

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO
PATROCÍNIO
Graduação em Engenharia Civil

GEOVANA LEME REBEQUE

MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL

PATROCÍNIO – MG
2018

GEOVANA LEME REBEQUE

MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Civil, pelo Centro Universitário do Cerrado Patrocínio.

Orientador: Me. Daniel Flávio Pires de Lima.

**PATROCÍNIO
2018**

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 12 dias do mês de dezembro de 2018, às 20:40 horas, em sessão pública na sala 701-05 deste Campus Universitário, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor Daniel Flávio Pires de Lima e composta pelos examinadores:

1. Prof. Ibrahim Abdallah Daura Neto
2. Prof.^a Ma. Érika Maria de Souza Vissoci,

a aluna Geovana Leme Rebeque apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Métodos de dosagem de concreto autoadensável como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Engenharia Civil. Após reunião em sessão reservada, os professores decidiram da seguinte forma: O Avaliador 01 decidiu pela aprovação e a Avaliadora 02 decidiu pela aprovação, sendo resultado final da Banca Examinadora, a decisão final pela aprovação do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente à aluna e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pela aluna.

Daniel Flávio Pires de Lima

Prof. Daniel Flávio Pires de Lima
Presidente da Banca Examinadora

Ibrahim Abdallah Daura Neto

Prof. Ibrahim Abdallah Daura Neto
Examinador 01

Érika Maria de Souza Vissoci

Prof.^a Ma. Érika Maria de Souza Vissoci
Examinadora 02

Geovana Leme Rebeque

Geovana Leme Rebeque
Aluna

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, primeiramente, pelo dom da vida e da ciência, por me acompanhar durante toda a jornada de estudos e estar sempre me amparando.

Agradeço aos meus pais, Adalberto Antonio Rebeque e Luciana Leme Rebeque, por tornarem este sonho realidade, por me darem apoio, atenção e por me compreenderem neste momento da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Daniel Flávio Pires de Lima por todo o conhecimento transmitido, não somente durante este trabalho, mas também durante todo o curso.

Ao Centro Universitário do Cerrado Patrocínio – UNICERP por oferecer ensino de qualidade aos alunos.

Aos demais que contribuíram de alguma forma, direta e indiretamente, para minha formação e para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Introdução: O concreto autoadensável (CAA) ainda é novidade no meio da construção civil, podendo apresentar custos elevados em consideração ao concreto tradicional, porém apresenta grande resistência aos esforços, proporcionando redução de gastos com mão de obra, melhor acabamento final, auto desempenho no serviço de concretagem, diminuição no uso de energia elétrica, etc. Este concreto surgiu, no Japão, na década de 80. O primeiro protótipo de dosagem foi desenvolvido por Okamura et al. (1997), em Tóquio, Japão. A partir daí outros pesquisadores como Peterson et al. (1996), Sedran e De Larrard (1999), Su et al. (2001), dentre outros, vem estudando outras formas de melhorar o desempenho do CAA, tanto em questões de resistência e durabilidade como no aperfeiçoamento da dosagem. **Objetivo:** Estudar através de revisão bibliográfica dos métodos de dosagem para concretos autoadensáveis avaliando quais materiais são comumente utilizados, pelas premissas consideradas pelos autores Gomes et al. (2003) e Tutikian (2004). **Material e métodos:** A metodologia do presente trabalho baseia-se na revisão bibliográfica relativas aos métodos de dosagens e metodologias empregadas, comparando e analisando os resultados obtidos pelos autores Gomes et al. (2003) e Tutikian (2004). **Resultados:** A metodologia de Tutikian (2007) propõe simplicidade para a execução da argamassa, onde podem ser utilizados quaisquer materiais disponíveis no local, mas que cumpram requisitos básicos propostos pelo método do IPT/EPUSP. Gomes et al. (2003) reconhece que o concreto é composto por duas etapas, sendo uma a pasta e a outra parte os agregados. Este método apresenta um meio experimental para a dosagem de um concreto auto adensável de alta resistência. **Conclusão:** Nestes termos é possível observar que não há grandes diferenças entre os dados obtidos na dosagem de cada autor, a diferença está na metodologia empregada.

Palavras-chave: concreto autoadensável; métodos de dosagem

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 6: Diagrama de dosagem obtido pelo método de Tutikian.....	29
Figura 1: Ponto de saturação obtido através do cone de Marsh.	34
Figura 2: Ensaio de extensão de fluxo.	35
Figura 3: Ensaio do Funil-V.....	35
Figura 4: Ensaio da caixa-L.	36
Figura 5: Ensaio da caixa-U.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 2: Características das adições minerais.	23
Tabela 3: Características dos super-plastificantes.	23
Tabela 4: Faixa dos parâmetros dos ensaios de autoadensabilidade (adaptado).	28
Tabela 5: Resultados dos ensaios da primeira etapa para seleção da composição de pastas. ..	30
Tabela 1: Determinação da proporção entre o material fino e o substituído.	34

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAA Concreto auto adensável

cm centímetro

CVV Concreto convencional

D_{máx} Diâmetro máximo

IPT/EPUSP Instituto de Pesquisa Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

kg quilograma

L litro

min mínimo

ml mililitros

mm Milímetros

MPa Mega Pascal

S segundos

Sp/c relação superplastificante e concreto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral:	12
2.2 Objetivos Específicos:	12
3. DESENVOLVIMENTO	13
3.1 INTRODUÇÃO	14
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.2.1 Método de dosagem de Tutikian (2004)	15
3.2.1.1 Passo 1: escolha dos materiais	16
3.2.1.2 Passo 2: determinação do teor de argamassa seca	17
3.2.1.3 Passo 3: determinação dos traços rico, intermediário e pobre	17
3.2.1.4 Passo 4: colocação do aditivo e conseqüente segregação.....	18
3.2.1.5 Passo 5: acerto dos finos por substituição	18
3.2.1.6 Passo 6: ensaios de trabalhabilidade até o CVV se tornar CAA.....	19
3.2.1.7 Passo 7: comparação do CAA com e sem VMA	19
3.2.1.8 Passo 8: Ensaios de resistência à compressão nas idades determinadas	19
3.2.1.9 Passo 9: Desenho do diagrama	20
3.2.2 Método de dosagem de Gomes et al. (2003)	20
3.2.2.1 Primeira Etapa: definição da composição da pasta	21
3.2.2.2 Segunda etapa: Proporções dos agregados	22
3.2.2.3 Terceira etapa: Determinação da composição ótima do concreto.....	22
3.2.2.4 Aplicação da Metodologia	23
3.2.3 Ensaios de auto-adensabilidade	24
3.2.3.1 Ensaio de espalhamento (slump flow test)	24
3.2.3.2 Ensaio do funil-V (V-funnel test)	25
3.2.3.3 Ensaio da caixa-L (L-box test).....	26
3.2.3.4 Ensaio da caixa-U (U-box test).....	27
3.2.3.5 Faixa de valores recomendados	28
3.2.4 NBR 15823:2010	28
3.3 RESULTADOS	29

3.4 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	31
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	33
APÊNDICE I	34

1. INTRODUÇÃO

O concreto tem suas primeiras aplicações na época da grande expansão do império Romano, onde era usado uma mistura de cal e cinza vulcânica, material este, abundante na região, utilizado nas grandiosas obras romanas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 1997). Com o passar do tempo, foram sendo descobertos materiais mais adequados, melhores formas de se dosar a mistura, até chegar à forma que conhecemos hoje em dia, que é uma mistura, denominada de traço, composta por cimento, água, aglomerado graúdo e miúdo.

O concreto, utilizado como material estrutural, ganha cada vez mais notoriedade e diversidade em suas aplicações, conseqüentemente despertando curiosidade e campo para novos estudos sobre melhores formas de aplicações, traços mais econômicos, traços mais resistentes e outros tipos de concretos, como é o caso do concreto auto adensável.

O concreto autoadensável (CAA) ainda é novidade no meio da construção civil, podendo apresentar custos elevados em consideração ao concreto tradicional, porém apresenta grande resistência aos esforços, proporcionando redução de gastos com mão de obra, melhor acabamento final, auto desempenho no serviço de concretagem, diminuição no uso de energia elétrica, etc. Este tipo de concreto surgiu, no Japão, na década de 80, pela necessidade de construções com maior resistência, economia, redução de mão de obra e necessidade da massa de concreto alcançar lugares difíceis e que não poderiam receber vibração.

O primeiro protótipo de dosagem foi desenvolvido por Okamura et al. (1997), em Tóquio, Japão. A partir daí outros pesquisadores como Peterson et al. (1996), Sedran e De Larrard (1999), Su et al. (2001), dentre outros, vem estudando outras formas de melhorar o desempenho do CAA, tanto em questões de resistência e durabilidade como no aperfeiçoamento da dosagem.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral:

O objetivo do projeto apresentado é realizar uma revisão bibliográfica dos métodos de dosagem para concretos autoadensáveis avaliando quais materiais são comumente utilizados, pelas premissas consideradas pelos autores Gomes et al. (2009) e Tutikian (2004), bem como realizar a comparação com o concreto tradicional.

2.2 Objetivos Específicos:

- Entender melhor as principais premissas de dosagem existente;
- Verificar qual método é mais aplicável para o cenário da construção nacional;
- Fazer uma análise comparativa com a metodologia entre os métodos mais relevantes para a presente pesquisa.

3. DESENVOLVIMENTO

MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

GEOVANA LEME REBEQUE¹
DANIEL FLÁVIO PIRES DE LIMA²

RESUMO

Introdução: O concreto autoadensável (CAA) ainda é novidade no meio da construção civil, podendo apresentar custos elevados em consideração ao concreto tradicional, porém apresenta grande resistência aos esforços, proporcionando redução de gastos com mão de obra, melhor acabamento final, auto desempenho no serviço de concretagem, diminuição no uso de energia elétrica, etc. Este concreto surgiu, no Japão, na década de 80. O primeiro protótipo de dosagem foi desenvolvido por Okamura et al. (1997), em Tóquio, Japão. A partir daí outros pesquisadores como Peterson et al. (1996), Sedran e De Larrard (1999), Su et al. (2001), dentre outros, vem estudando outras formas de melhorar o desempenho do CAA, tanto em questões de resistência e durabilidade como no aperfeiçoamento da dosagem. **Objetivo:** Estudar através de revisão bibliográfica dos métodos de dosagem para concretos autoadensáveis avaliando quais materiais são comumente utilizados, pelas premissas consideradas pelos autores Gomes et al. (2003) e Tutikian (2004). **Material e métodos:** A metodologia do presente trabalho baseia-se na revisão bibliográfica relativas aos métodos de dosagens e metodologias empregadas, comparando e analisando os resultados obtidos pelos autores Gomes et al. (2003) e Tutikian (2004). **Resultados:** A metodologia de Tutikian (2007) propõe simplicidade para a execução da argamassa, onde podem ser utilizados quaisquer materiais disponíveis no local, mas que cumpram requisitos básicos propostos pelo método do IPT/EPUSP. Gomes et al. (2003) reconhece que o concreto é composto por duas etapas, sendo uma a pasta e a outra parte os agregados. Este método apresenta um meio experimental para a dosagem de um concreto auto adensável de alta resistência. **Conclusão:** Nestes termos é possível observar que não há grandes diferenças entre os dados obtidos na dosagem de cada autor, a diferença está na metodologia empregada.

Palavras-chave: concreto autoadensável; métodos de dosagem

¹ Autora, Graduanda em Engenharia Civil pelo UNICERP.

² Professor Orientador. Docente do Curso de Engenharia Civil do UNICERP.

ABSTRACT

Introduction: Self-compacting concrete (SCC) is still new in the middle of civil construction, and can present high costs in consideration of traditional concrete, but it presents great resistance to efforts, reducing costs of labor, better final finishing, auto performance in the concreting service, decrease in the use of electric energy, etc. This concrete appeared in Japan in the 1980s. The first prototype dosage was developed by Okamura et al. (1997), in Tokyo, Japan. From this, other researchers such as Peterson et al. (1996), Sedran and De Larrard (1999), Su et al. (2001), among others, has been studying other ways to improve SCC performance, both in terms of endurance and durability, and in improving dosage. **Objective:** To study through bibliographic review of the dosage methods for self-supporting concrete, evaluating which materials are commonly used, for the assumptions considered by the authors Gomes et al. (2003) and Tutikian (2004). **Material and methods:** The methodology of the present work is based on the bibliographic review of the dosage methods and methodologies used, comparing and analyzing the results obtained by the authors Gomes et al. (2003) and Tutikian (2004). **Results:** The Tutikian (2007) methodology proposes simplicity for the execution of the mortar, where any materials available on site can be used, but complying with basic requirements proposed by the IPT/EPUSP method. Gomes et al. (2003) recognizes that concrete consists of two steps, one being the pulp and the other part the aggregates. This method presents an experimental medium for the dosage of a high strength self-compacting concrete. **Conclusion:** In these terms it is possible to observe that there are not great differences between the data obtained in the dosage of each author, the difference is in the methodology used.

Keywords: dosage methods; self-compacting concrete

3.1 INTRODUÇÃO

O concreto tem suas primeiras aplicações na época da grande expansão do império Romano, onde era usado uma mistura de cal e cinza vulcânica, material este, abundante na região, utilizado nas grandiosas obras romanas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 1997). Com o passar do tempo, foram sendo descobertos materiais mais adequados, melhores formas de se dosar a mistura, até chegar à forma que conhecemos hoje em dia, que é uma mistura, denominada de traço, composta por cimento, água, aglomerado graúdo e miúdo.

O concreto, utilizado como material estrutural, ganha cada vez mais notoriedade e diversidade em suas aplicações, conseqüentemente despertando curiosidade e campo para novos estudos sobre melhores formas de aplicações, traços mais econômicos, traços mais resistentes e outros tipos de concretos, como é o caso do concreto auto adensável.

O concreto autoadensável (CAA) ainda é novidade no meio da construção civil, podendo apresentar custos elevados em consideração ao concreto tradicional, porém apresenta grande resistência aos esforços, proporcionando redução de gastos com mão-de-obra, melhor acabamento final, auto desempenho no serviço de concretagem, diminuição no uso de energia elétrica, etc. Este tipo de concreto surgiu, no Japão, na década de 80, pela necessidade de construções com maior resistência, economia, redução de mão-de-obra e necessidade da massa de concreto alcançar lugares difíceis e que não poderiam receber vibração.

O primeiro protótipo de dosagem foi desenvolvido por Okamura et al. (1997), em Tóquio, Japão. A partir daí outros pesquisadores como Peterson et al. (1996), Sedran e De Larrard (1999), Su et al. (2001), dentre outros, vem estudando outras formas de melhorar o desempenho do CAA, tanto em questões de resistência e durabilidade como no aperfeiçoamento da dosagem.

O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica dos métodos de dosagem para concretos autoadensáveis avaliando os materiais que são comumente utilizados, pelas premissas consideradas pelos autores Gomes et al. (2009) e Tutikian (2004), bem como realizar a comparação com o concreto tradicional.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho consiste em fazer uma análise bibliográfica dos métodos de dosagem e metodologias empregadas, comparando e analisando os resultados de resistência e trabalhabilidade obtidos pelos autores Tutikian (2004) e Gomes et al. (2003).

3.2.1 Método de dosagem de Tutikian (2004)

O método de dosagem do CAA desenvolvido por Tutikian (2004) foi obtido através da dosagem do concreto convencional (CVV) medido segundo o procedimento Instituto de Pesquisa Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (IPT/EPUSP), desenvolvido por Helene e Terzian (1992) e pelo método de dosagem de concreto de alto desempenho, desenvolvido por O'Reilly (1992) e é constituído por nove passos. No primeiro passo há a determinação do teor da argamassa de concreto convencional no qual se mantém

constante durante a dosagem, alterando-se somente os elementos para torná-lo auto adensável, acrescentando aditivo superplastificante e material fino (GOMES; BARROS, 2009).

A metodologia de Tutikian (2007) propõe simplicidade para a execução da argamassa, onde podem ser utilizados quaisquer materiais disponíveis no local, mas que cumpram requisitos básicos, seguindo os conceitos de De Larrard (1999), utiliza o diagrama de dosagem do IPT/EPUSP para calcular qualquer CAA dentro da mesma família avaliada, utiliza os princípios de O'Reilly (1992) para análise do empacotamento granular máximo e para tornar este método contemporâneo além de juntar todos esses princípios, Tutikian (2007) propõe teor de argamassa variável, inclusão da curva de custos no diagrama de dosagem e diagrama de desempenho.

Na sequência será detalhado cada um dos nove passos do método proposto por Tutikian (2004).

3.2.1.1 Passo 1: escolha dos materiais

Tutikian (2004), defende que deve ser feito um levantamento dos cimentos disponíveis na região do estudo, pois cada tipo de cimento apresenta vantagens e desvantagens para cada finalidade proposta, mas acima de tudo deve ser feito um estudo sobre a utilização e sobre o material, para que possa ser selecionado o melhor dentre as variedades disponíveis de cimento Portland.

O primeiro passo do método de Tutikian (2007) é a escolha dos materiais que farão a melhor composição do CAA. Para a escolha dos materiais devem ser levados em consideração os seguintes itens: custo de cada componente, disponibilidade em quantidade e distância aceitáveis. Caso haja mais de uma opção para qualquer elemento, Tutikian (2007) indica que deve ser priorizado o elemento ao qual o operador da dosagem já tenha trabalho.

Tutikian (2007) recomenda fortemente que os agregados graúdos devem conter o menor $D_{máx}$ possível, aconselhando a possui até 19 mm, e conter arestas arredondadas, possibilitando o maior empacotamento e minimizando a possibilidade de segregação. Para os elementos finos podem ser pozolânicos ou não pozolânicos, podendo ou não ser resíduos industriais. Se estes finos forem pozolânicos substituirão o cimento, e, se não pozolânicos substituirão o agregado miúdo, com a substituição sempre ocorrendo em massa.

3.2.1.2 Passo 2: determinação do teor de argamassa seca

No segundo passo, Tutikian (2004;2007) faz a especificação do teor de argamassa (α) da mistura, utilizando as Equações 1 e 2. Aqui ainda não são considerados o aditivo superplastificante e os materiais finos. Nesta etapa o procedimento de dosagem permanece idêntico ao método IPT/EPUSP para concretos convencionais. Para os finos pozolânicos, foi utilizada a Equação 1.

$$\alpha = \frac{(1+a)}{(1+m)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$$m = a + p \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

a – relação agregado miúdo seco/aglomerantes em massa, em kg/kg;

p – relação agregado graúdo seco/aglomerantes em massa, em kg/kg;

m – relação agregados secos /aglomerante em massa, em kg/kg.

No caso de o material fino escolhido ser não pozolânico, a determinação do teor de argamassa deve seguir as Equações 3 e 4, pois neste há o acréscimo de mais um agregado.

$$\alpha = \frac{(1+f+a)}{(1+m)} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$$m = a + f + p \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

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

f – relação finos não pozolânicos/cimento em massa, em kg/kg;

p – relação agregados graúdo secos/cimento em massa, em kg/kg.

3.2.1.3 Passo 3: determinação dos traços rico, intermediário e pobre

Neste passo é determinado no mínimo três traços, um rico, um intermediário e um pobre, para a obtenção do desenho do diagrama de dosagem, sendo que o traço rico é o que contém a

menor relação água/aglomerante e o pobre maior. Segundo Tutikian (2007) as produções das curvas de dosagem resultam na determinação dos coeficientes de correlação para o mesmo tipo de concreto, permitindo a dosagem de qualquer mistura que contenha os mesmos componentes. Tutikian (2007) não recomenda que a curva de dosagem seja extrapolada, sendo possível aumentar o número de pontos, através da confecção de mais traços, para também aumentar o intervalo de valores ou selecionar pontos próximos dos valores finais, quando possível.

É importante manter contínuo o teor de argamassa em todos os traços para que possam ser agrupados na mesma família e possam ser plotados no mesmo diagrama de dosagem, pois cada teor de argamassa representaria um diagrama diferente. O autor prevê uma pequena variação de volume final da argamassa devido à utilização de materiais com massa específica distintos, mas é fundamental que não ocorra variações de massa entre as argamassas de traço 1:m desiguais, para que o diagrama de dosagem não seja comprometido.

3.2.1.4 Passo 4: colocação do aditivo e consequente segregação

É no quarto passo que o concreto começa a se transformar em auto-adensável, sendo que simultaneamente realiza-se o quinto passo.

Neste passo ocorre a adição do superplastificante e, segundo Tutikian (2007), não será necessário realizar nenhum tipo de ensaio de verificação de trabalhabilidade, pois a argamassa se torna visivelmente fluida. A parcela de aditivo adicionada é medida em função da massa do aglomerante e varia bastante em cada caso, por causa da grande variação de cimentos existente e principalmente por causa da grande variedade entre marcas e tipos de superplastificante.

Tutikian (2007) recomenda que a adição do aditivo comece com ordens de 0,30% da massa de cimento utilizada, adicionando conforme a necessidade até atingir o ponto ideal. Este valor deve ser mantido para todos os traços (rico, intermediário e pobre) para que possam pertencer à mesma família e, assim, serem plotados no mesmo diagrama de dosagem.

O ponto ideal será percebido visualmente, pois a massa já se encontra bem fluida, desprezando a separação dos agregados graúdos da argamassa. Esta etapa precisa ser realizada rapidamente, pois os superplastificantes tem o tempo de ação por volta dos 50 minutos, variando conforme a marca, tipo e principalmente temperatura, perdendo seu efeito decorrido este tempo.

3.2.1.5 Passo 5: acerto dos finos por substituição

No quinto passo é feita a correção da segregação, deixando-o coeso e fluido (passo quatro).

Substituindo o cimento ou agregado miúdo o concreto torna-se coeso e adquire a propriedade de auto-adensabilidade. O elemento a ser substituído dependerá de qual material fino for escolhido. Se o material fino selecionado for não pozolânico (pó de brita, filer calcário, cerâmica moída, areia fina) deve-se substituir o agregado miúdo, e se o material fino escolhido for pozolânico (cinza volante, sílica ativa, metacaulim, escória de alto forno, cinza de casca de arroz), troca-se o cimento.

Para auxiliar a dosagem do CAA, Tutikian (2007) criou uma tabela (Tabela 1 - Apêndice I) com as proporções de material fino em relação ao que será substituído, onde a proporção aumenta até que a mistura se adeque aos limites estabelecidos para haver trabalhabilidade no CAA.

3.2.1.6 Passo 6: ensaios de trabalhabilidade até o CVV se tornar CAA

No sexto passo faz-se a verificação do concreto, observando se já atingiu o ponto ideal ou se ainda necessita de correções. Conforme a adição de materiais finos e de superplastificantes, a mistura passa ser mais coesa e menos fluida, característica, esta, importante para o CAA. Segundo Tutikian (2007), é necessário que se realize testes de trabalhabilidade a cada vez que estas adições/subtrações ocorrerem. Os testes de trabalhabilidade podem demorar para ser realizados, por isso é necessário que se faça a dosagem, primeiramente, visualmente, pois o aditivo pode perder o efeito.

3.2.1.7 Passo 7: comparação do CAA com e sem VMA

Tutikian (2007) não faz fortes recomendações para o uso de aditivos modificadores de viscosidade (VMA, do inglês: *viscosity modifiers agents*), pois não é vantajoso economicamente e aumenta a possibilidade de manifestações patológicas. O uso é recomendado somente na falta de disponibilidade de materiais finos na região. Além disso, caso seja necessário o uso do VMA, deve-se fazer outro traço de concreto.

3.2.1.8 Passo 8: Ensaios de resistência à compressão nas idades determinadas

Para a realização dos ensaios de resistência, os corpos-de-prova (CP) não podem receber nenhum tipo de vibração mecânica ou compactação. Tutikian (2007) recomenda dois CP's, no mínimo, para as idades de 3, 7 e 28 dias. O ensaio de compressão é realizado para a obtenção do valor da resistência à compressão em MPa, que se juntam à relação entre água e aglomerante (a/agl) e o consumo de cimento por metro cúbico (Kg/m³).

3.2.1.9 Passo 9: Desenho do diagrama

Com as informações obtidas no passo anterior é possível obter-se o desenho do diagrama de dosagem e determinar as equações de comportamento.

3.2.2 Método de dosagem de Gomes et al. (2003)

Gomes et al. (2003;2009) reconhece que o concreto é composto por duas fases, sendo uma a pasta e a outra parte os agregados. Este método apresenta um meio experimental para a dosagem de um concreto auto-adensável de alta resistência (CADAR).

Este procedimento assume que o CADAR pode ser alcançado com a otimização do esqueleto granular e da pasta separadamente. Este modelo propõe que a viscosidade e fluidez da pasta comandem o comportamento de fluxo do concreto. Teoria que é assumida por outros autores como: Mehta e Aïtcin (1990), Mindess (1994), De Larrard (1992), Toralles-Carbonari et al. (1996), para o concreto de alta resistência, e para o concreto auto adensável, mais recentemente tem-se Nan Su et al. (2001), Saak et al. (2001) e Smeplass e Mortsell (2001). Contudo, uma composição otimizada de pasta e um mínimo de pasta relacionada ao esqueleto granular se fazem necessários.

O modelo de Gomes et al. (2003;2009) é dividido em 3 fases, vantagem que permite determinar de forma independente dos diversos parâmetros de mistura ou variáveis:

- Obtenção da composição da pasta;
- Determinação do esqueleto agregado;
- Seleção do conteúdo de pasta.

Gomes et al. (2003;2009) dita, a seguir, os critérios para se obter um CADAR com resistência à compressão de pelo menos 50 MPa para os primeiros 7 dias de idade e propriedades auto adensáveis:

- Baixa relação água/cimento ($a/c \leq 0,40$);

- Melhoramento da relação superplastificante/massa de cimento e finos/massa de cimento para alcance de alta fluidez e boa coesão;
- Alcance do esqueleto granular com baixa taxa de vazios (granulometria contínua);
- Especificação da natureza da pasta que fornece os requisitos de auto-adensabilidade do concreto fresco, como: habilidade de fluir, habilidade de passar entre os obstáculos e resistência à segregação, assim como a resistência à compressão.

Assim como dito anteriormente, a relação a/c é mantida baixa ($a/c \leq 0,40$) para que haja alto desempenho mecânico, durabilidade e que a resistência desejada seja alcançada.

Na primeira etapa é definida a dosagem de superplastificante e é feita a adição de finos, para evitar a segregação e garantir que a pasta obtenha alta fluidez. Na segunda etapa o esqueleto granular é determinado visando o mínimo de vazios no estado seco e não compactado. A areia e brita limpas não devem passar de 10-20 mm. Para este método somente a relação areia/brita é determinada em função de obter uma granulometria contínua. Na terceira etapa são realizados testes em concretos com diferentes volumes de pasta; a composição de pasta e o esqueleto granular, definidos na primeira e segunda etapas, respectivamente, serão utilizados para especificação da composição do concreto, concreto este com características autoadensáveis e alta resistência à compressão.

3.2.2.1 Primeira Etapa: definição da composição da pasta

Dosagem de superplastificante:

Gomes et al. (2003) utiliza o cone de Marsh para o ensaio que visa determinar a quantidade ótima de superplastificante em relação ao cimento (sp/c). O tempo obtido no ensaio é tomado como uma medida inversa da fluidez da pasta. Para medir esse tempo, usa-se um cone de metal de abertura de 8 mm, despeja-se 1 litro da amostra do concreto e mede-se o tempo necessário para que 500 ml flua através do cone.

Esse tempo é denominado de tempo de fluxo (T), plotado em logarítmico versus a relação sp/c. A associação sp/c é determinada saturada quando a mistura atinge um ponto onde o tempo de fluxo (T) não decresce significativamente, não provocando nenhuma melhora expressiva para a qualidade da massa. Ou seja, o ponto de saturação é estabelecido quando o ângulo interno da curva atinge $140^\circ \pm 10^\circ$, como ilustrado na Figura 1 (Apêndice I), definindo o limite prático da dosagem de superplastificante em termos de fluidez de pasta.

Dosagem de adições (finos):

Gomes et al. (2003) utiliza o ensaio do *mini-slump* para determinar a dosagem ótima de finos, e, portanto, a composição da pasta com a relação a/c convencional. Este ensaio é a versão em miniatura do *Slump Flow Test*, onde o cone truncado cabe na palma da mão e a base para medição do escoamento é feito com papel milimetrado.

O teste do mini-slump é praticado para medir diferentes relações entre finos e cimento (f/c) para massas com saturação de superplastificante pré-determinadas no teste do cone de Marsh. Sendo considerada ótima a mistura com adição de finos que exibir um diâmetro de espalhamento de 180 ± 10 mm e um tempo de 3 ± 1 segundos, para atingir a marcação de 115 mm. Estes limites para as propriedades do *mini-slump* foram propostos visando garantir a boa fluidez e moderada coesão da pasta.

3.2.2.2 Segunda etapa: Proporções dos agregados

Gomes et al. (2003) baseia sua dosagem considerando o mínimo de vazios possível na massa. Para isso, um recipiente deve ser preenchido com misturas secas, com relações areia/brita variáveis e sem compactação. Em cada medição é determinado a massa unitária da mistura entre areia e brita e o conteúdo de vazios é calculado fazendo-se uso das massas específicas da areia e da brita.

A associação entre areia/brita que obtiver o menor índice de vazios é tida como ótima. Procedimento, este, que leva em conta a forma, textura e granulometria (Toralles-Carbonari et al., 1996 apud Gomes et al., 2003).

3.2.2.3 Terceira etapa: Determinação da composição ótima do concreto

Na terceira e última etapa, Gomes et al. (2003), faz testes com amostras de diferentes volumes de pasta, este sendo maior que o conteúdo de vazios do esqueleto granular. A composição do concreto é definida pelas etapas anteriores. A amostra, com o menor volume de pasta, que atender às condições de auto-adensabilidade e alta resistência à compressão será tida como ótima.

Gomes et al. (2003) utiliza os seguintes testes para analisar as propriedades de auto-adensabilidade do concreto fresco:

- Extensão de Fluxo (slump flow) e funil-V: estes ensaios medem a capacidade de fluir;

- Caixa-L: determina a capacidade de passagem pelos obstáculos;
- Caixa-U: determina a resistência a segregação da amostra.

A avaliação da resistência à compressão foi obtida usando a média entre três corpos de prova cilíndricos padronizados com dimensões de 150x300 mm. Sem nenhuma compactação, os corpos de prova foram submetidos a cura úmida, após 24 horas. Após 7 dias foram rompidos e a resistência a compressão de 50 MPa foi estabelecida.

3.2.2.4 Aplicação da Metodologia

Materiais usados

Os materiais utilizados por Gomes et al. (2003) foram o cimento de alta resistência do tipo CEM I 52.5R, de acordo com a norma europeia ENV 197-1:92, sílica ativa densificada, dois minerais de acordo com a Tabela 2 e dois superplastificantes listados na Tabela 3.

A água contida no superplastificante é considerada na relação a/c e a dosagem de superplastificante é determinada em relação à massa de cimento. A água necessária para se obter uma pasta de consistência normal e pasta com adição de sílica ativa foi determinada usando o aparelho de Vicat como 0,28 e 0,52, respectivamente.

Propriedade	Cinza volante	calcário
Retido na peneira de 200 μm (%)	0,24	0,00
Passante na peneira de 63 μm (%)	87,0	93,1
Área de superfície Blaine dos passantes na peneira de 200 μm (cm^2/g)	2935	5450
Massa específica (g/dm^3)	2580	2710
Demanda de água para consistência de pasta normal em teste de Vicat	0,19	0,22

Tabela 2: Características das adições minerais.

Fonte: Gomes et al. (2003).

Propriedade	SCP	SCB
Tipo	Copolímero de vinilo	Policarboxílico
Massa específica (g/dm^3)	1140	1100
Conteúdo de sólido (%)	25	35

Tabela 3: Características dos super-plastificantes.

Fonte: Gomes et al. (2003).

Sendo assim o esqueleto granular proposto por Gomes et al. (2003) é composto por areia e brita calcários e britados (tabela 3). As dimensões dos agregados graúdos foram limitadas em

até 12 mm, por ser considerado que agregados com menor granulometria são favoráveis na obtenção de CAA e CAR (concreto de alta resistência).

3.2.3 Ensaio de auto-adensabilidade

3.2.3.1 Ensaio de espalhamento (slump flow test)

O teste de *Slump* é muito utilizado em laboratórios e no local da obra por ser de fácil execução, pois requer poucos e simples equipamentos como a trena e o cone de Abrams. Este ensaio visa verificar o espalhamento da massa do concreto sob ação do peso próprio e, assim, visando a capacidade de atingir determinado diâmetro em um tempo e dimensões específicos (GOMES; BARROS, 2009).

Equipamentos (GOMES; BARROS, 2009):

- Uma base quadrada reta, lisa e de material sólido que não solte material, com dimensões de, no mínimo, 90 cm;
- Cone de Abrams (diâmetro superior de 10 cm e inferior de 20 cm, com altura de 30 cm);
- Tronco de cone invertido;
- Uma colher do tipo concha ou um balde;
- Um cronômetro;
- Uma trena ou uma régua de, no mínimo, 90 cm.

Procedimentos (GOMES; BARROS, 2009):

A base para realização do teste deve ser de 90 x 90 cm, nivelada horizontalmente. Ao centro do retângulo, deve haver duas circunferências centralizadas: uma de 20 cm e outra de 50 cm de diâmetro; fixado pelo próprio peso do operador, para evitar vazamentos da amostra, o cone deve ser colocado na circunferência central. Gomes (2009) sugere que seja recolhida amostra de CAA de aproximadamente 7 litros e colocada dentro do cone sem realizar nenhum tipo de compactação ou adensamento mecânico. Os excessos de concreto na base e no topo, quando houver, devem ser retirados.

Após a limpeza da massa excedente, o cone deve ser levantado levemente, em sentido perpendicular à base, em movimento único e simultâneo ao cronômetro, para que a amostra de CAA flua livremente.

Assim que o concreto atingir a marcação de 50 cm de diâmetro, o cronometro é parado e o tempo registrado. Esse tempo é intitulado como tempo de fluxo T_{50} .

Concluído o espalhamento do concreto, medem-se, com régua ou trena, dois diâmetros perpendiculares, denominados d_1 e d_2 e encontra-se a média entre eles, que será denominada diâmetro final de espalhamento (D_{final}), como observado na Figura 2 (Apêndice I).

Gomes e Barros (2009) afirmam que a extensão final de fluxo D_{final} para CAA está entre 60 e 80 cm e o tempo de fluxo T_{50} está entre 2 e 7 segundos.

3.2.3.2 Ensaio do funil-V (V-funnel test)

Desenvolvido na Universidade de Tóquio, o ensaio do Funil-V mede a capacidade de passagem do CAA através do estreitamento de seções, exclusivamente com a ação de seu peso próprio. Este ensaio também é utilizado para verificar a ocorrência de segregação, quando o concreto é impedido de sair do funil.

O teste mede o tempo que a amostra, de aproximadamente 10 litros de concreto, leva para fluir totalmente pela abertura inferior do funil. A abertura inferior deve possuir diâmetro mínimo até 3 vezes maior que o tamanho do agregado utilizado. Para o CAA, esta abertura deve estar entre 6,5 cm a 7,5 cm (OZAWA et al., 1994 apud GOMES; BARROS, 2009).

O ensaio do Funil-V é o segundo ensaio mais utilizado em laboratórios e no canteiro de obras, depois do ensaio de espalhamento.

Equipamentos:

- Funil em forma de V, com as seguintes dimensões: abertura retangular superior (7,5 cm de largura e 51,5 cm de comprimento), altura até o orifício de saída de 45 cm com uma inclinação de 2 para 1, saída com altura de 15 cm e abertura retangular com dimensões de 6,5 e 7,5 cm, podendo ser utilizada a saída quadrada de 7,5 cm;
- Uma colher do tipo concha;
- Um recipiente com capacidade para mais de 10 litros;
- Um cronômetro.

Procedimento:

Umidecer o interior do Funil-V, sem deixar água na superfície. Com a porta inferior de saída fechada, colocar um recipiente abaixo para que armazene o concreto que escoar. O funil é, então, preenchido com aproximadamente 10 litros da amostra de CAA, sem utilizar nenhum tipo de compactação ou adensamento mecânico. Remover o excesso de concreto e esperar

aproximadamente 15 segundos para iniciar o teste, então, sincronicamente iniciar a cronometragem do tempo à abertura da porta de saída. A cronometragem do tempo deve ser cessada assim que a abertura inferior estiver completamente visível através da abertura superior.

O tempo obtido é intitulado de tempo de fluxo do ensaio do Funil-V (T_v). O Funil-V foi esquematizado por Gomes e Barros (2009) conforme a Figura 3 (Apêndice I).

Segundo Gomes e Barros (2009), “o tempo de fluxo do ensaio do Funil-V (T_v) para CAA varia de 6 a 15 segundos.”.

3.2.3.3 Ensaio da caixa-L (L-box test)

O objetivo deste teste é avaliar a capacidade de passagem do CAA. Este ensaio analisa a habilidade de passagem do concreto por obstáculos, como a armadura, somente pela ação de seu peso próprio. Também tem sido muito utilizado em ensaios de laboratório e no local da obra, igualmente utilizado por Peterson et al. (1996), Sedran e De Larrard (1999) e por Bartos e Grauers (1999) (apud GOMES; BARROS, 2009).

Equipamentos:

- Uma caixa em forma de L, com dimensões mostradas na Figura 4 (Apêndice I), com uma abertura na base da parte vertical, com porta e armaduras espaçadas, cujo espaçamento depende do diâmetro máximo característico do agregado graúdo e das condições locais de aplicação do concreto;
- Uma colher do tipo concha;
- Um balde;
- Dois cronômetros;
- Uma trena ou régua de, no mínimo, 60 cm.

Procedimento:

Nivelar a caixa em posição horizontal e se certificar que esteja firme. O interior da caixa deve ser molhado com esponja ou toalha úmida, retirando o excesso de água. Preencher com aproximadamente 12 litros da amostra de concreto a extensão vertical da caixa e esperar por volta de 30 segundos para se certificar que não houve indício de segregação. Após o tempo de espera, abrir a porta deslizante e deixar o concreto fluir através da abertura em direção à seção horizontal. Com a abertura da porta, dois cronômetros são acionados, simultaneamente, o primeiro parando quando a amostra atingir a marcação de 20 cm no trecho horizontal, e o segundo cronômetro deve ser parado quando o concreto atingir a marcação de 40 cm no mesmo

trecho. Os tempos obtidos são denominados, respectivamente, de T_{L20} e T_{L40} . Assim que a amostra concluir a movimentação, medir a altura do concreto no final do trecho horizontal (H_2) e a altura do restante do concreto na seção vertical (H_1) da Caixa-L.

Para encontrar a relação de bloqueio (RB), Equação 5, de acordo com Gomes e Barros (2009), calcula-se a relação da altura do concreto no trecho horizontal (H_2) e a altura do concreto na seção vertical (H_1) da caixa, conforme descrito na equação. A RB do CAA deve ser $\geq 0,8$.

$$RB = \frac{H_2}{H_1} \quad \text{Equação 5}$$

3.2.3.4 Ensaio da caixa-U (U-box test)

Este ensaio foi desenvolvido pela *Technology Research Centre of the Taisei Corporation*, Japão, e tem por objetivo medir a fluidez e a habilidade de passagem do CAA por obstáculos sem que ocorra segregação.

Neste teste é possível determinar o grau de adensabilidade, indicado pela altura que a amostra do concreto atinge depois de fluir pelos obstáculos. Este ensaio é mais adequado para identificar concretos que tendem a possuir maior segregação entre os agregados graúdos e argamassa (OKAMURA & OUCHI, 2003 apud GOMES & BARROS, 2009).

Assim como deve ser feito na Caixa-L, as armaduras para a realização do ensaio da Caixa-U devem ser montadas conforme o caso analisado, com o propósito de obter resultados mais precisos (TUTIKIAN, 2004 apud GOMES & BARROS, 2009).

Quando o concreto passa de um compartimento para o outro, sofre uma resistência ao movimento, e, quanto mais íntegro e coeso passar, sem segregar, mais auto adensável está mostrando ser (TUTIKIAN, 2004).

Equipamentos:

- Uma caixa em forma de U, com dimensões mostradas na Figura 5 (Apêndice I);
- Um balde;
- Uma trena ou uma régua de, no mínimo, 60 cm.

Procedimento:

Posicionar a Caixa-U em uma superfície plana e estável. Após umedecer o interior da caixa com água, retirando o excesso, a Caixa-U é preenchida com aproximadamente 16 litros de amostra de CAA fresco, sem nenhum tipo de adensamento mecânico, vibração e etc. Essa amostra deve ser colocada no compartimento esquerdo, com a porta de passagem fechada. Esperar 1 minuto antes de abrir a porta de passagem. Decorrido esse tempo, abrir a porta para que a amostra de concreto escoe para a outra seção do tubo. Assim que a movimentação cessar,

medir as alturas R_1 e R_2 , correspondendo, respectivamente, a altura do material que restou no compartimento da esquerda e a altura de material que se acumulou à direita. A propriedade de auto adensabilidade é conferida através da diferença entre as duas alturas (R_u), conforme Equação 6.

$$R_u = R_1 - R_2 \quad \text{Equação 6}$$

Para o CAA, o R_u deve estar entre 0 e 3 cm, indicando que quanto mais próximo de 0, maior é a capacidade de preenchimento e que o concreto é auto adensável.

3.2.3.5 Faixa de valores recomendados

A Tabela 4, a seguir, apresenta os resultados desejáveis que o concreto deve apresentar para ser considerado como auto adensável, assim como a faixa de valores disponíveis na literatura, de acordo com Gomes e Barros (2009).

Propriedades	Ensaio	Parâmetros	Faixa
Capacidade de Preenchimento	Teste de Espelhamento	D_{Final}	60 a 80 cm
		T_{50}	2 a 7 s
	Funil-V	T_v	6 a 15 s
Capacidade de Passagem	Caixa-L	T_{L20}	≤ 2 s
		T_{L40}	≤ 4 s
		$RB = H_2 / H_1$	$\geq 0,80$
	Caixa-U	$R_1 - R_2$	0 a 30 mm

Tabela 4: Faixa dos parâmetros dos ensaios de autoadensabilidade (adaptado).

Fonte: Gomes e Barros (2009).

3.2.4 NBR 15823:2010

A norma brasileira que diz respeito ao CAA é a NBR 15823, publicada no ano de 2010 e baseada em normas europeias, como a EN 206-9 e complementares, ASTM C 1610, ASTM C 1611 e em trabalhos técnicos, como dos autores analisados no presente trabalho.

A NBR 15823:2010 é dividida em 6 partes, sendo 1 parte destinadas à descrição teórica da classificação controle e aceitação no estado fresco e as outras 5 partes são as descrições dos ensaios necessários para verificação de trabalhabilidade, segregação e viscosidade. Esta norma estabelece orientações para controlar por meio de ensaios no estado fresco conforme sua autoadensabilidade.

As 5 últimas partes da NBR 15823:2010 se referem à normalização dos ensaios que devem ser realizados para comprovar as propriedades de autoadensabilidade do concreto, que já foram previamente abordados neste trabalho.

3.3 RESULTADOS

O método de dosagem proposto por Tutikian (2004) é mais simples pelo fato de propor a utilização de materiais locais que estão de fácil alcance ao manejador, como o emprego de resíduos industriais em substituição ao cimento. Tutikian (2004) defende que essa opção pode incentivar o maior uso do CAA.

A Figura 6 representa um exemplo do diagrama desenhado por Tutikian (2004) para uma das famílias de CAA. No quarto quadrante é possível observar que o teor de argamassa não é constante e o pequeno quadro junto ao diagrama demonstra as proporções de empacotamento desses agregados. Tutikian (2007) também acrescentou uma curva de custos para que o técnico possua uma base sobre as despesas da dosagem.

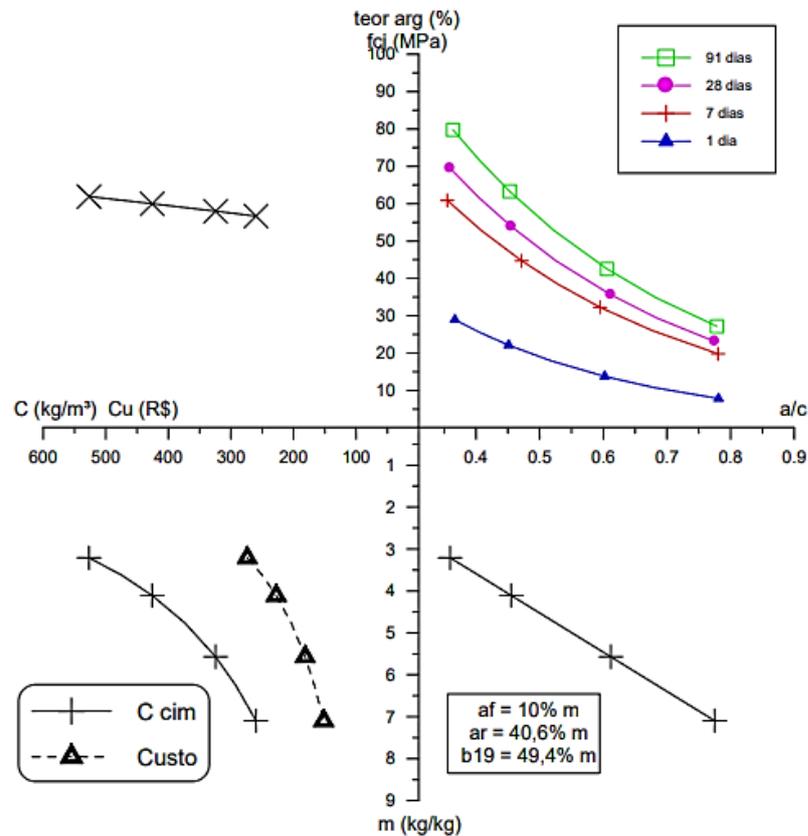


Figura 6: Diagrama de dosagem obtido pelo método de Tutikian.

Fonte: Tutikian (2007).

Gomes et al. (2003), através dos testes de *mini-slump* e cone de Marsh, apresenta os resultados obtidos para o ponto de saturação, diâmetro e tempo de espalhamento para pastas com superplastificantes com sílica ativa e filler calcário, superplastificante com filler calcário e superplastificante com cinza volante.

Observa-se que apesar do grande consumo de materiais, a massa específica do concreto em estado fresco permanece dentro das normalidades. Gomes et al. (2003) destaca que o consumo elevado de cimento, adição de finos, filler calcário e subprodutos industriais, sílica ativa e cinzas volantes também foram elevados e que, assim como o cimento, também contribuem no desempenho da pasta no estado fresco e endurecido. No entanto, o volume final dos agregados se manteve baixo, na ordem de 64%, se comparado com os concretos convencionais, que possuem o consumo na ordem dos 80% (GOMES et al., 2003).

Mistura (kg/m ³)						
Cimento		432	465	501	458	
Filler calcário		130	186	-	-	
Sílica ativa		43,2	-	-	-	
Cinza volante		-	-	200	275	
Material cimentício (mc)		475,2	465	701	733	
Total material fino		605,2	651	701	733	
Água da mistura		183	178	190	190	
Relação a/c (em massa)		0,40	0,35	0,35	0,40	
Relação a/finos (em massa)		0,30	0,27	0,27	0,26	
Agregado miúdo		791	791	771	696	
Brita Ø até 12,7 mm		834	834	721	696	
Superplastif. (L/m ³)		13,6	11,1	8,8	7,4	
Volume de pasta (%)		38	38	43	45	
Características no Estado Fresco						Resultados ideais
<i>Slump Flow</i>	cm	70	64	66	66	60 a 80
<i>Slump Flow</i> (T ₅₀)	Seg	3,1	3,5	3,6	3,0	2 a 7
Funil-V	Seg	10,0	11,5	12,3	8	6 a 15
Caixa-L	h1/h2 (FB)	0,92	0,80	0,89	0,89	≥ 0,8
	T20 (seg)	0,8	1,5	1,3	0,6	Não se aplica
	T40 (seg)	2,5	3,3	3,0	1,5	Não se aplica
Tubo-U	cm	0,98	0,96	0,98	1,02	0 a 3
Resistência à compressão aos 7 dias, média de três c.p. (15x30 cm)						
fc 7 dias (MPa)		63,6	55,9	67,0	60,8	-

Tabela 5: Resultados dos ensaios da primeira etapa para seleção da composição de pastas.

Fonte: Gomes et al. (2003).

3.4 CONCLUSÃO

O concreto auto-adensável ainda é uma tecnologia em desenvolvimento no mercado internacional e principalmente no Brasil. Nesse âmbito o CAA ainda possui um grande potencial de desenvolvimento de pesquisas.

Possivelmente o método que seria mais bem difundido e aceito no Brasil seria o método proposto por Tutikian, pois é de simples dosagem, além deste autor defender o uso de materiais alternativos que oferecem o mesmo resultado e que estão disponíveis na região da confecção da dosagem, além de ser um método rápido e simples, tal qual o método IPT/EPUSP.

Os estudos dos autores citados, assim como outros pesquisadores brasileiros, contribuíram muito para a elaboração e adaptação da norma ao cenário brasileiro.

REFERÊNCIAS

2º FÓRUM MINEIRO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2012, Belo Horizonte. **Avanços e Inovações na Normalização Técnica de Concreto**. Belo Horizonte: [s.n.], 2012. 73 p. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/331/anexo/cb18271112.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 3º ed. São Paulo, 1997.

GOMES, Paulo César Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues de. **Métodos de Dosagem de Concreto Auto Adensável**. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 2009. 172 p.

GOMES, P. C. C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L. **Uma nova metodologia para obtenção de concretos auto-adensáveis de alta resistência com aditivos minerais**. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 2003. Disponível em: <http://engipapers.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=749:00625coaa2003&catid=83&Itemid=499>. Acesso em: 09 set. 2018.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Métodos para dosagem de concreto auto adensável**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3918>>. Acesso em: 3 maio 2018.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis**. 2007. 163 f. Tese de Doutorado (Doutorado em engenharia civil) - UFRGS, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/11309>>. Acesso em: 09 set. 2018.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto auto-adensável ainda é uma tecnologia em desenvolvimento no mercado internacional e principalmente no Brasil. Nesse âmbito o CAA ainda possui um grande potencial de desenvolvimento de pesquisas.

Possivelmente o método que seria mais bem difundido e aceito no Brasil seria o método proposto por Tutikian, pois é de simples dosagem, além deste autor defender o uso de materiais alternativos que oferecem o mesmo resultado e que estão disponíveis na região da confecção da dosagem, além de ser um método rápido e simples, tal qual o método IPT/EPUSP.

Os processos de dosagem, assim como os ensaios de trabalhabilidade, não possuem normalização, os resultados obtidos não se destoam muito de um autor para outro, sendo viável a normalização destes.

REFERÊNCIAS

2º FÓRUM MINEIRO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2012, Belo Horizonte. **Avanços e Inovações na Normalização Técnica de Concreto**. Belo Horizonte: [s.n.], 2012. 73 p. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/331/anexo/cb18271112.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 3º ed. São Paulo, 1997.

GOMES, Paulo César Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues de. **Métodos de Dosagem de Concreto Auto Adensável**. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 2009. 172 p.

GOMES, P. C. C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L. **Uma nova metodologia para obtenção de concretos auto-adensáveis de alta resistência com aditivos minerais**. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 2003. Disponível em: <http://engipapers.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=749:00625coaa2003&catid=83&Itemid=499>. Acesso em: 09 set. 2018.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Métodos para dosagem de concreto auto adensável**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3918>>. Acesso em: 3 maio 2018.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis**. 2007. 163 f. Tese de Doutorado (Doutorado em engenharia civil) - UFRGS, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/11309>>. Acesso em: 09 set. 2018.

APÊNDICE I

TRAÇO UNITÁRIO (c:f:a:b)	CIMENTO (kg)		FINOS (kg)		BRITA (kg)	
	Massa Total	Acréscimo	Massa Total	Acréscimo	Massa Total	Acréscimo
1:0:1,12:1,88	8,93		0,00		16,79	
1:0,1:1,02:1,88	9,80	0,87	0,98	0,98	18,42	1,64
1:0,2:0,92:1,88	10,87	1,07	2,17	1,19	20,44	2,01
1:0,3:0,82:1,88	12,19	1,32	3,66	1,49	22,92	2,48
1:0,4:0,72:1,88	13,89	1,70	5,56	1,90	26,11	3,20
1:0,5:0,62:1,88	16,13	2,24	8,06	2,50	30,32	4,21
1:0,6:0,52:1,88	19,23	3,10	11,54	3,48	36,15	5,83
1:0,7:0,42:1,88	23,81	4,58	16,67	5,13	44,76	8,61
1:0,8:0,32:1,88	31,25	7,44	25,00	8,33	58,75	13,99
1:0,9:0,22:1,88	45,46	14,21	40,91	15,91	85,46	26,71
1:1:0,12:1,88	83,34	37,88	83,34	42,43	156,68	71,21

Tabela 1: Determinação da proporção entre o material fino e o substituído

Fonte: Tutikian (2007)

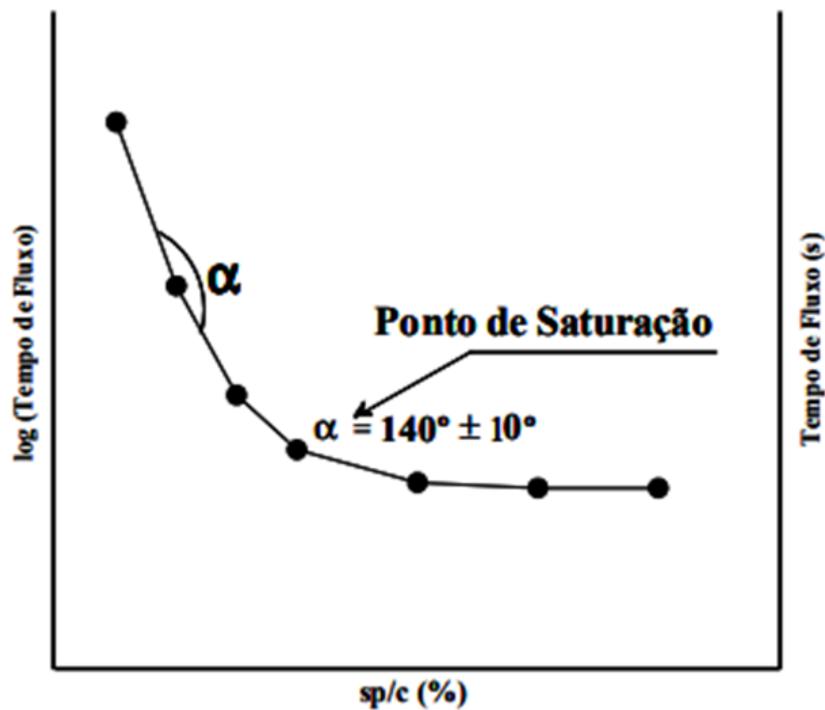


Figura 1 - Ponto de saturação obtido através do cone de Marsh.

Fonte: Gomes et al. (2003)

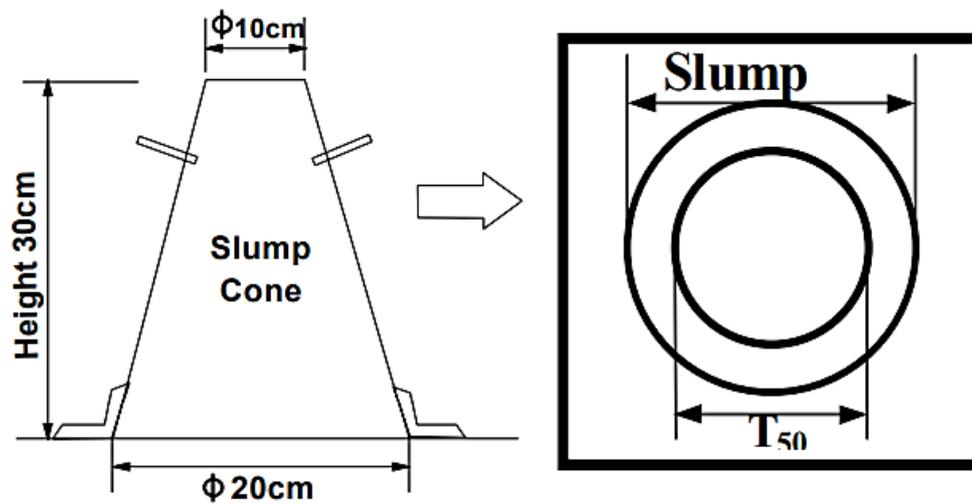


Figura 2: Ensaio de extensão de fluxo.
Fonte: Gomes et al. (2003).

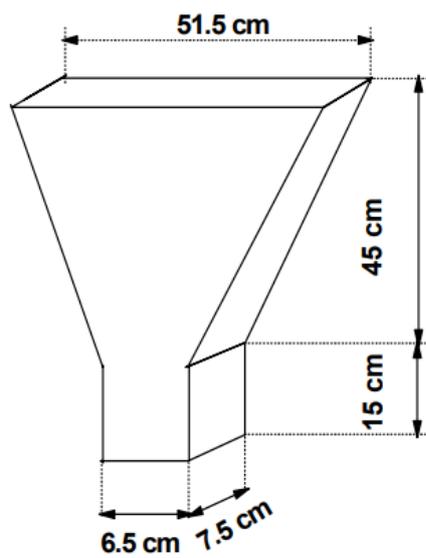


Figura 3: Ensaio do Funil-V.
Fonte: Gomes et al. (2003).

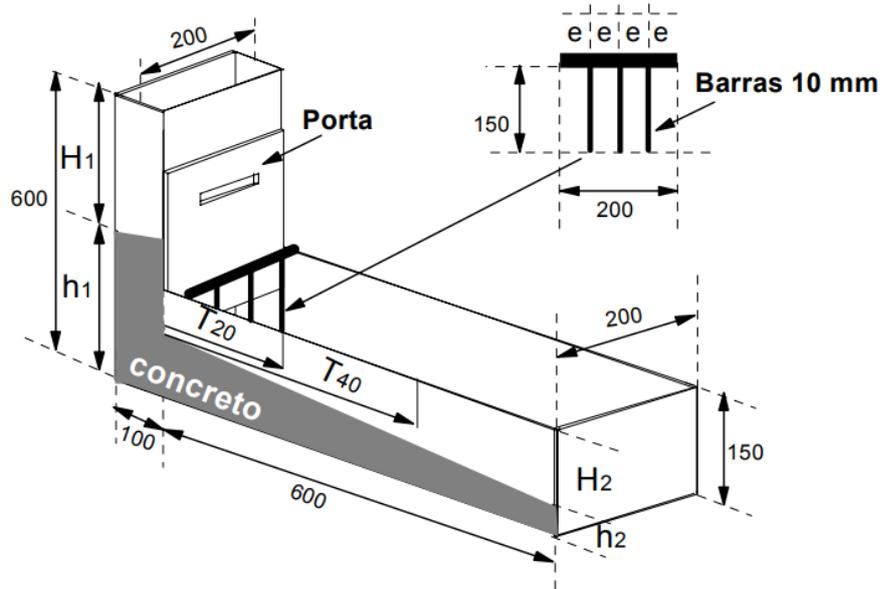


Figura 4: Ensaio da caixa-L.
Fonte: Gomes et al. (2003).

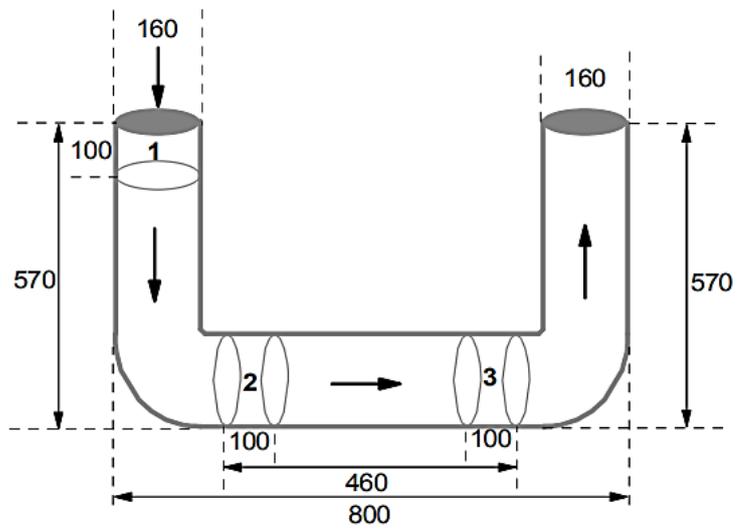


Figura 5: Ensaio da caixa-U.
Fonte: Gomes et al. (2003).