

Introdução

Com a ampliação do campo de utilização do concreto começaram a surgir alguns problemas no seu processo de adensamento, decorrentes, principalmente, da complexidade de muitas estruturas executadas no Japão. Isto se deve, sobretudo, a grande quantidade de armadura empregada para garantir resistência aos abalos sísmicos existentes na região. Além disso, para a perfeita execução de estruturas são necessários operários qualificados, que foram reduzindo gradualmente com a modernização da indústria japonesa. Estes problemas estavam afetando a qualidade final das construções, o que levou à necessidade de se desenvolver um concreto que apresentasse um grau de consistência capaz de dispensar o processo mecânico de adensamento tradicional e, com isso, possibilitasse a obtenção de estruturas mais duráveis.

Nunes (2001)^{1.1} relata que, para atender a este requisito lançou-se mão da produção de concretos fluidos, o que foi possível devido à utilização dos aditivos superplastificantes, especialmente os de 3º geração. Apesar deste avanço, o nível de fluidez atingido pelo material levou à ocorrência de exsudação e segregação. Havia, então, a necessidade de se produzir um concreto com trabalhabilidade suficiente a ponto de eliminar o processo de adensamento mecânico, além de níveis de resistência mecânica adequados.

Com o avanço na investigação em torno do material desejado, surge o concreto auto-adensável CAA (*Self-compacting concrete SCC*)^{1.2}, inicialmente no Japão, em 1986, desenvolvido na Universidade de Tóquio (OKAMURA, 1997)^{1.3}.

Assim, o termo concreto auto-adensável passou a identificar uma categoria de material cimentício capaz de fluir pelo interior das fôrmas, preenchendo-as

^{1.1} NUNES, S. C. B. **Betão auto-compactável: Tecnologia e propriedades**. Pós-graduação em Estruturas de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 198p., 2001;

^{1.2} Neste trabalho o concreto auto-adensável será designado doravante pelas iniciais CAA.

^{1.3} OKAMURA, H. *Self-compacting high performance concrete*. In: **Concrete International**, v.19, n. 7, p. 50-54, July, 1997;

completamente sob a ação única de seu próprio peso e dispensando o processo de vibração. Da mesma forma, a auto-adensabilidade do concreto no estado fresco passou a ser descrita como a habilidade de todo o material preencher espaços, envolver as barras de aço e outros obstáculos através, exclusivamente, da ação da força da gravidade, mantendo uma homogeneidade adequada (BOSILJKOV, 2003)^{1.4}.

Com base nisso, a EFNARC (2001)^{1.5} estabeleceu alguns critérios básicos para que uma mistura de concreto seja classificada como auto-adensável, quais sejam: a) capacidade de preencher todos os espaços no interior da fôrma (*filling ability*); b) capacidade de passar através de pequenas aberturas como espaçamentos entre barras de aço (*passing ability*); e c) capacidade de permanecer uniforme e coeso durante o processo de transporte e lançamento (*segregation resistance*).

Justificativa e colocação do problema

Vários estudos têm sido desenvolvidos em diferentes países a fim de difundir o uso do concreto auto-adensável. Isto tem sido evidenciado pela ocorrência de diversos simpósios e conferências sobre o tema, o que demonstra o grande interesse da comunidade técnica e científica pela aplicação desse material (MELO, 2005)^{1.6}. Também, o desenvolvimento do CAA teve um forte impacto nos engenheiros e profissionais do mercado especialistas em tecnologia do concreto (SHINDOH & MATSUOKA, 2003)^{1.7}. De modo que, “esse novo produto representa um marco nas pesquisas do concreto” (PROSKE e GRAUBNER, 2002, p.1)^{1.8}.

^{1.4} BOSILJKOV, V. B. *SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler*. In: **Cement and concrete research**. Islândia, p. 1279-1286, 2003;

^{1.5} EFNARC - EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **Specification and guidelines for self-compacting concrete**. In: EFNARC. London, February, 32p., 2002;

^{1.6} MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filler calcário**. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 180 p., 2005;

^{1.7} SHINDOH, T.; MATSUOKA, Y. *Development of combination-type self-compacting concrete and test methods*. In: **Journal of advanced concrete technology**, Vol. 1, n. 1, p.23-36, 2003;

^{1.8} PROSKE, T.; GRAUBNER, C. A. – *Self-compacting concrete-pressure on formwork and ability to deaerate*. In: **Darmstadt concrete**. n.17, 2002;

Definido pela EFNARC (2001) como o mais revolucionário desenvolvimento tecnológico ocorrido na construção de estruturas concreto nas últimas décadas. Considerado por Collepardi (2001)^{1.9}, o material cimentício mais avançado da atualidade.

Particularmente no ramo de pré-fabricados, o concreto auto-adensável tem emergido de um objeto de estudo teórico para tornar-se muito popular (BRÜCK, 2007)^{1.10}. Em poucos anos, o CAA tem sido mais a regra do que a exceção em países industrializados (WALRAVEN, 2007)^{1.11}, de forma que, "... não existe tópico na indústria de pré-fabricados de concreto que tenha ganhado tanta atenção como o concreto auto-adensável, já utilizado em 100 por cento de sua produção em algumas plantas" (PCI, 2003, p. 9)^{1.12}.

Tudo isso pode ser explicada devido à existência de uma série de melhorias no seu processo de aplicação. Nunes (2001) destaca que o CAA, em virtude da sua propriedade auto-nivelante, diminui sensivelmente a necessidade de desempenho das superfícies, nos elementos horizontais e de acabamento nas superfícies verticais, as quais se apresentam suaves, uniformes e livres de imperfeições.

Segundo Coppola (2000)^{1.13}, a grande fluidez do CAA permite a eliminação de macro defeitos, bolhas de ar e falhas de concretagem, responsáveis diretos por perdas de desempenho mecânico do concreto e durabilidade da estrutura. Também é importante frisar que esta tecnologia acelera o ritmo da concretagem, podendo haver um ganho de tempo da ordem de vinte a vinte e cinco por cento.

Bartos & Söderlind (2000)^{1.14}, em estudo experimental realizado, concluíram que o ruído captado por trabalhadores no entorno da edificação, quando utilizado o

^{1.9} COLLEPARDI, M. *A very close precursor of self-compacting concrete (SCC)*. In: *Supplementary volume of the Proceedings of Three-day CANME/ACI Internacional Symposium on Sustainable Development and Concrete Technology*, September, p. 16-19, 2001;

^{1.10} BRÜCK, M. *New perspectives for precast concrete for an innovative low cost housing system*. In: *Cape town international concrete conference & Exhibition*, p. 74-77, 2007;

^{1.11} WALRAVEN, J. *SCC applied in the precast concrete industry*. In: *Cape town international concrete conference & Exhibition*, p. 24-27, 2007;

^{1.12} PCI – *Precast/Prestressed Concrete Institute*. *Interim guidelines for the use of self-consolidating concrete in precast/prestressed concrete institute member plants*. 88p., 2003;

^{1.13} COPPOLA, L. *Self-compacting concrete*. In: *Concrete Technology*. p. 42-47, 2000;

^{1.14} BARTOS, P. J. M.; SÖDERLIND, L. *Environment and ergonomics*. In: *Brite EuRam Program: Rational production an improved working environment through using self compacting concrete*. Task 8.5, p.1-31, 2000;

CAA é de aproximadamente um décimo do ruído, em decibéis, recebido quando o concreto convencional é utilizado.

As condições de trabalho na indústria de pré-fabricados em alguns países como a Holanda têm sido melhoradas constantemente devido à pressão exercida pelo governo. Neste sentido, o CAA exerceu um papel fundamental, sobretudo, para minimizar a poluição sonora (BENNENK, 2007a)^{I.15}.

De La Peña (2001)^{I.16} acrescenta que a possibilidade de eliminação da vibração é muito interessante, uma vez que, além da economia de energia elétrica, o uso de CAA possibilita um menor desgaste às fôrmas pela eliminação do vibrador.

Além disso, o desenvolvimento de concretos que utilizam alta dosagem de resíduos sólidos industriais na forma de finos, especificamente o CAA, são uma contribuição positiva para o desenvolvimento sustentável do concreto. Ao utilizar-se sílica ativa, cinza volante e cinzas de casca de arroz, em substituição ao cimento, obtêm-se um ganho ecológico significativo, já que estes materiais são resíduos ou subprodutos industriais (GOMES *et al.*, 2003)^{I.17}.

No entanto, segundo Melo (2005), uma avaliação econômica centrada apenas na produção unitária do concreto pode apresentar altos custos iniciais. HO *et al.* (2001)^{I.18} considera que esse aumento de custo pode ser bem expressivo em relação ao concreto comum, dependendo da composição e do controle de qualidade na produção. O encarecimento do CAA pode ocorrer, por exemplo, quando se opta por utilizar uma pequena quantidade de adições, tendo como conseqüência um consumo elevado de cimento e, em alguns casos, a necessidade de se empregar um aditivo promotor de viscosidade.

Porém, pesquisadores a exemplo de Ambroise *et al.* (1999)^{I.19} têm testado alguns concretos auto-adensáveis que tiveram um aumento de apenas 20% no

^{I.15} BENNENK, W. SCC applied in the precast concrete industry. In: **Cape Town: International concrete conference & Exhibition**, p. 24-27, 2007a;

^{I.16} DE LA PEÑA, B. *Hormigón autocompactante*. In: **Revista BIT**, Junho, 2001;

^{I.17} GOMES, P. C. C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L. Uma nova metodologia para obtenção de concretos auto-adensáveis de alta resistência com aditivos minerais. In: **V Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto**. São Paulo/SP, p. 1-14, 2003;

^{I.18} HO, D. W. S.; SHEINN, A. M. M.; TAM, C. T. *The sandwich concept of construction with SCC*. **Cement and Concrete Research**, v.31, n. 10, p. 1377-1381, Oct. 2001;

^{I.19} AMBROISE, J; ROLS, S.; PÉRA, J. *Production and testing of self-leveling concrete*. In: **High performance concrete**. CD-ROM. Gramado, p. 555-565, 1999;

custo dos materiais em relação ao concreto convencional e, levando-se em consideração a diminuição do custo com lançamento e adensamento, resultaria num valor final equivalente. Adicionalmente, segundo Bennenk (2007a)^{1.20}, o aumento do custo do material é compensado pela redução de mão de obra consumida.

Todas essas vantagens são geralmente declaradas como justificativa para o aumento do custo do material. Mas diante de um custo de mão de obra tão baixa como no Brasil, será que é viável a implantação do CAA? As práticas realizadas na produção apontam que sim.

Contudo, o concreto auto-adensável ainda não é muito utilizado e, de acordo com Tutikian (2004)^{1.21}, além de haver poucas referências a respeito, normalmente, as aplicações são em estruturas muito complexas, difíceis de se concretar com o concreto convencional. Ou seja, no Brasil o uso do CAA está limitado apenas em casos especiais. O que pode explicar o atraso no estágio atual de desenvolvimento tecnológico desse novo material no país? Isso se deve a uma carência de documentos técnicos e de base científica que permitam a evolução dessa nova tecnologia (no início desse trabalho, só haviam duas dissertações publicadas).

Portanto, se faz necessário o desenvolvimento e divulgação de metodologias que possam ser facilmente aplicadas regionalmente, a exemplo da nova metodologia de dosagem proposta, pois, de forma geral, os métodos existentes baseiam-se em passos intermediários de ajuste dos materiais (primeiramente na pasta, mais adiante na argamassa e só por fim no concreto), que acabam por gerar um procedimento lento e trabalhoso.

Outra questão importante a ser resolvida diz respeito à relevância de se conhecer as características do concreto auto-adensável no estado fresco. Na prática, isso pode ser entendido ao se verificar que dois concretos quaisquer que possuem o mesmo abatimento ou espalhamento podem; entretanto, sob fluxo, apresentarem um comportamento distinto (HOPPE FILHO; CINCOTTO & PILEGGI,

^{1.20} BENNENK, W. *SCC applied in the precast concrete industry. In: Cape town international concrete conference & Exhibition*, p. 24-27, 2007a;

^{1.21} TUTIKIAN, B. F. **Métodos para dosagem de concretos auto-adensáveis** – Porto Alegre: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 148p., 2004;

2007)^{1.22}. Por exemplo, o concreto com menor viscosidade escoará mais facilmente por tubulações e se moldará melhor às fôrmas, é claro, se o mesmo não apresentar segregação.

Conseqüentemente, não se pode atribuir o comportamento do concreto apenas pela mensuração do abatimento, para os concretos convencionais, ou espalhamento, para os auto-adensáveis, pois o ensaio do tronco de cone é deficiente quanto à caracterização reológica. Por vezes, o teste do flow-table (NBR NM 68)^{1.23} apresenta resultados adequados para dosagem de um concreto comum e de altodesempenho, mas não suficiente para cumprir os requisitos de trabalhabilidade de um CAA.

Desta forma, é fundamental qualificar o comportamento do concreto em simulação idêntica à sua aplicação. Outra possibilidade é a realização de ensaios prévios com reômetros, que são equipamentos que permitem determinar de forma quantitativa os parâmetros reológicos que governam o comportamento do concreto no estado fresco. Todavia, reômetros ainda são de elevado custo e de difícil aplicabilidade em canteiro (FAVA & FORNASIER, 2004)^{1.24}.

Por todos esses motivos, particularmente no caso do concreto auto-adensável, têm sido desenvolvidos diversos ensaios simples para avaliar de forma qualitativa os parâmetros reológico, podendo contribuir, assim, para uma maior assimilação dessa nova tecnologia.

Dessa forma, a proposta de estudo justifica-se pelo desafio de desenvolver um produto extremamente vantajoso, em particular para o emprego em pré-fabricados de concreto, na medida em que os vários requisitos referentes à sua produção forem satisfeitos, acompanhando, assim, uma tendência internacional do setor.

^{1.22} HOPPE FILHO, J.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. Técnicas de caracterização reológica de concretos. In: **Revista Concreto & Construções**. Ed. IBRACON. n. 47. São Paulo, p. 108-124, 2007;

^{1.23} ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff. NBR NM 68**. Rio de Janeiro, 1998;

^{1.24} FAVA, C.; FORNASIER, G. *Homígonos autocompactantes*. In: **Homígonos especiales**. Ed. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Santa Fe,, p. 57-96, 2004;

Centros de pesquisas e pesquisadores principais

No Brasil o estudo do concreto auto-adensável ainda é muito recente, porém destacam-se algumas instituições principais, dentre as quais se pode citar:

- a) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP): Prof. Paulo Helene;
- b) Universidade Estadual Paulista (UNESP): Prof^a Mônica Pinto Barbosa;
- c) Universidade Federal de Alagoas (UFAL): Prof. Paulo C. Correia Gomes;
- d) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC): Prof. Wellington Repette;
- e) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS): Prof^a Denise Dal Molin e Prof. Luis Carlos Pinto da Silva Filho;

No exterior, vários centros de pesquisa dedicam-se ao estudo do CAA, entre os quais estão:

- a) *Center for Advanced Cement-Based Materials (ACBM) & Northwestern University, USA*: Prof. Surendra P. Shah;
- b) *Eindhoven University of Technology, The Netherlands*: Prof. Wim Bennenk;
- c) *Delft University of Technology (TUD), The Netherlands*: Prof. Joost Walraven;
- d) *University of Minho (UM), Portugal*: Prof. Joaquim O. Barros;
- e) *Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), España*: Prof. Luis Agulló Fite e Bryan E. Barragán;
- f) *Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España*: Prof. Pedro Serna Ros;
- g) *National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan*: Prof. Nan Su;
- h) *University of Paisley, Scotland*: Prof. Peter Bartos;
- i) *Indian Institute of Technology Mandras (IITM), India*: Prof. Ravindra Gettu;

- j) *University College of London*,, UK: Prof. Peter Domone;
- k) *University of Tóquio*, Japan: Prof. Hajime Okamura, M. Ouchi e K. Ozawa;
- l) *École Central de Nantes (UNIVERSITÉ DES NANTES)*, France: Prof. Gilles Pijaudier-Cabot e Ahmed Loukili;
- m) *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)*, France : François de Larrard et Nicolas Roussel.

Objetivos principais e secundários

O objetivo principal desse trabalho é:

- Desenvolver uma metodologia prática de dosagem do CAA, fundamentada no Método IBRACON, que é largamente utilizado pelo meio técnico para o concreto comum, e dessa forma contribuir com uma maior aplicabilidade e disseminação dessa nova tecnologia no país.

Como objetivos secundários, pode-se citar:

- Realizar uma análise crítica dos principais ensaios de trabalhabilidade disponíveis para o concreto auto-adensável, apresentando suas vantagens e limitações, correlacionando com os parâmetros reológicos fundamentais, bem como com a aplicação prática, validando-os para a qualificação do CAA para a produção em indústria de pré-fabricados;
- Dosar concretos auto-adensáveis a partir da nova metodologia proposta, para dois níveis de auto-adensabilidade, sem adições minerais e com metacaulim e filer calcário, para resistência compreendidas entre 70-50MPa e comparar os principais resultados obtidos com alguns indicadores encontrados na bibliografia;
- Avaliar os cuidados específicos para a produção do concreto auto-adensável em planta industrial de pré-fabricados, analisando os aspectos de produtividade e viabilidade de implantação dessa tecnologia, a partir de um estudo de caso voltado a uma empresa especializada do setor.

Metodologia de desenvolvimento e organização da dissertação

O presente trabalho teve início com um breve histórico, definição e características principais do concreto auto-adensável, objeto do presente estudo. Apresentou-se também a justificativa, a colocação dos problemas a serem estudados e os objetivos dessa dissertação.

O plano de trabalho que se segue é dividido em três etapas principais: levantamentos secundários para embasamento teórico e levantamento de dados primários de base empírica. As conclusões obtidas nessa dissertação estão baseadas na correlação dessas duas etapas.

a) Embasamento teórico:

Essa etapa é formada pela revisão bibliográfica principal sobre o tema. Apresentam-se os fundamentos de reologia aplicada à tecnologia do concreto auto-adensável, criando assim um embasamento teórico consistente para o melhor entendimento dos ensaios específicos de trabalhabilidade e da nova metodologia de dosagem proposta.

Em seguida, trata-se dos principais ensaios de avaliação das propriedades do CAA no estado fresco. Alguns desses já são normalizados, outros, por serem amplamente citados na bibliografia técnica especializada, também são objetos de análise, a saber:

- a) *Slump flow e Flow T50* (ASTM C 1611, 2006^{1.25}; EN12350-8, 2007^{1.26});
- b) *V-funnel* (EN12350-9, 2007)^{1.27};
- c) *L-box* (EN12350-10, 2007)^{1.28};
- d) *U-box* (HAYAKAWA, M.; MATSUAKA, Y.; SHINDOH, T., 1993)^{1.29};

^{1.25} AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard test method for slump flow of self-consolidating concrete**. C 1611. Philadelphia, 2006;

^{1.26} EUROPEAN STANDARD (EN). **Testing fresh concrete – Part 8: Self-compacting concrete – Slump-flow test**. EN 12350-8. Brussels, 2007;

^{1.27} _____. **Testing fresh concrete – Part 9: Self-compacting concrete – V-funnel test**. EN 12350-9. Brussels, 2007;

^{1.28} _____. **Testing fresh concrete – Part 10: Self-compacting concrete – L-box test**. EN 12350-10. Brussels, 2007;

- e) *J-ring* (ASTM C 1621, 2006^{1.30}; EN12350-12, 2007^{1.31});
- f) *U-shaped pipe* (GOMES, 2002^{1.32});
- g) *Column technique* (ASTM C 1610, 2006^{1.33}).

É feita uma classificação da consistência do concreto fresco, trabalhado nesse plano de pesquisa, de acordo com critérios estabelecidos pelo EPG (2005)^{1.34}, que são internacionalmente aceitos e divulgados.

Posteriormente, são expostos dois métodos principais de dosagem do CAA: o 1º método, proposto pelos Japoneses (OKAMURA & OUCHI, 2003)^{1.35}, que estabelece as bases dessa tecnologia; e o método Holandês (BENNENK, 2007b)^{1.36}, que foi desenvolvido com base nesse primeiro para uma aplicação específica na indústria de pré-fabricados de concreto; foco deste trabalho. Então, faz-se uma análise crítica aos métodos existentes.

A inovação principal pretendida por essa dissertação é a contribuição feita ao Método IBRACON (HELENE, 2005)^{1.37}, a partir da nova metodologia de dosagem do concreto auto-adensável proposta. Essa metodologia considera a correção da coesão do concreto fresco por finos pozolânicos ou não pozolânicos, de maior área específica que o material substituído, onde formulações mais pobres em cimento exigem maior teor de substituição de finos, quando comparadas com composições

^{1.29} HAYAKAWA, M.; MATSUAKA, Y.; SHINDOH, T. *Developmente & Application of super workable concrete*. In: *RILEM International workshop on special concretes: Workability and mixing*, p. 183-190, 1993

^{1.30} _____. *Standard test for passing ability of self-consolidating concrete by j-ring. C 1621*. Philadelphia, 2006;

^{1.31} _____. *Testing fresh concrete – Part 12: Self-compacting concrete – J-ring test. EN 12350-12*. Brussels, 2007;

^{1.32} GOMES, P. C. C. *Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete*. Tese de doutorado. Barcelona, 139p., 2002;

^{1.33} _____. *Standard test for static segregation of self-consolidating concrete using column technique. C 1610*. Philadelphia, 2006;

^{1.34} EPG – *European Project Group* (BIBM; CEMBUREAU; ERMCO; EFCA; EFNARC). *“The European guidelines for self compacting concrete”*. 63p., 2005;

^{1.35} OKAMURA, H.; OUCHI, M. *Self-compacting concrete*. In: *Journal of advanced concrete technology*, v.1, n. 1, p. 5-15, 2003;

^{1.36} BENNENK, W. *The mix design of self compacting concrete*. In: *Cape Town: International concrete conference & Exhibition*, p. 16-19, 2007b;

^{1.37} HELENE, P. *Dosagem do Concreto de Cimento Portland*, In: ISAIA, G. C., Editor. In: *Concreto: Ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo, v. 1, p. 75-107, 2005;

mais ricas. Assim, foi possível a criação de uma correlação entre a relação agregados/cimento (m) e o teor ótimo de substituição (T), acrescentando um 4º quadrante ao Diagrama de Dosagem do método IBRACON original.

A segunda importante contribuição que se pretende ao citado método é o acréscimo de alguns ensaios de trabalhabilidade do concreto fresco, que se tornam fundamentais para a qualificação do CAA para uma aplicação prática.

b) Base empírica e experimental:

Essa etapa é composta pela exposição das variáveis de estudo, caracterizações dos materiais, consistência do concreto fresco trabalhado, plano experimental com as famílias de concreto estudadas, ensaios de trabalhabilidade realizados e procedimentos gerais adotados no experimento.

Na seqüência, são apresentados os resultados dos testes de trabalhabilidade, resistência à compressão e toda a análise dos resultados, onde são comparados os concretos de referência com os auto-adensáveis para dois níveis de fluidez, com e sem adição de metacaulim ou filer calcário, obtidos a partir da nova metodologia. Para facilitar a análise, são apresentadas tabelas de caracterização das misturas estudadas (traço unitário) e tabelas com consumo de cada componente dos respectivos traços (kg/m^3 e l/m^3), que são confrontados com os consumos das misturas tipicamente encontrados na bibliografia, a partir de alguns indicadores existentes. Além disso, são apresentados os Diagramas de Dosagem para cada família. Então é feito um estudo de custo unitário para traços de resistência de 50, 60 e 70MPa.

São discutidos, também nessa seção, as principais modificações de produção sofridas com a implantação do CAA em indústria de pré-fabricados, baseado em estudo de caso e na experiência deste pesquisador ao contribuir por meio do presente estudo para uma implantação pioneira em escala de produção industrial dessa nova tecnologia em uma empresa tradicional do setor, empresa esta onde também foi realizado o plano experimental do trabalho. Por fim, é realizada uma análise dos aspectos de viabilidade da implantação e produtividade em produção industrial.

c) Formulação das conclusões:

As conclusões principais do embasamento teórico e empírico do trabalho visam alcançar os objetivos estabelecidos e a transferência de conhecimento ao meio técnico proposto, como se pretende demonstrar. Aqui são apresentadas as principais conclusões obtidas.

Ficou evidente a grande correlação existente entre os principais ensaios de trabalhabilidade do concreto fresco com os parâmetros reológicos fundamentais, bem como as aplicações práticas na indústria de pré-fabricados, provando assim serem adequados para a qualificação do CAA para a produção.

Quando comparados os valores de consumos e volumes médios dos materiais obtidos nos traços dosados a partir da nova metodologia de dosagem proposta com os tipicamente encontrados na bibliografia, percebe-se que os resultados foram compatíveis para vários indicadores internacionalmente estabelecidos. Dessa forma, comprova-se a eficácia dessa nova metodologia para a dosagem de concretos auto-adensáveis.

Nos traços com adição, o teor de substituição (T) colaborou para a redução do teor de argamassa, comparado com os traços sem adição. De uma maneira geral, nos concretos com filler, o T cresce em quocientes maiores, na medida que se caminha dos traços mais ricos para os mais pobres, para compensar os finos, quando comparados aos concretos com metacaulim. Isso se deve a grande finura dessa última adição. Percebe-se, também, que a presença de adição proporciona um aumento da resistência, para uma dada relação agregados/cimento (m) e, dessa forma, contribuiu para a obtenção de traços com custos mais competitivos.

Conclui-se pelos estudos de produtividade e viabilidade de implantação que o CAA é uma opção vantajosa para o setor de pré-fabricados de concreto, porém é extremamente necessário haver algumas modificações de equipamentos e procedimentos em fábrica para adequação a essa nova tecnologia.