



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL

LUCAS BOTELHO

CONCRETO AUTOADENSÁVEL

UBÁ/MG

2014

LUCAS BOTELHO

CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: MSc Israel Iasbik.

UBÁ/MG

2014

CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Resumo

O concreto autoadensável é um tipo de concreto que dispensa adensamento por meio de equipamentos vibratórios, pois ele se adensa pelo peso próprio, sem nenhuma ação humana, como é comum no concreto convencional. É um material capaz de transpor obstáculos, como estruturas com elevadas taxas de armadura, sem segregar e preenchendo os espaços vazios. Apresenta alta fluidez e fácil aplicação. Serão descritos seus materiais constituintes, propriedades e ensaios no estado fresco, propriedades no estado endurecido, método de dosagem, suas vantagens, algumas de suas aplicações no Brasil e no mundo e a viabilidade econômica de seu consumo. Considera-se a utilização deste concreto como alternativa viável se comparado ao concreto convencional, analisando o custo de ambos que possuem valores próximos e, no entanto, ao se analisar as vantagens do concreto autoadensável, o mesmo possui características que levam a uma redução de requisitos necessários ao concreto convencional.

Palavras-chave: Concreto autoadensável. Concreto convencional. Segregação. Fluidez. Dosagem.

SELF-COMPACTING CONCRETE

Abstract

The Self-compacting concrete is a kind of material that deletes densification made by vibratory equipments, because it densified with its own weight, without any human action, that is common to use in the conventional concrete. It's an able material to overcome obstacles, for example the structures with high levels of reinforcement, without segregating, and filling empty spaces. It presents a high fluidity and easy application. The constituent materials will be described so as properties and trials on the fresh state, properties in its hardened state, dosage methods, its advantages, some applications in Brazil and in the world and the economic workability of its consumption. It has been considered that the use of this concrete is a practicable way if compared with the conventional concrete. Analyzing both costs, they have similar values, however, the advantages of self-compacting concrete show that it has characteristics that reduce the necessary requirements of conventional concrete.

Keywords: Self-compacting concrete. Conventional concrete. Segregation. Fluidity. Dosage.

1 INTRODUÇÃO

O concreto está entre os produtos mais utilizados no mundo segundo Tutikian e Molin (2008), afirmando ser o mais consumido depois da água e está em constante aprimoramento. Os avanços na tecnologia do concreto, oriundos dos estudos constantes e utilização de materiais mais eficientes, torna a construção civil mais viável no tocante a aspectos econômicos e de durabilidade.

Uma das tecnologias de concreto que vem ganhando espaço é o Concreto Autoadensável (CAA), por ser um concreto capaz de fluir, autoadensar pelo seu peso próprio, preencher as formas e passar por obstáculos, mantendo sua homogeneidade nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento. O concreto autoadensável começou a ser desenvolvido em 1986 na Universidade de Tóquio pelo professor e pesquisador Okamura, e teve seu primeiro protótipo apresentado em 1988. Tinha como objetivo apresentar soluções para os problemas de concretagem em estruturas com formas mais complexas e que continham elevadas taxas de armadura. O desenvolvimento do CAA apresentou-se necessário para garantir estruturas mais duráveis e resistentes. No Japão, onde as estruturas têm uma área de aço elevada em função dos constantes abalos sísmicos, a utilização do CAA é bastante útil, fato que corrobora o surgimento de estudos preliminares terem surgido nesse país (CAVALCANTI, 2006).

Segundo Cavalcanti (2006), o CAA é considerado um grande avanço no que diz respeito à tecnologia de concreto, ganhando espaço em obras importantes no mundo todo, sobretudo por suas aplicações bem sucedidas. Apresenta benefícios econômicos (aumento da produtividade e redução de custos), tecnológicos (permite estruturas complexas) e ambientais (reaproveitamento de resíduos industriais). Tem contribuído consideravelmente para a diminuição dos impactos ambientais por conter em sua dosagem uma alta quantidade de finos, levando assim a um estímulo do uso de resíduos industriais como adições minerais tais como: cinza volante, cinza de casca de arroz e pó de mármore.

Segundo Gomes (2002 *apud* CAVALCANTI, 2006), a utilização do CAA em elementos estruturais traz vantagens como redução de ruídos, uma vez que dispensa vibração, aumento de produtividade e torna o ambiente mais organizado.

1.1 Objetivo

O presente trabalho visa apresentar as principais características do concreto autoadensável, abordando os materiais constituintes de sua dosagem, as principais propriedades em seu estado fresco e endurecido, os principais ensaios realizados no CAA em seu estado fresco, o método de dosagem, as principais vantagens, sua utilização no Brasil e no mundo e uma análise da viabilidade econômica do CAA em relação ao concreto convencional.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Definição de CAA

Segundo Cavalcanti (2006), entende-se por Concreto Autoadensável (CAA) o concreto com capacidade de preencher os espaços vazios das formas e autoadensar apenas pelo efeito do seu peso próprio, sem a necessidade de qualquer tipo de compactação ou vibração e manter homogeneidade satisfatória.

Para que um concreto seja caracterizado como autoadensável é necessário que três propriedades sejam alcançadas: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação (EFNARC, 2002 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008). Fluidez é a capacidade do CAA de ser lançado nas formas e passar entre os obstáculos sem sofrer entraves. Habilidade passante é a característica da mistura de escoar pelas formas, passando por altas taxas de armadura sem haver segregação. E resistência à segregação é a propriedade do CAA de manter a coesão após fluir por dentro das formas sem ocorrer separação entre a pasta de cimento e os agregados (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

2.2 Materiais Constituintes

O que difere o CAA do concreto convencional (CCV) é a maior quantidade de finos e de aditivos plastificantes, superplastificantes e os modificadores de viscosidade, pois, na prática, os materiais utilizados na dosagem de ambos são os mesmos (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

A seguir serão apresentadas algumas considerações sobre os materiais que compõem o CAA tais como: cimento, adições minerais, agregados, aditivos e água.

2.2.1 Cimento

Bauer (2008) define o cimento Portland como um produto derivado da pulverização de clinker, um elemento constituído de silicatos hidráulicos de cálcio, contendo uma certa proporção de sulfato de cálcio natural e podendo conter também adições de algumas substâncias que modificam suas propriedades ou tornam seu emprego mais satisfatório.

Segundo Metha e Monteiro (1994 *apud* KLEIN, 2008), para a produção de concretos e argamassas na construção civil é utilizado o cimento Portland. Este produto é um aglomerante

hidráulico que ao reagir quimicamente em contato com a água, onde há um processo de hidratação, tem-se um produto final em meio aquoso.

Os cimentos utilizados na produção do CAA podem ser os mesmos que são utilizados na produção do CCV, respeitando-se as prescrições referentes à durabilidade e aos usos adequados. Não existe especificação de cimento mais adequado para o CAA. Segundo Tutikian e Molin (2008), o cimento que se apresenta melhor é aquele que tem como característica a menor variação em termos de resistência à compressão.

Segundo Gjorv (1992 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008), há importância no tipo de cimento escolhido no que se refere à quantidade de água e trabalhabilidade da mistura, em que se levam em consideração para fatores de controle o conteúdo de aluminato tricálcico (C_3A) e a granulometria do cimento. Ao passo que a reação de um cimento determina-se principalmente pelo controle do C_3A , quanto menor a quantidade de C_3A , mais fácil se torna o controle reológico deste cimento e também o período de enrijecimento da mistura apresenta-se mais longo. Tutikian e Molin (2008) afirmam que na prática cimentos com teores de C_3A acima de 10 % podem causar perda da fluidez e dificultar a aplicação do CAA em obras.

2.2.2 Adições Minerais

Klein (2008), define adições minerais como materiais silicosos finamente moídos, adicionados ao concreto em grandes proporções, na faixa de 20 % a 100 % da quantidade do cimento Portland.

O CAA tem como uma das principais características uma alta taxa de resistência à segregação, apesar de apresentar alta fluidez ou deformabilidade no seu estado fresco. Com o intuito de aumentar a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo, são normalmente utilizados aditivos modificadores de viscosidade e/ou adições minerais (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

Deve-se fazer uma análise técnica e econômica para escolha das adições minerais, que podem ser de variados tipos, porém essas adições devem ter áreas superficiais maiores que a do componente que substituirão. As adições minerais são responsáveis pela resistência à segregação da mistura, mas também podem desempenhar papel fundamental para a resistência e durabilidade do concreto.

As adições minerais apresentam efeito químico e efeito físico. Ao realizar uma análise química, observa-se que o aumento do desempenho mecânico e da durabilidade do concreto ocorre quando os vazios existentes na pasta de cimento são ocupados por silicato hidratado de

cálcio (C-S-H), que é um composto resistente derivado da hidratação do cimento quando recebe a adição de minerais que reagem com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Fisicamente, consideram-se três ações. O efeito fíler, que é o aumento da densidade da mistura resultante do preenchimento dos vazios pelas minúsculas partículas das adições; o refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento causado pelas pequenas partículas das adições que agem como pontos de nucleação para os produtos de hidratação; a alteração da microestrutura da zona de transição, diminuindo ou eliminando o acúmulo de água livre que normalmente fica retido sob os agregados (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

De acordo com sua ação físico-química, as adições minerais podem ser classificadas em dois grupos: adições minerais quimicamente ativas e adições minerais sem atividade química.

A adição mineral quimicamente ativa pode ser com material pozolânico ou cimentante. O material pozolânico é definido como um material que reage quimicamente com o hidróxido de cálcio, ou seja, precisa da presença do cimento para atuar. Semelhante ao pozolânico, tem-se a cinza volante com baixo teor de cálcio, a pozolana natural, a sílica ativa, a cinza de casca de arroz e o metacaulim. O material cimentante, cinza volante ou escória de alto forno, já possui em sua composição o hidróxido de cálcio, portanto não precisa do mesmo formato na hidratação do cimento para gerar o silicato hidratado de cálcio. Por ser dessa forma, sua alta hidratação é lenta, e a quantidade de cimentantes formados é insuficiente em uma aplicação para fins estruturais (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

Ainda, segundo os mesmos autores, na produção do CAA pode ser usado tanto o material pozolânico como o cimentante, que são utilizados no CCV, como a cinza volante e a escória de alto-forno. Entretanto as adições pozolânicas proporcionam mais coesão ao concreto, assim como aumenta a resistência e a durabilidade. Pode ser obtida também uma mistura que combina dois tipos de adições minerais e que apresentam resultados satisfatórios.

No QUADRO 1 serão apresentadas algumas das principais adições minerais utilizadas na produção do CAA.

QUADRO 1 - Características e consequências do emprego de adições minerais nas propriedades do CAA.

Adição Mineral	Cinza Volante	Escória de Alto-forno	Sílica ativa	Metacaulim	Cinza de Casca de Arroz
Origem	Calcinação de carvão pulverizado em usinas termo-elétricas (com o objetivo de gerar energia)	Subproduto não-metálico resultante do processo de obtenção do ferro gusa	Subproduto resultante do processo de obtenção do ferro-silício e do silício metálico	Calcinação de alguns tipos especiais de argila ou obtido através do tratamento do resíduo da indústria de papel	Calcinação da casca de arroz
Forma e Textura	Esférica e lisa	Prismática e áspera	Esférica e lisa	Prismática e áspera	Alveolar e áspera
Massa específica (kg/dm³)	2,35	xxxx	2,2	2,4	2,20 a 2,60
Superfície específica (m²/kg)	300 a 700	300 a 700	13000 a 30000	Variável em função da moagem	50000 a 100000
Tamanho médio das partículas	Variável em função da moagem	Variável em função da moagem	0,1 a 0,2 µm	Variável em função da moagem	Variável em função da moagem
Efeito no CAA fresco quando utilizado como substituição ao cimento.	Aumento da coesão redução da exsudação e segregação; Melhores condições de fluidez em função do formato esférico das partículas; Normalmente reduz o consumo de superplastificantes.	Aumento da coesão; Redução da exsudação e segregação; Não contribui para a fluidez em função da forma e textura das partículas; Pouco altera o consumo de superplastificante.	Elevadíssimo aumento da coesão; Redução acentuada da exsudação e segregação; Melhores condições de fluidez em função do formato esférico das partículas; Aumento no consumo de superplastificante, teores acima de 5% da massa do cimento.	Grande aumento da coesão; Redução acentuada da exsudação e segregação; Não contribui para a fluidez em função da forma e textura das partículas; Aumento no consumo de superplastificante.	Elevadíssimo aumento da coesão; Redução acentuada da exsudação e segregação; Piores condições de fluidez em função da forma e textura das partículas; Elevado aumento no consumo de superplastificante.
Efeito no CAA endurecido quando utilizado como substituição ao cimento	Pequena alteração da resistência à compressão e aumento da durabilidade	Pequena alteração da resistência à compressão e aumento da durabilidade	Melhoria notável da resistência à compressão e da durabilidade	Melhoria notável da resistência à compressão e da durabilidade	Melhoria notável da resistência à compressão e da durabilidade

Fonte: (Adaptado de SILVA *et. al.* 2002 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.31)

O calcário e a areia fina são adições minerais sem atividade química, que tem sido o mais tradicional fíler usado na produção do CAA, além do pó de granito. Os fílers podem ser naturais ou inorgânicos, e podem ser processados, desde que sejam uniformes e finos, pois devem ser incorporados na substituição dos agregados miúdos, por apresentarem menor finura e que melhoram as condições de compacidade do esqueleto granular e coesão da mistura (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

2.2.3 Agregados

Agregado é um material granular, com forma e volume indefinidos. São considerados agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas provenientes de alterações de rocha. Esses materiais desempenham um importante papel na produção do concreto, tanto do ponto de vista econômico como técnico, proporcionando ao concreto características importantes, como retração, aumento da resistência ao desgaste, sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos. São classificados em agregado miúdo e agregado graúdo (BAUER, 2008).

2.2.3.1 Agregado Miúdo

Agregado miúdo é a areia natural quartzosa ou o pedrisco oriundo do britamento de rochas estáveis, com tamanhos de partículas tais que no máximo 15 % ficam retidas na peneira de 4,8 mm (BAUER, 2008).

Bauer (2008) ressalta que quando se consideram agregados miúdos, pode-se utilizar qualquer tipo de areia, tanto naturais como artificiais. As naturais são melhores por apresentarem forma mais arredondada e uma textura mais lisa, diferente das artificiais que possuem granulometria descontínua, mas que pode ser misturada com uma areia natural para obter um melhor desempenho.

A escolha da areia está relacionada à quantidade de água, que por sua vez influencia na coesão e fluidez do concreto. A areia natural, por ser mais arredondada e com uma superfície mais lisa, melhora a coesão e a fluidez. Okamura e Ouchi (2003, *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008), diz que quanto mais angulosas forem as partículas deste agregado, maior será a resistência ao cisalhamento das argamassas, dificultando a deformabilidade do concreto.

Segundo Tutikian e Molin (2008) o CAA é um concreto que necessita de adição de finos para obter uma melhor coesão, portanto, quanto mais fino o agregado miúdo melhor. A utilização de uma areia grossa pode ter como consequência a segregação do concreto, e isto não pode ocorrer no CAA.

Um fator muito importante é o controle da umidade do agregado, pois interfere diretamente na fluidez da mistura (OTAVIANO, 2007 *apud* TUTIKIAN E MOLIN, 2008). Erros de 0,5 % na estimativa da umidade dos agregados podem causar uma alteração no consumo de água de até 8 kg/m³ de concreto e, assim, ocasionar variação no resultado do ensaio de espalhamento em até 45 mm, além de ocasionar alterações negativas nas propriedades mecânicas e na durabilidade (DOMONE, 2003 *apud* TUTIKIAN E MOLIN, 2008).

2.2.3.2 Agregado Graúdo

Bauer (2008) define agregado graúdo como uma composição de pedregulhos naturais, seixos rolado ou pedra britada, derivados do britamento de rochas estáveis com no máximo 15 % passando na peneira de 4,8 mm. Para que a utilização dos agregados graúdos no concreto seja satisfatória, estes devem conter grãos resistentes, duráveis e estáticos, além de não apresentar em sua composição impurezas que afetem o endurecimento do aglomerante. Devem apresentar também uma boa composição granulométrica.

A aderência entre agregado e pasta de cimento tem papel essencial na interação dos dois componentes, portanto é crucial analisar a forma e a textura dos agregados graúdos. As britas que apresentam formatos angulares e superfícies ásperas são melhores que as britas com superfícies lisas e mais arredondadas, pois têm aderência melhor com a pasta de cimento. Se a angulosidade da brita for grande pode ocorrer um efeito contrário no consumo de água e na redução da trabalhabilidade (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

Durante o lançamento do CAA para que não ocorra segregação e garantir a passagem do mesmo por todos os obstáculos sem nenhum empecilho, a característica do agregado graúdo é restrita e recomendam-se as seguintes definições: o diâmetro da brita deve ser inferior a 2/3 do espaçamento entre barras ou grupo de barras e 3/4 do cobrimento mínimo de concreto às armaduras. Na prática, isto significa utilizar britas entre os tamanhos 12,5 mm e 19 mm (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

2.2.4 Aditivos

Este é um dos diferenciais entre o CAA e o CCV. Os principais aditivos usados são os superplastificantes e os modificadores de viscosidade. Os aditivos superplastificantes proporcionam alta fluidez nas misturas. Já os modificadores de viscosidade aumentam a coesão, evitando a exsudação e segregação do concreto (TUTIKIAN e MOLIN, 2008). Há que se ressaltar que nenhum aditivo corrigirá dosagens mal-executadas.

2.2.5 Água

A qualidade da água para dosagem do CCA apresenta os mesmos parâmetros para a dosagem do CCV. A água utilizada para a produção do concreto não pode conter impurezas que prejudiquem as reações entre ela e o cimento, portanto só podem ser toleradas em pequenas quantidades. Se a qualidade da água apresentar suspeita, devem ser realizados ensaios para verificar a influência das impurezas sobre o tempo de pega, a resistência mecânica e a estabilidade de volume, pois, além disso, as impurezas podem causar eflorescência e corrosão das armaduras (KLEIN, 2008).

Pode-se utilizar um tipo de água não muito pura, desde que o concreto executado com esta água atinja nos ensaios uma resistência igual ou superior a 90 % da resistência obtida com água de qualidade e sem impurezas aos 28 dias de cura do concreto (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

2.3 CAA no Estado Fresco

A correta aplicação do CAA depende diretamente da análise de sua trabalhabilidade no estado fresco, pois o fato de não haver ação humana no adensamento desse concreto, torna-se impossível fazer correções no local. Existem equipamentos para medir a trabalhabilidade do CAA no estado fresco e os ensaios serão descritos posteriormente (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

Segundo Brunetti (2008) reologia é estudo da deformação e do fluxo, ou seja, estuda as propriedades físicas que influenciam o transporte de quantidade de movimento em um fluido, sendo a viscosidade a propriedade reológica mais conhecida.

O CAA é caracterizado por dois requisitos: a viscosidade plástica e tensão de cisalhamento. Viscosidade plástica é a medida da taxa de fluxo do material, enquanto que a

tensão de cisalhamento é uma medida de força, necessária para que o concreto se movimente. Devido à baixa tensão de cisalhamento e a alta viscosidade, o CAA apresenta alta fluidez sem segregação. Os efeitos do aditivo superplastificante e da água proporcionam a viscosidade plástica, enquanto que a tensão de cisalhamento é consequência da ação dos componentes finos da mistura, incluindo o cimento. Porém a água e o aditivo apresentam resultados contrários. Enquanto a água aumenta a fluidez do concreto e reduz sua viscosidade, o aditivo superplastificante aumenta a fluidez com uma diminuição desprezível da viscosidade (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

Tutikian e Molin (2008) afirmam que a utilização do CAA requer cuidados extras com a montagem das formas, pois a pressão exercida nas formas pelo CAA é maior que pelo CCV e isso pode fazer as formas cederem. A pressão nas formas é influenciada diretamente pela velocidade de concretagem. Quanto mais rápido for o lançamento do concreto, melhor será para a eficiência do processo, porém uma das maiores vantagens do CAA se tornou também um risco, que seria o colapso das formas.

Segundo Tutikian e Molin (2008), a pressão exercida pelo CAA pode ser reduzida controlando o tempo de lançamento do concreto, executando uma segunda camada somente após o início do processo de pega da primeira camada. Existem vários parâmetros que influenciam na pressão das formas e serão apresentados na TAB.1 abaixo:

TABELA 1 - Parâmetros que influenciam na pressão das formas.

Parâmetros que influenciam na pressão das formas		
1 - Primeiro grau	2 - Segundo grau	3 - Terceiro grau
Velocidade de lançamento	Tempo de endurecimento	Tipo de moldagem
Densidade do concreto	Compatibilidade entre cimento e aditivo	Tipo e dimensão máxima dos agregados
Consistência do Concreto	Pressão dos poros de água	Tipo de cimento
Temperatura do concreto no estado fresco	Projeto da forma	Temperatura ambiental
—	Permeabilidade da forma	Altura de lançamento e altura total
—	—	Armadura de reforço

Fonte: (Adaptado de PROSKE e GRAUBNER, 2002 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.44).

2.4 Ensaios de caracterização no estado fresco

Os ensaios para o CAA no seu estado fresco são diferentes dos ensaios para o CCV. As principais características que devem ser verificadas no estado fresco são a fluidez, viscosidade, habilidade passante e a resistência à segregação.

Já existem normas brasileiras publicadas para o controle do CAA no estado fresco como a NBR 15823-1:2010 (classificação, controle e aceitação), NBR 15823-2:2010 (ensaio de espalhamento), NBR 15823-3:2010 (ensaio do anel J), NBR 15823-4:2010 (ensaio da caixa L), NBR 15823-5:2010 (método do funil V), NBR 15823-6:2010 (ensaio de resistência à segregação) (COUTINHO, 2011).

Diferentes métodos de ensaios foram desenvolvidos ao longo dos anos, com o objetivo de caracterizar as propriedades do CAA no estado fresco. Estas propriedades têm sido caracterizadas usando técnicas recentemente desenvolvidas e estão ainda em fase de evolução. Alguns dos métodos de ensaios mais utilizados para a caracterização de tais propriedades são: ensaio de espalhamento do cone de Abrams (*Slump Flow Test*), Funil V (*V-Funnel*), Caixa L (*L-Box*) e o Anel J (*J-Ring*). Para o estabelecimento de parâmetros de habilidade de preenchimento são utilizados os ensaios de espalhamento, para os parâmetros de habilidade passante entre as armaduras é utilizada a Caixa L, para caracterizar a viscosidade do CAA é utilizado o ensaio do Funil V e o ensaio do Anel J é realizado para analisar também a habilidade passante (COUTINHO, 2011). Estes métodos serão apresentados a seguir.

2.4.1 Ensaio de espalhamento (*Slump Flow Test*)

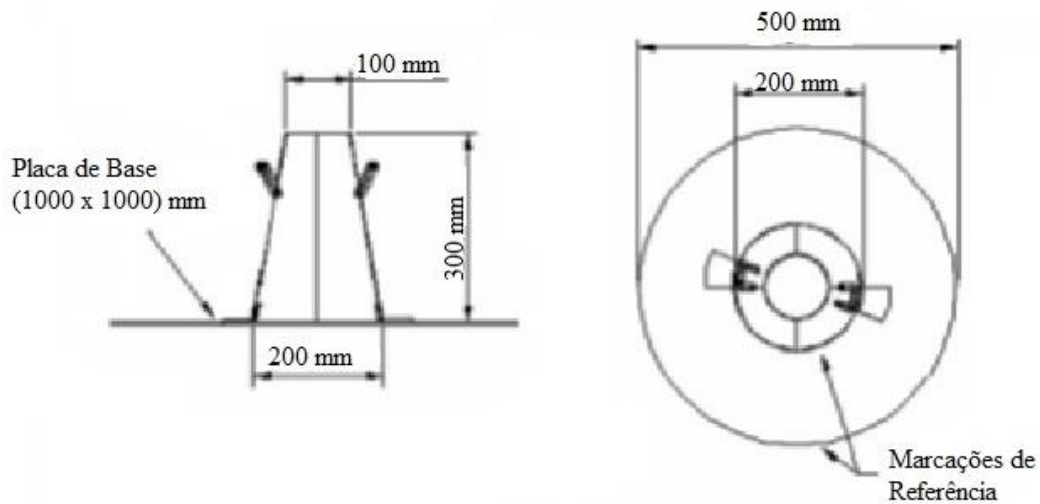
O ensaio mais executado e recomendado é o de espalhamento. Segundo Tutikian e Molin (2008) o *slump flow test* serve basicamente para medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem haver segregação.

Nele, utiliza-se basicamente o mesmo equipamento do ensaio de abatimento de tronco de cone (FIG.1), mas se mede o espalhamento do concreto (FIG.2) e o tempo de escoamento (T_{500}). Deve-se preencher o cone de Abrams, sem compactar, depois levantá-lo lentamente e deixar o concreto fluir em uma base plana (CAVALCANTI, 2006).

A média aritmética entre os valores de dois diâmetros distintos é que define o espalhamento final do concreto. O valor adequado do espalhamento varia de acordo com as necessidades de projeto, mas, geralmente, deve ficar entre 600 mm e 750 mm e o tempo de

escoamento entre 2 e 7 s (COUTINHO, 2011). Nas FIG.3 e FIG.4 apresentam-se exemplos do CAA sem segregação e com segregação visível.

FIGURA 1 - Equipamento utilizado no ensaio de *Slump Flow* do CAA.



Fonte: (FURNAS, 2004 *apud* KLEIN, 2008, p.47)

FIGURA 2 - Espalhamento do CAA sendo medido.



Fonte: (RILEM, 2006 *apud* COUTINHO, 2011, p.10)

FIGURA 3 - CAA sem segregação pelo ensaio de espalhamento.



Fonte: (TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.48)

FIGURA 4 - CAA com segregação visível.



Fonte: (TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.49)

O *slump flow* T_{500} é uma variação do *slump flow test*. A diferença é que neste é marcada uma circunferência de 500 mm e 200 mm, determinando o tempo que leva para o concreto alcançar a marca de 500 mm. Os dois testes são realizados ao mesmo tempo. Segue-se também a mesma orientação para os dois ensaios: se o tempo for baixo implica que o concreto está muito fluido e se o tempo for alto significa que o concreto está muito coeso, portanto terá de ser corrigido nos dois casos (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

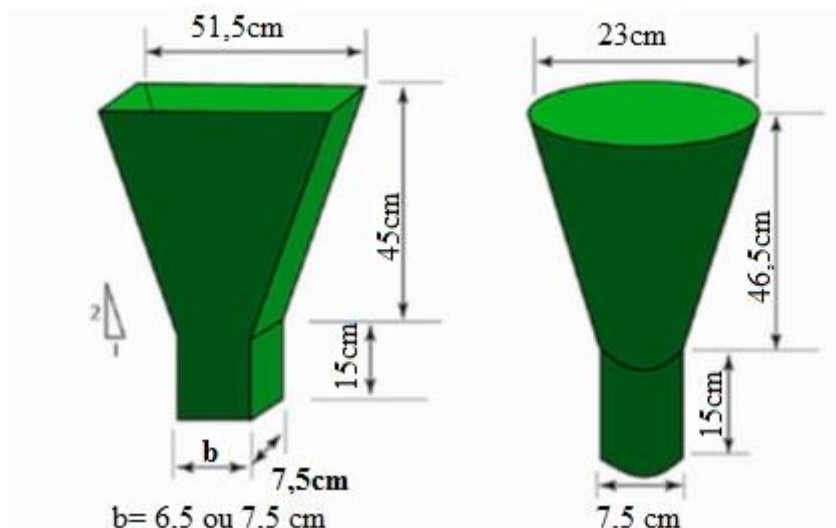
2.4.2 Funil V (V- Funnel)

O ensaio utilizado para caracterizar a viscosidade e a habilidade passante do CAA é o ensaio do Funil V (FIG.5). Este ensaio visa analisar a capacidade do CAA de fluir através de áreas com pequenas aberturas, na direção vertical, pelo efeito do seu peso próprio. É também possível avaliar a tendência do concreto segregar (KLEIN, 2008).

No fundo do funil, há uma abertura que deve considerar o tamanho máximo do agregado. Recomenda-se ter dimensão mínima superior a três vezes o diâmetro máximo do agregado graúdo (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

Segundo Klein (2008) para se realizar o ensaio do Funil V, deve-se preencher o funil com CAA e abrir logo em seguida a porta que veda a abertura da base e deixar o volume de concreto fluir totalmente através do funil, depois medir o tempo de fluxo, que sendo contínuo ou descontínuo permite avaliar visualmente o concreto, de maneira que um fluxo contínuo e sem bloqueios indica alta resistência à segregação. Para este ensaio deve se considerar uma amostra de aproximadamente 10 litros de concreto. Na FIG.6 é possível observar o Funil V sendo utilizado.

FIGURA 5 - Ilustração dos tipos de Funil V.



Fonte: (GOMES, 2002 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.53)

FIGURA 6 - Funil V sendo utilizado.



Fonte: (TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.54)

2.4.3 Caixa L (*L-Box*)

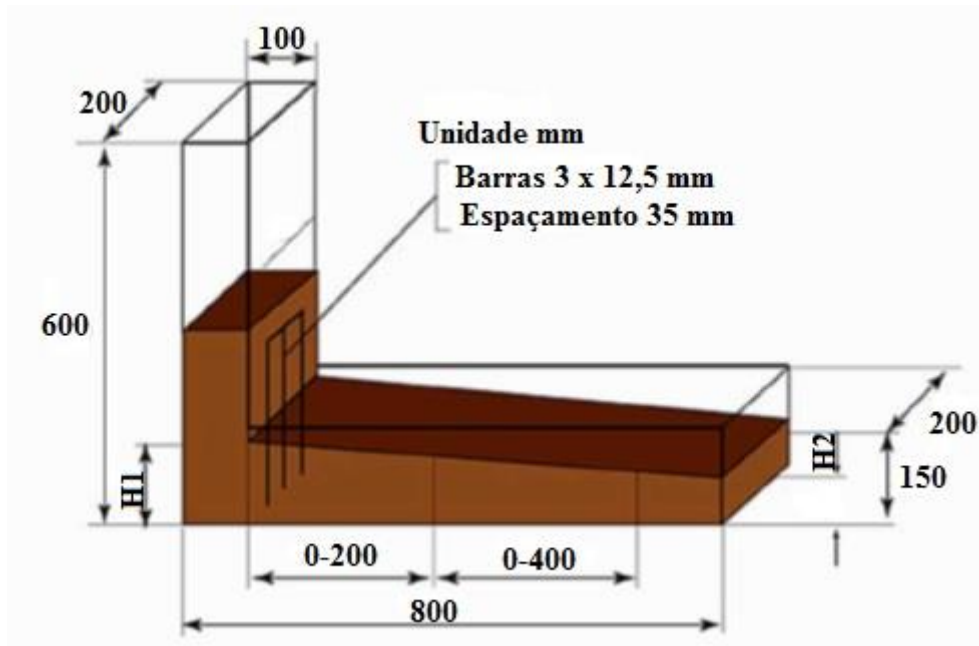
Segundo Coutinho (2011) o ensaio da Caixa L é utilizado para avaliar a habilidade passante do CAA através de espaços pequenos e entre as barras de armadura sem que haja segregação ou bloqueios, com 2 ou 3 barras de aço.

O equipamento necessário para este ensaio é uma caixa com formato em L, com uma porta na base da parte vertical do L com duas ou três barras lisas com diâmetro de 12,5 mm, com espaçamentos iguais (FIG.7). O espaçamento entre as barras é de 41 mm para o caso de três barras e de 58 mm para o de duas barras (COUTINHO, 2011).

O concreto é colocado na parte vertical da caixa com a porta fechada. Levanta-se então a porta e quando o concreto para de fluir, são medidas as distâncias verticais no fim da parte horizontal (H2) e logo atrás da porta (H1). A habilidade passante (PA) é caracterizada pela relação entre H2 e H1. Assim, segundo Tutikian e Molin (2008) a razão H2/H1 deve estar entre 0,80 e 1,00. A FIG.8 mostra um ensaio da Caixa L sendo executado.

Segundo Klein (2008), neste ensaio também é possível determinar o tempo que o CAA leva para percorrer determinada distância. Considera-se que para se percorrer 20 cm deve levar um tempo inferior a 1,5 s e para se percorrer 40 cm, o tempo deve ser inferior a 2,5 s. Para que o CAA apresente boa resistência à segregação, o agregado graúdo deve estar distribuído uniformemente ao longo de todo o canal horizontal da Caixa L.

FIGURA 7 – Ilustração da Caixa L.



Fonte: (EFNARC, 2002 apud TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.56)

FIGURA 8: Ensaio da Caixa L em andamento.



Fonte: (TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.55)

2.4.4 Anel J (J-Ring)

O ensaio do Anel J não tenta simular a armação de uma estrutura real, portanto ele é uma complementação do *Slump Flow Test* e até mesmo do Funil V e serve para avaliar a fluidez do CAA. Neste método são utilizados os equipamentos do ensaio de espalhamento além de um anel metálico com barras de aço como mostra a FIG.9. Segundo Tutikian e Molin

(2008), este aparato é formado por um anel de barras de aço com espaçamento entre elas conforme a armadura real que se deseja alcançar. Possui normalmente diâmetro de 300 mm e altura de 100 mm e o espaçamento entre as barras deve ser três vezes maior que o diâmetro máximo do agregado graúdo.

Após o escoamento do concreto através do ensaio de *Slump Flow*, analisa-se a diferença entre a altura da mistura que permaneceu no interior do anel, e a altura que se espalhou para o exterior do anel passando entre as barras de aço. Tutikian e Molin (2008) ressaltam que essa diferença não deve exceder 10 mm.

FIGURA 9 - Ensaio do Anel J.



Fonte: (COUTINHO, 2011, p.12)

Há ainda outros ensaios, como o Orimet (*Orimet Test*), Tubo-U (*U-Pipe Test*) e Coluna de Rooney (*Settlement Column Test*), que podem também ser utilizados para avaliar as propriedades do CAA no seu estado fresco.

A TAB.2 mostra os valores aceitos pela maioria dos pesquisadores para os ensaios abordados.

TABELA 2 - Valores aceitos para os ensaios abordados.

Ensaio	Unidade	Valores Típicos	
		Mínimo	Máximo
<i>Slump Flow</i>	Milímetros	600	750
<i>Slump Flow</i> T500	Segundos	3	7
Funil V	Segundos	6	12
Caixa L	(H2/H1)	0,80	1,00
Anel J	Milímetros	0	10

Fonte: (Adaptado de TUTIKIAN, 2004, p.67)

2.5 CAA no estado endurecido

As decisões tomadas na dosagem e mistura do CAA resultam nas propriedades do seu estado endurecido. Segundo Tutikian e Molin (2008) se apresentar fissuração da secagem e alto calor de hidratação, implica o alto consumo de cimento na dosagem. Se retardar a pega inicial, significa que houve excesso de superplastificante. Se o módulo de elasticidade for baixo e a retração plástica alta, significa que o consumo de agregado graúdo foi baixo.

Os problemas explicitados e outros mais podem ocorrer em todo tipo de concreto, se não houver uma dosagem correta e se não forem feitos todos os ensaios necessários. Com relação à resistência, tração, retração por secagem, propriedades mecânicas e durabilidade, são pelo menos iguais ao CCV no estado endurecido, e suas propriedades dependem da forma como foram dosados (TUTIKIAN e MOLIN, 2008). Uma grande diferença entre o CAA e o CCV no que implica o estado endurecido de ambos é que no CCV o adensamento mal-executado ocasiona bolhas de ar, que podem ser prejudiciais no futuro, e no CAA, por ser autoadensável, esse aspecto é muito reduzido.

2.6 Métodos de Dosagem

Gomes e Barros (2009) ressaltam que os métodos de dosagem do CAA são diferentes dos utilizados para o CCV, porém, no geral, também são empíricos. Estes métodos se baseiam em princípios não comuns que têm como meta o atendimento a propriedades que determinam uma relação entre a capacidade de fluidez das misturas nas formas, independentemente de sua complexidade e dificuldade, e a estabilidade das misturas, que garante a ausência de segregação. São encontradas, na literatura, diferentes metodologias de dosagem para a obtenção do CAA. Uma das primeiras e mais conhecida teoria foi desenvolvida no Japão (OKAMURA, 1997; OUCHI *et. al.*, 1996 *apud* GOMES e BARROS, 2009). Após o desenvolvimento do primeiro protótipo do CAA surgiram diversos métodos de dosagens. Neste trabalho será descrito o método de Okamura, Osawa, Maekawa e Ouchi. Os procedimentos e as teorias desenvolvidas para cada método contribuem para um maior entendimento do comportamento do CAA e para alcançar satisfatoriamente a obtenção de misturas que atendem às propriedades de autoadensabilidade.

2.6.1 Método de dosagem proposto por Okamura

Foi desenvolvido pela primeira vez, em 1988, na Universidade de Tóquio, e é reconhecido como o primeiro método de dosagem proposto para CAA.

Para se garantir a alta fluidez da pasta ou argamassa e, simultaneamente, resistência à segregação (separação do agregado graúdo e argamassa) no momento em que o concreto flui através de obstáculos como altas taxas de armadura, Okamura e Ozawa propuseram, em 1995, um método baseado em três princípios (OKAMURA e OUCHI, 2003 *apud* KLEIN, 2008):

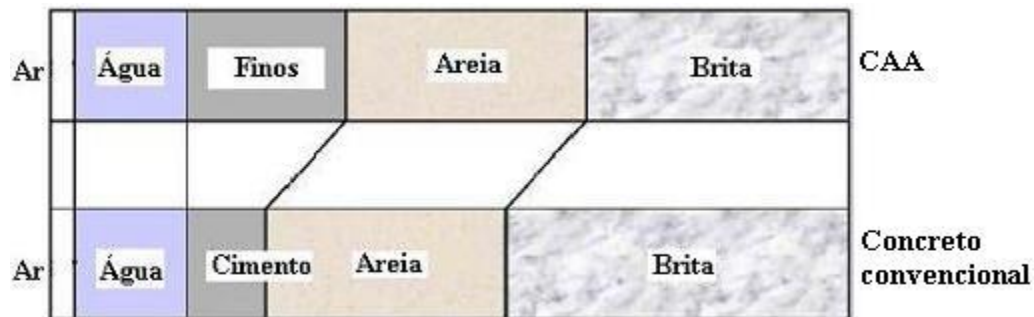
- 1) Conteúdo limitado de agregados no concreto;
- 2) Baixa relação água/finos;
- 3) Uso de aditivos superplastificantes.

Segundo Okamura e Ouchi (2003, *apud* KLEIN, 2008) a limitação do consumo de agregado graúdo no CAA justifica-se pelo fato de os agregados promoverem um alto consumo de energia quando suas partículas encontram-se muito próximas, pois isso provoca colisões entre elas e gera bloqueios em regiões onde há alta densidade de armadura. Quando se aumenta o conteúdo de agregado, a tensão no interior do concreto aumenta, de modo que a energia que o concreto precisa para fluir é consumida para estabilizar os agregados no interior da mistura, tendo como consequência, novamente, bloqueio ao passar por obstáculos.

A baixa relação água/finos e o uso de aditivo superplastificante se justificam pela necessidade de obter fluidez na pasta de concreto, porém, com alta viscosidade, de modo que esta seja capaz de manter estável o agregado graúdo em seu interior e transportá-lo no momento de passagem por obstáculos, como armaduras complexas. A alta viscosidade evita aumento localizado de tensão interna, devido à aproximação das partículas do agregado graúdo (GOMES e BARROS, 2009).

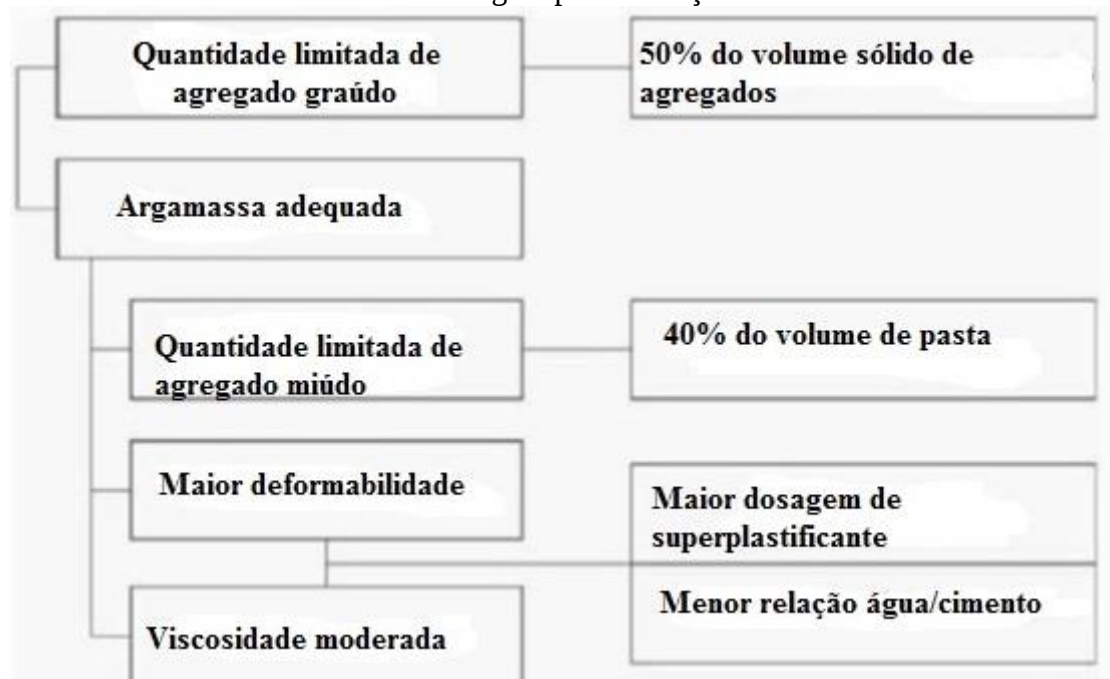
Uma comparação entre as proporções de materiais utilizados no CAA e nos concretos convencionais e o esquema do método utilizado por Okamura *et. al.* para obtenção da autoadensabilidade são mostrados nas FIG.10 e FIG.11, respectivamente.

FIGURA 10 - Comparação entre as proporções de materiais utilizados no CAA e no CCV.



Fonte: (OKAMURA e OUCHI, 2003 *apud* KLEIN, 2008, p.57)

FIGURA 11 - Procedimentos de dosagem para obtenção do CAA.



Fonte: (GOMES e BARROS, 2009, p.70)

Para se verificar a autoadensabilidade do concreto, assim como a tendência do material segregar, Klein (2008) sugere a realização do ensaio de espalhamento *Slump Flow* e funil em V. Nesses ensaios, caso o concreto não apresente autoadensabilidade suficiente, é necessária a correção da dosagem dos materiais.

2.7 Vantagens da Utilização do CAA

Tutikian e Molin (2008) ressaltam que o CAA representa uma das maiores revoluções da tecnologia do concreto ocorridas nas últimas décadas, e por meio de seu consumo é possível observar vantagens diretas e indiretas, entre as quais:

- Acelera a construção, devido à rapidez de seu lançamento e o fato de dispensar o adensamento;
- Ao eliminar a vibração e facilitar o espalhamento e nivelamento do concreto, tem como consequência a redução de mão de obra;
- Melhora o acabamento da superfície, sendo muito utilizado em estruturas com concreto aparente;
- O fato de seu adensamento ser fácil pode aumentar a durabilidade, bem como evitar falhas de concretagem e vazios decorrentes da má vibração;
- Permite grande liberdade de formas e dimensões; o CAA preenche formas curvas, esbeltas, com altas taxas de armadura e de difícil acesso;
- Permite concretagens em formas de pequenas dimensões;
- Elimina os ruídos provenientes da vibração;
- Devido à redução da mão de obra torna o local de trabalho mais seguro, pois reduz o risco de quedas, exposição aos raios solares e os problemas ergonômicos e de audição dos trabalhadores;
- Ao utilizar em sua composição altos teores de resíduos industriais como cinza volante, escória de alto-forno ou cinza de casca de arroz, permite obter um ganho ecológico;
- Tem a possibilidade de reduzir o custo final do concreto caso sejam observados economicamente todos os ganhos citados anteriormente.
- Aumenta a vida útil das formas por não haver vibração;
- Diminui o desperdício de concreto, pois praticamente não há perdas.

O CAA tem como característica a capacidade de ser moldado facilmente nas mais variadas formas sob a ação da gravidade. Essa propriedade o permite percorrer até dez metros

de distância horizontal, mesmo com entraves no caminho. Esse concreto também requer atenção especial no projeto e na confecção das formas, pois a pressão exercida nas formas é alta, proveniente da fluidez do CAA.

O fato da vibração ser eliminada no lançamento desse tipo de concreto é importante e satisfatório, pois além de haver economia de energia elétrica e mão de obra, a vibração produz ruído que pode vir a causar doenças auditivas nos trabalhadores. Segundo um estudo experimental de Bartos e Soderlind (2000 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008), o ruído captado por trabalhadores e pelo entorno da edificação quando se utiliza o CAA, é de aproximadamente um décimo do ruído (em decibéis) se comparado ao produzido quando da utilização do CCV. A vibração ainda apresenta um fator negativo que é o desgaste e a forte pressão nas formas, o que pode fazer as formas cederem se não estiverem bem presas.

Diante dos motivos expostos, o CAA torna-se uma excelente e viável opção para o setor da construção.

2.8 Utilização no Brasil e no Mundo

Normalmente, utiliza-se o CAA em estruturas especiais, complicadas de se concretar com o CCV, porém o CAA é tão versátil quanto o CCV. Pode ser utilizado tanto *in loco* ou ser dosado em centrais de concreto e depois transportado por meio de caminhão-betoneira para a construção, pode ser lançado com bombas de concreto, guias ou simplesmente espalhado.

Através de um levantamento no período compreendido entre 1993, a primeira aplicação ocorrida no Japão, e 2003, Domone (2006, *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008) observou diversas curiosidades na pesquisa:

- 67% das obras que utilizaram o CAA o fizeram por conta das vantagens técnicas do material em comparação com o CCV;
- 14% decidiram pelo CAA por motivos econômicos pela redução do número de trabalhadores ou do tempo de construção;
- 10% utilizaram o CAA por ser uma inovação na tecnologia de concreto.

Para melhor compreensão, as aplicações do CAA foram divididas em dois campos: sua utilização na indústria de pré-moldados e em construções em que o concreto é moldado *in loco*.

Walraven (2005 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008) traz exemplo da aplicação do CAA na indústria de pré-moldados citando um tabuleiro de concreto pré-tensionado utilizado

na estação de metrô do Amsterdã Arena, estádio de futebol do Ajax, que foi executado com o CAA (FIG.12). A estação possui quatro pistas de 135 metros de comprimento, totalizando 1,4 km. Como cada painel possui um comprimento de 23,30 m, foram executados 60 unidades, todas com resistência à compressão de 55 MPa. O alto número de repetições da forma foi o principal motivo para a utilização do CAA, e com esta solução aumentou-se a vida útil das formas e obteve-se ganho econômico.

FIGURA 12 – Peça tabuleiro utilizada no metrô do Amsterdã Arena.



Fonte: (WALRAVEN, 2005 *apud* TUTIKIAN E MOLIN, 2008, p.14)

Em relação à utilização do CAA *in situ*, Soderlind e Claeson (2000 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008) descrevem diversas aplicações. Na França, foi usado na Chamarande, em 1998. As peças concretadas eram longas paredes de 2,30 metros de altura, 16 cm de espessura e 30 metros de comprimento, com colunas super-reforçadas. A obra de Bretonneau, na França, é um teste realizado com o CAA em 1999 para aperfeiçoá-lo e desenvolvê-lo. O CAA também foi utilizado em 1998 em um edifício comercial em Norrköping, Suécia. O edifício possuía sete andares e nos cinco superiores, foram utilizados pré-moldados. Os dois inferiores foram totalmente concretados com CAA, com e sem fibras de aço.

Segundo Okamura (1997 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008) um exemplo típico de aplicação do CAA são as duas ancoragens da ponte suspensa Akashi-Kaikyo (FIG.13), concluída em 1998. Essa ponte representava, na época, o maior vão do mundo com 1.991 m e comprimento total de 3911 m, e foram lançados 290.000 m³ de CAA. O concreto foi misturado em um local próximo à construção e bombeado em tubos com 200 m de comprimento até o local da aplicação. A utilização do CAA proporcionou uma economia de tempo da ordem de 20 %, tendo seu tempo de execução reduzido de 2,5 anos para 2 anos.

FIGURA 13 – Ancoragem da ponte Akashi-Kaikyo



Fonte: (OKAMURA e OUCHI, 2003 *apud* COUTINHO, 2011, p.16).

O CAA também pode ser utilizado com sucesso em recuperações de estruturas antigas, em que não é aconselhável usar vibração, podendo causar falhas maiores ou até mesmo ruptura da estrutura. Um exemplo é a ponte The Katelbridge na Holanda, que foi recuperada em 2002, com 45 anos de existência (FIG.14). A ponte apresentava abertura entre os tabuleiros devido à sobrecarga, já que com as sucessivas renovações os tabuleiros aumentaram sua espessura de 50 mm para 180 mm.

FIGURA 14 – Vista da armadura da estrutura da ponte The Katelbridge.



Fonte: (WALRAVEN, 2005 *apud* TUTIKIAN E MOLIN, 2008, p.21)

Destacam-se algumas aplicações no Brasil, descritas na Revista *Téchne* (2008 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008). A concretagem da laje de fundo dos poços Norte e Sul da estação Amarela do Metrô de São Paulo teve números grandiosos (FIG.15). Cerca de 8.000 m³ de concreto foram necessários para preencher a peça de mais de 2.000 m² de área de superfície e cerca de 3,5 m de altura. Além dos 7.400 m³ de concreto convencional, foram aplicados cerca de 600 m³ de CAA na região de engaste da laje com as paredes dos poços. Neste local, em função da alta densidade da armadura, as equipes que executavam o lançamento do concreto teriam dificuldade em realizar a adequada vibração do concreto. "O concreto autoadensável foi usado para garantir a qualidade da execução da laje, por proporcionar facilidade no lançamento, dispensar a vibração e praticamente eliminar falhas de concretagem", afirma Roberto Dakuzaku, engenheiro responsável pelo Laboratório de Controle Tecnológico do Consórcio Via Amarela. "Se essas falhas ocorressem, seria difícil acessá-las posteriormente para realizar o grauteamento. Elas poderiam, inclusive, nem ser detectadas", explicam (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

FIGURA 15 – Laje estação Amarela do Metrô de São Paulo



Fonte: (REVISTA TÉCHNE, 2008 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.25)

Outro exemplo de utilização no Brasil foi a Mosmann Incorporações, que utilizou o CAA na execução da estrutura do edifício Parthenon Residence em Novo Hamburgo (RS), a partir do quinto pavimento tipo (FIG.16). A construção, composta por duas torres justapostas com 11.529,41 m² de área total construída, possui 13 andares que abrigam 52 apartamentos. "Foram levantados e comparados os custos de produção e execução dos dois tipos de concreto, como a mão de obra para execução das mestras, lançamento do concreto, vibração, depreciação dos equipamentos e da energia elétrica" afirma a engenheira civil Viviana Rigon, gerente de obra da Mosmann. O somatório final dos custos do CAA ficou 1,09 % maior do que se fosse utilizado o CCV, mas mostrou-se vantajosa quando considerada a produtividade obtida durante a execução (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

FIGURA 16 - Edifício Parthenon Residence em Novo Hamburgo (RS).



Fonte: (REVISTA TÉCHNE, 2008).

O CAA é um material ainda pouco utilizado no Brasil, porém gradativamente o produto vem ganhando a confiança dos construtores, por apresentar diversas vantagens ao ser comparado com o CCV. Na TAB.3 são apresentadas vantagens da aplicação do CAA em pré-moldados e *in situ* que foram analisadas por Tutikian e Molin (2008).

TABELA 3 – Aplicação do CAA em pré-moldados e *in situ*

Vantagem	Descrição
Ganho Econômico	Aumento da vida útil das fôrmas
Tempo de Produção	Diminuição de 80% do tempo de produção de uma peça
Redução de Ruído	Ausência de vibrador mecânico
Concretagem	Tempo de concretagem diminuiu cerca de 20%
Trabalhadores	Diminuição do número de trabalhadores necessários
Acabamento	Melhora no acabamento final das peças
Ganho ambiental	Diminuição de cimento com adição de minerais

Fonte: (Adaptado de TUTIKIAN e MOLIN, 2008)

2.9 Viabilidade econômica do uso do CAA

Pode-se afirmar que o estudo da utilização do CAA é relevante para o mercado. A indústria da construção precisa estar atenta em relação às tendências que visam melhorar o processo de produção, ambiente, custos e segurança (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

Tutikian e Molin (2008) ressaltam que o CAA pode representar uma redução direta no custo final da obra, por apresentar um custo global (insumos mais mão de obra), menor que o CCV, além de permitir uma série de outras vantagens como a eliminação de reparos na estrutura, aumento na velocidade da concretagem, redução do ruído, diminuição do número de trabalhadores, possui tecnologia e qualidade superiores às do CCV, entre outras.

Para que o CAA seja implantado nas edificações não é necessário qualquer tipo de investimento inicial, já que este concreto pode ser moldado nas mesmas fôrmas do CCV, sendo estas adequadas à pressão que o CAA exerce nelas, utilizar os mesmos equipamentos, reduzindo inclusive o uso destes por não necessitar de equipamentos vibratórios e com os mesmos materiais. Para que o CAA se torne uma opção mais comum, basta que as empresas comecem a optar por ele e que as empresas de serviço de concretagem também o forneçam. É importante salientar que nenhum tipo de investimento inicial é necessário para as concreteiras. Para as indústrias de pré-moldados, pode haver a necessidade de se implantar um novo silo para armazenar o material fino responsável à segregação do CAA, que não é usado para o CCV (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

Foi realizado um trabalho comparativo de custos globais entre o CAA e o CCV, por Tutikian *et. al.* (2005 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008), abrangendo todas as etapas do processo. O estudo foi feito em duas indústrias de pré-moldados. A TAB.4 a seguir ilustra o resultado para uma dessas empresas.

TABELA 4 - Comparativo de custos globais entre CCV e CAA (Concreto com $f_{ck}=25$ Mpa)

ETAPA	CCV		CAA	
	Nº pessoas	Custo (R\$/m³)	Nº pessoas	Custo (R\$/m³)
Composição do concreto	0	142,46	0	177,29
Mistura do concreto	1	3,43	1	3,43
Transporte	1	15,49	1	15,49
Aplicação do desmoldante	3	10,66	3	10,66
Adensamento	5	26,70	2	5,34
Acabamento	4	7,03	2	1,41
Reparos	2	14,55	0	0,00
TOTAL		216,89		210,19

Fonte: (TUTIKIAN *et al.* 2005 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p. 119).

Nessa empresa, o custo global do CAA foi 3 % inferior ao do CCV, apesar de um acréscimo de 24 % no custo unitário dos materiais. A redução final foi possível graças á economia de 80 % nas etapas de adensamento e acabamento, e na eliminação dos reparos. Observa-se que os serviços de mistura e transporte do concreto, bem como a aplicação de desmoldante nas formas foram iguais para as duas opções. A opção com o CAA ainda apresentou diversas vantagens que não foram quantificadas, como redução do ruído de vibração, aumento da vida útil das formas, economia de energia elétrica e ganho ambiental, pois parte do cimento foi substituído por cinza volante. Por isso concluiu-se que a operação com CAA foi viável tecnicamente e economicamente (TUTIKIAN e MOLIN, 2008).

A primeira construção convencional no país, em que o CAA foi utilizado na totalidade da estrutura com acompanhamento técnico e econômico de todos os passos foi um edifício em Goiás. Geyer (2005 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008) cita como vantagens observadas a redução em torno de 70 % no número de trabalhadores (passou de 13 para 4), maior velocidade na execução da estrutura em até 300 %, maior qualidade e facilidade no nivelamento da laje, eliminação de falhas de concretagem melhorando a qualidade e por consequência, o aumento da durabilidade do edifício. É possível observar a redução do número de trabalhadores na FIG.17.

FIGURA 17 – Laje sendo concretada com o CAA com poucos trabalhadores.



Fonte: (GEYER, 2005 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.120).

A Comunidade da Construção é um movimento liderado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que faz a divulgação da nova tecnologia. Repette (2005 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008) cita a realização de uma ação em Florianópolis com o objetivo de determinar os custos de aplicação do CAA, mostrando todas as etapas de uma construção. A ação revelou que o CAA trouxe vantagens mesmo no caso das aplicações convencionais. Não houve necessidade de alterações significativas nas formas, nos métodos de lançamento e nos procedimentos de cura. Apresentou os mesmos benefícios já citados como redução no custo da mão de obra e menor desgaste dos equipamentos de mistura, transporte e lançamento.

Segundo Silva Filho *et. al.* (2004 *apud* TUTIKIAN e MOLIN, 2008), na construção do Museu Iberê Camargo em Porto Alegre utilizava-se um concreto fluido, de abatimento de 20 cm, ocorrendo constantemente problemas com a vibração, como o travamento das formas e defeitos superficiais devido ao ar aprisionado. Resolveu-se então testar o CAA que solucionou os problemas e foi viável economicamente. A FIG.18 mostra a borda do CAA utilizado no Museu Iberê Camargo, onde é possível observar a coesão do concreto e na FIG.19 é possível observar o aspecto final do Museu Iberê Camargo.

FIGURA 18 - Aspecto do CAA utilizado no Museu Iberê Camargo



Fonte: (TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.128).

FIGURA 19 – Aspecto final do Museu Iberê Camargo



Fonte: (TUTIKIAN e MOLIN, 2008, p.130)

Segundo Tutikian e Molin (2008), constata-se, portanto, o quanto viável se torna essa inovação na tecnologia de concreto, que atualmente é muito utilizada nos grandes centros urbanos, mas que analisando as tendências futuras este produto terá um aumento considerável em seu consumo nos próximos anos em outras regiões, onde ainda é pouco difundido.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Concreto Autoadensável é uma tecnologia de concreto resultante de pesquisas desenvolvidas no Japão para atender às complexidades das estruturas deste país, e conhecendo suas vantagens, o mesmo tem sua utilização aumentando consideravelmente pelo mundo nos últimos anos.

A principal vantagem do CAA está no fato de não necessitar nenhuma ação humana para seu adensamento, pois ele se adensa pelo peso próprio. Nota-se que o CAA consegue reduzir consideravelmente a mão de obra para a execução das concretagens, diminuindo assim o custo de contratação de funcionários, custos com EPI's e os riscos de acidentes. Dispensa o uso de alguns equipamentos que são muito importantes para o lançamento do concreto convencional, como vibradores mecânicos e réguas vibratórias, reduzindo o nível de ruído na concretagem, melhoria das condições de trabalho, além da economia de energia elétrica. Apresenta melhoria do acabamento na superfície da estrutura e ausência de ninhos de concretagem.

A garantia da autoadensabilidade do CAA deve-se a requisitos que devem ser alcançados tais como: fluidez, capacidade de preenchimento e de passagem entre os obstáculos, com ausência de exsudação e/ou segregação. Estes requisitos são analisados nos ensaios de caracterização no estado fresco.

A formulação de concretos fluidos e resistentes à segregação é uma evolução tecnológica, fruto da pesquisa aplicada ao uso de aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, combinados com alto teor de finos, sejam eles cimento Portland ou adições minerais como cinza volante, escória de alto-forno entre outras. Com a relevante redução de custos dos insumos, como os aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, bem como o avanço tecnológico e o domínio dos métodos de dosagem e preparação, o CAA ganha grande impulso na execução das estruturas.

O CAA pode ser uma alternativa viável se comparado ao concreto convencional, pois o custo de ambos se aproxima ao se considerar todas as vantagens permitidas pelo CAA, mas para se obter uma avaliação minuciosa sobre a vantagem econômica da substituição destas misturas, deve-se realizar um estudo global da situação, mensurando todos os parâmetros envolvidos no processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1**. Concreto autoadensável - Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2**. Concreto autoadensável - Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-3**. Concreto autoadensável - Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-4**. Concreto autoadensável - Parte 4: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-5**. Concreto autoadensável - Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V. Rio de Janeiro, 2010.

BAUER, L. A. Falcão (Coord.). **Materiais de construção**. Revisão técnica de João Fernando Dias. 5.ed.rev. Rio de Janeiro: LTC, 2008. v.1.471 p.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2.ed.rev. Sao Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 431 p.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

COUTINHO, Bianca Serra. **Propriedades e comportamento estrutural do concreto autoadensável**. 2011. 240 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

GOMES, Paulo César Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues de. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: PINI, 2009. 165 p.

KLEIN, Nayara Soares. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto autoadensável**. 2008. 180 f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

REVISTA TÉCNICA. São Paulo: Editora PINI, v. 135, jun. 2008.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Métodos para dosagem de concretos autoadensáveis**. 2004. 148 f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; MOLIN, Denise Carpena Dal. **Concreto autoadensável**. São Paulo: PINI, 2008. 140 p.