

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1– Enquadramento do tema

Com a crescente globalização e desenvolvimento tecnológico é inevitável que a indústria da construção caminhe para a crescente mecanização dos meios de construção e decrescente intervenção directa humana. Haverá tendência para reduzir a mão-de-obra, sendo esta substituída por processos mecânicos que tornem cada vez mais rápida a execução das construções e por sua vez menos dispendiosas. Sendo o betão o composto mais utilizado na construção e o factor com maior peso no orçamento de uma obra de betão armado, não só devido ao betão propriamente dito como também a toda a sua envolvente, desde a sua produção, transporte, colocação, compactação e cura, há uma necessidade de uma evolução continua de modo a otimizar o aspecto técnico-económico. O betão auto-compactável surge da necessidade dessa evolução natural e da preocupação crescente com as questões da durabilidade das estruturas.

A composição do betão convencional vibrado é actualmente estudada e controlada com grande rigor pela indústria do betão pronto, visando o cumprimento de determinados requisitos de comportamento prescritos, quer para o estado fresco, quer para o estado endurecido, ou mesmo na transição entre as duas fases. São utilizadas técnicas aprimoradas de controlo de produção, transporte e colocação para que este possua as características ideais para a sua aplicação em obra. Ainda assim, é indiscutível que a qualidade final do betão endurecido nos elementos estruturais está dependente dos trabalhos de compactação e de cura realizado na própria obra após a “entrega do betão” por parte do produtor, sendo esses trabalhos normalmente da responsabilidade do empreiteiro e exigindo a necessária mão-de-obra especializada [13].

Foi precisamente a redução desta mão-de-obra especializada e o conseqüente decréscimo da qualidade da construção que fez com que a durabilidade das estruturas de betão passasse a ser um assunto de interesse no Japão a partir de 1983 [16]. Por estas razões surgiu a necessidade do desenvolvimento de um novo tipo de betão, hoje designado de betão auto-compactável [16]. O Professor Hajime Okamura foi quem propôs este novo tipo de betão em 1986 com o objectivo de assegurar a durabilidade e homogeneidade das estruturas em betão, uma vez que este dispensava a intervenção humana na sua compactação, pois como o próprio nome indica este se auto-compacta [16]. Este novo tipo de betão foi então definido como muito fluído, homogéneo e estável, colocado sem vibração, auto-compactando-se apenas por acção da gravidade, conferindo às estruturas uma qualidade pelo menos equivalente àquela obtida nas estruturas de betão convencional vibrado [2].

Em Portugal, o mercado da construção enfrenta hoje desafios semelhantes. Nesta medida, o desenvolvimento da tecnologia do betão auto-compactável poderia trazer algumas vantagens, permitindo a utilização da mão-de-obra hoje disponível, sem decréscimo da qualidade do produto final (betão endurecido) [1]. O interesse da indústria da construção Portuguesa pela tecnologia do betão auto-compactável tem sido crescente [1], muito provavelmente pelo reconhecimento das evidentes vantagens técnicas que esta nova tecnologia oferece, não obstante

ser reconhecida a necessidade de uma optimização técnica e económica das misturas com vista a uma redução de custos que tornem o BAC mais competitivo [22].

Para além da melhoria ao nível da durabilidade das estruturas, que esteve na base do seu desenvolvimento, o betão auto-compactável oferece ainda como vantagens uma maior facilidade de colocação em zonas de difícil acesso, uma redução da duração da construção, redução da mão-de-obra envolvida nos trabalhos de betonagem, melhoria da qualidade dos acabamentos das peças de betão, melhoria das condições de trabalho dos operários atraindo assim para o mercado da construção operários mais jovens e ainda uma maior liberdade na concepção estrutural e artística das estruturas de betão [1].

Apesar das vantagens referidas, tem havido ainda alguma resistência à implementação do betão auto-compactável como alternativa ao betão convencional vibrado, pelo menos em Portugal. Este novo tipo de betão é ainda hoje visto como um betão especial para situações especiais e não como um betão corrente [13]. Para este efeito muito contribui o aspecto económico, visto que o custo de produção dos betões auto-compactáveis é em geral assumido como sendo superior ao custo de produção dos betões convencionais vibrados [11]. Outra razão prende-se com o facto deste tipo de betão ser certamente um dos mais difíceis de conceber e controlar, devido à necessidade de se encontrar um equilíbrio entre as suas diferentes propriedades que dependem de distintos mecanismos [13]. Por exemplo, o betão auto-compactável é estudado visando a obtenção de determinadas propriedades no estado endurecido, enquanto no estado fresco este betão deverá apresentar simultaneamente uma elevada capacidade de deformação, adequada viscosidade e deverá cumprir alguns requisitos funcionais relacionados com a sua aplicação prática, como sejam, uma grande capacidade de enchimento, resistência à segregação e capacidade de passagem em zonas confinadas por armaduras, para além de uma elevada estabilidade estática após a betonagem. Também a falta de divulgação e implementação de tecnologia na indústria da construção, provavelmente devido à falta normalização específica para este novo tipo de betão, contribui para este efeito [13].

O surgimento do método proposto por Hajime Okamura e seus colaboradores [3, 12, 17, 18], que ficou conhecido como “método de Okamura” ou “método geral”, representou um passo muito significativo para a tecnologia do betão. Este método foi direccionado unicamente para os betões do tipo finos, onde a adequada viscosidade é conseguida mediante a utilização de grande quantidade de materiais finos (cimento e adições na sua maioria). Pela sua grande simplicidade de procedimentos, este método permite dosear de forma expedita os componentes do betão de modo a obter a necessária auto-compactabilidade. Não obstante, o método de Okamura tem sido considerado por muitos como conservador por conduzir a betões com elevados volumes de pasta em comparação com uma mistura optimizada e, por outro lado, não permite controlar de uma forma tão acessível, como desejável, a resistência à compressão dos betões na fase de estudo da mistura [13]. Posteriormente, a Sociedade Japonesa de Engenharia Civil (JSCE) [3, 12] estabeleceu algumas recomendações que permitiram balizar a composição dos betões auto-compactáveis, incluindo já a possibilidade de se utilizarem betões com agentes de viscosidade. Para além disso, as recomendações da JSCE incluem a possibilidade de adequação das misturas

a diferentes níveis de restrição na passagem pelas armaduras, mediante o conhecimento do espaçamento entre varões e da taxa de armaduras.

A tentativa de optimização das misturas, objectivando a redução das dosagens de pasta e a conseqüente redução de custos na produção de betões auto-compactáveis está subjacente em muitos trabalhos de investigação, desenvolvidos desde o surgimento do método geral. Os métodos propostos variam desde os mais simples até aos mais complicados e sofisticados modelos de previsão do comportamento do betão no estado fresco. Na Europa, uma primeira tentativa de optimização das misturas surgiu com o método proposto por Petersson et al. [19, 20], seguida imediatamente por outras propostas nas quais se inclui a proposta de Sedran e Larrard [21]. Mais recentemente, em Portugal, Nepomuceno [13] apresentou uma nova metodologia para o estudo da composição de betões auto-compactáveis, admitindo como ponto de partida o método geral proposto por Okamura et al. Esta nova metodologia, à semelhança de outras, permitiu optimizar a composição dos betões auto-compactáveis, estabelecendo relações entre os parâmetros de cálculo da mistura, a auto-compactabilidade (avaliada pelos ensaios de espalhamento, de fluidez, da caixa e da caixa-L) e a resistência à compressão dos betões auto-compactáveis. A vantagem mais significativa desta nova metodologia resulta do facto de permitir conciliar a necessária resistência com as adequadas propriedades reológicas e de auto-compactabilidade dos betões no estado fresco, para uma variedade muito significativa de materiais, baseando-se em procedimentos simples e repetíveis para outros materiais que eventualmente venham a ser incorporados.

Para a avaliação da auto-compactabilidade, os métodos desenvolvidos no Japão utilizam o ensaio da Caixa, enquanto na Europa se utiliza o ensaio da Caixa-L. Este aspecto é relevante sempre que se pretenda estabelecer ou comparar níveis de auto-compactabilidade. Um dos aspectos que se salienta é de que na Europa a auto-compactabilidade é estabelecida para um nível de restrição na passagem pelas armaduras muito elevado e que é reproduzido no ensaio da Caixa-L, mediante um afastamento de aproximadamente 34 mm entre varões. É indiscutível que um betão que seja auto-compactável nestas circunstâncias sê-lo-á certamente para restrições menos exigentes. No entanto, numa tentativa de optimização das misturas, dir-se-ia que o nível de auto-compactabilidade deveria ser adequado especificamente para a estrutura em análise, isto é, mais do que garantir a auto-compactabilidade na Caixa-L, deveria garantir-se a auto-compactabilidade nas peças a betonar. Dito de outra forma, o que se pretende é garantir a trabalhabilidade do betão aquando da betonagem, num sentido mais lato do termo. Nesta perspectiva, considera-se existir ainda margem para uma optimização da mistura, tendo em vista o estudo da composição do betão para aplicações específicas onde as restrições ao escoamento sejam previamente conhecidas.

O desenvolvimento do betão auto-compactável para aplicações específicas não é um conceito novo. Este princípio está aliás bem patente nas recomendações da JSCE ao estabelecer os requisitos de auto-compactabilidade a obter no ensaio da Caixa adequados a diferentes níveis de restrição nas armaduras e diferentes taxas de armaduras. No entanto, o volume máximo de agregados grossos surge apenas na forma de recomendação do intervalo de variação admissível,

não fornecendo ferramentas de cálculo que permitam quantificar esse volume. Acresce o facto, como se referiu, de que estes requisitos de auto-compactabilidade serem analisados pelo ensaio da Caixa, que na Europa tem sido substituído pelo ensaio da Caixa-L.

A este respeito, podem ser ainda identificadas outras referências, nomeadamente no método do CBI proposto por Petersson et al. [19, 20], que estabelece o volume máximo de agregados grossos das misturas através do critério de bloqueio, tendo em consideração a máxima dimensão do agregado, a distância entre varões e ainda o diâmetro desses varões. Neste método, porém, não são fornecidas indicações relativamente aos requisitos a obter na Caixa-L face a diferentes restrições aos escoamento identificadas nas peças a betonar e que permitam aferir a auto-compactabilidade dos betões para aplicações específicas. Na metodologia proposta por Nepomuceno na sua tese de doutoramento [13], a possibilidade de optimização técnica e económica dos betões auto-compactáveis para aplicações específicas, com vista à redução dos volumes de pasta e, indirectamente, do custo das misturas, encontra-se patente nas propostas para trabalhos futuros.

A optimização técnica dos betões auto-compactáveis, nos termos definidos neste trabalho, por via da sua adequação a aplicações específicas com restrições ao escoamento previamente conhecidas, tem por objectivo incrementar o volume máximo de agregados grossos da mistura em situações de menor restrição ao escoamento, viabilizando desse modo a redução do volume total de argamassa desses betões e, em consequência, a redução dos volumes dos materiais finos e do adjuvante, que constituem os componentes mais dispendiosos dos betões. Por essa via, obtém-se a optimização económica desses betões, mas também, provavelmente, uma melhoria no seu desempenho no estado endurecido, nomeadamente nos fenómenos de retracção ou outros, normalmente associados à elevada percentagem de pasta dos betões auto-compactáveis.

A revisão bibliográfica efectuada permitiu identificar que existe ainda margem para a optimização técnica e económica dos betões auto-compactáveis estudados com recurso à metodologia proposta por Nepomuceno, viabilizando, desta forma, o aumento da sua competitividade face aos betões ditos convencionais.

1.2– Objectivos e justificação do tema proposto

A metodologia de estudo da composição de betões auto-compactáveis proposta por Nepomuceno [13] tem demonstrado entre nós a sua viabilidade, permitindo a tão difícil conciliação de requisitos do betão no estado endurecido com aqueles exigidos no estado fresco. Contudo, como o próprio autor refere na sua tese [13], esta metodologia constituiu apenas um ponto de partida, carecendo ainda de um extenso trabalho de investigação que permita optimizar a sua composição, tanto quanto possível, tendo por objectivo o aumento da sua competitividade face aos betões ditos convencionais vibrados. É neste sentido que nasce o presente trabalho que, tendo por base o método de Nepomuceno [13], pretende experimentalmente optimizar as misturas de betão auto-compactável reduzindo os custos de produção. Assim, surge o tema “*Optimização técnico-económica de betões auto-compactáveis*”.

O presente trabalho pretende assim representar um pequeno “*paço em frente*” na metodologia para a composição de betões auto-compactáveis previamente desenvolvida por Nepomuceno. O objectivo principal é o de otimizar esta metodologia, introduzindo novos parâmetros que tenham em conta o diâmetro, o espaçamento entre varões e a máxima dimensão do agregado, viabilizando a sua optimização para elementos específicos de betão armado com restrições previamente conhecidas. Como consequência dessa optimização técnica dos componentes do betão auto-compactável, espera-se reduzir o seu custo total.

Na prossecução desse objectivo, que necessariamente se deveria desenrolar num horizonte temporal relativamente curto, foi delineada uma metodologia que permitisse obter resultados experimentais preliminares com um grau de confiança satisfatório e que suportassem conclusões relevantes sobre a viabilidade da optimização técnica e económica das misturas. O programa experimental incluiu a adequação do ensaio da Caixa-L, introduzindo nesta diferentes níveis de restrições, correspondentes a diferentes espaçamentos entre armaduras e a realização de misturas de betão auto-compactável com diferentes volumes de agregados grossos. A partir dos resultados obtidos pretendia-se desenvolver um modelo de cálculo que permitisse quantificar as dosagens máximas de agregados grossos que é possível incorporar face a restrições identificadas nas peças a betonar. Adicionalmente, pretendia-se quantificar a redução de custos proporcionada por essa optimização e estabelecer a sua comparação com os betões ditos convencionais. Todos os ensaios efectuados neste trabalho foram realizados no Laboratório de Tecnologia e Ensaios Mecânicos do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da UBI, pois este dispunha dos equipamentos necessários para a realização destes ensaios.

1.3 – Organização do trabalho

A estrutura do presente trabalho encontra-se subdividida em três partes: pré-textual, textual e referencial. A parte pré-textual engloba o âmbito do trabalho, dedicatória, agradecimentos, resumo analítico, índice geral, índice de figuras e de quadros, listagem de siglas e da simbologia utilizada. A parte textual é constituída por 6 Capítulos que engloba a revisão bibliográfica (Capítulos 1 e 2) e a contribuição para o estudo realizado neste trabalho “optimização técnica económica de betões auto-compactáveis” (Capítulos 3 a 6). Por fim, a parte referencial inclui todas as referências bibliográficas citadas neste trabalho e todos os anexos.

De forma mais pormenorizada, o Capítulo 1 é constituído pela introdução ao tema estudado, pelos objectivos e pela descrição da organização geral do trabalho. No Capítulo 2 são apresentados alguns métodos de estudo da composição de betões auto-compactáveis, nomeadamente, o método de Okamura, o método da JSCE, o método do CBI e o método de Nepomuceno. No Capítulo 3 é feita a descrição do programa experimental, estando subdividida em sub-Capítulos: selecção e caracterização dos materiais utilizados, definição das curvas granulométricas de referência dos agregados, estudo em argamassas e estudo em betões. No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos pela mesma ordem dos sub-Capítulos do Capítulo 3. No Capítulo 5 serão discutidos os resultados apresentados no Capítulo 4. Será apresentada também neste capítulo uma proposta de adequação do método de Nepomuceno e uma avaliação da optimização técnico-económica dos betões auto-compactáveis com as

respectivas comparações. Por fim, no Capítulo 6 serão apresentadas as conclusões gerais e propostas para trabalhos futuros.