvolvidos para ir ao encontro do mercado local. Em Melbourne os edifícios variam entre dois e vários pisos e, em termos de metros quadrados, entre algumas centenas a dezenas de milhares. Num mercado onde o clima tem pouco impacto nos métodos de construção, os fatores de competição são geralmente os custos e outros fatores indiretos, tais como a redução da mão de obra *in situ* e a segurança. A pré-fabricação em Melbourne tem evoluído de componentes modulares simples para outros projetos de componentes bastante complexos que são, contudo, de fabrico e montagem simples. A padronização, em vez da modulação, permitiu o uso de componentes que são facilmente produzidos em projetos de arquitetura arrojados. Além da segurança, o aspeto mais crítico realçado no sucesso da construção pré-fabricada é o conceito inicial. Para manter todas as vantagens e reduzir as limitações, é fundamental que o projeto seja concebido como uma estrutura pré-fabricada desde o início.

Atendendo à crescente procura de novas fontes de energia, novas oportunidades poderão surgir para a indústria da pré-fabricação provenientes deste sector. Num mercado até agora dominado pelas estruturas de aço e com a crescente necessidade de ir mais longe, o futuro deste mercado passará, necessariamente, pelas estruturas pré-fabricadas. Neste sentido, destinou-se o capítulo 5 para a apresentação de estruturas de suporte de turbinas eólicas.

O objetivo do capítulo 6 é apresentar uma síntese da investigação realizada sobre ligações em estruturas de betão pré-moldado desenvolvidas entre 2000 e 2010 na Universidade de São Paulo e envolvendo dois tipos de ligações: pilar - fundação por meio de cálice e viga - pilar. No caso da ligação por cálice de fundação são apresentados os modelos e recomendações para ligações com interface lisa e rugosa. No que diz respeito à ligação viga - pilar, apresentam-se os estudos realizados com almofada de argamassa modificada, no sentido de promover uma certa rigidez às ligações que seriam articuladas, o que conduz a um comportamento semi-rígido das

ligações. Por fim, abordam-se dois tipos de ligações viga - pilar para edifícios industriais e para estruturas com diversos pisos.

No capítulo 7 descreve-se o trabalho que tem sido desenvolvido sobre ligações rígidas em estruturas pré-fabricadas na Universidade NOVA de Lisboa. Apresentam-se estudos efectuados no âmbito das ligações viga-pilar, pilar-fundação, parede resistente-fundação e painel de fachada-pilar. Os trabalhos apresentados referem-se a estudos sobre o comportamento das ligações para acções estáticas mas, em alguns casos, também o seu comportamento para as acções sísmicas.

No capítulo 8 apresentam-se alguns trabalhos de investigação que têm vindo a ser realizados no NETPRE-UFSCar, em colaboração com a Universidade de Nottingham, em Inglaterra, no âmbito das ligações semi-rígidas em estruturas pré-moldadas de betão. Referem-se, igualmente, os principais aspetos das estruturas pré-moldadas com ligações viga-pilar resistentes à flexão, considerando o efeito semi-rígido no comportamento global das estruturas com diversos pisos.

As estruturas pré-fabricadas são mais sensíveis ao colapso progressivo após uma explosão ou outra ação acidental do que as estruturas betonadas in situ. Uma estrutura é normalmente projetada para suportar as cargas causadas pela sua função normal, mas deve haver uma probabilidade razoável de não colapsar de forma catastrófica sob os efeitos de um uso moderado e inadequado ou de um acidente. O colapso progressivo é um evento relativamente raro, porque requer ao mesmo tempo uma ação acidental para iniciar os danos locais e uma estrutura à qual falta a continuidade adequada, a ductilidade e a redundância para resistir à propagação dos danos. É tecnicamente muito difícil e economicamente proibitivo projetar edifícios para uma segurança absoluta. Contudo, é possível construir edifícios com um grau aceitável de segurança em relação às ações acidentais. O objetivo do capítulo 9 é, de forma sumária, apresentar o conhecimento atual sobre o assunto e fornecer a orientação para o projeto de estruturas pré-fabricadas que resistem ao colapso progressivo.

No capítulo 10 são discutidas as características do sismo que atingiu a cidade de L' Aquila, em Itália, em abril de 2009. Existia uma grande variedade de edifícios, desde monumentos medievais em pedra aos edifícios modernos de betão. São abordados os conceitos negligenciados no projeto, na construção e na utilização que conduziram aos danos observados. Dá-se especial atenção às estruturas de betão pré-fabricado, cujo comportamento é analisado face ao sismo. Embora nenhuma destas estruturas se tenha desmoronado ou causado vítimas, algumas sofreram danos consideráveis,

necessitando de reparações consideráveis, o que levou à quebra da atividade produtiva durante algum tempo. Também se mostra a forma eficaz como foram acionados os socorros imediatos e os posteriores à ocorrência do sismo.

Um projeto estrutural adequado é fundamental para que a satisfação dos requisitos fundamentais de uma estrutura sejam alcançados sob a ação de um sismo. A experiência baseada na história da engenharia sísmica e a experiência recente sobre o comportamento das estruturas de betão armado mostrou que, apesar da enorme evolução dos meios informáticos, a satisfação dos requisitos fundamentais do projeto sísmico não pode ser alcançada diretamente por meio de cálculos, tendo-se verificado que a observância de alguns conceitos básicos de projeto é mais importante. O capítulo 11 enfatizará a grande importância da primeira etapa do projeto, a chamada *conceção estrutural*.

Em seguida, no capítulo 12, abordam-se as disposições de projeto para edifícios pré-fabricados em zonas sísmicas. Como se sabe, a principal diferença entre as estruturas de betão armado tradicionais, monolíticas e betonadas no local, e as estruturas pré-fabricadas correspondentes é que estas últimas são compostas por vários elementos de suporte produzidos numa fábrica e não em obra. Por conseguinte, a estrutura é composta por um conjunto de "elementos" que são reunidos através de "ligações". Assim, quando se projetam estruturas pré-fabricadas, deve ser dada especial atenção não só à sua resistência e deformabilidade, mas também às ligações. Além disso, deve-se igualmente considerar a sua localização no sistema estrutural, uma vez em que elas afetam a resposta da estrutura total sob ações sísmicas. Torna-se, portanto, óbvio que se levantem questões de regras adicionais de projeto e de disposições de projeto, em comparação com estruturas monolíticas equivalentes, quando se lida com o projeto de estruturas pré-fabricadas em zonas sísmicas. Neste capítulo será dada especial ênfase às ligações nos diversos sistemas de estruturas pré-fabricadas e à sua influência na ductilidade e rigidez do sistema estrutural.

No início de 2003 o Conselho de Desenvolvimento e Investigação do PCI deu início a uma investigação que durou cerca de cinco anos e que tinha por objectivo o desenvolvimento de uma recomendação prática para a indústria de componentes, tendo em vista a conceção e construção dos diafragmas que usam componentes de betão pré-fabricado/pré-esforçado. A construção de parques de estacionamento em betão pré-fabricado é uma das actividades mais importantes da indústria de pré-fabricação nos EUA. A alternativa preferida pelos construtores de parques de estacionamento é a construção em diafragma sem camada de betão complementar, mas esse tipo de

construção não é permitido em regiões de alto risco sísmico. Além disso, alguns parques com diafragmas pré-fabricados sem a camada de betão complementar não tiveram um bom comportamento no sismo de Northridge, em 1994. No capítulo 13 apresenta-se o projecto de investigação e os seus principais resultados relacionados com a metodologia de projeto para diafragmas sísmicos.

Finalmente, no capítulo 14, começa-se por questionar se os limites da pré-fabricação são reais ou subentendidos, apresentam-se filosofias e soluções alternativas de projeto sísmico para edifícios de betão pré-fabricados, mostrando-se igualmente algumas implementações em obra da tecnologia PRESS desenvolvida nos EUA no final da década de 90. Em seguida, reporta-se o verdadeiro teste de desempenho sísmico da tecnologia PRESS que foram os sismos de Christchurch (2010-2011). Por fim sugere-se, depois dos sismos de L'Aquila e de Christchurch, que esta é uma oportunidade para implementar ligações dúcteis resistentes a momentos em edifícios pré-fabricados de betão.