

BERNARDO TUTIKIAN  
DENISE DAL MOLIN



3ª edição revisada e ampliada



São Paulo – SP  
2021

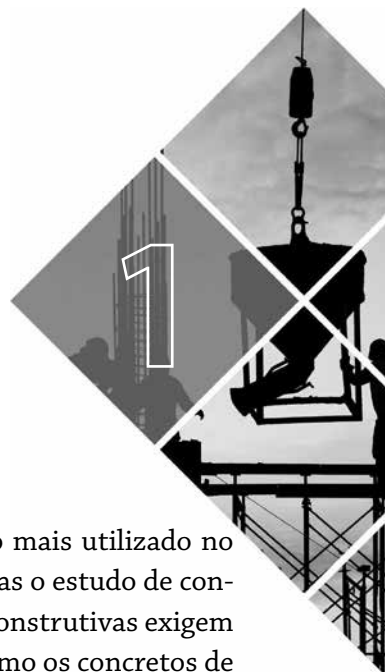
# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
1.1	DEFINIÇÃO.....	11
1.2	VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO CAA.....	12
1.3	UTILIZAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO .....	14
1.3.1	Aplicação do CAA em pré-fabricados .....	16
1.3.2	Aplicação do CAA <i>In Situ</i> .....	21
<b>2</b>	<b>MATERIAIS CONSTITUINTES</b> .....	33
2.1	CIMENTO.....	34
2.2	ADIÇÕES MINERAIS.....	34
2.2.1	Quimicamente ativas.....	35
2.2.2	Sem atividade química .....	39
2.3	AGREGADOS.....	39
2.3.1	Miúdos.....	39
2.3.2	Graúdos.....	41
2.4	ADITIVOS.....	42
2.4.1	Superplastificantes.....	42
2.4.2	Modificadores de viscosidade.....	46
2.5	ÁGUA .....	46
<b>3</b>	<b>CAA NO ESTADO FRESCO</b> .....	47
3.1	REOLOGIA.....	48
3.2	PRESSÃO NAS FÔRMAS.....	49

3.3	ENSAIOS PARA CONTROLE DA TRABALHABILIDADE.....	52
3.3.1	Ensaio de espalhamento ( <i>slump flow test</i> ).....	54
3.3.2	Determinação do tempo de escoamento - $t_{500}$ .....	57
3.3.3	Índice de estabilidade visual - IEV.....	58
3.3.4	Método do Anel-J.....	60
3.3.5	Método Funil-V.....	62
3.3.6	Método da caixa-L.....	65
3.3.7	Método da Caixa-U.....	67
3.3.8	Coluna de Segregação.....	70
3.3.9	Fill-box test.....	72
3.3.10	Orimet test.....	74
3.3.11	Considerações finais.....	75
3.4	LIMITAÇÕES E DIFICULDADES.....	77
<b>4</b>	<b>CAA NO ESTADO ENDURECIDO.....</b>	<b>79</b>
<b>5</b>	<b>MÉTODOS DE DOSAGEM.....</b>	<b>83</b>
5.1	MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR TUTIKIAN.....	84
5.1.1	Passo 1 - Escolha dos materiais.....	85
5.1.2	Passo 2 - Determinação do teor ideal de argamassa seca... 86	
5.1.3	Passo 3 - Determinação dos traços rico, intermediário e pobre.....	90
5.1.4	Passo 4 - Colocação do aditivo superplastificante e consequente segregação.....	91
5.1.5	Passo 5 - Acerto dos finos por substituição.....	92
5.1.6	Passo 6 - Ensaio de trabalhabilidade até o CCV virar CAA... 93	
5.1.7	Passo 7 - Comparação do CAA com e sem VMA (opcional).....	94
5.1.8	Passo 8 - Ensaio de resistência à compressão nas idades determinadas.....	94
5.1.9	Passo 9 - Desenho do diagrama de dosagem.....	95
5.1.10	Exemplo de dosagem pelo método Tutikian.....	95
5.1.11	Considerações finais sobre o método de dosagem proposto por Tutikian.....	104

5.2	MÉTODO DE DOSAGEM PROPOSTO POR TUTIKIAN & DAL MOLIN (2007) .....	105
5.2.1	Escolha dos materiais .....	107
5.2.2	Determinação do esqueleto granular .....	107
5.2.3	Determinação da relação água/cimento ou teor do aditivo superplastificante .....	111
5.2.4	Mistura dos traços rico, intermediário e pobre.....	112
5.2.5	Ensaio das propriedades mecânicas e de durabilidade nas idades determinadas.....	114
5.2.6	Desenho dos diagramas de dosagem e desempenho.....	115
5.2.7	Exemplo de dosagem utilizando o método Tutikian & Dal Molin (2007) .....	120
<b>6</b>	<b>VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DO CAA.....</b>	<b>131</b>
6.1	INDÚSTRIA DE PRÉ-FABRICADOS .....	132
6.2	APLICAÇÕES CONVENCIONAIS .....	138
6.3	APLICAÇÕES ESPECIAIS.....	145
<b>7</b>	<b>TENDÊNCIAS FUTURAS DO USO DO CAA .....</b>	<b>151</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>153</b>

# INTRODUÇÃO



Apesar de o concreto ser o material de construção mais utilizado no mundo, atualmente não se pode mais considerar apenas o estudo de concretos convencionais (CCV). O mercado e as técnicas construtivas exigem concretos que apresentem características especiais, como os concretos de alta resistência, de alto desempenho, autoadensáveis, com fibras, com altos teores de adições pozolânicas, aparentes, coloridos, brancos, sustentáveis, entre outros.

Para suprir essa demanda, um avanço na área da tecnologia de concreto tem ocorrido nas últimas décadas. Dentro desse contexto, foi desenvolvido no Japão, em 1988, o concreto autoadensável (CAA), o qual é capaz de se moldar nas fôrmas por conta própria e preencher, sem necessidade de vibração ou compactação externa de qualquer natureza, os espaços destinados a ele.

O CAA é claramente uma das áreas da tecnologia do concreto que tem o maior potencial de desenvolvimento. O CAA não é apenas um novo tipo de concreto, senão uma tecnologia que, quando aplicada corretamente, proporciona propriedades diferentes e, principalmente, novas oportunidades. Com a utilização do CAA, a estrutura deve ser analisada através de uma forma integral, e tanto o processo construtivo quanto a concepção arquitetônica podem possar ser otimizados.

No Brasil, a utilização do CAA ainda está muito aquém do potencial desse material, devido a uma série de questões que serão abordadas ao longo do livro. Porém, equacionar uma das principais razões, que é

o desconhecimento dos profissionais a respeito do assunto, é a grande motivação dos autores desse. Com o trabalho, pretende-se divulgar o material desde a sua definição, passando por métodos de dosagens e até exemplos reais de aplicação, para dirimir quaisquer dúvidas e anseios do público em geral.

As duas propriedades mais importantes do CAA são a trabalhabilidade e a estabilidade. As características desse concreto têm de ser determinadas e mantidas, assim as propriedades dos materiais e, principalmente, o proporcionamento destes, passam a ser os fatores mais importantes para a otimização da mistura.

Nos últimos anos, o CAA vem atraindo cada vez mais interesse no Brasil e vem sendo utilizado em indústrias de pré-fabricados e em obras correntes e especiais. Porém, os principais estudos atualmente vêm focando as propriedades mecânicas, a durabilidade e a possibilidade de utilização com determinados tipos de materiais locais. A dosagem, que é um dos aspectos mais importantes deste concreto, tem sido pouco estudada, prejudicando, assim, todos os temas anteriores.

É surpreendente que, ainda hoje, pesquisadores e profissionais responsáveis pela mistura do CAA utilizem métodos de dosagem propostos há mais de 30 anos com o intuito de iniciar o desenvolvimento desse concreto. Sabe-se que, nos últimos tempos, foram propostos métodos de dosagem eficazes já comprovados, e que permitem o proporcionamento de CAA econômicos, como os de Tutikian (2004), de Gomes (2002), de Melo-Repette (2005) e de Tutikian & Dal Molin (2007).

Pesquisas vêm mostrando que, erroneamente, profissionais tomadores de decisão escolhem outro tipo de concreto ao CAA, devido ao seu custo ser, teoricamente, mais elevado. Ou então, justificam eles, deixam de utilizar esse concreto, já que algumas propriedades no estado endurecido podem comprometer o desempenho da estrutura, como o módulo de elasticidade. Sabe-se que, no entanto, o CAA só pode ser diferente do concreto convencional (CCV) até que a mistura passe do estado fresco para o endurecido, logo suas propriedades mecânicas e de durabilidade serão, simplesmente, o efeito do proporcionamento dos materiais

constituíntes. Os materiais são parecidos com os do CCV, assim como as propriedades no estado endurecido, quando não superiores.

Por se tratar de um material relativamente novo no mercado e ainda desconhecido do grande público, a parte inicial do livro detalhará o conhecimento existente sobre o CAA, englobando definição, vantagens, aplicações conhecidas, os materiais constituíntes e suas propriedades no estado fresco e endurecido. Porém, a intenção principal é divulgar os dois métodos de dosagem propostos pelos autores, os quais visam facilitar a difusão do material e evitar uma série de problemas como os descritos nos parágrafos anteriores. Pretende-se, assim, possibilitar a viabilização econômica do CAA, por utilizar conceitos testados e aprovados por diversos profissionais.

Ainda, é importante ressaltar que esta edição do livro foi revista e ampliada, inclusive atualizando os leitores sobre a ABNT NBR 15823, primeira norma sobre a trabalhabilidade do CAA no Brasil.

## 1.1 DEFINIÇÃO

---

Um concreto só será considerado autoadensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: a fluidez; a coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre barras de aço ou habilidade passante; e a resistência à segregação (EFNARC, 2005).

Fluidez é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de fluir dentro da fôrma e preencher todos os espaços. Habilidade passante é a propriedade que caracteriza a capacidade da mistura de escoar pela fôrma, passando por entre as armaduras de aço sem obstrução do fluxo ou segregação. E resistência à segregação é a propriedade que define a capacidade do CAA de se manter coeso ao fluir dentro das fôrmas, passando ou não por obstáculos.

A habilidade do concreto fresco, seja um CAA ou não, de preencher as fôrmas, sem a presença de bolhas de ar ou falhas de concretagem

(ninhos), é um dos principais fatores que influem na qualidade final do concreto endurecido. O CAA não pode depender de qualquer tipo de ajuda externa para cumprir seu papel. O uso de vibradores de imersão, régua vibratórias ou outra forma de compactação não é apropriado para um CAA. A única ferramenta disponível para esse concreto é seu peso próprio, ou seja, a ação da força da gravidade em sua massa.

Porém, é importante ressaltar que cuidados com sua homogeneidade devem ser tomados. O CAA, ao ‘caminhar’ sobre as fôrmas, envolvendo obstáculos (eletrodutos, barras de aço, entre outros), não deve segregar, ou seja, ter o agregado graúdo separado da argamassa. Uma mistura mal dosada pode até parecer que está coesa, mas, ao ser lançada nas fôrmas, iniciará o processo da segregação. Por isso, os CAA devem ser testados previamente, através de equipamentos que simulem as condições reais, como será visto no capítulo 2.

## 1.2 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO CAA

---

O CAA é descrito como uma das grandes revoluções ocorridas na tecnologia do concreto para a construção nas últimas décadas, possibilitando vários ganhos, diretos e indiretos, entre os quais:

- a) acelera a construção, já que seu lançamento é muito rápido e dispensa o adensamento;
- b) reduz a mão de obra no canteiro, por eliminar a vibração e facilitar o espalhamento e o nivelamento do concreto;
- c) melhora o acabamento final da superfície;
- d) pode aumentar a durabilidade por ser mais fácil de adensar, evitando falhas de concretagem e grandes vazios resultantes da má vibração;
- e) permite grande liberdade de formas e dimensões; o CAA preenche fôrmas curvas, esbeltas, com altas taxas de armadura e de difícil acesso;



- f) permite concretagens em peças de seções reduzidas;
- g) elimina o barulho de vibração, o que é muito importante em grandes centros urbanos, concretagens noturnas ou obras perto de escolas e hospitais;
- h) torna o local de trabalho mais seguro, em função da diminuição do número de trabalhadores;
- i) permite obter um ganho ecológico, por poder utilizar em sua composição altos teores de resíduos industriais, como a cinza volante, a escória alto forno ou a cinza de casca de arroz;
- j) pode reduzir o custo final da estrutura, se computados economicamente todos os ganhos citados.

O CAA possui uma grande deformabilidade no estado fresco, ou seja, pode ser moldado facilmente nas mais diversas formas, sob a ação da gravidade. Isto permite que o CAA percorra até dez metros de distância horizontal, mesmo com obstáculos no caminho.

A grande resistência à segregação, aliada à 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.

A possibilidade da eliminação da vibração é muito interessante, uma vez que, além da economia de energia elétrica e mão de obra, a vibração produz ruído, podendo causar doenças nos operários. Bartos e Söderlind (2000), em estudo experimental realizado, concluíram que o ruído captado por trabalhadores e pelo entorno da edificação, quando utilizado o CAA, é de, aproximadamente, um décimo do ruído recebido quando o CCV é utilizado, em decibel. Somado a isso, a vibração também desgasta e exerce forte pressão nas fôrmas, podendo essas ceder, se não estiverem bem presas.

A adição de materiais finos no CAA melhora diversas propriedades, tanto no estado fresco como no endurecido. Os finos atuam como pontos de nucleação, ou seja, quebram a inércia do sistema, fazendo com que as

partículas de cimento reajam mais rapidamente com a água, obtendo-se ganhos de resistência nas primeiras idades. Ainda, aumentando o pacote de partículas finas, cresce a compacidade da pasta, dificultando a penetração de agentes externos agressivos e melhorando a zona de transição.

Ao mesmo tempo em que resíduos da construção podem funcionar como finos, dando coesão ao CAA, a viabilidade de sua utilização pode ser uma solução para os problemas gerados em sua disposição. O cimento, que é um material mais caro, poderá ser usado com a única função de dar resistência ao concreto.

Resultados experimentais mostraram que o CAA apresentou reduções significativas no coeficiente de permeabilidade e absorção capilar, se comparado ao CCV referência, para faixas de resistência similares (ZHU e BARTOS, 2003). Estes mesmos autores também concluíram que a penetração de íons cloreto depende das adições utilizadas, ou seja, CAA e CCV de mesmas resistências à compressão, com os mesmos materiais cimentícios, devem ter os mesmos valores de penetração de íons cloreto.

Por todos esses motivos, o CAA tem se tornado uma excelente opção para o setor da construção, e, como será visto, vem crescendo rapidamente sua utilização e estudos a respeito do novo material.

## 1.3 UTILIZAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO

---

O CAA pode ser utilizado tanto moldado *in loco* como na indústria de pré-fabricados, pode ser dosado no canteiro de obras ou em centrais de concreto e depois transportado via caminhão betoneira para as construções. Também pode ser lançado com bombas de concreto, guias ou simplesmente espalhado, ou seja, o CAA é tão versátil quanto o CCV.

Há poucas referências publicadas a respeito da utilização do CAA em obras de engenharia. E, normalmente, as utilizações são em estruturas especiais, complicadas de se concretar com o CCV.

Domone (2006) fez um levantamento das publicações que relatavam o uso do CAA, entre 1993, desde a primeira aplicação divulgada ocorrida no Japão, que foi a concretagem *in loco* de colunas e paredes de um edifício, e 2003. O autor observou diversas curiosidades na pesquisa, entre elas que 67% das obras que decidiram pelo uso do CAA foi devido às vantagens técnicas do material comparado ao CCV, como a impossibilidade de acesso ao local ou dificuldade de vibração; 14% decidiram pelo CAA por motivos econômicos, através da redução do número de trabalhadores ou do tempo de construção; por fim os outros 10% que utilizaram o CAA, o fizeram por esse material ser uma inovação. Ainda da totalidade dos casos, todos verificaram a trabalhabilidade do CAA com o *slump flow test*, e com cerca de 90% do número de casos usando a faixa de 600-750mm como a ideal. Quase a metade dos casos relatou também o uso do  $T_{50}$ , do *funil-V* e do *Orimet test*, enquanto que a *caixa-L*, *caixa-U* e *anel-J* raramente serviram de parâmetro. Esses ensaios citados serão descritos no capítulo 3. Outro dado interessante é que apenas três casos de aplicação do CAA na América do Sul foram relatados no período. Outras características da aplicação do CAA podem ser lidas na publicação.

Para fins didáticos, as aplicações do CAA foram divididas em dois ambientes: na indústria de pré-fabricados e em construções onde o concreto é moldado *in loco*. No primeiro setor, o desenvolvimento do CAA é maior, devido à sua sensibilidade a variações em relação ao CCV, o que é mais fácil de se controlar em um ambiente como uma indústria. Ainda há outras vantagens do ambiente industrial em relação ao de edificações *in situ* convencionais (WALRAVEN, 2005):

- ♦ no caso de falha total de adensamento do CAA, as consequências da aplicação *in situ* são mais severas, já que se pode ter de demolir uma estrutura ou parte dela, enquanto que, na indústria de pré-fabricados, basta descartar a peça;
- ♦ normalmente, é complicado de se realizar complexos controles de qualidade de recebimento de materiais em edificações;
- ♦ as características de autoadensabilidade são mais facilmente alcançáveis e com menor custo para concretos de resistência

à compressão superiores, que são comuns em indústrias de pré-fabricados;

- ♦ a indústria de pré-fabricados tem um melhor entendimento sobre seus custos (Pacios, 2005).

### 1.3.1 Aplicação do CAA em pré-fabricados

A seguir serão apresentados exemplos de aplicação do CAA na indústria de pré-fabricados, segundo Walraven (2005).

A Figura 1 mostra elementos arquitetônicos utilizando concreto autoadensável branco (CAAB). Devido a melhor homogeneização da massa de concreto, a cor ficou bem distribuída, algo importante para a estética do painel.



**Figura 1** • Elementos arquitetônicos com concreto autoadensável branco  
Fonte: Walraven, 2005

Um tabuleiro de concreto pré-fabricado pré-tensionado, utilizado na estação de metrô do Amsterdã Arena, estádio de futebol do Ajax, também foi executado com o CAA. Essa estação possui quatro pistas de 135 metros

de comprimento, totalizando 1,4 quilômetros. Como cada painel possui um comprimento de 23,30 metros, foram executadas 60 unidades, todas com resistência à compressão de 55 MPa. Um dos motivos para a utilização do CAA foi o alto número de repetições da fôrma. Com esta solução aumentou-se a vida útil das fôrmas, representando um ganho econômico.

Na Figura 2 podem-se observar pilares de fundação, que eram executados com CCV através de um sistema local chamado de choque. Para uma boa compactação do concreto, deixava-se cair os pilares a uma altura de 50 milímetros. Com o uso de CAA, não foi mais necessário utilizar este mecanismo, o que aumentou a vida útil das fôrmas e diminuiu o tempo de produção de uma peça de 7,5 minutos para 1,5 minutos.



**Figura 2** • Pilares de fundação executados com CAA

Fonte: Walraven, 2005

Uma série de arcos executada com o CAA pode ser vista na Figura 3. Esses arcos são compostos por cinco peças de 13 metros, totalizando

65 metros de comprimento. Sua seção transversal é em forma de uma caixa vazada, a qual era movida com a vibração, quando se utilizava o CCV. Por isso, o sistema de concretagem foi alterado para o CAA, que ainda proporcionou outras vantagens, como a redução do barulho de vibração e a redução em 50% do número de trabalhadores.



**Figura 3** • Arcos compostos por cinco peças executadas em CAA  
Fonte: Walraven, 2005

O CAA também foi utilizado para a produção de elementos pré-fabricados em Denver, Colorado, nos Estados Unidos. Foram testadas diversas peças, como vigas ‘T’, pilares, paredes arquitetônicas e outros. Segundo os autores Fernandez *et al.* (2005), o uso da tecnologia do CAA permitiu 20% de redução do tempo de concretagem, 66% de redução do número de trabalhadores, uma drástica melhora no acabamento final, eliminação do barulho de vibração e um ganho ambiental, uma vez que o cimento utilizado no CCV foi substituído em 20% por cinza volante.

No Brasil, há uma grande empresa na área de pré-fabricação de postes de concreto que alterou totalmente sua produção do CCV para o CAA, para aumentar a produtividade, diminuir o desperdício e melhorar a qualidade final dos postes. Esta empresa, com mais de 50 anos de mercado, vinha com toda sua produção com o método tradicional. Por não alterar significativamente equipamentos e pessoal, a mudança para o CAA foi gradual e sem traumas. Na Figura 4 é possível observar concretagem com caçamba aérea, suportada por ponte rolante, para a realização da tarefa.



**Figura 4** • Postes de concreto com CAA

Fonte: ?

Observa-se que as formas são complexas e impõe dificuldade à penetração do concreto. Quando a empresa trocou o tipo de concreto atingiu todos os seus objetivos, como a melhora do acabamento final das peças, diminuição da mão de obra necessária e diminuição dos custos globais dos elementos.

A ABCIC (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto) publicou uma pesquisa, em 2015, que mostra o uso do CAA em indústrias de pré-fabricados no Brasil, evidenciando, claramente, uma tendência de aumento do uso da tecnologia, como se observa na Figura 5.



**Figura 5** • Uso do CAA em indústrias de pré-fabricados no Brasil  
Fonte: ABCIC, 2015

Uma empresa de pré-fabricados no sul do país aderiu à tecnologia do CAA em 2019, em grande parte devido à dificuldade de executar placas com bom acabamento superficial e sem segregação. O uso do CAA melhorou a qualidade das peças significativamente, como se observa na Figura 6, e com menor necessidade de mão de obra.

No capítulo 6 – Viabilidade Econômica do CAA – no item 6.1 – este case será melhor detalhado.

Atualmente, o CAA vem sendo usado com muita frequência nas empresas de pré-fabricados mais organizadas, com grandes vantagens, para moldagem de vigas, pilares, lajes, postes, placas e tantos outros tipos de peças convencionais e com maior complexidade.





(a)



(b)

**Figura 6** • Comparativo de placas de concreto com (a) CCV e (b) CAA em indústria do sul do país.

Fonte: Acervo de Bernardo Tutikian

### 1.3.2 Aplicação do CAA *In Situ*

Apesar das dificuldades relatadas na aplicação do CAA em estruturas tradicionais, já são muitos os exemplos de utilização, uma vez que estas barreiras vêm sendo derrubadas ou transpostas pelos tecnologistas de concreto, respaldados pelos resultados obtidos.

Segundo Obras (2000), foi utilizado um concreto estrutural branco, de consistência líquida, na obra 'A Sagrada Família', de Barcelona, Espanha. Na publicação, não fica claro se o concreto era autoadensável, mas foi usada a sílica ativa, que torna a mistura coesa, e aditivo superplastificante, que fluidifica o material. Sabe-se que uma estrutura de concreto branco aparente não pode, em hipótese alguma, apresentar falhas de concretagem, pois correções futuras ficam visíveis, prejudicando a estética do local.

Söderlind e Claeson (2000) descrevem diversas aplicações do CAA. Na França foi usado o CAA, na *Chamarande*, em 1998. As peças concretadas eram paredes com 2,30 metros de altura, 16 centímetros de espes-

sura e 30 metros de comprimento e com colunas altamente reforçadas. O traço do concreto está na Tabela 1. Observa-se o teor de argamassa de 61,50%, que pode elevar o custo do concreto e aumentar as possibilidades de ocorrência de manifestações patológicas. Também o traço 1:m (aglomerantes : agregados) está em 1:2,9, ou seja, este é um concreto rico (consumo de aglomerantes em  $500 \text{ kg/m}^3$ ), o que ajuda, novamente, a elevar os problemas já citados.

**Tabela 1** • Traço do CAA utilizado em *Chamarande*, França

Cimento	310 $\text{kg/m}^3$
Cinza volante	190 $\text{kg/m}^3$
Agregado 4/10 mm	750 $\text{kg/m}^3$
Areia 0/4 mm	550 $\text{kg/m}^3$
Areia fina	150 $\text{kg/m}^3$
Aditivo superplastificante	1,30%
Aditivo modificador de viscosidade	1,50%
Água	200 a 210 $\text{l/m}^3$

Fonte: SÖDERLIND e CLAESON, 2000

A obra de *Bretonneau*, na França, é um teste que foi feito com o CAA, para melhorá-lo e desenvolvê-lo, em 1999. O CAA também foi utilizado em *Norrköping*, Suécia, no ano de 1998, em um edifício comercial. O edifício possui sete andares, onde, nos cinco superiores, foram utilizados pré-fabricados e os dois inferiores foram totalmente concretados com CAA, com e sem fibras de aço, totalizando cerca de  $3000 \text{ m}^3$ .

Um edifício comercial construído em *Slona*, na Suécia, em 1999, usou o CAA no programa *Startboxen*. O volume total concretado foi de, aproximadamente,  $2200 \text{ m}^3$ . O teste incluiu os seguintes elementos:

- a) seis paredes com e sem fibras de aço, de 2,70 a 3,40 metros de altura e 25 a 30 centímetros de largura;
- b) duas lajes sem revestimento de 30 a 40 centímetros de espessura;

- c) uma laje com revestimento de pedra ou lâminas de madeira, com 35 centímetros de espessura;
- d) dois pilares;
- e) duas lajes de 8 centímetros, concretadas com concreto referência.

Para a concretagem do túnel enclausurado *Oresund*, foi utilizado o CAA, até porque seria impossível que se vibrasse o concreto, devido às condições locais (BERNABEU e LABORDE, 2000). A obra foi realizada em 1999, e foram utilizados cerca de 80 m<sup>3</sup> de CAA. O túnel possuía 40 metros de comprimento, com as seções de 1 x 1 metro, e o traço utilizado está apresentado na Tabela 2. Observa-se que a relação aglomerante:agregados está em 1:3,53. Já a relação a/agl está em 0,29, que, somada à presença da sílica ativa, garante uma elevada resistência à compressão do concreto, bem como sua durabilidade. O teor de argamassa está em 55,5%.

**Tabela 2** • Traço do CAA utilizado no túnel *Oresund*

Cimento	380 kg/m <sup>3</sup>
Cinza volante	70 kg/m <sup>3</sup>
Sílica ativa	45 kg/m <sup>3</sup>
Agregado Miúdo 0/2 mm	750 kg/m <sup>3</sup>
Agregado graúdo 2/8 mm	290 kg/m <sup>3</sup>
Agregado graúdo 8/16 mm	710 kg/m <sup>3</sup>
Água	143 l/m <sup>3</sup>
Superplastificante Rheobuild 2000B	14 kg/m <sup>3</sup>
Modificador de viscosidade <i>Welan Gum</i>	0,150 l/m <sup>3</sup>

Fonte: BERNABEU e LABORDE, 2000

Em 1999, foi executada uma estrutura em forma de ‘iglu’, como mostra a Figura 7. Esta edificação possuía cinco metros de altura, 11,70 metros de largura e 22 metros de comprimento, e, devido à dificuldade de vibração imposta pelas suas fôrmas, foi decidido utilizar o CAA. A concretagem

foi executada em duas partes e o volume total foi de, aproximadamente, 200 m<sup>3</sup>.



**Figura 7** • Estrutura em forma de ‘iglu’, concretada com CAA

Fonte: BERNABEU e LABORDE, 2000

O CAA também foi utilizado na autoestrada A46 em *Lyon*, na França, em 2000. Como os tubos coletores de água de 150 centímetros de diâmetro estavam deformando, foi executado um novo tubo coletor de água em CAA, de 110 centímetros de diâmetro, interno ao tubo antigo. Um total de 120 m<sup>3</sup> de CAA foi utilizado.

Outra autoestrada onde se aplicou o CAA foi a A85, no trecho de uma ponte em *Vierzon*, na França, em 2000. Foram concretadas duas vigas ‘H’, com 38,50 metros de comprimento, 80 centímetros de altura e 30 centímetros de largura, totalizando cerca de 20 m<sup>3</sup> de CAA. O traço está demonstrado na Tabela 3. Observa-se, novamente, que o teor de argamassa provavelmente esteja elevado, em 65%, assim como a relação entre aglomerantes:agregados em 1:2,83 indica alto consumo de aglomerantes (520 kg/m<sup>3</sup>). Esse traço pode levar a problemas relacionados com

elevado calor de hidratação e retração do concreto que, somado ao baixo consumo de agregados graúdos, aumenta a probabilidade de ocorrência de fissuras e deformações excessivas.

**Tabela 3** • Traço do CAA utilizado na ponte da autoestrada de *Vierzon*, França

Cimento	480 kg/m <sup>3</sup>
Sílica ativa	40 kg/m <sup>3</sup>
Areia 0/3 mm	770 kg/m <sup>3</sup>
Pedrisco 3/6 mm	700 kg/m <sup>3</sup>
Água	234 kg/m <sup>3</sup>
Superplastificante	2,80%

Fonte: BERNABEU e LABORDE, 2000

Na construção da ponte de *Motala*, na Suécia, também foi utilizado o CAA. Esta obra foi em 1999 e foram gastos cerca de 90 m<sup>3</sup>, para um vão de 23 metros. Outra ponte executada com o CAA foi a *Arboga* U955, na Suécia. Essa travessia de pedestres e bicicletas consumiu cerca de 52 m<sup>3</sup> de CAA.

Um típico exemplo de aplicação do CAA (OKAMURA, 1997) são as duas ancoragens da ponte suspensa Akashi-Kaikyo, aberta em abril de 1998. Essa ponte tinha, na época, o maior vão do mundo (1991 metros), e foram lançados 290.000 m<sup>3</sup> de CAA. O concreto foi misturado em um local perto da construção e bombeado em tubos com 200 metros de comprimento, até o local da aplicação. A utilização do CAA proporcionou uma economia de tempo da ordem de 20%, executando a obra em 2 anos, ao invés dos 2,5 anos previstos.

O CAA também foi utilizado nas paredes de um tanque LNG pertencente a *Osaka Gas Company*, as quais consumiram 12.000 m<sup>3</sup> de CAA e foram entregues em 1998. A utilização do CAA permitiu:

- a) diminuir o número de etapas de 14 para 10, pois pode-se aumentar a altura das paredes;
- b) reduzir o número de trabalhadores de 150 para 50;
- c) diminuir o tempo de construção da estrutura de 22 para 18 meses.

Campion e Jost (2000) relatam a utilização do CAA na reparação da ponte de *Rempenbruecke*, na Suíça. A ponte foi construída no início dos anos 60, mas sofreu uma séria deterioração devido à corrosão das armaduras, induzida pela penetração de íons cloretos no concreto. Então, foram reparados os problemas nas barras de aço. Mas para reforçar a estrutura como um todo, foi criada uma nova viga, a qual era densamente armada e de difícil acesso. A solução encontrada para aplicar o concreto foi a utilização do CAA, com resistência à compressão de 40 MPa.

Na Figura 8 (Walraven, 2005) está o primeiro exemplo de aplicação em obras convencionais do CAA na Holanda. Em 1998, uma imponente fachada foi executada para o Teatro Nacional no Hague, o qual, por razões estéticas, possuía uma série de estreitas janelas, com espessura de oito centímetros. O CAA utilizado para preencher todos os espaços, sem segregação dos agregados graúdos, foi um com elevada fluidez (diâmetro de espalhamento do *Slump Flow Test* de 730 milímetros) e baixa viscosidade (baixo tempo de escoamento do *funil-V*).



**Figura 8** • Fachada em CAA com detalhes arquitetônicos

Fonte: Walraven, 2005

O CAA também pode ser utilizado com sucesso em recuperações de estruturas antigas, onde não é aconselhável a existência de vibração, o que poderia ocasionar falhas maiores ou, até mesmo, ruptura do elemento. Um exemplo disto é uma ponte na Holanda, *The Katelbridge*, ilustrada na Figura 9, que foi recuperada em 2002, com 45 anos de idade na época. As manifestações patológicas apresentadas foram aberturas entre os

tabuleiros da ponte, devido à sobrecarga, já que com as sucessivas renovações os tabuleiros tiveram sua espessura aumentada dos 50mm originais para 180mm, além do incremento de tráfego já previsto no período. O CAA, de resistência à compressão de 35 MPa, foi transportado para a fôrma interior na ponte através de uma pequena janela exterior, pois não era possível o desvio do tráfego. A Figura 10 ilustra a densidade das armaduras por onde o concreto teve de penetrar.



**Figura 9** • Ponte recuperada com CAA  
Fonte: Walraven, 2005



**Figura 10** • Vista da armadura da estrutura  
Fonte: Walraven, 2005

Outro exemplo de aplicação do CAA foi na Universidade de Illinois, que comandava um projeto da Rede de Trabalho em Engenharia para Simulação de Terremotos (Grace, 2005). O projeto consistia em construir uma parede, densamente armada em forma de 'L', a qual seria indestrutível, para que fossem simulados diversos terremotos com diferentes amplitudes. Uma série de tubos horizontais foi posicionada para futuras medições, os quais não poderiam ter sua posição alterada devido à vibração de um CCV, como se visualiza na Figura 11. Ou seja, não poderia haver situação mais desfavorável à concretagem do que essa. Por fim, moldou-se o CAA com sucesso e, após a desfôrma, a parede pode ser utilizada sem que fossem feitos reparos ou que os tubos tivessem sido danificados.



**Figura 11** • Parede para simulação de terremotos

Fonte: Grace, 2005

Pacios (2005) descreve uma aplicação em Madri, Espanha, onde foi executado um edifício com 220 apartamentos de 3 dormitórios em CAA. A utilização do CAA como uma tecnologia, em conjunto com outros sistemas construtivos de ponta, permitiu que se fizesse um apartamento de aproximadamente 80 m<sup>2</sup> de área útil, a cada 3 dias. A Figura 12 mostra a evolução da obra em um intervalo de 11 meses (março de 2003 a fevereiro de 2004).



(a)



(b)

**Figura 12** • Evolução da edificação em duas datas

– (a) março de 2003 e (b) fevereiro de 2004

Fonte: Pacios, 2005



Chai e Yang (2005) relatam a utilização do CAA para a reabilitação de prédios escolares em Taiwan. Os prédios foram parcialmente danificados por terremotos e, conseqüentemente, tiveram de ser recuperados, uma vez que não foram totalmente destruídos. Porém, as estruturas existentes apresentavam uma alta taxa de armadura, as quais tiveram de ser reforçadas, com pouco espaço para concretagens. Por esses motivos, e por utilizarem primeiramente um CCV, falhas de concretagem ficaram visíveis, motivo pelo qual foi decidida a utilização do CAA.

Também há aplicações no Brasil, as quais foram descritas em um artigo da Revista *Téchne* (2008), sendo citadas uma série de vantagens para a definição pelo CAA.

Dentre essas está a da construtora BKO, que diminuiu o tempo de lançamento pela metade, utilizando o mesmo número de trabalhadores, permitindo, inclusive, a concretagem simultânea de pilares, vigas e lajes, o que era impensável com o CCV. A mesma motivação levou a se utilizar esse material nas obras de ampliação de Shopping Center Flamboyant, de Goiânia – GO. Outro exemplo de aplicação do CAA foi na obra do metrô de São Paulo – SP, devido à alta taxa de armadura de uma laje de 8 mil m<sup>3</sup> de volume, conforme se observa na Figura 13.



**Figura 13** • Alta taxa de armadura de uma laje do metrô de São Paulo concretada com o CAA

Fonte: *Téchne*, 2008

Uma construtora e incorporadora de Novo Hamburgo / RS decidiu pelo material para agilizar seu cronograma de obra, já que o tempo de concretagem menor proporcionou 162 horas livres dos funcionários por andar. A Figura 14 mostra a concretagem em andamento em CCV e CAA.



**Figura 14** • Concretagem com menos funcionários com o CAA em relação ao CCV  
Fonte: ?

Ainda em aplicações locais, o CAA é muito usado em edificações em paredes de concreto armado moldadas no local, ou fora do local e montadas posteriormente, o que se pode considerar como uma industrialização do canteiro. A Figura 15 ilustra uma construção típica desta técnica em execução.



**Figura 15** • Edificação em parede de concreto autoadensável sendo executada  
Fonte: Acervo de Bernardo Tutikian

Esta edificação possui quatro pavimentos no total, e está no terceiro piso no momento da foto. As paredes são concretadas em baterias dentro do canteiro. Após a concretagem são direcionadas para a área de cura, depois transportadas em caminhão tipo munck, para, então, serem montadas através de pórticos rolantes. Por ser um sistema que busca a industrialização, a intenção é concretar a parede e a mesma não necessitar de retoques, revestimentos argamassados ou qualquer outra etapa de construções convencionais que atrasaria o cronograma. Observa-se que, com esta técnica, não é necessário realizar grandes trabalhos na fachada, diminuindo necessidade de equipamentos e aumentando a segurança e velocidade do canteiro.

Ainda, se utiliza o CAA para concretagens de paredes em PVC preenchidos com concreto. Neste sistema construtivo, as fôrmas de PVC ficam permanentes, já servindo como revestimento e acabamento final. Por ser extremamente liso, o PVC torna a parede de fácil limpeza e permite um ambiente higiênico e com boa luminosidade, devido a sua cor clara. O sistema da empresa Bazze é inovador, por isso, passou por avaliação técnica de desempenho e foi aprovado em 2019. A Figura 16 mostra a concretagem e a casa terminada.



**Figura 16** • Edificação em parede de concreto autoadensável sendo executada  
Fonte: Acervo de Bernardo Tutikian

No capítulo 6 – Viabilidade Econômica do CAA, alguns destes cases serão melhor detalhados.