

**CIBELE CRISTINE MELLO FRANCAZAK  
FELIPE ZAHDI RAFFO PREVEDELLO**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS TIPOS DE  
ADITIVOS PARA UM MESMO TRAÇO EM  
CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Concreto, do Departamento de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito para obtenção do Título de Tecnólogo.

Orientador: Dr. Eng. Wellington Mazer

**CURITIBA  
2012**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS TIPOS DE ADITIVOS PARA UM MESMO TRAÇO DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

Por  
Cibele Cristine Mello Franczak  
e  
Felipe Zahdi Raffo Prevedello

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Concreto, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 16 de outubro de 2012, pela seguinte banca de avaliação:

---

Prof. Orientador – Wellington Mazer, Dr.  
UTFPR

---

Prof. Luiz Carlos Wicnewski, MSc.  
UTFPR

---

Eng. Helio Haruo Maeda

# AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

Aos nossos queridos cônjuges que sempre estiveram nos incentivando.

Aos nossos amados pais e familiares.

Agradecimentos ao orientador Doutor Engenheiro Wellington Mazer pela competência, dedicação e disposição na orientação deste trabalho.

Aos amigos presentes e àqueles que não estão mais entre nós, mas que puderam participar de nossas vidas durante todo este percurso agregando valores que nos fizeram de alguma forma chegar até aqui.

## RESUMO

O concreto auto-adensável (CAA), desenvolvido no Japão na década de 80, é uma opção para obras com grande volume de concreto e obras especiais com taxa de armadura elevada, devido à sua propriedade relacionada à trabalhabilidade e fluidez que acarreta benefícios otimizando tempo de execução e minimizando custos com mão de obra. Dentre os componentes do concreto auto-adensável, os aditivos desempenham um papel importante garantindo a fluidez e a coesão do concreto devido às suas propriedades químicas. O estudo de aditivos é essencial para a produção de CAA, porém, existem diferentes composições químicas de aditivos a base de policarboxilatos, que modificam as características do CAA no estado fresco.

Palavras Chave: Aditivo, Auto-Adensável, CAA, Policarboxilato.

## **ABSTRACT**

Self-consolidating concrete (SCC), developed in Japan in the 80, is an option for high-volume works of concrete and special works with high armor rating, because of its fluidity and workability-related property that carries benefits optimizing runtime and minimizing labor costs. Among the concrete auto-adensável components, additives play an important role by ensuring the fluidity and cohesion of concrete due to its chemical properties. The study of additives is essential for the manufacture of CAA, however, there are different chemical compositions of additives the polycarboxilatos base, that change the characteristics of the CAA in the fresh State.

Key Words: Concrete, Technology, Self-consolidating, SCC.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÉTER POLICARBOXILATO.....	28
FIGURA 2 – MICROGRAFIA DE PARTÍCULAS DE CIMENTO.....	29
FIGURA 3 – ADITIVO A BASE DE POLICARBOXILATO.....	30
FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DOSAGEM METODOLOGIA GOMES.....	36
FIGURA 5 – DIAGRAMA DE METODOLOGIA DE TRAÇO DE CONCRETO.....	37
FIGURA 6 – AKASHI-KAIKYO, JAPÃO.....	47
FIGURA 7 – AKASHI-KAIKYO, JAPÃO.....	47
FIGURA 8 – ESTRUTURA EM FORMA DE IGLU NA FRANÇA.....	48
FIGURA 9 – TÚNEL EM YOKOHAMA, JAPÃO.....	48
FIGURA 10 – RECUPERAÇÃO DE UMA PONTE, NA SUÍÇA.....	49
FIGURA 11 – RECUPERAÇÃO ESTRUTURA ANTIGA NA HOLANDA.....	49
FIGURA 12 – RECUPERAÇÃO ESTRUTURA ANTIGA NA HOLANDA.....	50
FIGURA 13 – ARMADURA EM “L” ILINÓIS.....	50
FIGURA 14 – LAJE DO METRÔ DE SÃO PAULO.....	51
FIGURA 15 – MUSEU IBERÊ CAMARGO.....	51
FIGURA 16 – MUSEU IBERÊ CAMARGO.....	52
FIGURA 17 – MUSEU IBERÊ CAMARGO.....	52
FIGURA 18 – CONCRETAGEM PRÉ-MOLDADO.....	53
FIGURA 19 – PRÉ-MOLDADO, CONCRETO BRANCO.....	53
FIGURA 20 – PRÉ-MOLDADO EM ARCO.....	53
FIGURA 21 – SLUMP FLOW TEST.....	54
FIGURA 22 – FUNI V.....	55
FIGURA 23 – CAIXA L .....	59
FIGURA 24 – CAIXA L .....	59
FIGURA 25 – CAIXA U .....	60
FIGURA 26 – SLUMP FLOW TEST CAA 1.....	63
FIGURA 27 – FUNIL V CAA 1.....	64
FIGURA 28 – CAIXA U CAA1.....	65
FIGURA 29 – CAIXA L CAA1.....	65
FIGURA 30 – SLUMP FLOW TEST CAA 2.....	66

FIGURA 31 – FUNIL V CAA 2.....	67
FIGURA 32 – CAIXA U CAA2.....	67
FIGURA 33 – CAIXA L CAA2.....	68

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – ADIÇÕES MINERAIS NAS PROPRIEDADES DO CAA.....	26
TABELA 02 – PROPRIEDADES DE FLUXO PARA CAA – EFNARC .....	34
TABELA 03 – MASSA UNITÁRIA COMPACTADA DE DOIS MATERIAIS/1000.....	39
TABELA 04 – MASSA UNITÁRIA COMPACTADA DE DOIS MATERIAIS/100.....	39
TABELA 05 – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DE DOIS MATERIAIS HIPOTÉTICOS.....	40
TABELA 06 – RESULTADOS PARA O FUNIL V PARA VÁRIOS AUTORES.....	56
TABELA 07 – RESULTADOS PARA O CAIXA L PARA VÁRIOS AUTORES.....	57
TABELA 08 – RESULTADOS PARA O CAIXA U PARA VÁRIOS AUTORES.....	61
TABELA 09 – TRAÇO DE CAA UTILIZADO.....	62
TABELA 10 – COMPARATIVO DE ENSAIOS.....	63

## SIGLAS

CAA	Concreto Auto-Adensável
CCV	Concreto Convencional Vibrado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
a/agl	Água / Aglomerante
a/c	Água / Cimento
MPa	Mega Pascal
m	Metro
mm	Milímetro
Pa.S	Pascal.Segundo

# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	12
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	12
1.2	OBJETIVOS .....	13
1.2.1	Objetivo Geral .....	13
1.2.2	Objetivo Específico .....	13
1.3	JUSTIFICATIVA .....	14
1.4	ESTRUTURA DA PESQUISA.....	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Tecnologia do Concreto .....	16
2.2	Evolução do Concreto .....	17
2.3	Concreto Auto-Adensável .....	18
2.4	Materiais constituintes.....	20
2.4.1	Cimento .....	20
2.4.2	Agregados.....	22
2.4.3	Água.....	24
2.4.4	Adições materiais finos .....	25
2.4.5	Aditivos Químicos.....	27
2.5	Metodologia de Dosagem do CAA .....	30
2.5.1	Método EFNARC.....	31
2.5.2	Método Gomes .....	34
2.5.3	Método Tutikian e Dal Molin .....	37
2.6	Produção do CAA.....	45
2.7	Utilização e aplicação do CAA .....	46
3.	Materiais e Métodos .....	54
3.1	Metodologia de ensaios do CAA no estado fresco .....	54

3.1.1 <i>Slump Flow Test</i> .....	54
3.1.2 Funil V.....	55
3.1.3 Caixa L.....	57
3.1.4 Caixa U.....	60
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	62
4. RESULTADOS E ANÁLISES.....	63
4.1 CAA-1.....	63
4.2 CAA-2.....	66
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
5.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA.....	69
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nas civilizações primitivas o homem utilizava como materiais de construção, a pedra, a madeira e o barro. Aos poucos, foram aumentando as exigências do homem, passando a demandar materiais de maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência. Assim surgiu o concreto, trabalhável como barro e resistente como pedra (VERÇOSA, 2003).

O Concreto auto-adensável (CAA), não é um material diferente do concreto convencional, ele apenas agrega uma forma diferente de ser aplicado. O Concreto Auto-adensável não necessita do adensamento manual, pois ele é compactado por si só, com a força da gravidade. Portanto não precisa da vibração usada hoje no Concreto Convencional (CCV).

No Japão, em meados dos anos 80, foi desenvolvido um concreto de alto desempenho com uma excelente deformabilidade no estado fresco e alta resistência à segregação (TUTIKIAN, 2004). Este concreto, que possui a capacidade de se moldar nas fôrmas sem vibração ou compactação, passando coeso através das armaduras (ARAÚJO, 2003), o qual foi denominado de concreto auto-adensável.

As principais características do CAA são: alta fluidez, passagem entre obstáculos sem bloqueio e resistência à segregação.

As propriedades do CAA no estado fresco, por serem decisivas para sua aplicação na obra, são analisadas com muito mais frequência do que suas propriedades no estado endurecido. Isso tem criado certa insegurança na utilização deste material, aumentada pela falta de normalização de procedimentos de ensaios e de confiabilidade nos métodos de dosagem existentes para o CAA, o que faz com que surjam novas pesquisas direcionadas para o estudo das propriedades mecânicas e procedimentos de ensaios.

Quanto a normatização, o CAA, está sendo analisado junto a ABNT. Sua norma técnica será a ABNT NBR 15823, 2010.

Para a obtenção do CAA, além da presença de aditivos químicos, o uso de materiais finos em suas misturas permite o alcance das propriedades de auto-adensabilidade.

Com a eliminação do processo de adensamento, o ambiente de trabalho pode melhorar bastante, o trabalho braçal fica mais leve e o barulho da vibração é eliminado. O uso do concreto auto-adensável direciona a construção civil para uma produção industrializada, diminuindo o custo da mão-de-obra, aumentando a qualidade, a durabilidade, a confiança na estrutura e aumentando a segurança dos trabalhadores (TUTIKIAN, 2004).

Okamura (1997) prevê que o desenvolvimento do CAA será necessário para garantir estruturas de concreto duráveis no futuro.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Esta pesquisa tem o objetivo geral realizar um estudo comparativo entre dois tipos de aditivos empregados na produção de concreto auto-adensável e análise das características deste concreto no estado fresco.

### **1.2.2 Objetivo Específico**

Neste estudo analisaremos a influencia dos aditivos no concreto auto-adensável nos seguintes pontos:

- Análise comparativa da viscosidade;
- Análise comparativa da fluidez;

- Análise comparativa da trabalhabilidade do CAA;
- Análise comparativa de resistência a segregação.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

O CAA é uma realidade incontestável no exterior e em processo de adaptação nacional. Este material vem sendo uma tendência tecnológica natural devido aos grandes benefícios encontrados no CAA.

A alta trabalhabilidade e expressiva diminuição no quadro de funcionários devido a exclusão dos serviços de vibração mecânica, adensamento e lançamento, além do acabamento final do concreto que é superior ao convencional, o CAA pode ser considerado uma opção com características sustentáveis.

Em países com problemas de abalos sísmicos o CAA é muito utilizado pois pode preencher toda área das formas mesmo com uma taxa de armadura elevada, possibilitando a execução de elementos construtivos mais esbeltos e sem limites de curvas e abaulamentos.

O presente estudo tem o objetivo comparativo entre dois tipos de aditivos empregados na produção de CAA, visto seu grau de importância para transformar um concreto convencional em um CAA.

Para viabilizar o uso de aditivos em um concreto é preciso analisar o desempenho deste material além de conhecer as características dos materiais empregados na mistura, tais como, a granulometria dos agregados, o teor ideal de adições no concreto e principalmente o tipo de cimento a ser utilizado, pois os elementos químicos que compõem o aditivo.

## **1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA**

O Trabalho é composto por seis capítulos sendo apresentado conforme abaixo:

- Capítulo 1: Introdução contendo: Considerações Iniciais, Objetivo Geral e Objetivo Específico;
- Capítulo 2: Apresentação da Revisão Bibliográfica;
- Capítulo 3: Materiais e Métodos empregados no estudo;
- Capítulo 4: Apresentação de Resultados e Análises;
- Capítulo 5: Conclusões e Considerações Finais.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Tecnologia do Concreto**

Uma deficiência encontrada no concreto é a relação resistência e peso em comparação ao aço. Assim os estudos sobre a tecnologia do concreto se intensificam na área de concretos especiais, alta-resistência, auto-adensável, com adição de fibras, concreto massa, compactado a rolo, concreto projetado, entre outros (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Um produto que cada vez mais se torna um grande aliado nos estudos da tecnologia do concreto são os aditivos, estes são materiais adicionados aos ingredientes normais do concreto, durante a mistura, para obter propriedades desejáveis, tais como: aumento da plasticidade, controle do tempo de pega, controle do aumento da resistência, redução do calor de hidratação, etc. Os aditivos para concreto são em geral explorados comercialmente por fabricantes especializados, cujos catálogos contêm informações pormenorizadas sobre seu melhor emprego. (PIERNAS, 2002).

Os estudos da tecnologia do concreto no Brasil tiveram início em 1899, com a criação do Gabinete de Resistência dos Materiais da Escola Politécnica de São Paulo, posteriormente chamado de Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), onde foram executados os primeiros ensaios sobre as características de diversos materiais. Gilberto Molinari criou diversos métodos de ensaios para materiais de construção. Molinari em 1963 fundou o IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto), onde seus estudos permitiram prever os danos da reação álcali-agregado com a aplicação das cinzas volantes, também foi um dos primeiros a desenvolver no Brasil a tecnologia do concreto-massa. Hernani Sávio Sobral implantou a rotina de dosagem e controle da qualidade do concreto. Eladio Petrucci desenvolveu o método de dosagem ITERS (VASCONCELOS, 1992).

## 2.2 Evolução do Concreto

O concreto moderno é resultante do trabalho de inúmeros homens que acompanharam as modificações da natureza e as necessidades da civilização humana durante milhares de anos. O intuito de melhorar suas moradias impulsionou o surgimento de novas técnicas, novos materiais e diversificação nas formas geométricas estruturais. A história do concreto não começou no século passado, pois desde a antiguidade materiais constituintes da mistura, como o cimento, já era originado pela própria natureza resultante da reação de combustão entre calcário e argila xistosa. Era possível até mesmo chamar as rochas sedimentares de concreto natural durante o período neolítico, pois, naquela ocasião, apesar de rudimentares, havia o surgimento de estruturas aporricadas com pilares e vigas. Essa prática foi intensificada somente no final do período neolítico no Mediterrâneo e na Costa Atlântica. (KAEFER, 2005)

Devido ao peso das pedras, as condições de habitação não tiveram um avanço significativo, pois o transporte desse material só poderia ser feito com um sistema de alavancas, desconhecido até então. Na Europa, a escassez de outros materiais de construção na região fez com que o tijolo de barro fosse produzido, com isso, solos com pouca capacidade de suporte puderam ser ocupados. Posteriormente, no Egito, a argamassa de gipsita era utilizada na construção das pirâmides. (KAEFER, 2005).

Numa feira de demonstrações, em 1868, Lambot apresentou seu barco para mostrar que o cimento armado poderia ser utilizado em construções, mas ninguém confiou, com exceção de um horticultor, Joseph Monier. Pois bem, esse bem-sucedido comerciante se interessou pelo cimento armado porque vislumbrou a possibilidade de utilizar aquele método para fazer caixas e colocar terra, uma vez que ele usava caixa de madeira, que com a umidade acabava apodrecendo. Na verdade ele apenas via naquele material uma maneira de fazer qualquer formato de caixa, pois era um material mais impermeável. A despeito de não ser engenheiro e não ter conhecimento nenhum sobre o

assunto acabou sendo chamado de o descobridor do concreto armado (VASCONCELOS, 1992).

Já no século IV a.C., o concreto foi usado na construção de muros de uma cidade, em Roma, porém, o produto evoluiu muito, sendo utilizado em diversos casos, sob condições extremamente agressivas. Para isso, foi criada uma infinidade de concretos, com composições variadas e algumas adições à mistura. Em 1824, na Inglaterra, Joseph Aspdin apresenta o cimento Portland, derivado da queima de calcário e argila, finamente moídos e misturado a altas temperaturas para liberação de gás carbônico. O nome foi dado ao cimento devido às jazidas existentes em Portland. (KAEFER, 2005).

O concreto de cimento Portland é um material composto por agregado miúdo, agregado graúdo, pelo aglomerante cimento Portland, água e quando necessário aditivo. Para conhecer as propriedades da mistura, deve-se avaliar o concreto no estado fresco e endurecido, sendo o concreto fresco a fase da mistura até que se dê início o processo de pega do aglomerante e, endurecido o fim da pega. (RODRIGUES e FREITAS, 2000).

### **2.3 Concreto Auto-Adensável**

Nos anos 80 no Japão, devido à reduzida de mão de obra e a falta de equipamentos sofisticados para a realização de um bom adensamento do concreto, com influência das grandes taxas de armaduras para resistir principalmente a abalos sísmicos, técnicas de produção do concreto foram pesquisadas por vários centros de investigação deste país.

Um dos principais pesquisadores foi o Professor Okamura, da Universidade de Tóquio, que iniciou um trabalho para solucionar tal problema, o objetivo de seus estudos, era obter um concreto com a capacidade de se adensar naturalmente, dispensando a necessidade de qualquer tipo de

vibração mecânica. Seu primeiro protótipo foi concluído em 1988 (GOMES, 2002).

Após grande utilização no Japão, o concreto denominado auto-adensável, chega a Europa, precisamente na Suécia e na Holanda, onde foi rapidamente englobado ao mercado Europeu, segundo Gomes (2002).

Em 1993 Okamura juntamente com Ozawa e Mackawa, lançaram o primeiro livro sobre concreto auto-adensável, o livro chamado High Performace Concrete, o mesmo encontrava-se apenas na língua japonesa.

Segundo Okamura, nos anos 80, devido à reduzida mão-de-obra qualificada e a falta de equipamentos sofisticados para a realização do adensamento mecânico do concreto, em formas complexas ou com alta densidade de armaduras, geralmente necessárias para resistir aos abalos sísmicos locais existentes, problemas de durabilidade começaram a surgir nas estruturas de concreto. (JATOBÁ, 2006). A partir destas dificuldades começaram os estudos com relação ao CAA.

Um concreto só será considerado auto-adensável, se três propriedades forem alcançadas: a fluidez, a coesão necessária para que a mistura escoie intacta entre barras de aço ou habilidade passante, e a resistência à segregação (TUTIKIAN, 2004).

Para o concreto ser definido como auto-adensável, ele deve ser capaz de preencher os vazios das formas de tal forma que dispense qualquer vibração mecânica, apenas com o efeito da gravidade.

Uma característica marcante do CAA é a grande capacidade de fluxo de material, sem presença de segregação.

Para o CAA, é estritamente vetada a presença de equipamentos mecânicos para sua compactação utilizando seu peso próprio, ou seja a atuação da força da gravidade em sua massa. (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

O principal fator que influi na qualidade final de um concreto endurecido, é que ao preencher as fôrmas não haja presença de bolhas ou falhas na concretagem.

Ao passar por entre barras de aço, eletrodutos, entre outros, os agregados graúdos acabam se separando da argamassa, e isso não pode acontecer. Por tanto todo CAA deve ser previamente testados por equipamentos que simulem as condições reais, pois é preciso ter a certeza de que suas propriedades estão corretas (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

## **2.4 Materiais constituintes**

Os materiais básicos utilizados para composição do CAA na prática são os mesmos usados para a composição do CCV, que são: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Já no CAA a quantidade colocada de finos e aditivos são maiores e que não são tão simples de serem dosados, bem como a seleção dos materiais como cimento e agregados, em razão das variações nas composições e nas propriedades de cada um. É claro que no CCV é usado algum constituinte destinado a melhorar ou conferir propriedades especiais ao conjunto, como impermeabilidade da massa, diminuição do calor de hidratação, aumento da durabilidade, maior plasticidade quando fresco, rápido aumento da resistência quando endurecido, etc. Mas no CAA o agravante é que como podem ser usados inúmeros aditivos químicos e adição mineral simultaneamente não existe regras objetivas para a melhor escolha dos materiais (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

### **2.4.1 Cimento**

O cimento portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos complexos que ao serem misturados com a água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, oferecendo então elevada resistência mecânica.

O cimento resulta da moagem de um produto denominado clínquer, obtido pelo cozimento até a fusão incipiente de mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda cal combine com os compostos argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial. Após a queima, é feita pequena adição de sulfato de cálcio de modo que o teor de sulfato não ultrapasse 3%, a fim de regularizar o tempo de início das reações dos aglomerantes com a água (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Em geral não existe um cimento específico para o CAA. No entanto, é utilizado o cimento Portland (CP), tipo bastante produzido e facilmente comercializado. Porém, alguns estudos têm recomendado um cimento com alguns ajustes, levando em consideração a composição da mistura do CAA, como segue:

A adsorção do aditivo superplastificante pelas partículas do cimento ocorre preferencialmente nos aluminatos (Aluminato tricálcico e Ferro aluminato tetracálcico). No entanto, a quantidade destes compostos deve ser moderada, para que ocorra uma adsorção mais uniforme. O teor de Aluminato tricálcico em massa deve ser inferior a 10 % (EFNARC, 2002).

É importante saber qual o tipo de cimento a ser usado no que diz respeito à quantidade de água e trabalhabilidade da mistura, pois o controle no conteúdo de aluminato tricálcico e a granulometria do cimento são importantes para a determinação do seu comportamento e fluxo. Portanto, quanto menor for a quantidade de aluminato tricálcico, melhor será para controlá-lo e mais demorado será o seu endurecimento. Na realidade, cimento com mais de 10% de aluminato tricálcico não é indicado para a produção do CAA, pois dificulta a sua aplicação, em razão do aumento da velocidade e endurecimento, em prejuízo de uma fluidez mais rápida (TUTIKIAN, 2004).

O Cimento Portland composto, CPII, pode ser o tipo de cimento mais utilizado, pois é facilmente encontrado e a sua composição está dentro daquela especificada pela EFNARC.

O CAA apresenta geralmente em sua composição muitos finos o que gera um grande volume na pasta e reduz o volume de agregado graúdo, mas por outro lado, um grande volume de pasta necessita de uma grande quantidade de cimento, gerando um grande calor de hidratação e o custo mais elevado. Para contornar isso é usado fileres ou pozolana para substituir parte do cimento.

#### **2.4.2 Agregados**

Entende-se por agregado um material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte. São agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas provenientes de alterações de rocha (FURNAS, 1997).

Algumas recomendações para os agregados de CAA são apresentadas na literatura, tais como:

a) O volume de agregado miúdo é fixado em 40 % do volume de argamassa. Já para o agregado graúdo, a sua quantidade utilizada no concreto deve ser 50% do volume de sólidos (GOMES, 2002).

b) Os agregados devem satisfazer às exigências da ABNT NBR 07211 - 2005. Geralmente são utilizados agregados graúdos com dimensão máxima entre 16 mm e 20 mm. Para o agregado miúdo, todas as areias podem ser utilizadas, contanto que isenta de agentes nocivos e impurezas. É importante salientar a

necessidade de se fazer um controle de umidade dos agregados para a obtenção de uma CAA com composição uniforme (EFNARC, 2002).

#### **2.4.2.1 Agregado Miúdo**

Entende-se por agregado miúdo normal ou corrente a areia natural quartzosa ou o pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, com tamanhos de partículas tais que no máximo 15% ficam retidas na peneira 4,8 mm (DÍAZ, 1998).

O CAA é um concreto que necessita de adição de finos para uma melhor coesão, portanto, quanto mais fino o agregado miúdo melhor. Dessa forma, se for usado uma areia grossa, pode levar o concreto à segregação, o que não pode acontecer no CAA (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Quando se trata de agregados miúdos, é possível utilizar qualquer tipo de areia, tanto naturais como artificiais. As naturais são melhores por serem mais arredondadas e uma textura mais lisa, diferente das artificiais que tem uma granulometria descontínua, mas que pode ser misturada com uma areia de rio para melhor desempenho (DÍAZ, 1998).

#### **2.4.2.2 Agregado Graúdo**

O agregado graúdo é composto de pedregulhos naturais, seixos rolado ou pedra britada, proveniente do britamento de rochas estáveis com no máximo de 15% passando na peneira 4,8 mm. Para que os agregados graúdos sejam utilizados com proveito nos concretos, devem ter grãos resistentes, duráveis e inertes, sem impurezas que prejudiquem o endurecimento do aglomerante.

Além disso, devem apresentar boa composição granulométrica (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Geralmente são utilizados agregados graúdos com dimensão máxima entre 16 mm e 20 mm. Para o agregado miúdo, todas as areias podem ser utilizadas, contanto que isenta de agentes nocivos e impurezas. É importante salientar a necessidade de se fazer um controle de umidade dos agregados para a obtenção de uma CAA com composição uniforme (EFNARC, 2002).

Para que não ocorra segregação durante o lançamento do concreto e que ele passe por todos os obstáculos sem nenhum problema, a característica do agregado graúdo é restrita e recomenda as seguintes definições: que a brita seja inferior a  $2/3$  do espaçamento entre barras ou grupos de barras e  $3/4$  do cobrimento mínimo de concreto às armaduras. Na prática, significa usar entre os tamanhos 12,5 mm e 19 mm (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

### **2.4.3 Água**

A água usada para o concreto não pode conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre ela e o composto do cimento. Pequenas quantidades de impurezas podem ser toleradas, pois aparentemente não apresentam efeitos danosos. Mas se houver suspeita com relação à qualidade da água, devem ser feitos 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 (FURNAS, 1997).

A quantidade de água a ser utilizada em pastas, argamassas ou concretos é definida a partir da relação a/c. Quanto maior a quantidade de água no concreto, menor é a tensão limite de escoamento, aumentando sua deformabilidade e diminuindo a viscosidade da mistura. No entanto, um elevado teor de água pode provocar segregação. Para garantir a grande fluidez

do CAA, sem afetar negativamente as suas propriedades, parte da água pode ser substituída pelo aditivo superplastificante (JATOBÁ, 2006).

#### **2.4.4 Adições materiais finos**

Os aditivos minerais, também conhecidos como adições minerais, são materiais finamente moídos, que são incorporados ao concreto com a finalidade de se obter características específicas. Estes são geralmente utilizados em grandes quantidades, com a finalidade de reduzir os custos, melhorar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, podendo até melhorar a sua resistência à fissuração térmica, à expansão álcali-agregado e ao ataque por sulfatos (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O uso de resíduos industriais como materiais finos, em pastas, argamassas e concretos, geralmente proporcionam uma melhora das suas propriedades nos estados fresco e endurecido (GOMES, 2002). Atualmente, motivados por tais resultados, o uso de resíduos provenientes de indústrias têm sido também indicador para seu uso no concreto.

As adições podem ser classificadas como predominantemente inertes ou predominantemente reativas, de acordo com a sua ação no concreto. As reativas contribuem para a formação dos hidratos, como: pozolanas, cinza volante, cinza da casca de arroz, cinzas da caldeira da queima do bagaço da cana de açúcar, sílica ativa e metacaulim. Já as inertes provocam uma ação física, proporcionando uma estrutura com maior compacidade. Quimicamente falando, o aumento do desempenho mecânico e da durabilidade do concreto acontecem quando os vazios são ocupados por silicato hidratado de cálcio, que é um composto resistente derivado da hidratação do cimento Portland quando recebe a adição de minerais que reagem com o hidróxido de cálcio (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Segundo Alencar e Helene (2006), com relação às quantidades, quanto mais fina forem as adições, menores serão os teores de substituição, devido ao aumento da frequência de contato entre elas e em determinado volume, o que influencia no aumento da viscosidade e coesão da mistura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

A caracterização e seleção dos materiais utilizados no CAA, com uma grande quantidade de finos para preenchimento dos vazios existentes, é uma grande contribuição para a fluidez do material (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Para maiores esclarecimentos as propriedades das adições podem ser observadas na tabela 1, a seguir:

<i>Adição mineral</i>	<i>Cinza volante</i>	<i>Escória de alto-forno</i>	<i>Silica ativa</i>	<i>Metacaulim</i>	<i>Cinza de casca de arroz</i>
<b>Origem</b>	Calcinação de carvão pulverizado em usinas termoeletricas, 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
<b>Forma e textura</b>	Esférica e lisa	Prismática e áspera	Esférica e lisa	Prismática e áspera	Alveolar e áspera
<b>Massa específica (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	2,35	xxxx	2,20	2,40	2,20 a 2,60
<b>Superfície específica (m<sup>2</sup>/kg)</b>	300 a 700	300 a 700	13.000 a 30.000	Variável em função da moagem	50.000 a 100.000
<b>Tamanho médio das partículas</b>	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
<b>Efeito do CAA fresco quando utilizado como substituição ao cimento</b>	Aumento da coesão, redução da exsudação e segregação, melhores condições de fluidez em função do formato esférico das partículas, normalmente reduz o consumo de superplastificante	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 do 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 do 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
<b>Efeito do CAA endurecido quando utilizado como substituição ao cimento</b>	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

Tabela 1 : Adições minerais nas propriedades do CAA

Fonte: TUTIKIAN e DAL MOLIN (2008)

## 2.4.5 Aditivos Químicos

Os superplastificantes são aditivos conhecidos como redutores de água de alta eficiência, por serem capazes de reduzir o teor de água três a quatro vezes mais, para uma dada mistura, quando comparados aos aditivos plastificantes. São tensoativos de cadeia longa, massa molecular elevada e um grande número de grupos polares na cadeia do hidrocarboneto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Policarboxilatos são os aditivos mais aconselhados para a utilização do CAA, por serem aditivos superplastificantes de alta eficiência que dispersam e desfloculam as partículas de cimento, assim permitem a redução da água das misturas em até 40%, mantendo a mesma trabalhabilidade, e também são poliméricos.

Ainda tem-se um novo aditivo superplastificante, que é o sintético, desenvolvido recentemente, possuindo as mesmas funções dos policarboxilatos, mas com desempenho melhorado (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

A diferença de se usar esses aditivos com relação ao CCV é a taxa alta de perda de consistência, pois dependendo das condições, a consistência se mantém num período de 30 a 60 minutos, e a máxima trabalhabilidade normalmente permanece de 10 a 15 minutos seguida por uma perda relativamente rápida do espalhamento. Com isso a mistura do aditivo deve ser feita momentos antes do lançamento na obra (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Vale lembrar que não é apenas o aditivo que interfere na consistência inicial e na perda de consistência por período. O tipo de aditivo, a dosagem, o momento em que é colocado, a temperatura, a umidade, o tempo da mistura, o tipo de betoneira, a velocidade da mistura, o tipo de cimento, a consistência inicial e outros aditivos que já estão no concreto, têm que ser levado em consideração. TUTIKIAN (2004), em vários estudos sobre aditivos superplastificantes, mostra que normalmente quanto menor a trabalhabilidade

inicial representada por ensaios de consistência, mais rápida é sua perda com o tempo. Por esse motivo sugere que, quando se deseja obter tempos de lançamento compatíveis com a prática de obra, é recomendável utilizar abatimentos iniciais mais altos, que podem ser obtidos com o uso de aditivos plastificantes.

Pode-se analisar a estrutura do Éter-Policarboxilato na figura 1.

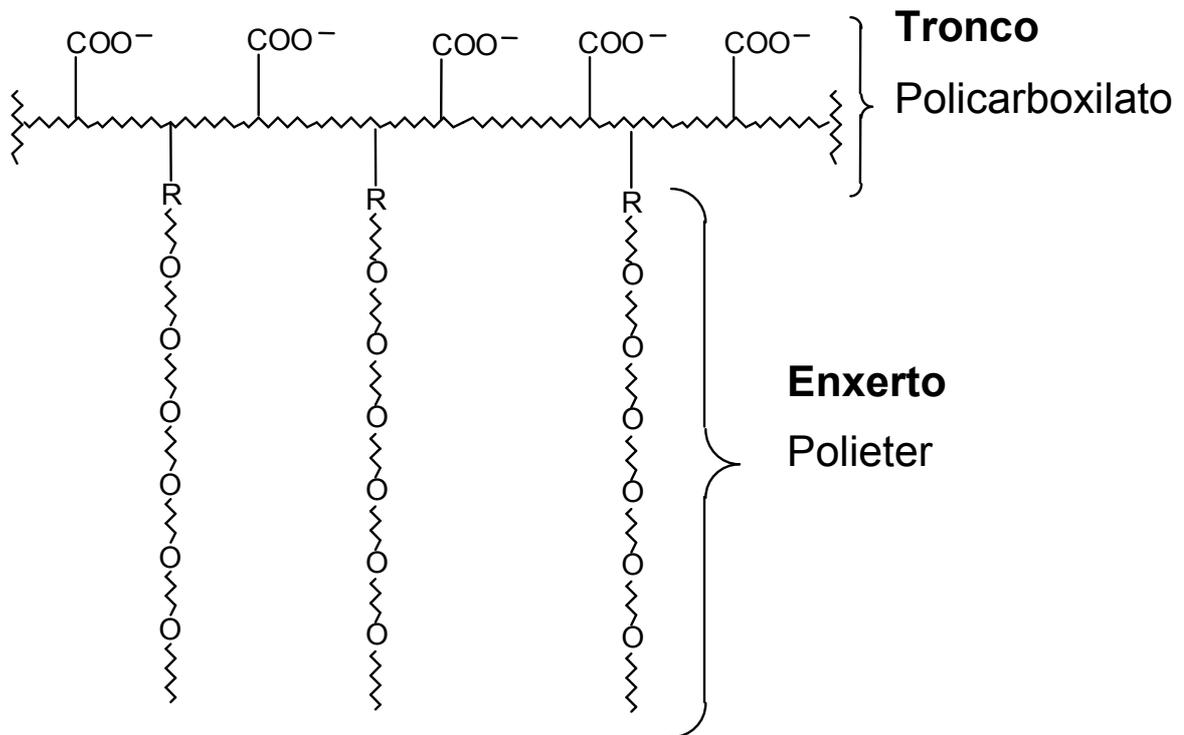
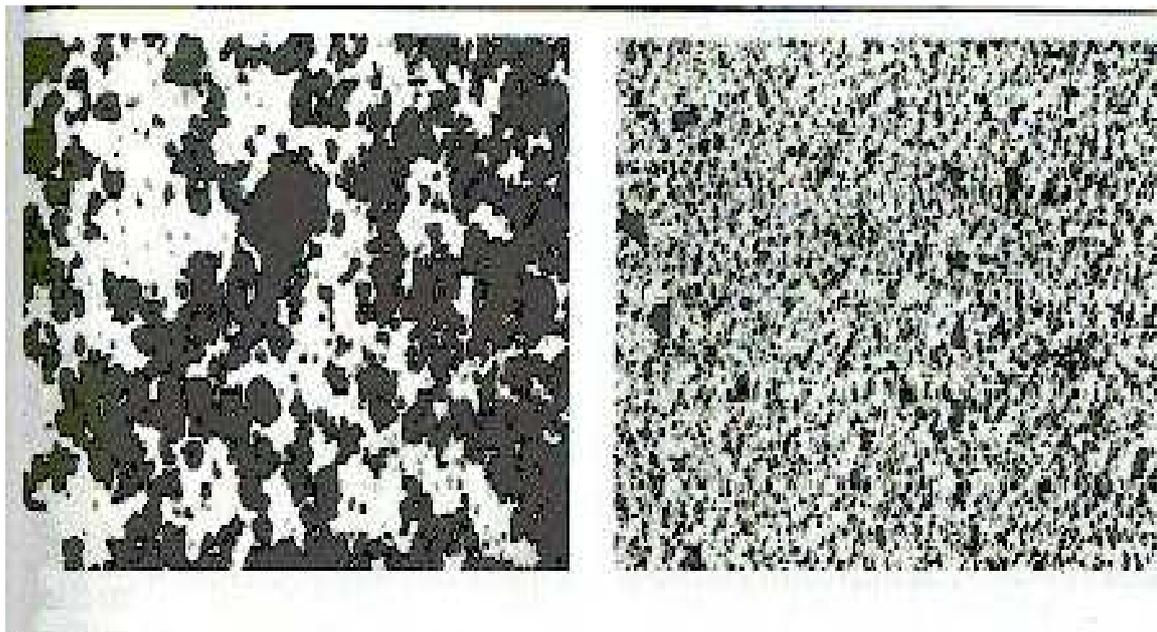


Figura 1 – Composição química do Éter Policarboxilato, (Fonte MC Bauchemie)

A fim de melhorar algumas propriedades do concreto convencional como a trabalhabilidade para uma mesma relação  $a/c$  são requisitos os superplastificantes ao sistema, para obtenção de concretos especiais como o concreto auto-adensável.

A incorporação de superplastificantes em pasta, argamassa o concreto provoca alterações na propriedades de característica da mistura como

hidratação, porosidade, fluidez, retração, tempo de pega, evolução da resistência, segregação entre outras. Tais características podem ser consideradas positivas ou negativas, então para que o concreto seja resultado satisfatório é preciso devem ser feitos estudos prévios de compatibilização e uma adequada caracterização dos materiais empregados ao sistema. Na figura 2 a seguir, pode-se analisar a micro-estrutura do concreto com a utilização de aditivos químicos.



(a)

(b)

Figura 2 – Micrografia de partículas de cimento em uma solução água-cimento (a) - sem aditivo superplastificante (b) - com aditivo superplastificante (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Os aditivos superplastificantes podem ser de dois tipos: os de 2<sup>a</sup> geração, constituídos de polímeros sintéticos sulfonados, e os de 3<sup>a</sup> geração, que são os policarboxilatos. Os policarboxilatos, também conhecidos como poliácridatos, são capazes de promover um efeito bastante eficiente na repulsão dos grãos de cimento.

Segundo Betão (2001), os superplastificantes mais recomendados para a produção do CAA são os de 3<sup>a</sup> geração, os policarboxilatos, pois, permitem

uma maior redução de água, maiores resistências iniciais, e manutenção de fluidez por um tempo prolongado, quando comparado aos aditivos superplastificantes de 2ª geração.

A figura 3 apresenta um aditivo de 3ª geração, a base de policarboxilato.



Figura 3 – Aditivo a base de policarboxilato, Fonte própria

## 2.5 Metodologia de Dosagem do CAA

Os primeiros métodos de dosagem usados não eram muito econômicos e sua utilização era inviável. Vários métodos foram criados, porem o mais recente e viável é o conhecido como método TUTIKIAN e DAL MOLIN (2007) (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Os métodos de obtenção do concreto auto-adensável não são fundamentados apenas na questão da alta fluidez do concreto, mas também considerando a capacidade do concreto passar entre obstáculos sem ocorrer bloqueio nem resistência à segregação.

A dosagem do concreto deve estar relacionada com a proporção entre os materiais constituintes do concreto, a fim de se obter de maneira econômica, resistência e durabilidade (JATOBÁ, 2006).

Algumas exigências devem ser atendidas ao se determinar uma dosagem para o concreto, tais como: especificações de projeto, condições de exposição das estruturas, materiais disponíveis na região, técnicas de execução e o custo (HELENE e TERZIAN, 1992).

Os métodos de dosagem utilizados para o concreto auto-adensável diferem muito daqueles utilizados para concretos convencionais, no que diz respeito à seleção e caracterização dos materiais, pois, o CAA apresenta uma grande quantidade de finos e presença de adições minerais e químicas, assim como pelos benefícios alcançados nas suas propriedades frescas (JATOBÁ, 2006).

Esta frase foi citada referindo-se ao CCV, portanto quando se fala em CAA a situação se agrava, pois o uso de aditivos são obrigatórios, além do componentes finos (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

### **2.5.1 Método EFNARC**

Atualmente, com o avanço das pesquisas sobre o uso do CAA, mais especificamente no Japão e países da Europa, diversos programas relacionados ao CAA foram implantados. Estas especificações técnicas, ensaios de caracterização dos materiais e propriedades do CAA nos estados fresco e endurecido, refletem a larga experiência da EFNARC sobre concretos

especiais. A EFNARC atualmente é uma grande referência de pesquisa, baseada em várias experiências desenvolvidas por seus sócios na Europa, embora ainda reconheça que os avanços tecnológicos sobre o CAA ainda se encontram em evolução, e modificações podem vir a acontecer com o desenvolvimento das pesquisas encontradas na literatura.

A EFNARC impõe algumas exigências quanto à produção, composição e aplicação do CAA, tais como:

a) Os materiais constituintes do CAA devem satisfazer às exigências da EN 206-1 (Especificação, desempenho, produção e conformidade do concreto).

b) Os cimentos utilizados devem satisfazer às exigências da EN 197-1 (Composição, especificações e critérios de conformidade do cimento). A seleção do tipo de cimento dependerá de suas exigências quanto à resistência, durabilidade, dentre outros. O consumo de cimento é da ordem de 350 kg/m<sup>3</sup> a 450 kg/m<sup>3</sup>, pois acima deste valor, pode causar retração excessiva e abaixo só poderá ser utilizado com a adição de um outro material cimentício, tal como: cinza volante ou pozolana.

c) Os agregados devem satisfazer às exigências da EN 12620. A dimensão máxima para o agregado graúdo é de 20 mm. Geralmente, são utilizados agregados graúdos com dimensão máxima entre 16 mm e 20 mm. Para o agregado miúdo, todas as areias podem ser utilizadas, contanto que isenta de agentes nocivos e impurezas. É importante salientar a necessidade de se fazer um controle de umidade dos agregados para a obtenção de um CAA com composição uniforme.

d) A água deve satisfazer às exigências da EN 1008 (Água para concreto).

e) Os aditivos químicos como os superplastificantes, devem atender às exigências da EN 934-2.

f) Os aditivos minerais ou adições minerais, como fileres de agregados e pigmentos, devem atender às exigências da EN 12620 (Agregados para concreto); EN 450 (Definições, exigências e controle de qualidade de cinzas volantes para concreto); EN 13263 (Definições, exigências e controle de qualidade da sílica ativa para concreto).

g) A produção e dosagem do CAA devem atender às exigências da EN 206 (Densidade, aumento de resistência, resistência final e durabilidade).

As propriedades analisadas do CAA no estado fresco são: capacidade de preenchimento, capacidade de passagem entre os obstáculos e resistência à segregação. Para classificar um concreto como auto-adensável, todas estas exigências devem ser analisadas e atendidas. Essas propriedades são caracterizadas usando técnicas já conhecidas, a partir de equipamentos de ensaios específicos para o CAA.

Dentre os vários tipos de ensaios existentes, os mais utilizados são: Para caracterizar a capacidade de fluxo são recomendados os Ensaio de espalhamento “Slump Flow Test” e Funil V (V Funnel), e para a capacidade de passagem por obstáculos são recomendados o Caixa L (L-Box), Tubo em U e o Teste de auto-adensabilidade. Já para caracterização da resistência à segregação são adotados os ensaios do Funil V e o GTM. Na Tabela 02 são apresentadas às faixas de valores típicos para o CAA adotados pela EFNARC.

Tabela 2 : Propriedades de fluxo para CAA - EFNARC

Propriedades	Ensaio	Unidade	Faixas típicas dos parâmetros	
			Mínimo	Máximo
Capacidade de preenchimento de formas	Espalhamento cone de Abrams	mm	650	800
	T <sub>50cm</sub> cone de Abrams	seg.	2	5
	Funil V (V-Funnel)	seg.	6	12
	Orimet	seg.	0	5
Capacidade de passagem por obstáculos	Caixa L (L-Box)	(H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub> )	0,8	1,0
	Tubo em U	(H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub> ) mm	0	30
	Caixa de preenchimento	%	90	100
	Orimet c/ anel de armaduras	mm	0	10
Resistência à segregação	GTM	%	0	15
	Funil V em T <sub>5 minutos</sub>	seg.	0	+3

Fonte: EFNARC (2002)

### 2.5.2 Método Gomes

O procedimento proposto por Gomes (2002), para CAA de alta resistência, foi fundamentado na otimização do esqueleto granular de agregados, otimização separada da composição da pasta, com a determinação da dosagem ótima de superplastificante, variando a quantidade de superplastificante e mantendo constantes as relações água/cimento (a/c) e filler/cimento (f/c), bem como a produção do concreto com a dosagem de superplastificante igual à dosagem ótima da pasta (GOMES, 2002).

A composição da pasta é definida pela quantidade de cimento e das relações a/c, e f/c. Como já foi exposto anteriormente, para um concreto de alta resistência, é fixado, a princípio, a relação a/f = 0,4 (limite superior). Em função disso, os parâmetros a serem determinados são as relações sp/c e f/c. A dosagem de superplastificante nas pastas é determinada através de ensaios do funil de Marsh, com abertura de saída de 8 mm de diâmetro, e de acordo com as recomendações da EN 445 (Norma Européia – Grautes para bainhas de protendidos. Métodos de Ensaio, 1996). Tal procedimento consiste em introduzir 1 litro de pasta no funil e medir o tempo (T) decorrido, para 500 ml de

pasta fluir completamente pela abertura inferior do cone. Este tempo de fluxo se apresenta como um parâmetro inverso da fluidez da pasta. (GOMES, 2002).

A quantidade de cimento, água e fíler foram fixadas anteriormente. A variável é a quantidade sólida de superplastificante. O gráfico  $\log T \times sp/c$  é utilizado para a definição do ponto de saturação do superplastificante, que constitui a percentagem ótima de aditivo para a pasta utilizada. O ponto de saturação significa a relação  $sp/c$  para a qual um incremento da dosagem de superplastificante não provoca nenhuma melhora significativa na fluidez da pasta, sendo determinada como sendo a relação de  $sp/c$ , correspondente a um ângulo interno de  $140^\circ \pm 10^\circ$  na curva  $\log T \times sp/c$ . Mas, a dosagem de superplastificante correspondente ao ponto de saturação depende da relação  $f/c$  da pasta, das quais devem ser realizados ensaios para distintos valores da relação citada, de forma que podem ser adotados valores de 0,1 a 0,5 para  $f/c$ .

A relação  $f/c$  ótima da pasta é aquela que apresenta um diâmetro de extensão final no mini-slump de  $18 \pm 1$  cm, e um tempo  $T_{115}$  no intervalo de 2 a 3,5 s. Os ensaios da pasta com o cone de Marsh e o mini-slump permitem obter as respectivas relações de  $sp/c$  e  $f/c$ , que geram misturas de concreto com fluidez máxima, sem segregação e com alto nível de coesão interna, coesão essa, que não prejudique significativamente a fluidez do material (GOMES, 2002). Para a determinação dos materiais, utilizamos o fluxograma, conforme a figura 4.

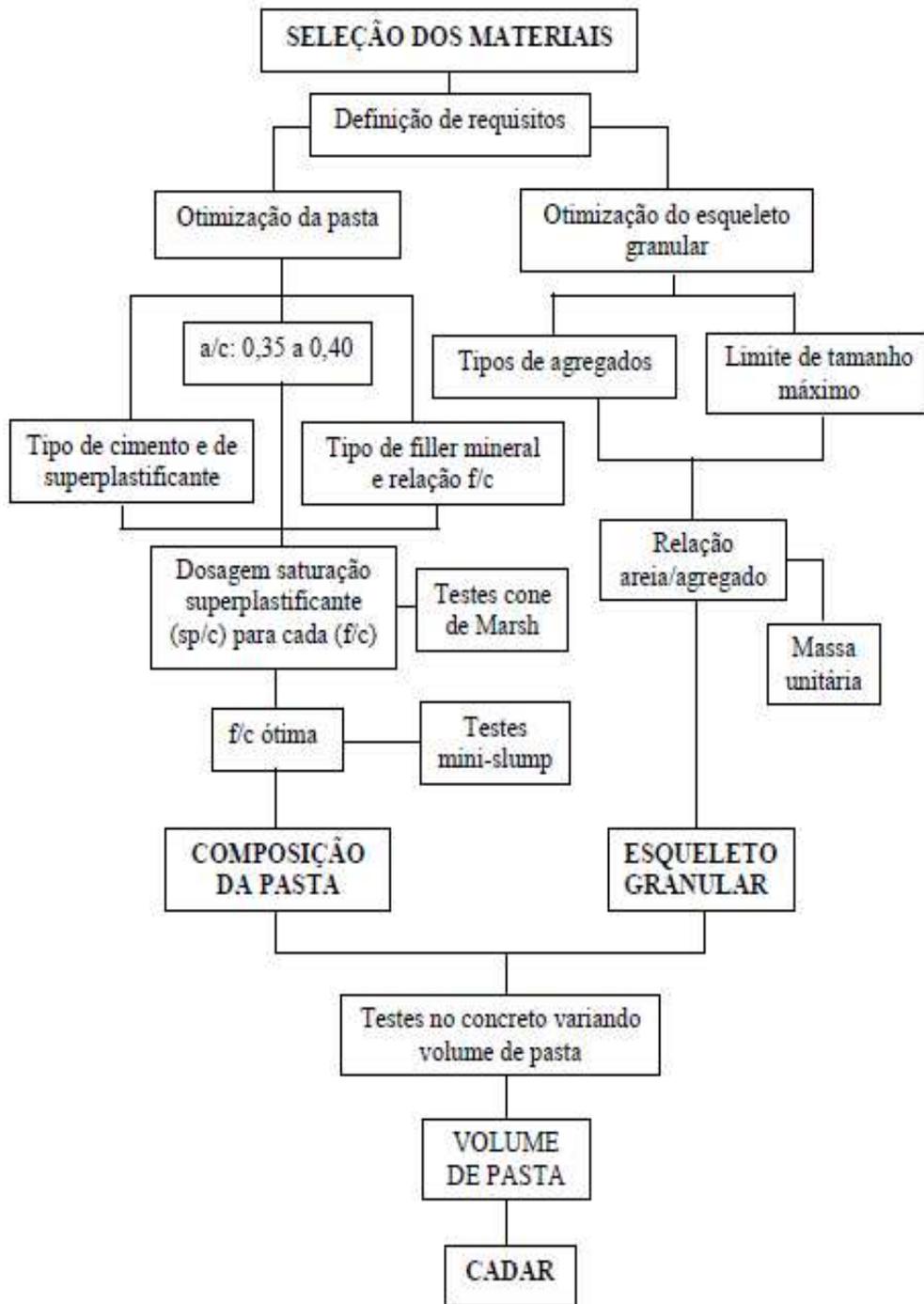


Figura 4 – Fluxograma dosagem,( Fonte, Gomes 2002).

### 2.5.3 Método Tutikian e Dal Molin

O método mostrado na figura 5 pode ser utilizado na dosagem com qualquer material disponível, contanto que sejam seguidos os requisitos básicos e procedimentos.

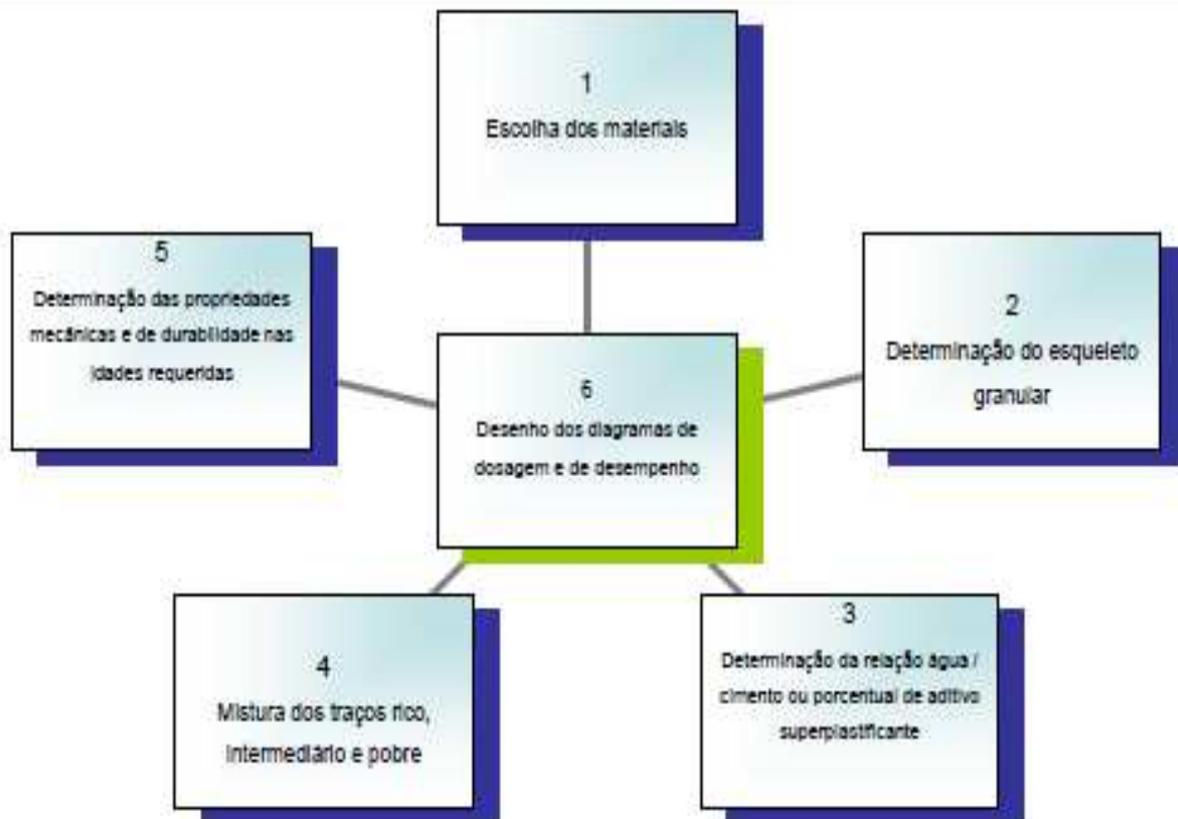


Figura 5 – Diagrama de metodologia de traço de concreto, (Fonte TUTIKIAN, 2008).

Este método de dosagem proposto por Tutikian e Dal Molin (2007) utilizam os conceitos de O'Reilly (1992), De Larrard (1999), IPT/EPUSP e Titikian (2004).

### **2.5.3.1 Escolha dos materiais**

Os componentes do CAA basicamente são os mesmo do CCV, ou seja: cimento, agregados miúdos, agregados graúdos e água. No entanto para o CAA são acrescentados um material fino de granulometria inferior a do agregado miúdo e aditivo superplastificante. Dependendo do caso, pode-se acrescentar outras classes de agregado graúdo e aditivo modificador de viscosidade (VMA) (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008). A escolha dos agregados deve dar preferência para os arredondados com o menor diâmetro máximo, para que se possa maximizar o empacotamento e, na sequência, diminuir a possibilidade de segregação. É recomendável também que se especifique todas as faixas granulométricas dos agregados para que haja uma distribuição contínua dos componentes.

### **2.5.3.2 Determinação do esqueleto granular**

A determinação do esqueleto granular é definir a proporção entre dois materiais que tenham a menor quantidade de vazios. Portanto, é preciso empacotar todos os componentes do CAA dois a dois, em ordem decrescente de diâmetro das partículas. Depois de determinado a primeira composição entre os dois materiais de maior diâmetro, executar o mesmo procedimento com a mistura e o próximo componente, até chegar ao cimento, que não será empacotado. Por exemplo, empacota-se a areia média com a brita, depois essa mistura é empacotada com areia fina, portanto, ficou empacotado um esqueleto granular formado de brita, areia média e areia fina e com o mínimo de vazios. Se for usado materiais finos pozolânicos, como cinza volante ou escória de alto-forno, eles devem ser empacotados após a areia regular, e serão considerados como agregados até o final do processo (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Na tabela 3, tem-se um exemplo em que dois materiais (A e B) são empacotados, onde A apresenta uma granulometria maior que B. A mistura começa com 100% de A e 0% de B. Para o cálculo da massa unitária, recomenda-se decrescer de 10 em 10% a quantidade de A e aumentar a quantidade de B na mesma proporção. A taxa de alteração da mistura é variável. Dependendo da aplicação do concreto, pode ser de 5%, para uma maior precisão, ou de 15 a 20% para uma menor precisão (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Tabela 3 : Determinação da massa unitária compactada de dois materiais hipotéticos A e B (massa dividida pelo volume e multiplicada por 1000)

Material A (%)	Material B (%)	Massa Mistura (kg)	Volume recipiente (dm <sup>3</sup> )	Massa unitária compactada (kg/m <sup>3</sup> )
100	0	38,36	17,10	2243
90	10	39,45	17,10	2307
80	20	42,45	17,10	2482
70	30	43,12	17,10	2522
60	40	45,10	17,10	2637
50	50	44,70	17,10	2614
40	60	43,00	17,10	2515
30	70	41,89	17,10	2450
20	80	39,23	17,10	2294
10	90	38,11	17,10	2229
0	100	37,23	17,10	2177

Fonte: TUTIKIAN E DAL MOLIN (2008)

Calculada a massa unitária, é preciso calcular a massa específica para, posteriormente ser achado o valor final dos vazios. Para o cálculo da massa específica, será adotado para A uma massa específica de 2880 kg/ m<sup>3</sup> e para B 2580 kg/ m<sup>3</sup>, como segue na tabela 4 (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Tabela 4 : Determinação da massa específica de dois materiais hipotéticos A e B (massa específica de A vezes a porcentagem de A mais a massa específica de B vezes a porcentagem de B dividida por 100)

Material A (%)	Material B (%)	Massa específica A (kg/m <sup>3</sup> )	Massa específica B (kg/m <sup>3</sup> )	Massa específica mistura (kg/m <sup>3</sup> )
100	0	2.880	2580	2880
90	10	2.880	2580	2850
80	20	2.880	2580	2820
70	30	2.880	2580	2790
60	40	2.880	2580	2760
50	50	2.880	2580	2730
40	60	2.880	2580	2700
30	70	2.880	2580	2670
20	80	2.880	2580	2640
10	90	2.880	2580	2610
0	100	2.880	2580	2580

Fonte: TUTIKIAN E DAL MOLIN (2008)

Agora será calculado o índice de vazios da mistura em percentual, para ser determinada a melhor mistura com o menor índice de espaços entre o esqueleto granular, como se verifica na tabela 5.

Tabela 5 : Determinação do índice de vazios de dois materiais hipotéticos A e B (massa específica de AB menos a massa unitária de AB dividida pela massa específica de AB multiplicado por 100)

Material A (%)	Material B (%)	Massa específica AB (kg/m <sup>3</sup> )	Massa unitária AB (kg/m <sup>3</sup> )	Índice de vazios (%)
100	0	2880	2243	22,1
90	10	2850	2307	19,1
80	20	2820	2482	12
70	30	2790	2522	9,8
60	40	2780	2637	4,4
50	50	2730	2614	4,2
40	60	2700	2515	6,9
30	70	2670	2450	8,3
20	80	2640	2284	13,1
10	90	2610	2229	14,6
0	100	2580	2177	15,8

Fonte: TUTIKIAN E DAL MOLIN (2008)

Na tabela acima verifica-se que o menor índice de vazios é de 4,2% e o teor ideal da mistura é de 50% para o material A e B. Verifica-se também que a massa específica com a menor porcentagem não é a maior, portanto, sempre deve ser calculado o índice de vazios para ter certeza de que é o menor, mesmo sendo uma massa unitária compactada (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008). No caso de a mistura do material A de 60% e B de 40%, o índice de vazios será de 4,4%, portanto, muito próximo de 4,2%. Com base nesse resultado foi estabelecido um limite de 5%, ou seja, se a composição de maior granulometria apresentar um índice de vazios menor ou igual a 5% da proporção que seria escolhida, é essa que deve ser levada em conta (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

### **2.5.3.3 Determinação da relação água/aglomerante ou teor do aditivo superplastificante**

A próxima etapa é escolher um traço intermediário para fazer ajustes na mistura, confirmar a relação a/c e determinar experimentalmente o teor de aditivo superplastificante (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Como o aditivo será colocado depois da água, recomenda-se fixar um abatimento inicial sem aditivo, que seja parecido com o CCV. Caso não seja possível, pode-se colocar um aditivo plastificante, desta forma obtém-se o máximo desempenho para o aditivo superplastificante. Todos os testes de trabalhabilidade devem ser feitos para se ter certeza de que o teor de aditivo está correto. O aditivo superplastificante tem um custo alto, portanto, deve-se utilizar a menor dosagem possível para facilitar a viabilidade econômica do CAA (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

### **2.5.3.4 Mistura dos traços rico, intermediário e pobre**

Os três traços são importantes para a obtenção de no mínimo três pontos para a determinação das equações de comportamento e dos coeficientes de correlação para a efetivação da curva de dosagem (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Na execução das misturas dos traços, os ensaios para verificação das propriedades devem ser realizados e, como sempre, com rapidez, pois o aditivo tem tempo de trabalho limitado. No primeiro dia, é coberto com lona plástica, e depois colocado em câmara úmida nos demais, até a execução dos ensaios.

### 2.5.3.5 Ensaio das propriedades mecânicas e de durabilidade nas idades determinadas

Após a cura dos corpos de prova, é feita a realização dos ensaios mecânicos e de durabilidade, sendo o primeiro mais comum. Normalmente a quantidade de agregado graúdo é limitada, mas este método não afeta o módulo de elasticidade do concreto e é recomendável a realização do ensaio do módulo para corroborar os resultados. (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Ao final dessa etapa, molda-se os corpos de prova para determinar a resistência à compressão, tração, ao módulo de elasticidade, à velocidade da onda ultrassônica, absorção de água, penetração de íons cloretos ou outras de acordo com o projeto. A forma de se fazer esses testes é a mesma feita com o CCV.

### 2.5.3.6 Desenho dos diagramas de dosagem e desempenho

Esta etapa final requer o cálculo das equações de comportamento de cada uma das propriedades estudadas e o coeficiente de determinação que mostra os ajustes entre as curvas e retas. Abaixo segue as equações de 1 a 10 para determinar todas as variáveis, que são para finos não pozolânicos (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

$$f_{cj} = \frac{k_1}{(k_2^{a/c})} \quad (01)$$

$$m = k_3 + k_4 \cdot a/c \quad (02)$$

$$C = \frac{1000}{(k_5 + k_6 \cdot a/c)} \quad (03)$$

$$\alpha = \frac{(1+f+a)}{(1+m)} \quad (04)$$

$$\alpha = k_7 \cdot C + k_8 \quad (05)$$

$$m = a + p + f \quad (06)$$

$$C = \frac{Y}{(1+f+a+p+a/c)} \quad (07)$$

$$C = \frac{(1000-ar)}{\frac{1}{Y_c} + \frac{f}{Y_f} + \frac{a}{Y_a} + \frac{p}{Y_p} \cdot a/c} \quad (08)$$

$$A = C \cdot a/c \quad (09)$$

$$Cu = C \cdot \$c + C \cdot f \cdot \$f + C \cdot a \cdot \$a + C \cdot p \cdot \$p + SP\% \cdot \$sp + C \cdot \frac{a}{c} \cdot \$ag \quad (10)$$

Onde:

$f_{cj}$  = resistência à compressão axial, à idade  $j$ , em MPa;

$a/c$  = relação água/cimento, em kg/kg;

$c$  = relação cimento/cimento em massa, em kg/kg;

$f$  = relação fino/cimento em massa, em kg/kg;

$a$  = relação agregado miúdo seco/cimento em massa, em kg/kg;

$p$  = relação agregado graúdo seco/cimento em massa, em kg/kg;

$m$  = relação agregados secos/cimento em massa, em kg/kg;

$\alpha$  = teor de argamassa seca, em kg/kg;  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$  = constantes que dependem exclusivamente dos materiais (cimentos, adições, agregados, aditivos);

$C$  = consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado, em kg/m<sup>3</sup>;

$SP\%$  = dosagem de aditivo superplastificante por metro cúbico de concreto adensado, em kg/m<sup>3</sup>;

$Y$  = massa específica do concreto, medida no canteiro, em kg/m<sup>3</sup>;

$Y_c$  = massa específica do cimento, em kg/m<sup>3</sup>;

$Y_f$  = massa específica dos finos não-pozolânicos, em kg/m<sup>3</sup>;

$Y_a$  = massa específica do agregado miúdo, em kg/m<sup>3</sup>;

$Y_p$  = massa específica do agregado graúdo, em kg/m<sup>3</sup>;

$ar$  = teor de ar incorporado e/ou aprisionado por metro cúbico, em dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>;

$A$  = consumo de água potável por metro cúbico de concreto adensado, em kg/m<sup>3</sup>;

$C_u$  = custo do concreto por metro cúbico;

$\$c$  = custo do kg de cimento;

$\$f$  = custo do kg de material fino;

$\$a$  = custo do kg de agregado miúdo;

$\$p$  = custo do kg de agregado graúdo;

$\$sp$  = custo do kg de aditivo superplastificante;

$\$ag$  = custo de kg de água potável (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

## **2.6 Produção do CAA**

A produção e aplicação do CAA requerem cuidados e adaptações durante a caracterização e seleção dos materiais, bem como durante todo o processo de produção do mesmo. Por se tratar de um concreto especial de nova geração, seu uso requer uma adaptação por parte da central fornecedora de concreto ou canteiro de obras, assim como um treinamento especializado dos funcionários envolvidos no processo. Os principais cuidados a serem tomados na produção e aplicação do CAA são:

a) Controle rigoroso na seleção e caracterização dos materiais empregados, principalmente no que diz respeito à umidade e granulometria dos agregados;

b) Tempo necessário de mistura e equipamentos utilizados(TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

c) Utilizar formas duráveis e resistentes, capazes de suportar as pressões hidrostáticas atuantes, decorrentes da alta fluidez e taxa de preenchimento.

d) Somente iniciar a concretagem com o CAA após a realização dos ensaios capazes de avaliar a garantir sua auto-adensabilidade (JATOBÁ, 2006).

e) Em se tratando de elementos pré-fabricados de concreto armado, alguns cuidados especiais devem ser tomados, tais como: controle de qualidade dos materiais; evitar agitação do concreto durante o transporte, para evitar exsudação e segregação, bem como atrasos na aplicação, para que o concreto não perca as suas propriedades iniciais de fluidez. As formas devem estar limpas e lisas, com o desmoldante aplicado antes da concretagem, assim como é feito para concretos convencionais. O CAA não deve ser aplicado com excessiva rapidez, a fim de se evitar o aprisionamento de ar. Finalmente, a cura deve ser realizada adequadamente (JATOBÁ, 2006).

## **2.7 Utilização e aplicação do CAA**

Grandes obras de engenharia foram executadas em CAA, tanto no Brasil como em vários lugares do mundo. No Japão uma obra de grande porte que se destaca é a ponte Akashi-Kaikyo, localizada no estreito de Akashi, está foi considerada a primeira obra em CAA, concluída em 1998, esta ponte tem um comprimento total de 3.911,00m e um vão livre de 1.991,00m, ganhando o título de maior vão livre do mundo. Foi consumido um total de 229.000m<sup>3</sup> de CAA. Devido a utilização do CAA, a obra foi finalizada com 3 meses de antecedência, conforme as figuras 6 e 7.



Figura 6 – Akashi-Kaikyo, Japão,( Fonte site [www.soarquitetura.com.br](http://www.soarquitetura.com.br))



Figura 7 – Akashi-Kaikyo, Japão ( Fonte site [www.soarquitetura.com.br](http://www.soarquitetura.com.br))

O CAA, também foi utilizado em uma estrutura francesa em formato de iglu, com 5 metros de altura, 11,70 metros de largura e 22,00 metros de comprimento, o CAA foi a opção escolhida devido a grande dificuldade de vibração mecânica da forma, e conseqüentemente a economia de tempo. Conforme a figura 8.

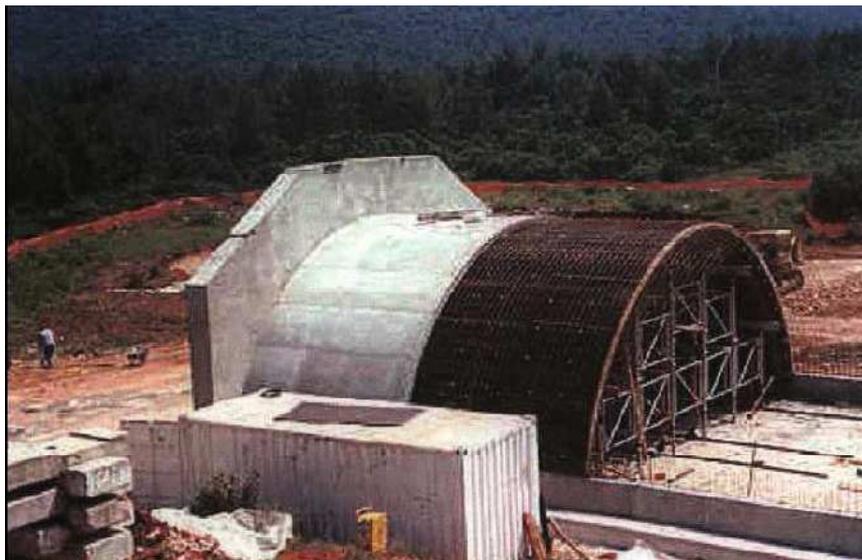


Figura 8 – Estrutura em forma de iglu na França( Fonte: TUTIKIAN e DAL MOLIN 2008)

Em Yokohama, no Japão, foi construído um túnel com utilização do CAA, com três metros de diâmetro e um quilômetro de comprimento, onde foram utilizadas duas camadas de aço protendido, preenchidas com concreto, conforme a figura 9 (GOMES, 2002).



Figura 9 – túnel em Yokohama, Japão (Fonte GOMES, 2002).

Uma área em que o uso de CAA vem ganhando muito espaço é em obras de reparos. Em uma ponte no Reino Unido, onde o CAA atingiu aos sete dias uma resistência à compressão média de 60 MPa o CAA foi utilizado suprimindo todas as necessidades de reparos. Na Suíça, também foi utilizado o

CAA na recuperação de uma ponte, onde a resistência à compressão média atingiu 40 MPa aos 28 dias, apresentado na figura 10 (GOMES, 2002).



Figura 10 Recuperação de uma ponte, na Suíça, (Fonte GOMES, 2002).

O CAA pode ser utilizado também em recuperação de estruturas antigas com um acabamento final de ótima qualidade. Por exemplo, a ponte The Katelbridge na Holanda, que foi recuperada em 2002, já tinha 45 anos de uso. Por causa da densidade grande de armaduras, recomendou-se a utilização do CAA, pois dispensava a vibração, ilustrado nas figuras 11 e 12 (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).



Figura 11 Recuperação estrutura antiga na Holanda, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN 2008).



Figura 12 Recuperação estrutura antiga na Holanda, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN 2008).

Outra obra interessante foi na Universidade de Illinois, na qual realizou-se uma simulação de terremotos com um projeto de uma parede em “L” que seria indestrutível. Uma série de tubos horizontais foram posicionados para futuras medições, e em hipótese alguma poderiam ter suas posições alteradas. Por essa razão dispensou-se a vibração para que não houvesse problemas de mudanças de posição dos materiais, circunstância que exigia a utilização do CAA. No final, depois da desforma, pôde-se observar que não necessitou de reparos e que os tubos não estavam fora do lugar, conforme a figura 13 (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

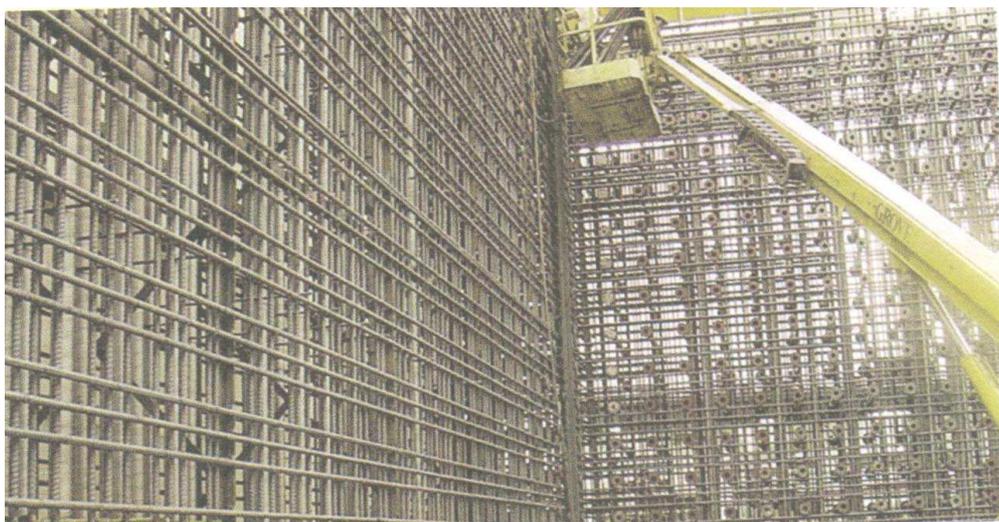


Figura 13 Armadura em “L” Illinois, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN 2008).

No Brasil, o CAA já está sendo utilizado em várias obras, em São Paulo foi utilizado na obra do Metrô, exatamente porque havia uma alta taxa de armadura numa laje de 8000 m<sup>3</sup> de volume, como mostra na figura 14 abaixo (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).



Figura 14 Laje do metrô de São Paulo, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN 2008).

Outra obra em que também foi aplicado o CAA é o museu Iberê Camargo, em Porto Alegre. Iniciou-se o acabamento com CCV, mas acabou não dando o resultado esperado, pois o concreto aparente teria de ser perfeito para que o visual fosse maravilhoso. Então foram feitos testes com o CAA para verificar a qualidade do acabamento. O resultado foi o melhor possível, uma linda obra arquitetônica executada toda em CAA branco, conforme mostrado nas figuras 15, 16 e 17 abaixo.



Figura 15 Museu Iberê Camargo, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN 2008).



Figura 16 Museu Iberê Camargo, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN 2008).



Figura 17 Museu Iberê Camargo, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN 2008).

Nas indústrias de pré-moldados, a utilização do CAA é maior por causa dos espaços confinados, onde não se consegue a utilização do vibrador, conforme as figuras 18, 19 e 20.

Dessa forma, as grandes empresas passaram a utilizar somente o CAA para um maior aproveitamento devido à rapidez da concretagem e a um acabamento de primeira qualidade.



Figura 18 Concretagem pré-moldado, concreto branco, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN 2008).



Figura 19 Pré-moldado, concreto branco, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).



Figura 20 Pré-moldado em arco, (Fonte TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

### 3. Materiais e Métodos

Neste item será possível entender a metodologia de desenvolvimento e avaliação para obtenção do concreto auto-adensável.

#### 3.1 Metodologia de ensaios do CAA no estado fresco

Para classificação como CAA, foram feitos os seguintes ensaios:

##### 3.1.1 *Slump Flow Test*

Esse ensaio é um dos mais utilizados para verificação da propriedade de preenchimento do CAA nas formas (TUTIKIAN 2004).

O ensaio de espalhamento (*Slump Flow Test*) consiste em preencher o tronco de cone de concreto sem compactar, em seguida levantá-lo, lentamente, deixando o concreto se estender em forma aproximadamente circular, de acordo com a Figura 21. A média de duas medidas perpendiculares do espalhamento resulta no valor do parâmetro de extensão final do fluxo.

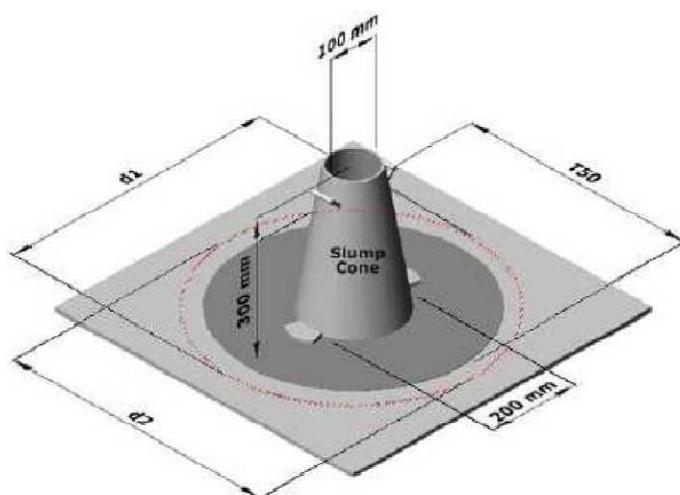


Figura 21 – *Slump flow test*, (Fonte Cainelli, 2009)

### 3.1.2 Funil V

Esse método consiste em medir o tempo para certo volume de concreto, fluir totalmente por um funil (GOMES, 2002).

Um baixo tempo de esvaziamento do funil é favorável com respeito à capacidade de fluxo e um alto tempo significa alta viscosidade, com tendência a sofrer bloqueio e segregação (GOMES, 2002).

O equipamento deve estar bem fixado e nivelado, para que não se movimente durante a execução do ensaio. Assim como os outros ensaios, é necessário umedecer todo equipamento para que ele não absorva água do concreto. Com a concha se enche o funil, sem compactação ou vibração de nenhuma forma, e com a espátula nivela-se a superfície. Em seguida, abre-se a porta do funil e começa a cronometrar, deixando o concreto escoar livremente sob ação da gravidade. O tempo que o concreto leva para esvaziar o funil é o resultado do ensaio, conforme ilustrado na figura 22.

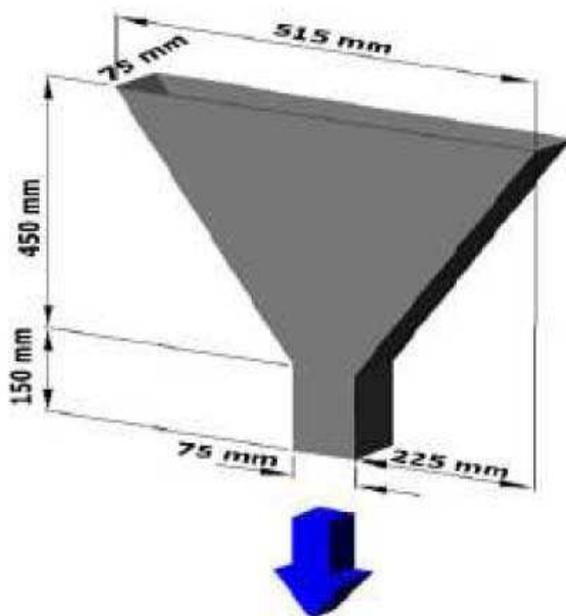


Figura 22 – Funil V, (Fonte Cainelli, 2009).

O tempo mínimo e máximo e as dimensões do funil V, podem variar conforme a literatura, na tabela 06, pode-se visualizar estas variações.

Tabela 6 : Resultados para o Funil V para vários autores

REFERÊNCIAS	TEMPO (s)		DIMENSÕES (mm)			
	MÍNIMO	MÁXIMO	A	B	C	D
EFNARC (2002)	6	12	490	425	150	65
FURNAS (2004c)	-	-	515	450	150	65
Gomes (2002)	10	15	515	450	150	65 ou 75
Gomes <i>et al.</i> (2003a)	7	13	515	450	150	65
Araújo <i>et al.</i> (2003)	6	12	-	-	-	-
Noor e Uomoto (1999)	9,5	9,5	490	425	150	70
Peterssen (1998 e 1999)	5	15	550	450	120	75
Coppola (2000)	-	-	500	425	150	65

Fonte: (TUTIKIAN 2004)

O ensaio do Funil V apresenta a seguinte seqüência:

- 1- Molhar o interior do Funil V, limpando com um pano molhado.
- 2- Colocar o funil com seu fundo fechado apontando para o recipiente receptor da amostra.
- 3- Nivelar a superfície de topo do funil.
- 4- Introduzir a amostra de concreto no funil sem exercer sobre o mesmo nenhum tipo de compactação, deixando a superfície de concreto nivelada.
- 5- Após 15 segundos, abrir rapidamente a tampa do orifício inferior do funil e simultaneamente ligar o cronômetro registrando o tempo (em segundos) de esvaziamento total do funil. (JATOBÁ, 2006)

Os aparatos utilizados neste ensaio são: Funil V; um recipiente de capacidade de 5 litros para derramar a amostra a ser colocada no funil; um

recipiente tipo bandeja de capacidade de 12 litros para receber a amostra derramada de dentro do funil; um cronômetro de precisão de 0,1 segundo para medir o tempo de esvaziamento total do funil (JATOBÁ, 2006).

### 3.1.3 Caixa L

Para realização deste ensaio são necessárias uma caixa em L, com uma porta móvel separando a parte horizontal da vertical, e mais a divisória com barras de aço, as quais simulam a real estrutura. Normalmente usa-se aço de 12,5 mm com espaçamento de 40 mm entre as barras. Como nesse momento ainda não se definiu qual bitola usar, o correto seria deixar a divisória de uma forma que possam ser trocadas as bitolas e os espaçamentos de acordo com a estrutura real pretendida. Neste caso, como foi utilizado barras de 12,5 mm a cada 40 mm, os agregados tem que ter no máximo 12,5 mm de diâmetro, sendo 1/3 do espaçamento (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008). Os detalhes da caixa L, podem ser vistos na figura 23.

Também é visível a variação de medidas e dimensões para este ensaio, conforme a tabela 7.

Tabela 7 : Resultados para a Caixa L para vários autores

REFERÊNCIA	MEDIDAS			DIMENSÕES (mm)				
	H2/H1	T <sub>20</sub> (s)	T <sub>40</sub> (s)	A	B	C	D	E
EFNARC (2002)	0,80	-	-	100	200	600	800	150
FURNAS (2004d)	-	-	-	100	200	600	700	150
Gomes (2002)	0,80	<1	<2	100	200	600	700	150
Gomes <i>et al.</i> (2003a)	0,80	0,5-1,5	2-3	100	200	600	700	150
Araújo <i>et al.</i> (2003)	0,80	-	-	-	-	-	-	-
Rigueira Victor <i>et al.</i> (2003)	0,80	<1,50	<3,50	-	-	-	-	-
Peterssen (1998 e 1999)	0,80	-	-	100	200	600	700	150
Barbosa <i>et al.</i> (2002)	-	-	-	100	-	600	700	150
Tviksta (2000)	0,85	-	-	100	200	600	-	150
Coppola (2000)	0,90	-	-	120	300	600	780	200
Palma (2001)	0,80	-	3 a 6	-	-	-	-	-

Fonte: (TUTIKIAN 2004).

Além da caixa, que deverá ser feita com material não absorvente e sem atrito, há a necessidade de uma pá côncava, uma espátula, uma trena, e se desejar, um cronômetro para medição do tempo em que o concreto chega aos 20 cm e aos 40 cm, que devem ser marcados no aparelho (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

A cronometragem nem sempre é recomendada, mesmo porque não é obrigatório, devido ao período pequeno, de difícil marcação. Entretanto o que pode ser feito é utilizar uma pessoa para marcar cada um dos tempos.

Os aparatos utilizados neste ensaio são: Caixa L, recipiente para o preenchimento da parte vertical da caixa com concreto, dois cronômetros de precisão de 0,1 segundo para medir os tempos TL20 e TL40, e uma trena para efetuar as medidas das alturas H1 e H2 do concreto na parte horizontal da caixa após o repouso do mesmo.

O ensaio da Caixa L apresenta a seguinte seqüência:

- 1- Colocar a Caixa L sobre uma superfície nivelada.
- 2- Limpar e umedecer as superfícies internas da caixa.
- 3- Preencher com concreto a parte superior da caixa, sem utilizar nenhum tipo de adensamento, deixando a superfície do concreto nivelada, retirando o excedente.
- 4- Após 15 segundos, levantar rapidamente a porta e simultaneamente ligar os dois cronômetros registrando em segundos os tempos para o concreto atingir na horizontal as marcas de 20 cm e 40 cm, TL20 e TL40, respectivamente.
- 5- Logo após o concreto atingir seu estado de repouso, medir com uma trena suas alturas H1 e H2, no início e final da parte horizontal da Caixa L, respectivamente.

Tanto o bloqueio como a estabilidade do concreto pode ser detectada visualmente. Se o concreto formar uma camada elevada atrás das armaduras, significa que o mesmo sofreu bloqueio e segregação. Usualmente é

apresentado no bloqueio o agregado graúdo reunido entre as barras das armaduras. Se o agregado graúdo se apresentar bem distribuído ao longo da superfície do concreto até o final da parte horizontal da caixa, significa que o mesmo pode ser considerado estável (PETERSSON, 2000).

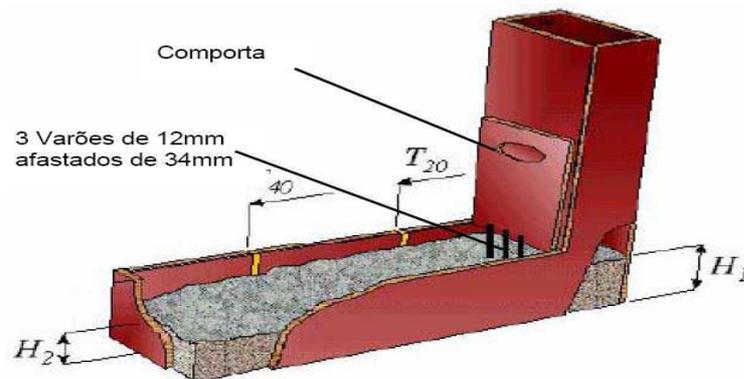


Figura 23 – Caixa L detalhes, (Fonte BETÃO 2009);

Neste ensaio também é possível verificar a segregação, com a presença deste fenômeno, o concreto vai demorar mais tempo para chegar nas demarcações, conforme a figura24.



Figura 24 – Caixa L, (Fonte BETÃO 2009).

### 3.1.4 Caixa U

A caixa U foi desenvolvida pela *Technology Research Centre of the Taisei Corporation in Japan*, que serve para medir a fluidez e a capacidade de passar por obstáculos sem segregar (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008). Os detalhes da caixa U podem ser visualizados na figura 25 a seguir.

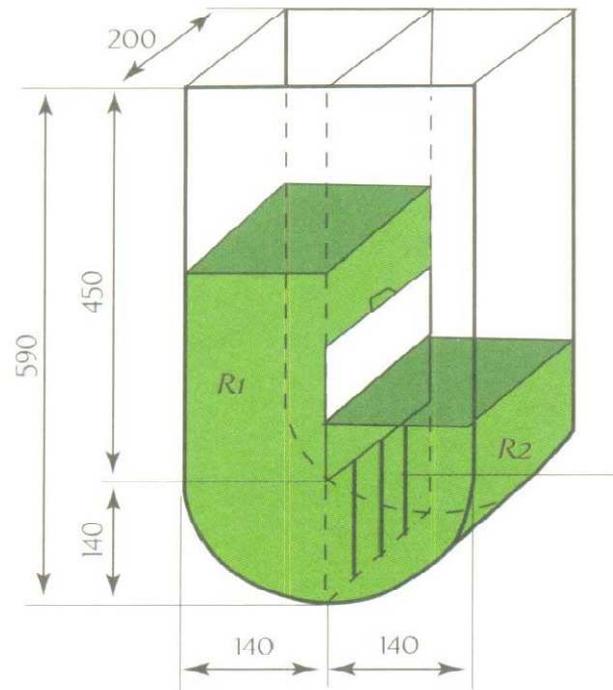


Figura 25 – Caixa U, Fonte (TUTIKIAN E DAL MOLIN 2008)

Este ensaio é o conjunto de dois compartimentos, separados por uma porta, onde ficam também as barras de aço, que serão de acordo com a estrutura real, normalmente de 12,5 mm. Para realização deste ensaio são necessárias uma concha côncava, uma espátula e uma trena. Estando a porta fechada coloca-se o concreto, espera-se 1 minuto para moldar o equipamento. Passado este 1 minuto abre-se o portão e verifica-se a passagem do concreto. Terminado esse procedimento, tira-se a medida das alturas dos dois lados (R1 e R2) e feita a diferença entre elas ( $R1 - R2$ ), esta diferença quanto menor for

e mais próximo de zero, indicará que o concreto é autoadensável, devendo seu limite máximo ser de 30 mm (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

É visível a variação de medidas de tempo máximo e mínimo e dimensões para este ensaio, conforme a tabela 8.

Tabela 8 : Resultados para a Caixa U para vários autores

REFERÊNCIA	R2 – R1 (mm)		DIMENSÕES (mm)			
	MÍNIMO	MÁXIMO	A	B	C	D
EFNARC (2002)	0	30	200	590	140	140
FURNAS (2004f)	-	-	200	680	190	140
Gomes (2002)	0	80	200	680	190	140
Araújo <i>et al.</i> (2003)	0	30	-	-	-	-
Noor e Uomoto (1999)	0	24,2	200	680	190	140
Shindoh e Matsuoka (2003)	0	80	200	680	190	140
Coppola (2000)	90%	100%	200	680	190	140

Fonte: (TUTIKIAN 2004)

### 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para elaboração da parte prática deste estudo foi adotado o seguinte traço ilustrado na tabela 10.

Tabela 9 : Traço de concreto executado

ESPECIFICAÇÕES DA DOSAGEM DO CONCRETO									
Rela/c:	0,511	Areia 1	Areia 2	Areia 3	Misto	Adição [%]:	10,0%	Betonada [L]: 100C	
Rela/ág:	0,360	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	Teor de argamassa [%]:	59,46%	Teor água [%]: 7,85%	
Umidade [%]:		1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	Teor de ar incorporado [%]:	0,38%	Massa Esp.: 2.440 Kg/m <sup>3</sup>	
Material	Cimento		Adição		Areia	Pedrisco	Água	Aditivo	
Fornecedor	CP II Z VOTORAN								
Observações									
Densidade [t/m <sup>3</sup> ]	3,05		2,20		2,61		2,70	1,00	1,06
M.C.C. [kg/m <sup>3</sup> ]	450		45		848		912	177	7,425
Betonada	450,00 kg		45,000 kg		848,00 kg		912,00 kg	177,00 kg	7,43 kg
Betonada Corrigida	450,00 kg		45,000 kg		860,72 kg		912,00 kg	164,28 kg	7425,00 g

Fonte Própria.

Os materiais utilizados para esta pesquisa foram:

- Cimento Portland CP II Z;
- Aditivos a base de policarboxilato;
- Água;
- Pedrisco;
- Areia média.

Será denominado “CAA-1” e “CAA-2” as duas misturas produzidas em laboratório, uma idêntica à outra, porém com aditivos diferentes.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Apresentar-se-á a os resultados dos ensaios realizados no estado fresco para concreto auto-adensável desenvolvido com dois tipos diferentes de aditivos a base de policarboxilatos, conforme a tabela 11.

Tabela 10 : Comparativo de traços de concreto

Concreto	Slump Flow Test	Funil "V"	Caixa "U"	Caixa "L"
CAA-1	560 milímetros	36 segundos	23 segundos	Grande quantidade retida entre os espaçamentos
CAA-2	670 milímetros	33 segundos	10 segundos	Grande quantidade retida entre os espaçamentos

Fonte Própria.

### 4.1 CAA-1

#### *Slump Flow test*

Neste ensaio o concreto teve abertura de 560 mm, conforme a figura 26, sendo considerado auto-adensável por atender as literaturas citadas anteriormente.



Figura 26 – *Slump Flow test* CAA 1, Fonte Própria.

## Funil “V”

Atingindo o tempo de 36 segundos para escoamento completo do funil, conforme a figura 27, o CAA-1 apresentou deficiências para atingir êxito neste experimento.



Figura 27 – Funil V, CAA 1, Fonte Própria.

## Caixa “U”

Com nivelamento atingido aos 23 segundos, o CAA-1 foi aprovado, conforme ilustrado na figura 28.



Figura 28 – Caixa U, CAA 1, Fonte Própria.

### Caixa “L”

Com uma grande porcentagem de agregados retidos entre os espaçamentos da caixa “L”, conforme a figura 29, o CAA-1 foi considerado um concreto não auto-adensável.



Figura 29 – Caixa L, CAA 1, Fonte Própria.

## 4.2 CAA-2

### Slump Flow Test

Neste ensaio o concreto teve abertura de 670 mm, apresentado na figura 30 a seguir, sendo considerado auto-adensável por atender as literaturas citadas anteriormente.



Figura 30 – Slump Flow Test, CAA 2, Fonte Própria.

### Funil “V”

Atingindo o tempo de 33 segundos para escoamento completo do funil, conforme a figura 31, o CAA-2 apresentou deficiências para atingir êxito neste experimento.



Figura 31 – Funil V, CAA 2, Fonte Própria.

### Caixa “U”

Com nivelamento atingido aos 10 segundos, o CAA-1 foi aprovado, conforme a figura 32.



Figura 32 – Caixa U, CAA 2, Fonte Própria.

## Caixa “L”

Com uma grande porcentagem de agregados retidos entre os espaçamentos da caixa “L”, o CAA-2 foi considerado um concreto não auto-adensável, conforme a figura 33.



Figura 33 – Caixa L, CAA 2, Fonte Própria.

## **5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas a partir dos resultados dos ensaios realizados. Seqüencialmente serão indicadas sugestões para trabalhos futuros relacionadas ao tema.

### **5.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA**

Após a realização de todas as etapas da proposta de estudo, no que se refere à comparação do desempenho de aditivos em concreto auto-adensável avaliando suas propriedades no estado fresco, e considerando as condições desta pesquisa, verificou-se que:

- Os aditivos empregados têm a mesma finalidade, porém apresentaram resultados diferentes em condições de preparo iguais;
- Conforme resultados obtidos, é possível concluir que o CAA-2 apresentou melhor desempenho no estado fresco devido ao aditivo empregado, pois obteve êxito nos ensaios de Slump Flow Test e Caixa “U”;
- O desempenho de um aditivo pode ser otimizado ou minimizado dependendo dos demais materiais que constituem o concreto e principalmente à granulometria do pedrisco utilizado;

Pode-se concluir que é essencial a realização de testes com diferentes tipos de aditivos antes da aplicação do concreto na obra, para obtenção do resultado mais vantajoso no que se refere à fluidez esperada, pois pode haver variação do comportamento do concreto no estado fresco, devendo ser considerado condições de preparo e tempo de lançamento.

## **5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestões para trabalhos futuros podemos considerar os seguintes temas:

- Estudo da variação granulométrica para CAA;
- Substituição de agregado natural por agregado artificial no CAA;
- Teor ideal de aditivo no CAA;
- Utilização de outro tipo de cimento no CAA e a compatibilidade com aditivos a base de policarboxilato.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, R.; HELENE, P. Concreto autoadensável de elevada resistências – inovação tecnológica na indústria de pré-fabricados. In: **Concretos e construções. Revista de materiais do Ibracon**, São Paulo, 2006

ARAÚJO, J. **Projeto Estrutural de edifícios de concreto**, Rio Grande do Sul, 2004

BETÃO N, **Auto Compactavel** Disponível em:

<http://w3.ualg.pt/~mjolivei/Bet%C3%A3o%20Auto-Compact%C3%A1vel.pdf>

CAINELLI, Leonardo Rubechini. **Levantamento do estado da arte de concreto auto-adensavel**, 2004.

DÍAZ, Vitervo O'reilly. **Método de dosagem de concreto de elevado desempenho**. São Paulo: Pini, 1998.

EFNARC. **Specificacion and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. EFNARC, 2002.

FURNAS, B. **Concreto massa, estrutural, projetado e compactado com rolo - Ensaio e propriedades**. São Paulo, PINI, 1997.

GOMES, P.C.C. **Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete**. 2002. Tese - Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

HELENE, P. TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Pini, São Paulo, 1992.

JATOBÁ, D. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** Tese de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, 2008

KAEFER, **A evolução do concreto armado**, disponível em: [www.cimento.org](http://www.cimento.org), 2005.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto, estrutura, propriedades e Materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. Self-compacting concrete, 2003.

PIERNAS, R. **Controle tecnológico básico do concreto**, 2002.

RODRIGUES A; FREITAS N; **Materiais de Construção**, 2000

TUTIKIAN, B.F. **Métodos para dosagens de concreto auto-adensáveis.** Dissertação de Mestrado, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2004

TUTIKIAN, B.F. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2007.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena Dal. **Concreto autoadensável.** São Paulo, 2008.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **O concreto no Brasil:** São Paulo: Pini, 1992.

VERÇOSA, E. J. **Materiais de construção**, Rio de Janeiro: 2003.

SITE: [WWW.SOARQUITETURA.COM.BR](http://WWW.SOARQUITETURA.COM.BR) – Acesso em 15/09/2012.