

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CAMPUS-MACAÉ



DESENVOLVIMENTO DE DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL  
TENDO EM VISTA SUA IMPLEMENTAÇÃO EM FÁBRICA DE PRÉ-  
MOLDADOS QUE PRODUZ PEÇAS EM CONCRETO ARMADO E  
PROTENDIDO

LUCAS DE OLIVEIRA CARVALHO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Programa de Graduação  
em Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé,  
como requisito parcial para aquisição do  
título de engenheiro civil.

Orientador: Prof. M.Sc Bruno Barzellay  
Ferreira da Costa

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Jorge Vidal  
Dultra.

Macaé

Julho de 2017

DESENVOLVIMENTO DE DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL  
TENDO EM VISTA SUA IMPLEMENTAÇÃO EM FÁBRICA DE PRÉ-  
MOLDADOS QUE PRODUZ PEÇAS EM CONCRETO ARMADO E  
PROTENDIDO

LUCAS DE OLIVEIRA CARVALHO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO AO PROGRAMA  
DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
– CAMPUS MACAÉ, COMO REQUISITO PARCIAL PARA AQUISIÇÃO DO  
GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

---

Prof. Bruno Barzellay Ferreira da Costa, M.Sc  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

---

Prof. Anselmo Leal Carneiro, M.Sc  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

---

Prof. Marcos Antônio Campos Rodrigues, M.Sc  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

MACAÉ; RJ - BRASIL

JULHO de 2017

Carvalho, Lucas de Oliveira

Desenvolvimento de dosagem de concreto autoadensável tendo em vista sua implementação em fábrica de pré-moldados que produz peças em concreto armado e protendido/ Carvalho, Lucas de Oliveira – Macaé: UFRJ/2017.

74 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Prof. M.Sc Bruno Barzellay  
Ferreira da costa

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Jorge Vidal  
Dultra

Projeto de graduação – UFRJ/ Macaé/ Curso  
de Engenharia Civil, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 72 - 74.

1.Concreto autoadensável, 2. Pré-moldados, 3.  
Concreto protendido, 4. Areia artificial. I. Carvalho,  
Lucas de Oliveira, II. Universidade federal do Rio de  
Janeiro, Macaé, Curso de Engenharia Civil. III.  
Título.

*“Deus está nos detalhes.”*

*Ludwig Mies van der Rohe*

*Dedico este trabalho aos meu pais,  
Josiane e Marcos, ao meu  
padrasto, Carlos Alberto, meus  
avós, Cleusa e Querubim e aos  
meus irmãos.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pois Por Ele e Para Ele são todas as coisas.

À vida que apresentou-me desafios, mas dotou-me de coragem e sabedoria para enfrenta-los e vencê-los.

À mainha, por me ensinar que persistir é o que torna os sonhos possíveis.

Aos meus irmãos, o de sangue e os da vida, pelo incentivo.

Ao meu pai, por ser exemplo de trabalho e caráter.

Ao meu padrasto Carlos Alberto, por investir nos meus projetos e jamais duvidar do meu potencial, sendo meu conselheiro na vida.

Aos amigos, por me encorajar nos momentos difíceis.

À Manoela Leal, por tornar a vida mais leve nos meus momentos mais tempestivos.

À Fernanda e Jailton, pelo acolhimento em Macaé.

Aos mestres pela disponibilidade em compartilhar o conhecimento tão essencial ao meu futuro, em especial os professores Bruno Barzellay e Gustavo guimarães.

Aos professores e amigos, Eduardo e Cabala pela parceria constante.

Ao Sr. José Carlos Belitardo, pelos constantes ensinamentos.

À minha vó Cleusa e meu vô Querubim pelos cuidados, além dos meus tios e tias.

À Engenharia Civil por me fazer ver que nenhum limite é intransponível.

À mim mesmo por não ter desistido e por perseguir no quê acredito.

## RESUMO

CARVALHO, Lucas O. **Desenvolvimento de dosagem de concreto autoadensável tendo em vista sua implementação em fábrica de pré-moldados que produz peças em concreto armado e protendido.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Macaé, 2017.

A construção civil enfrenta constantemente grandes desafios no que diz respeito a inovação e implementação de novos processos construtivos. O concreto autoadensável (CAA) é considerado um dos maiores avanços dos últimos anos na construção civil, isto porque sua utilização vem gerando benefícios em todas as áreas que compõem a prática de construir. Dentre as vantagens é possível verificar benefícios econômicos, ambientais e técnicos, além de melhorias nas condições de trabalho, devido a redução de ruído e má postura ergométrica causada pelo uso do vibrador no processo de adensamento, etapa esta, eliminada no uso do CAA. A indústria dos Pré-Fabricados é responsável por parcela significativa do consumo de concreto no mundo, tendo como sua maior vantagem a característica de ser um processo industrializado, com controles de qualidade mais rigorosos que as construções *in loco*. Sendo assim, a utilização do CAA é imprescindível para uma maior produtividade, eliminando problemas de acabamento das peças, comuns ao uso do concreto convencional (CCV), economia na mão de obra, além de reduzir o tempo de produção. Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo de dosagem de um traço de concreto autoadensável para atender as necessidades de uma fábrica de pré-moldados situada na região norte fluminense que utiliza elementos em concreto protendido como seu principal produto. Foi elaborado um traço utilizando 45% (em massa) de areia fina proveniente do processo de britagem para compor o agregado miúdo afim de suprir a demanda de finos, garantindo a coesão e fluidez do concreto, Cimento CP-V ARI RS, aditivo superplastificante base policarboxilato (PC), areia média e brita 0. Através da avaliação dos ensaios de propriedades do concreto no estado fresco, o traço elaborado atendeu todos os requisitos da NBR 15823:2010 habilitando-o para uso em elementos pré-moldados além de reduzir o tempo de desforma de 24 para 20

horas devido o ganho de resistência inicial em relação ao CCV. O custo dos materiais para produção do concreto ficou apenas 1% mais caro, porém, levando em consideração a redução de mão de obra e utilização do vibrador de imersão, o CAA apresenta redução significativa do custo final da produção da fábrica.

*Palavras-chave:* Concreto autoadensável, Pré-moldados, Concreto protendido, Areia artificial.



## ABSTRACT

CARVALHO, Lucas O. **Development of self- compacting concrete dosage in view of its pre-molded plant that produces reinforced and prestressed concrete parts.** Final Graduation Project (Graduate in Civil Engineer) – UFRJ. Macaé, 2017.

Civil construction constantly faces major challenges that do not allow an innovation and implementation of new constructive processes. Self Compacting Concrete (SCC) is considered one of the greatest advances lately in construction, where its management generates benefits in all areas of construction. That is, economic, environmental and technical benefits, as well as better working conditions. High exposure to noise and ergonomic hazards caused by the use of the vibrator during stage of densification, will also be eliminated when using SCC. The prefabricated industry is responsible for much of the world's concrete consumption, with its biggest advantage being an industrialized process, with rigorous quality controls and in-site construction. Therefore, the use of SCC is essential for greater productivity, eliminating problems at finishing stage, inherent to CC, reducing labor and time spent. The aim of the present work was to conduct a dosage study of a self-compacting concrete trait to attend the needs of a Precast Factory, located in the northern region of Rio de Janeiro, which uses prestressed concrete elements as its main product. A concret mix was prepared using 45% of fine sand from the crushing process to compose the small aggregate in order to supply the demand for fines, ensuring the cohesion and fluidity of concrete, Cement CP-V ARI RS, superplasticizer additive base polycarboxylate(PC), medium sand and gravel 0. Through the evaluation of concrete properties tests in the pasty state, the concrete mixture studied presented all the requirements of NBR 15823: 2010, enabling it to be used in precast elements and reducing the deformation time from 24 to 20 hours due to the initial resistance increase in relation to the CCV. The cost of materials for the production of concrete was only 1% more expensive, however, considering the reduction of labor costs and the non-use of the immersion vibrator, the CAA showed a significant reduction of the final cost of production of the factory.

*Keywords:* Self Compacting Concrete, prefabricated, prestressed concrete, artificial sand.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	18
2.1 - BREVE HISTÓRICO.....	18
2.2 - CONCRETO AUTOADENSÁVEL – GENERALIDADES.....	19
2.3 - MATERIAS PRIMAS.....	20
2.3.1- CIMENTO PORTLAND.....	21
2.3.2- AGREGADO MIÚDO.....	22
2.3.3- AGREGADO GRAÚDO.....	23
2.3.4- ADIÇÕES MINERAIS.....	24
2.3.5- ADITIVOS.....	24
2.3.6- ÁGUA.....	26
2.4 – MÉTODOS DE DOSAGEM.....	27
2.4.1 – MÉTODO OKAMURA (1995).....	27
2.4.2 – MÉTODO DE GOMES (2002).....	29
2.4.3 – MÉTODO TUTIKIAN & DAL MOLIN (2007).....	30
2.5 – PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO.....	31
2.5.1 – ENSAIOS PARA CONTROLE DA TRABALHABILIDADE.....	31
2.5.1.1 – SLUMP FLOW TEST.....	32
2.5.1.2 – ENSAIO ANEL J.....	34
2.5.1.3 – ENSAIO DE CAIXA-L.....	35
2.6 – PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO.....	37
2.7 - APLICABILIDADES DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL.....	38
2.7.1- INDUSTRIA DE PRÉ-FABRICADOS.....	39
3- MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1- MATERIAS PRIMAS.....	42
3.1.1 – CIMENTO.....	42
3.1.2 – AGREGADOS MIUDOS.....	42
3.1.3 – AGREGADO GRAÚDO.....	43
3.2.4 – ADITIVO.....	43
3.2 ENSAIOS.....	44
3.2.1 – DEFINIÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR.....	44
3.2.1.1 – ENSAIO DE COMPACIDADE.....	44
3.2.2 FATOR ÁGUA/CIMENTO (a/c).....	45
3.2.3 TEOR DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.....	45

3.2.3.1 – ESTUDO DA PASTA (Melo et al. 2005) .....	45
3.2.3.2 – ESTUDO DA ARGAMASSA .....	47
3.2.4 - PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL .....	48
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	50
4.1 – AGREGADOS .....	50
4.1.2 - CARACTERIZAÇÃO .....	50
4.1.3 – DEFINIÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR .....	52
4.1.4 – ESTUDO DA PASTA .....	54
4.1.5- ESTUDO DA ARGAMASSA .....	55
4.1.6 – DESENVOLVIMENTO DO TRAÇO E PRODUÇÃO DO CONCRETO .....	56
4.1.7 - APLICAÇÃO DO CONCRETO DOSADO .....	64
4.1.8 - COMPARATIVO ENTRE CAA E CVV .....	69
4.1.8.2 – CUSTO .....	69
5- CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	72
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	74

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Proporção dos materiais entre o CAA e CVV.....	28
<b>Figura 2</b> - Diagrama de dosagem do método OKAMURA (1995).....	28
<b>Figura 3</b> - Diagrama de dosagem do método de Gomes (2002). ....	30
<b>Figura 4</b> - Diagrama de dosagem do método Tutikian & Dal Molin (2007). ....	31
<b>Figura 5</b> - Concreto com segregação e exsudação aparente. ....	32
<b>Figura 6</b> - Concreto sem segregação e exsudação aparente .....	33
<b>Figura 7</b> - Perspectiva e execução do ensaio.....	34
<b>Figura 8</b> - Posicionamento do cone de Abrams.....	34
<b>Figura 9</b> - Ensaio Anel J. ....	35
<b>Figura 10</b> - Detalhe da caixa L.....	36
<b>Figura 11</b> - Vista lateral da caixa-L. ....	37
<b>Figura 12</b> - Fluxograma experimental da dosagem do CAA. ....	41
<b>Figura 13</b> - Funil de Marsh.....	46
<b>Figura 14</b> - Cone para Mini Slump. ....	47
<b>Figura 15</b> - Formato das partículas areia média (A) e (B). ....	50
<b>Figura 16</b> - Detalhe das partículas das areia média (A) e (B) - microscópio óptico, lente 4x. ....	51
<b>Figura 17</b> - Curvas granulométricas das areias analisadas.....	52
<b>Figura 18</b> - Curva de espalhamento da pasta.....	54
<b>Figura 19</b> - Aspecto do espalhamento da pasta. ....	55
<b>Figura 20</b> - Curva Teor de aditivo x Espalhamento. ....	56
<b>Figura 21</b> - Aspecto do espalhamento - Traço com 60%AM e 40%AF.....	58
<b>Figura 22</b> - Aspecto do espalhamento - Traço com 55%AM e 45%AF.....	58
<b>Figura 23</b> - Ensaio de espalhamento (Slump Flow). ....	62
<b>Figura 24</b> - Ensaio de habilidade passante sob fluxo livre (anel J).....	63
<b>Figura 25</b> - Aspecto da borda após o ensaio anel J. ....	64
<b>Figura 26</b> - Detalhe armadura e fôrma da viga. ....	65
<b>Figura 27</b> - Detalhe lateral da armadura e fôrma da viga utilizadas para teste. .....	65
<b>Figura 28</b> - Detalhe do espaçamento da armadura. ....	66

<b>Figura 29</b> - Espalhamento do concreto após o ensaio de Slump Flow. ....	67
<b>Figura 30</b> - Detalhe do concreto chegando na extremidade da viga. ....	68
<b>Figura 31</b> - Detalhe viga desformada. ....	69
<b>Figura 32</b> - Comparativo da resistência à compressão entre o CAA e o CCV. ....	71

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Especificações da água para utilização em concretos protendidos.	26
<b>Tabela 2</b> – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto .....	27
<b>Tabela 3</b> - Características e recomendações do aditivo superplastificante. ....	43
<b>Tabela 4</b> - Características dos agregados miúdos.....	51
<b>Tabela 5</b> - Determinação da massa unitária compactada e índice de vazios B0 e AM.....	53
<b>Tabela 6</b> - Determinação da massa unitária compactada e índice de vazios (B0+AM) + AF. ....	53
<b>Tabela 7</b> - Traço inicial.....	57
<b>Tabela 8</b> - Traço (60%AM - 40%AF).....	58
<b>Tabela 9</b> - Traço (55%AM-45%AF).....	58
<b>Tabela 10</b> - Características do traço e resultado dos ensaios – Temperatura 23°C. ....	59
<b>Tabela 11</b> - Características do traço e resultado dos ensaios – Temperatura 30°C. ....	60
<b>Tabela 12</b> - Classes do concreto em função da sua aplicação.....	61
<b>Tabela 13</b> - Características do traço com 47% de brita em relação ao total de agregados. ....	62
<b>Tabela 14</b> - Resultado do traço final - Temperatura 23°C.....	68
<b>Tabela 15</b> - Comparativo de custos entre o CAA e CVV. ....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a - areia

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas

a/c – Relação água/cimento

CAA – Concreto autoadensável

CCV- Concreto convencional

cm- Centímetros

°C – Graus Celsius

Fck - Resistência características à compressão do concreto

Fcj - Resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias.

H – Relação água/materiais secos

Kg – Quilograma

Kg/m<sup>3</sup> - Quilograma/metro cúbico

m<sup>3</sup> - Metro cúbico

m- Agregados

mm – Milímetros

NBR – Norma Brasileira

p – Pedra

R\$ - Preço

s - Segundos

Sd – Desvio padrão

$\alpha$  - Teor de argamassa seca



## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de reinventar-se para atender demandas cada vez maiores torna a indústria da construção civil um dos setores mais dinâmicos do mundo, sendo o concreto, o material mais consumido, em volume. Tendo em vista a constante luta por melhorias nos processos e procedimentos dentro deste setor, o concreto autoadensável (CAA) surgiu como uma proposta de avanço em todos os quesitos: qualidade, segurança, produção e custos, traduzidos em elevado desempenho. Todos esses ganhos estão atrelados a versatilidade deste material, ou seja, a sua capacidade de adensamento sobre o seu próprio peso, ocupando todos os espaços da forma, mesmo na presença de densa taxa de armadura, tendo como principais características a fluidez e a coesão.

A ideia de implementação do CAA na indústria de pré-moldados não é tão inovadora, tendo em vista que este setor já o enxerga como grande responsável por bons resultados, bem como o uso do concreto protendido. A união desses dois conceitos proporciona soluções imbatíveis no quesito desempenho, ou seja, elementos com seção reduzida (consequentemente redução de peso próprio), peças que vencem vãos maiores quando comparadas ao concreto armado, além de melhor acabamento proporcionado pelo CAA devido a eliminação da etapa de adensamento.

O objetivo deste trabalho é, através de um estudo de dosagem, desenvolver um traço de concreto autoadensável com o menor custo possível para atender às necessidades de uma fábrica de pré-moldados situada na região norte fluminense que tem como sua principal característica a utilização do concreto protendido na produção de elementos pré-moldados de elevado desempenho.

A pesquisa ocorreu no laboratório de materiais de construção da Universidade Federal do Rio de Janeiro – campus Macaé. Os materiais envolvidos foram adquiridos através de doações da fábrica em questão e de empresas parceiras à universidade, com intuito de fortalecer os laços entre mercado e o meio acadêmico, objetivando o desenvolvimento técnico e científico.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 - BREVE HISTÓRICO

Desenvolvido em 1986 na Universidade de Tóquio, no Japão, o concreto autodensável (CAA) representa um dos maiores avanços na tecnologia de materiais na construção civil. Sua versatilidade o torna imbatível nos quesitos de fluidez e coesão devido ao fato do concreto ser um dos materiais mais consumidos no mundo.

Segundo OKAMURA (1999), o concreto autoadensável surgiu devido à escassez de mão de obra qualificada na indústria da construção civil, resultando em baixa qualidade das construções no Japão, gerando problemas na execução de estruturas em concreto armado, mais acentuadamente em obras com formas complexas e elevadas taxas de armaduras. Em 1988, o Prof. Okamura produziu o seu primeiro protótipo com materiais já existentes no mercado, obtendo desempenho satisfatório no que se refere ao encolhimento por secagem, endurecimento, hidratação e densidade após endurecimento, sendo denominado inicialmente de “Concreto de Alta Performance” (OKAMURA,1997). Tratava-se de uma abordagem inicial para a difusão deste material, que após uma década surgiu na Europa, mais precisamente na Suécia e Holanda (OKAMURA e OUCHI,1999).

Apresentando como principais características a fluidez e coesão, que garantem a resistência a segregação, propriedade importante para se obter habilidade passante (característica de passar pelas armaduras sem interrupção de fluxo e separação dos materiais), o uso do CAA torna-se mais vantajoso em relação aos concretos convencionais (CCV), pois, com essas características de autoadensabilidade, elimina-se a etapa de adensamento, reduzindo o tempo de concretagem, além de melhorar o acabamento e qualidade das peças concretadas. A utilização do CAA se consolidou através dos diversos métodos de dosagem, desenvolvidos paralelamente aos estudos do Prof. Okamura, dentre eles, os mais conhecidos são os métodos propostos por Ouchi et al. (1996) e Okamura (1997), Sedran et al. (1996), Petersson et al. (1996) e

Billberg(1999), EFNARC (2001), além de métodos mais recentes como os de Gomes (2002), de Tutikian (2004), de Melo-repette (2005) e de Tutikian & Dal Molin (2007).

As pesquisas sobre CAA vêm alcançando grandes proporções. Em 2016, no 8º Simpósio Internacional da RILEM sobre Concreto autoadensável (International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete) mais de 170 artigos foram submetidos, provenientes de 32 países, abrangendo temas como: Design de mistura do CAA, materiais, método de ensaios, reologia e produtividade, produção, propriedades físicas, durabilidade, desempenho estrutural, reforço com fibra, sustentabilidade e estudos de caso. Estes trabalhos são reflexo dos avanços nas pesquisas e na implementação do CAA em todo o mundo, realçando o amplo potencial de desenvolvimento que esse material apresenta.

## 2.2 - CONCRETO AUTOADENSÁVEL – GENERALIDADES

O concreto autoadensável (CAA) é aquele capaz de fluir e se compactar sob o seu próprio peso e preencher completamente todos os espaços da fôrma mesmo na presença de densa taxa de armadura, mantendo a homogeneidade, sem a necessidade de qualquer compactação adicional (EFNARC, 2005). Essa característica permite uma maior versatilidade do CAA no preenchimento das fôrmas quando comparada às dificuldades que o concreto comum apresenta em algumas situações de concretagem (armadura densa, falta ou má vibração, peças esbeltas, base de pilares entre outros).

Para um concreto ser considerado autoadensável, três propriedades devem ser alcançadas simultaneamente: Fluidez, habilidade passante ou coesão e resistência a segregação (EFNARC, 2002). O CAA deve vencer os diversos obstáculos durante a concretagem fluindo sozinho, pela ação da gravidade, nos espaços das formas, mantendo-se homogêneo. Para isso, não basta apenas ser um concreto fluido. É necessário também, que além de fluidez, o concreto se apresente coeso, ou seja, sem segregação e, ainda, com habilidade passante suficiente para vencer os obstáculos em cada caso.

TUTIKIAN e DAL MOLIN (2015) definem a fluidez como a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de fluir dentro da fôrma e preencher todos os espaços, habilidade passante como a propriedade que caracteriza a capacidade da mistura de escoar pela fôrma, sem segregar ou sofrer obstrução do fluxo ao passar por entre as armaduras de aço e resistência a segregação como a capacidade do CAA de se manter coeso ao fluir dentro da fôrma.

A resistência e durabilidade do concreto está diretamente ligada às etapas de produção e execução do mesmo. A capacidade do CAA de preencher toda a fôrma, expulsando as bolhas de ar, gera uma maior compactação, o que influencia diretamente a qualidade do concreto endurecido, pois, ao dispensar a etapa de adensamento, elimina-se a ocorrência de falhas de concretagem (brocas ou ninhos) que são decorrentes da má execução desta etapa. A eliminação da etapa do adensamento aliado à garantia do preenchimento total dos espaços das formas certamente configura características vantajosas ao optar por um CAA.

O CAA deve depender apenas da ação da gravidade sobre sua massa, garantindo assim versatilidade e agilidade no processo de concretagem, aumentando a produtividade devido a eliminação da etapa de adensamento, podendo assim, concretar um maior volume em menor tempo.

Para assegurar as propriedades de fluidez, resistência a segregação e coesão no estado fresco, as composições do CAA requerem a utilização de aditivos químicos superplastificantes, combinados ou não com um agente de viscosidade e certa concentração de finos (AITCIN, 2000). Uma viscosidade adequada garante a manutenção da coesão, permitindo que a pasta carregue o agregado graúdo de forma homogênea, podendo ser obtida com a presença ideal de finos na mistura, ou seja, concreto com teor ideal finos pode apresentar coesão sem a necessidade de aditivos modificadores de viscosidade.

### 2.3 - MATERIAS PRIMAS

Os materiais constituintes do CAA são os mesmos utilizados no CCV: Cimento, agregados, adições, aditivos e água. Tendo o CAA uma maior

quantidade de finos e de aditivos plastificantes, superplastificantes e/ou modificadores de viscosidade (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

### 2.3.1- CIMENTO PORTLAND

De modo geral, não existem restrições para os tipos de cimento Portland utilizados na fabricação do CAA. A escolha do tipo de cimento dependerá apenas das exigências gerais do concreto, como: Resistência e durabilidade.

É sabido que quanto mais fino for o cimento, mais rápida é a sua reação com a água (Hidratação). Segundo NEVILLE (1997), os cimentos mais finos apresentam maior contribuição para o ganho de resistência.

Para TUTIKIAN e DAL MOLIN (2015), na determinação da reologia do cimento, feita através do controle de  $C_3A$  (aluminato tricálcico presente no clínquer) através da formação de etringita, quanto menor for a quantidade de  $C_3A$ , mais fácil será o controle reológico do cimento, bem como o enrijecimento da mistura se dará por um tempo mais longo. O teor de  $C_3A$  em massa deve ser inferior a 10%, cimentos com teores de  $C_3A$  superiores a esse valor podem acarretar na perda de fluidez (EFENARC, 2002). Sendo assim a escolha do cimento é de extremamente importante para o controle.

É sabido que o  $C_3A$  é o componente do clínquer que reage primeiro, e é o principal responsável pela resistência do cimento Portland nas primeiras horas. Assim, quando é necessária uma manutenção da fluidez por maior tempo, deve-se optar por cimentos Portland com baixo teor de  $C_3A$  e, nesse caso, o CP III e CP IV são uma boa opção, pois, além do clínquer (cujo  $C_3A$  está presente), contam com consideráveis adições de escória e pozolana, respectivamente.

Como a demanda por finos no CAA é elevada, em virtude da necessidade de aumentar a coesão da mistura, cimentos de maior superfície específica são mais apropriados, devendo-se aumentar os cuidados em relação ao calor de hidratação e retração do concreto (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015). O calor de hidratação é o calor liberado durante as reações de hidratação do cimento Portland e em determinadas situações pode acarretar em trincas e fissuras. A retração do concreto é o processo de redução do volume da massa de concreto

decorrente da perda de água. Pelo fato do CAA ter elevado consumo de cimento Portland a retração é acentuada podendo, também, ocasionar fissuras nas peças de concreto.

### 2.3.2- AGREGADO MIÚDO

O agregado miúdo segundo a NBR 7211:2005 é aquele cujo as partículas são passantes na peneira com abertura de malha de 4,75 mm e que ficam retidos na peneira com abertura de malha de 15  $\mu$ m, em ensaios realizados de acordo com a ABNT NM 248.

Segundo TUTIKIAN e DAL MOLIN (2015), todas as areias são adequadas para a produção do CAA, podendo-se utilizar tanto areias naturais quanto artificiais. As areias naturais são mais recomendadas devido ao formato dos seus grãos, que são mais arredondados e possuem textura mais lisa, aumentando a fluidez da mistura. No caso do uso de areias artificiais deve-se ter um cuidado especial devido a sua composição granulométrica apresentar descontinuidade nas frações intermediárias, devendo então ser corrigida com uma composição de areia natural média.

A quantidade de finos com partículas de diâmetro inferiores a 0,125 mm deve ser considerado como pó, e é muito importante para a reologia do CAA. Uma quantidade mínima de finos (provenientes dos ligantes e da areia) evita a segregação. Os agregados graduados com intervalos são freqüentemente melhores do que aqueles classificados continuamente, pois gera atrito interno reduzindo a fluidez (EFNARC, 2002).

O formato das partículas do agregado miúdo, além de influenciar na fluidez também atua na resistência ao cisalhamento da argamassa. Segundo OKAMURA e OUCHI (2003) as partículas com formato mais angulares aumentam a resistência ao cisalhamento, atuando diretamente na redução da deformabilidade do concreto.

TUTIKIAN e DAL MOLIN (2015) ressaltam que como o CAA necessita de adição de finos, quanto menor for o módulo de finura do agregado miúdo, melhor para alcançar elevada coesão, devendo-se evitar areias muito grossas (módulo de finura superior a 3).

### 2.3.3- AGREGADO GRAÚDO

Uma das principais características do CAA é a sua habilidade passante, ou seja, capacidade do concreto de transpor obstáculos no momento do seu lançamento, preenchendo toda a fôrma, sem que haja segregação. Para garantir essa propriedade, deve-se ter cuidado com a escolha do agregado graúdo quanto a sua forma e dimensão.

A forma e textura superficial do agregado graúdo influencia diretamente no comportamento mecânico do concreto, apesar dos agregados angulares com superfície áspera apresentarem uma melhor aderência com a pasta de cimento, estes também apresentam um maior consumo de água em relação aos agregados de superfície lisa e arredondados, além de diminuir a trabalhabilidade (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

Quanto à dimensão máxima, recomenda-se que esta não seja maior que 19 mm, sendo usuais dimensões entre 12,5 e 19 mm (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015). GOMES e BARROS (2009) recomendam que a dimensão máxima não seja maior que 10 mm, porém este valor é definido de acordo com as restrições de espaçamento entre armaduras e tamanho dos elementos estruturais, sabendo-se que dimensões menores reduzem a segregação, possibilitando o uso de pastas menos viscosas no CAA.

Para se obter concretos mais resistentes, deve se empregar agregados com diâmetros menores, aumentando a compacidade da mistura, sendo assim, deve-se utilizar agregado graúdo com diâmetro máximo 9,5 mm, ou seja, Brita 0 (FUSCO, 2008).

O agregado graúdo também apresenta influência no módulo de elasticidade do concreto. Segundo MEHTA e MONTEIRO (2014), agregados mais densos, ou seja, menos porosos, apresentam maior módulo de elasticidade, sendo assim, quanto maior a quantidade de agregado graúdo com alto módulo de elasticidade em uma mistura de concreto, maior será o módulo de elasticidade do concreto.

#### 2.3.4- ADIÇÕES MINERAIS

A produção do CAA requer grande quantidade de finos para que as características de coesão e resistência a segregação sejam alcançadas. Os finos também são responsáveis pela durabilidade e resistência do concreto, pois, aumentam a compacidade ao preencher os vazios da mistura, no caso de adições inertes (sem atividade química) ou quimicamente ativas, reagindo com o hidróxido de cálcio, produto da hidratação do cimento (reação pozolânica).

As adições minerais geralmente são materiais silicosos, adicionados ao concreto em quantidades variadas, desde 6 até 70% por massa do material cimentício total (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

As adições minerais mais comuns na produção do CAA são: cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz e fíler calcário.

#### 2.3.5- ADITIVOS

Para a produção do CAA, comumente são utilizados dois tipos de aditivos: os superplastificantes e os modificadores de viscosidade. Os aditivos superplastificantes são empregados para proporcionar fluidez à mistura, enquanto os modificadores de viscosidade agem no aumento da coesão, evitando a exsudação e segregação do concreto (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

Os aditivos superplastificantes, também chamados de redutores de água, são capazes de reduzir a água de amassamento em uma determinada mistura de concreto de três a quatro vezes mais efetivamente quando comparados aos aditivos redutores de água convencionais. Seus compostos, quando adsorvidos nas partículas do cimento, conferem forte carga negativa, ajudam a diminuir consideravelmente a tensão superficial da água circundante, elevando acentuadamente a fluidez do sistema (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

O Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, "Avaliação de Aditivos Superplastificantes Base Policarboxilatos Destinados a Concretos de Cimento



Portland” HARTMANN e HELENE (2003), classificam os aditivos superplastificantes de acordo com suas características químicas e físicas como:

I) Lignossulfonatos (LS)

Os Lignossulfonatos são conhecidos como plastificantes de primeira geração e em alguns casos como superplastificantes, permitindo redução de água da mistura de 8 a 12%, geralmente incorporam ar e retardam o tempo de pega do cimento.

II) Naftaleno Sulfonato (NS) e Melanina Sulfonato (MS)

São conhecidos comercialmente como aditivos superplastificantes de 2ª geração, permitindo a redução de água de até 25%. Os aditivos a base de Naftaleno (NS) não incorporam ar e praticamente não interferem no tempo de pega do cimento, já os aditivos a base de Melanina (MS) podem apresentar uma tendência a retardar a pega do cimento, e, eventualmente incorporar ar (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015)

III) Policarboxilatos (PC)

Os aditivos a base de Policarboxilatos (PC) são os mais indicados para a utilização no CAA, pois, são considerados aditivos superplastificantes de alta eficiência, agindo na dispersão e desfloculação das partículas de cimento, o que permite uma redução de até 40% da água na mistura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015). Esse desempenho superior em relação aos aditivos de primeira e segunda geração é dado pela diferença na forma de dispersão das partículas. Nos superplastificantes tradicionais os polímeros absorvidos pelas partículas do cimento se acumulam na sua superfície, mantendo a carga negativa (desbalanceamento) do cimento fazendo com que suas partículas se dispersem por repulsão elétrica. Já os superplastificantes de terceira geração

(PC) tem suas cadeias constituídas de polímeros de éter carboxílico com largas cadeias laterais ramificadas, o que aumenta a sua área superficial proporcionando uma maior eficiência na dispersão.

Os aditivos modificadores de viscosidade (VMA) são produtos à base de polissacarídeos com cadeiras poliméricas de alto peso molecular que quando adicionados ao concreto, melhoram a coesão, inibem a segregação e limitam a perda de água por exsudação. São utilizados quando o concreto não dispõe de finos, ou seja, a mistura contém poucas partículas pequenas, fazendo com que diminua a área superficial do material, e conseqüentemente, o consumo de água (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

### 2.3.6- ÁGUA

A qualidade da água a ser utilizada no CAA é a mesma exigida para concretos convencionais. A NBR15900-1:2009 especifica os parâmetros de qualidade a serem observados.

A Tabela 1, apresenta os teores máximos de cloreto, sulfatos e álcalis conforme de acordo com a NBR 15900-1:2009.

**Tabela 1** - Especificações da água para utilização em concretos protendidos.

Uso Final	Propriedade Química	Teor Máximo mg/L
Concreto Protendido	Cloreto	500
Concreto Protendido	Sulfatos	2000
Concreto Protendido	Álcalis	1500

Fonte: Adaptada da NBR15900-1:2009.

Além das propriedades químicas a norma ressalta os teores máximos de substâncias prejudiciais como: Açúcares, Fosfatos, Nitratos, Chumbo e Zinco, além de recomendar pH ácidos ( $\text{pH} \geq 5$ ).

A relação água/cimento e consumo de água por metro cúbico está relacionada com as propriedades no estado fresco e endurecido do concreto, conforme especificações da NBR 6118:2014, que limita o fator água cimento de

acordo com a classe de agressividade ambiental e tipo de concreto (armado ou protendido). A tabela 2 apresenta a correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto.

**Tabela 2** – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

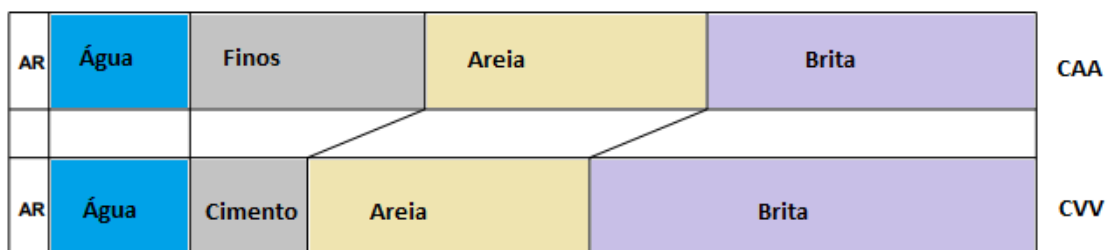
Fonte: NBR 6118:2014.

## 2.4 – MÉTODOS DE DOSAGEM

### 2.4.1 – MÉTODO OKAMURA (1995)

Desenvolvido na universidade de Tóquio em 1988, o primeiro protótipo completo do método levou em consideração os dados de pesquisas anteriores que consideravam os materiais disponíveis no mercado (OKMURA e OUCHI, 2003).

O método se baseia na proporção dos materiais, fixando o agregado graúdo e miúdo onde as características de autoadensabilidade são atingidas fazendo ajustes na relação entre a água/finos (a/f) e na dosagem do aditivo (OKAMURA e OZAWA, 1995).



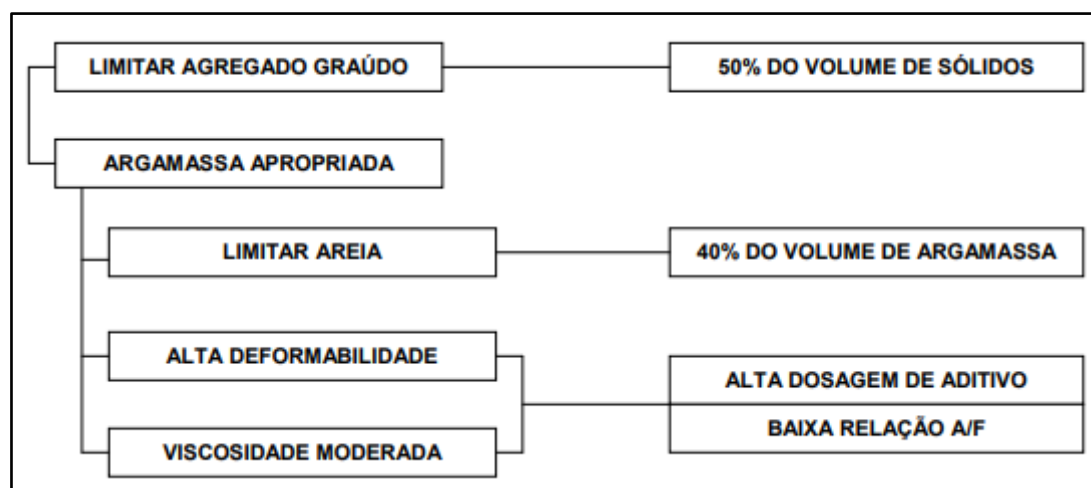
**Figura 1** - Proporção dos materiais entre o CAA e CVV.

Fonte: (OKAMURA e OUCHI, 2003)

O método apresenta o seguinte esquema de dosagem:

- Fixar o agregado graúdo em 50% do volume dos sólidos;
- Fixar o agregado miúdo em 40% do volume de argamassa;
- Baixa relação água/finos (a/f), volume entre 0,9 a 1,0, dependendo das características dos finos;
- Dosagem do aditivo superplastificante.

A Figura 2, apresenta o diagrama de dosagem do método OKAMURA(1995):



**Figura 2** - Diagrama de dosagem do método OKAMURA (1995)

Fonte: Adaptado de (OKAMURA e OZAWA, 1995)

#### 2.4.2 – MÉTODO DE GOMES (2002)

A metodologia empregada no método de Gomes (2002) permite a otimização separada da composição da pasta e do esqueleto granular, visando a obtenção da proporção ideal de pasta para que o concreto apresente características de autoadensabilidade, sugerindo que a viscosidade e a fluidez da pasta governem o comportamento do fluxo do concreto.

O método consiste em três etapas que vão desde a obtenção da composição da pasta e proporção de mistura dos agregados, até a seleção do conteúdo de pasta, tendo como principal vantagem a possibilidade de separar as etapas, permitindo a determinação independente dos parâmetros e variáveis da mistura.

Etapas do método proposto por GOMES (2002):

- a) Determinação da dosagem do superplastificante e de fíler em relação à massa do cimento através dos parâmetros que definem as propriedades necessárias à obtenção do CAA.
- b) Obtenção da proporção dos agregados após a definição do esqueleto granular determinado através da densidade seca da mistura dos mesmos. Com base no experimento derivado do ensaio padrão da ASTM C29/C29M(1986).
- c) Determinação do volume ideal de pasta para garantir ao concreto as propriedades que o caracterizam como autoadensável: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação.

Na Figura 3 é mostrado o fluxograma de dosagem do método de GOMES (2002)

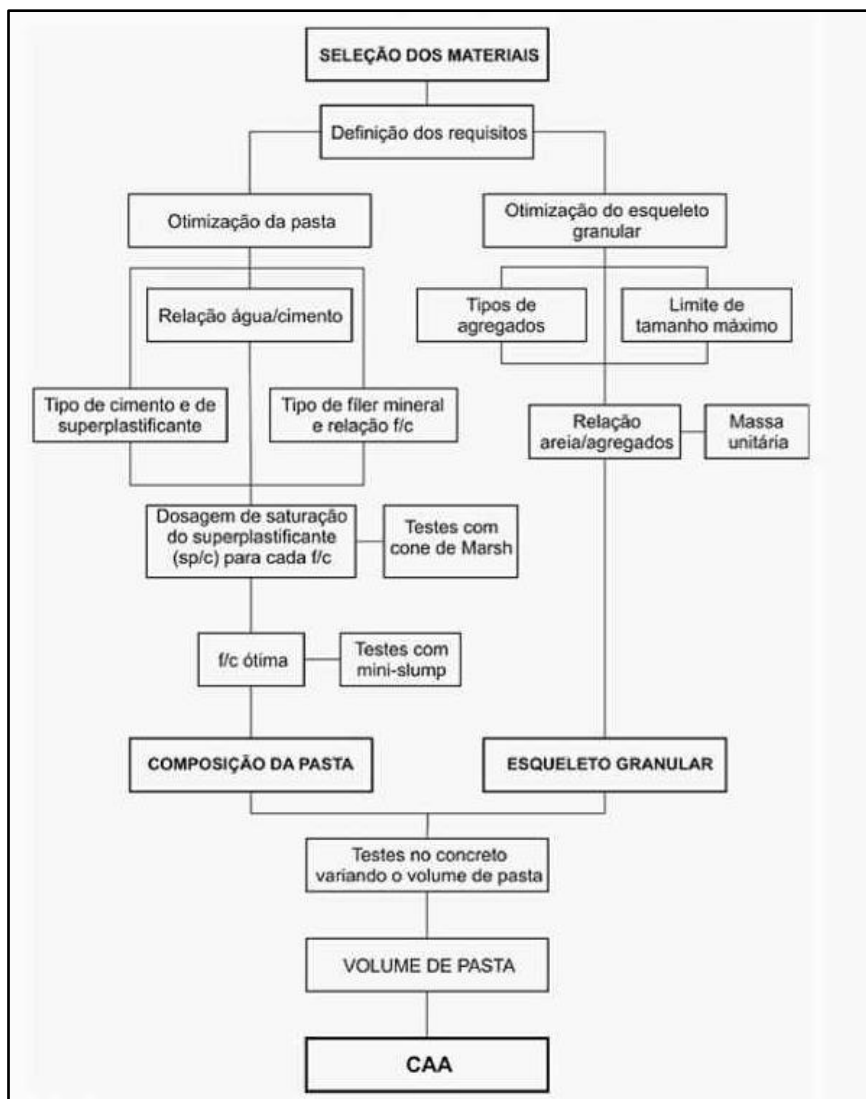
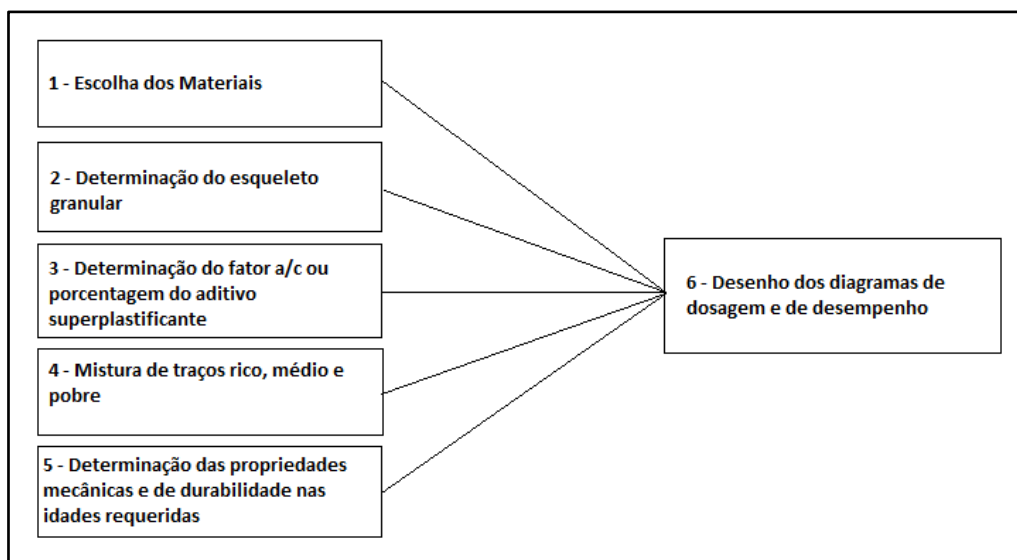


Figura 3 - Diagrama de dosagem do método de Gomes (2002).

Fonte: GOMES (2002)

#### 2.4.3 – MÉTODO TUTIKIAN & DAL MOLIN (2007)

O método proposto por Tutikian & Dal Molin é simples e experimental, e utiliza os conceitos de O'Reilly (1992) para a determinação do esqueleto granular máximo, os conceitos de Larrard (1999) para a escolha dos materiais, o diagrama de dosagem do IPT/EPUSP e os procedimentos básicos do método Tutikian (2004), acrescenta pontos novos em relação ao mesmo, como: teor de argamassa variável, curva de custo e diagrama de desempenho (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015). Na Figura 4 é mostrado o diagrama de dosagem do método.



**Figura 4** - Diagrama de dosagem do método Tutikian & Dal Molin (2007).

**Fonte:** TUTIKIAN e DAL MOLIN (2007)

## 2.5 – PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Segundo a ASTM C 125, a trabalhabilidade é a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco com perda mínima de homogeneidade. Essa propriedade é essencial ao CAA para que sua aplicação seja eficaz.

No estado fresco, as propriedades de fluidez e coesão são extremamente importantes para garantir a homogeneidade, porém, essas características podem desenvolver papéis concorrentes durante o fluxo do material. Aumentar a fluidez, ou reduzir a viscosidade, pode facilitar a segregação do material devido a ação da gravidade, sendo assim, a maior preocupação deve ser com o equilíbrio entre ambas de modo que uma propriedade não domine a outra (MOURET; BASCOU e BARRAK, 2011).

### 2.5.1 – ENSAIOS PARA CONTROLE DA TRABALHABILIDADE

A NBR 15823 parte 1 de 2010 estabelece os requisitos para caracterização e controle do CAA no estado fresco, além de definir os limites

para as classes de autoadensabilidade e os ensaios para verificação das propriedades do concreto autoadensável.

#### 2.5.1.1 – SLUMP FLOW TEST

O *Slump Flow Test* é o ensaio normatizado pela NBR 15823-2:2010 que tem por finalidade determinar a fluidez do concreto autoadensável, em fluxo livre, sob a ação do seu próprio peso através do cone de Abrams.

Na realização do ensaio é possível avaliar além da fluidez, segregação visual e exsudação do concreto, ou seja, a partir de parâmetros visuais como: observação de acúmulo de brita no centro do círculo formado pelo concreto e borda da circunferência com água sendo expulsa pela pasta, conforme a Figura 5.



**Figura 5** - Concreto com segregação e exsudação aparente.

**Fonte:** Autor (2017)

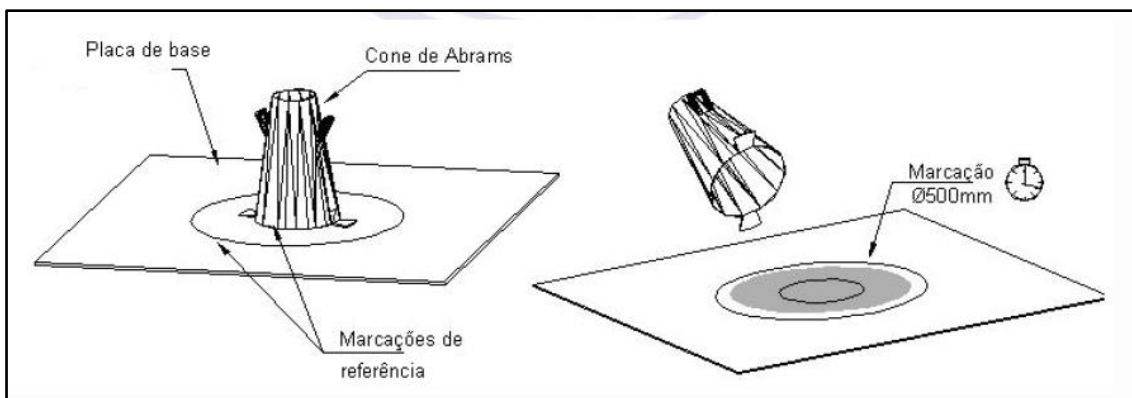




**Figura 6** - Concreto sem segregação e exsudação aparente

**Fonte:** Autor (2017)

No ensaio são utilizados seis litros de concreto para o preenchimento do cone de Abrams, que deve ser devidamente posicionado ao centro da placa metálica de dimensões 1000x1000 mm. Efetua-se assim a desmoldagem de forma uniforme em um tempo não superior a cinco segundos, elevando o cone sem gerar nenhuma torção lateral. Os dados obtidos deste ensaio são o T500 (tempo em que o concreto leva para atingir um diâmetro de 500 mm) e espalhamento SF (leitura final de dois diâmetros perpendiculares após o concreto estabilizar o movimento). O tempo máximo de ensaio não deve exceder um minuto.



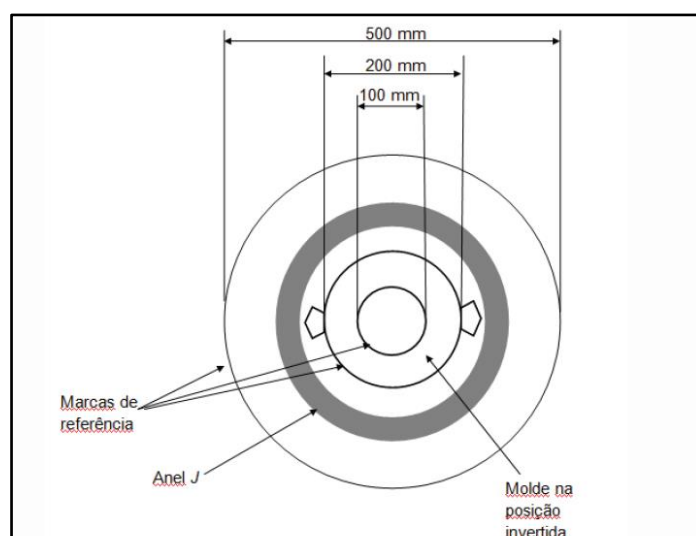
**Figura 7** - Perspectiva e execução do ensaio.

Fonte: ABNT NBR 15823-2:2010

### 2.5.1.2 – ENSAIO ANEL J

O ensaio de Anel J é uma complementação do *Slump Flow Test*. Tem como objetivo avaliar a habilidade passante do concreto autoadensável, em fluxo livre, pelo anel J. Este ensaio é especificado pela NBR 15823-3:2010 e consiste em um anel de 300 mm com 120mm de altura constituído verticalmente por 16 barras de aço com de 10mm de diâmetro a cada 58mm.

Os procedimentos do ensaio são basicamente os mesmos do ensaio de *Slump Flow*, diferindo apenas na forma como o cone de Abrams é preenchido, ou seja, de forma invertida conforme mostra a Figura 8.



**Figura 8** - Posicionamento do cone de Abrams.

Fonte: ABNT NBR 15823-3:2010

O cone é preenchido invertido e desmoldado seguindo as mesmas recomendações do ensaio de espalhamento e após a estabilização da mistura, medem-se dois diâmetros perpendiculares. Os resultados deste ensaio são: diâmetro final “df” atingido pela massa, diferença entre o diâmetro médio do espalhamento obtido no ensaio de *Slump Flow* (sem o anel J) e neste ensaio (com o anel J), além da possibilidade de observação visual de eventuais obstruções à passagem do concreto pelas barras de aço do anel.

É possível observar na Figura 9 o espalhamento final do concreto após o ensaio.



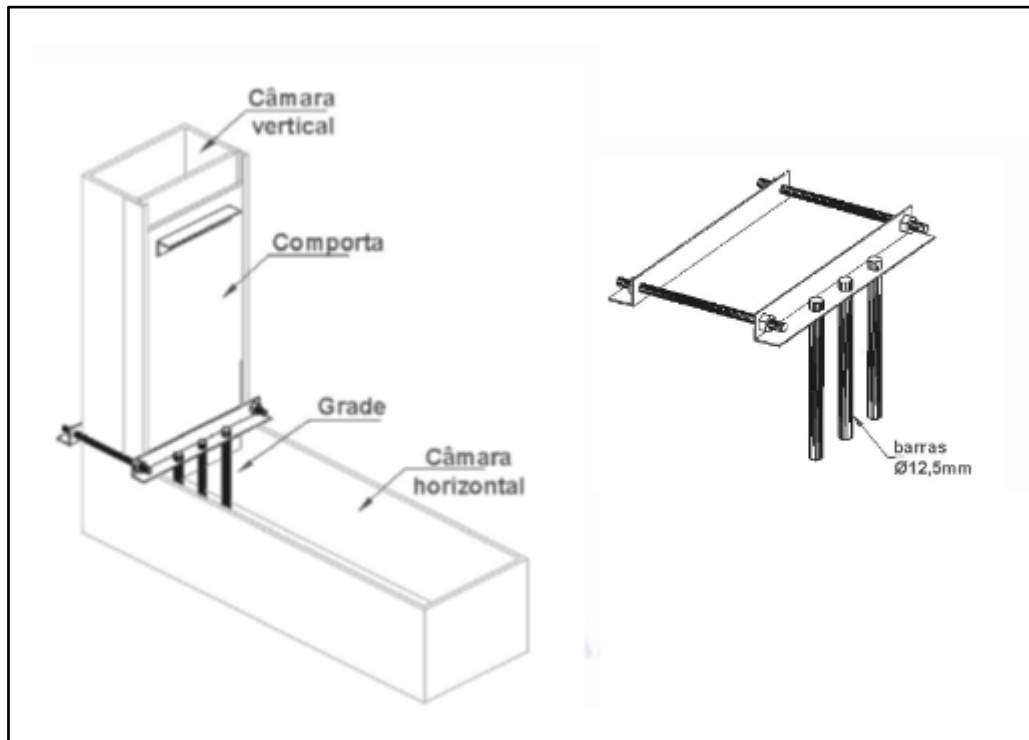
**Figura 9** - Ensaio Anel J.

**Fonte:** Autor (2017)

### 2.5.1.3 – ENSAIO DE CAIXA-L

O ensaio de caixa-L tem o objetivo de medir a habilidade passante do concreto autoadensável em fluxo confinado. Este ensaio é normatizado pela NBR 15823-4:2010. O equipamento consiste em uma caixa em forma de “L”, com uma comporta móvel que tem a função de separar a parte vertical da horizontal, que quando aberta, permite o fluxo do concreto fazendo uma

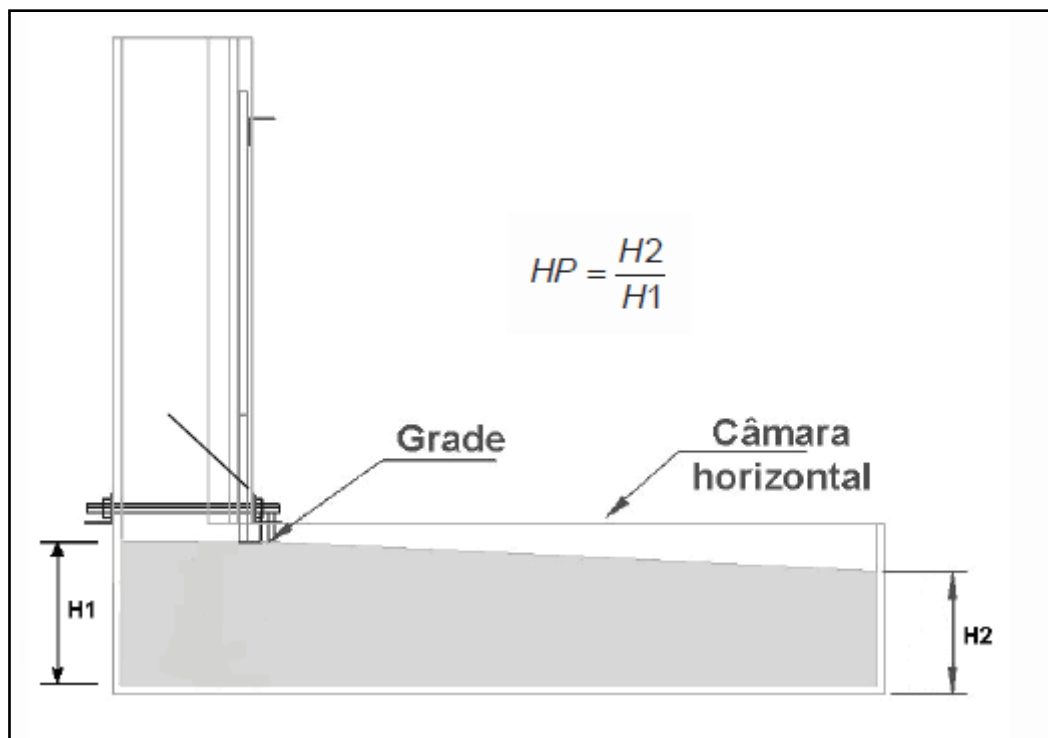
transição através de barras de aço, possibilitando a simulação de uma armadura real da estrutura.



**Figura 10** - Detalhe da caixa L.

**Fonte:** ABNT NBR 15823-4:2010

O resultado deste ensaio é dado pela razão (HP) entre as alturas da superfície do concreto nas extremidades da câmara horizontal usando a relação ilustrada na Figura 11.



**Figura 11** - Vista lateral da caixa-L.

Fonte: ABNT NBR 15823-4:201

## 2.6 – PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

Na produção de qualquer concreto de cimento Portland devem ser avaliadas as propriedades mecânicas e de durabilidade apresentadas no seu estado endurecido. Segundo TUTIKIAN e DAL MOLIN (2015) essas propriedades estão diretamente ligadas ao processo de dosagem e mistura dos materiais. Concretos com alto consumo de cimento apresentam fissuração de secagem e alto calor de hidratação, concretos com baixo consumo de agregado graúdo apresentam modulo de elasticidade baixo, o que aumenta a probabilidade de ocorrência de retração plástica.

Nos Elementos em concreto protendido, as propriedades no estado endurecido do concreto são extremamente importantes para a qualidade das peças produzidas.

HANAI (2005) reforça a importância de concretos bem dosados e com alto controle de qualidade nas etapas de mistura, lançamento, adensamento e cura. O autor cita ainda que o uso de concretos com alta resistência é

imprescindível para absorver as forças de protensão, que, por muitas vezes, causam solicitações prévias elevadas, frequentemente mais altas que as correspondentes a uma situação de serviço. Além disso, a utilização de concretos e aços com alta resistência permitem a redução da seção das peças, diminuindo consideravelmente o seu peso próprio, o que é primordial no caso de elementos pré-moldados.

A utilização de concretos com resistências superiores a 50 MPa, tanto para o concreto armado e especialmente em concretos protendidos, no quesito durabilidade e módulo de deformação mais elevados, resulta em uma diminuição das deformações imediatas e daquelas que ocorrem ao longo do tempo, provocadas pela fluência do concreto, reduzindo assim o efeito da perda de protensão. (HANAI, 2005).

## 2.7 - APLICABILIDADES DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL

Devido a sua maior versatilidade quando comparado ao concreto convencional, o concreto autoadensável pode ser utilizado tanto para estruturas moldadas *in loco* quanto na indústria de pré-fabricados.

A utilização do CAA é recomendada especialmente em casos onde a estrutura apresenta elevada taxa de armadura e forma complexa, situação que impossibilita a utilização de vibradores (GOMES, 2009).

DONOME (2006) apud. TUTIKIAN e DAL MOLIN (2015) levantou dados das publicações que relatavam o uso do CAA entre 1993 e 2003 e observou que 67% das obras que optaram pelo uso do CAA, o fizeram devido a vantagens técnicas, como a possibilidade de acesso a locais com dificuldade de vibração, 14% decidiram pelo CAA por motivos econômicos e 10% por ser uma inovação.

O vasto volume de trabalhos práticos que envolvem dosagem e aplicação do CAA mostram que essa tecnologia é cada vez mais aceita no mercado devido às suas vantagens técnicas e econômicas, quando comparado ao uso do CCV.

Apesar das diversas vantagens oferecidas pelo CAA, sua utilização pode ser desfavorável em situações onde haja desnível, ou seja, locais com níveis diferentes como escadas e sacadas, pelo fato do CAA tender a se nivelar devido

a sua fluidez acentuada. Outra desvantagem é o controle rigoroso entre as proporções dos materiais, fazendo com que ajustes sejam necessários em relação a pesagem dos materiais, controle de umidade e até energia de mistura. Em casos em que não seja possível uma boa mistura (exemplo: caminhões betoneiras) a ação do aditivo pode ser prejudicada, sendo necessário um slump inicial considerável antes da adição do aditivo ou até mesmo o uso de aditivos plastificantes TUTIKIAN e DAL MOLIN (2015).

### 2.7.1- INDUSTRIA DE PRÉ-FABRICADOS

Segundo VASCONCELOS (2002) não se pode datar o início da pré-moldagem, porém é sabido que o próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos fora do local de seu uso. O autor defende que a pré-moldagem surgiu com a invenção do concreto armado.

Para EL DEBS (2000) o desenvolvimento da prática de pré-moldagem foi significativamente alavancada no quarto de século que se seguiu à Segunda Guerra Mundial. Este avanço é atribuído a necessidade de reconstrução rápida das cidades afetadas pela guerra.

O primeiro relato de obra significativa com a utilização de elementos pré-moldados no Brasil refere-se à execução do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro, executado pela empresa dinamarquesa Christiani-Nielsen em 1926, que trouxe todo o *Know-how* da matriz dinamarquesa na fabricação de estacas para o Brasil. Alguns anos depois, em São Paulo, a construtora Mauá, especializada em construções industriais, executou diversos galpões pré-moldados no próprio canteiro de obras (VANCONCELOS, 2002)

Na década de 50 grades avanços foram observados no Brasil com a utilização do concreto protendido. O Prof. Dr. Augusto Carlos Vasconcelos juntamente com o seus colegas de turma Wilson Faria Marcondes e Zake Tacla fundaram a fábrica de pré-moldados PROTENDIT, desenvolvendo produtos de inovação no mercado, proporcionando o ganho técnico e causando o acirramento da concorrência. Este produto foi a estaca de seção quadrada 15x15cm, protendida com 4 fios de 5 mm. A partir daí, a empresa tomou

proporções maiores, se tornando uma das principais responsáveis pela difusão da pré-fabricação em concreto protendido no Brasil.

Nas demais regiões do país esta prática foi se difundindo aos poucos, e a utilização do concreto protendido como meio de redução de custos e melhor desempenho dos elementos pré-moldados foi um diferencial, alavancando as empresas que dominavam a técnica. Uma das empresas precursoras na região nordeste, foi a BELTRAN, fundada pelo Eng. José Carlos de Almeida Belitardo, na década de 70, desenvolvendo notáveis projetos no pólo petroquímico de Camaçari-BA. Já na década seguinte a empresa fundou uma unidade em Rio Claro, SP, para atender à Região Centro-Sul.

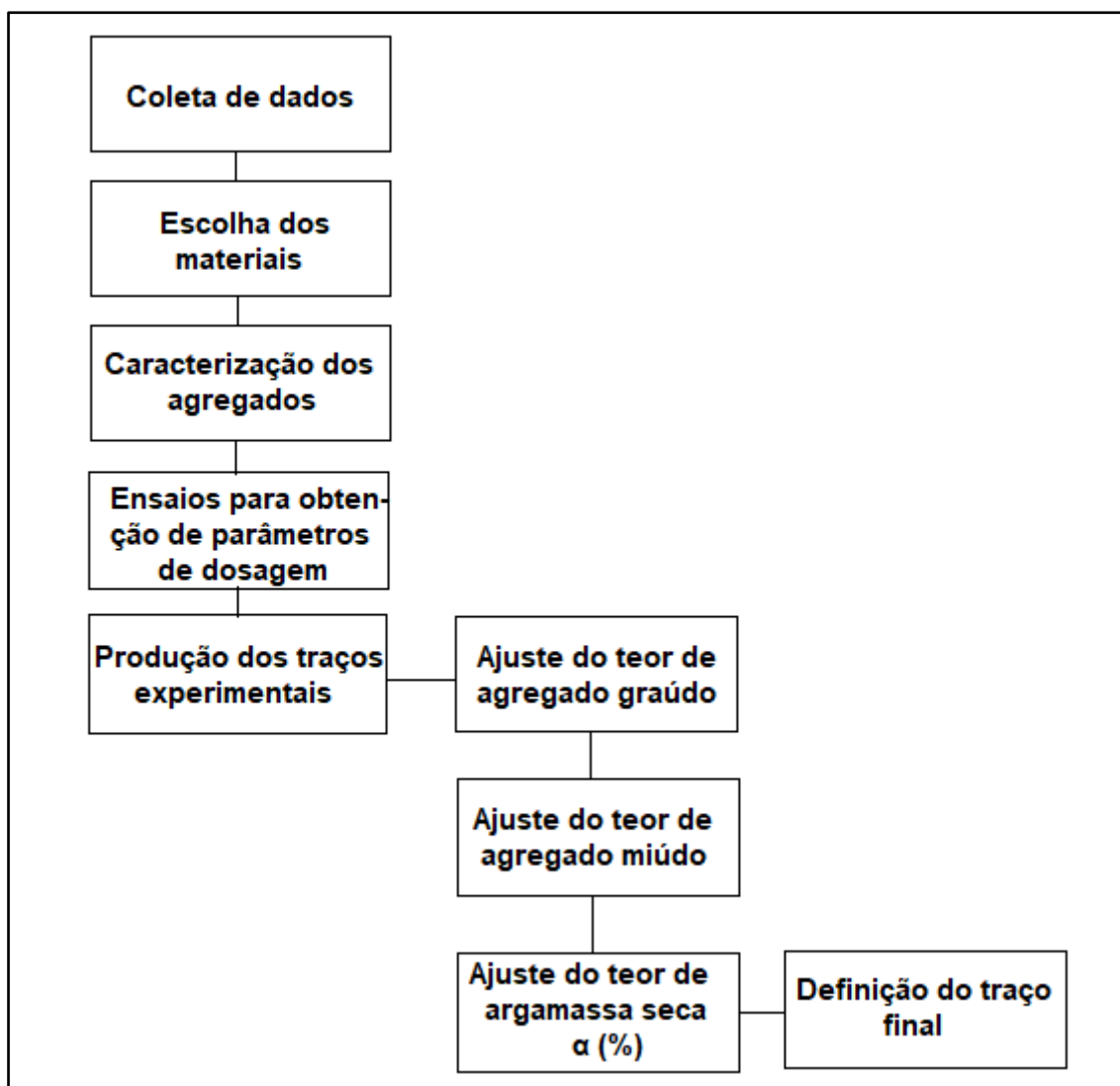
A utilização do concreto autoadensável em elementos pré-moldados seja nos canteiros de obra ou nas indústrias de pré-fabricados, representa um grande avanço técnico, pois além do aumento da produtividade e redução de custo devido a eliminação da etapa de adensamento, há um ganho no quesito acabamento, pois a superfície dos elementos tendem a ficar mais lisas e livres de “brocas” ou nichos de concretagem provenientes do adensamento deficiente.



### 3- MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção e Geotecnia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, campus Macaé. A fábrica de pré-moldados a qual se destina a utilização do concreto autoadensável elaborado por neste trabalho está localizada na mesma cidade e atende toda a região norte-fluminense com seus produtos.

Na Figura 12 é possível observar as etapas de desenvolvimento deste trabalho.



**Figura 12** - Fluxograma experimental da dosagem do CAA.

Fonte: Autor (2017)

### 3.1- MATERIAS PRIMAS

#### 3.1.1 – CIMENTO

A indústria de pré-moldados necessita de concretos que apresentem alta resistência com pouca idade, para que as peças possam ser extraídas da forma com menor tempo, proporcionando uma maior produtividade. Esta necessidade é ainda mais importante em fábricas que utilizam concreto protendido, para qual, a NBR 9062:2017 especifica resistência característica mínima de 21 MPa para peças em concreto protendido, sendo assim, o cimento utilizado neste trabalho foi o CP-V ARI RS, cimento já utilizado na fábrica de pré-moldados para garantir esta resistência inicial do concreto convencional.

Apesar do principal motivo da escolha do CP-V ARI RS ser o ganho de resistência com pouca idade, o CP-V apresenta maior finura, ou seja, maior superfície de contato em relação a outros tipos de cimento Portland, o que melhora as propriedades do CAA, porém, pela mesma razão (maior finura), a perda de trabalhabilidade e fluidez será mais rápida, pois, em sua composição é colocado pelo menos 95% de clínquer e, conseqüentemente, é um cimento com teor considerável de  $C_3A$ .

#### 3.1.2 – AGREGADOS MIUDOS

Foram analisados três tipos de agregado miúdo: areia média (já utilizada pela fábrica de pré-moldados em concretos convencionais), areia média, proveniente de doação de uma concreteira da região e areia fina (artificial), proveniente de processo de britagem doada por uma pedreira também da região.

As amostras dos agregados foram colhidas e estocadas conforme as recomendações da NBR NM 26:2001 para caracterização. A análise granulométrica das areias foi feita de acordo com a NBR 7217:1987.

### 3.1.3 – AGREGADO GRAÚDO

Foi utilizada brita 0 obtida de jazida situada na cidade de Macaé-RJ, fornecida pela pedreira Jundiá, com diâmetro máximo característico de 12,5 mm. Este agregado já era utilizado pela fábrica de pré-moldados e foi mantido devido ter características satisfatórias em relação aos outros tipos de agregados graúdos comercializados na região. Agregados com diâmetros menores influenciam positivamente nas propriedades de fluidez e habilidade passante do concreto autoadensável.

### 3.2.4 – ADITIVO

O aditivo utilizado para a produção do CAA foi o ADVA CAST 585 produzido pela GRACE ® CONSTRUCTION PRODUCTS e classificado pela ABNT: NBR 11768:2011 como aditivo superplastificante tipo SP II / N/A/R.

É um aditivo superplastificante a base policarboxilatos, isento de cloretos, para concretos com alto poder de redução de água. Segundo o fabricante, a linha ADVA, foi desenvolvida para fornecer excelente manutenção de abatimento e resistência à segregação, indicado para concretos de elevado desempenho e resistência. Tendo o seu uso voltado para concretos dosados em central, pré-fabricados, concretos protendidos e concretos autoadensáveis.

A Tabela 3 apresenta as características do superplastificante ADVA CAST 585.

**Tabela 3** - Características e recomendações do aditivo superplastificante.

Produto	Descrição do produto	Aspecto/Cor	Dosagem Recomendada (% SPC)	pH (NBR 10908)	Massa Específica g/cm <sup>3</sup> (NBR 10908)
ADVA CAST 585	Concreto em geral, fluido ou autoadensável. Proporciona excelente redução da demanda de água, ótimas resistências iniciais e excelente manutenção do abatimento.	Líquido alaranjado.	0,4 a 1,0%	3,00-6,00	1,055-1,105

Fonte: Catálogo GRACE ® CONSTRUCTION

## 3.2 ENSAIOS

### 3.2.1 – DEFINIÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR

Para a definição do esqueleto granular, ou seja, a proporção entre os agregados que possui a menor quantidade de vazios, seguiu-se o método proposto por TUTIKIAN e DAL MOLIN (2015) na qual, deve-se empacotar todos os componentes do CAA, dois a dois, em ordem decrescente de diâmetro das partículas. Após a determinação dos dois materiais de maior diâmetro, realiza-se o mesmo procedimento com a mistura desses dois materiais e o próximo componente, até chegar ao cimento, único elemento que não é empacotado (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

#### 3.2.1.1 – ENSAIO DE COMPACIDADE

Para o ensaio de compacidade, foi utilizado um cilindro de volume conhecido, compactando o material seco dois a dois, do agregado de maior diâmetro (A) para o de menor diâmetro (B), iniciando com 100% do material A inserindo 10% do material B gradativamente até atingir 0% de A e 100% de B.

Os materiais foram pesados nas proporções e misturados até apresentarem homogeneidade. Após a mistura, foram lançados no molde cilíndrico compactados em duas camadas iguais com 15 golpes por camada e pesados após a compactação para cálculo da massa unitária compactada e índice de vazios (utilizando os dados da massa específica de cada material obtidos através do ensaio conforme a NBR 9776:1987).

A mistura a ser utilizada para a realização da compactação com o material de menor diâmetro (C) será aquela que apresentar a maior massa unitária compactada e menor índice de vazios.

### 3.2.2 FATOR ÁGUA/CIMENTO (a/c)

O fator a/c foi definido de acordo com as recomendações da NBR 6118:2014 para concreto protendido que leva em consideração a classe de agressividade ambiental da região onde a fábrica de pré-moldados atua.

### 3.2.3 TEOR DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Para o estudo do teor de aditivo superplastificante foram realizados ensaios para a pasta de cimento e argamassa, utilizando um molde (tronco de cone) com dimensões reduzidas em comparação ao cone de Abrams conforme Melo et al. (2005).

#### 3.2.3.1 – ESTUDO DA PASTA (Melo et al. 2005)

No estudo do teor de aditivo superplastificante foi utilizado o ensaio de espalhamento (Tronco de cone reduzido) e de escoamento (Funil de Marsh) com fator a/c fixado variando apenas a porcentagem de aditivo superplastificante, afim de se obter o ponto de saturação. A porcentagem de variação do aditivo foi de 0,05% em relação a massa do cimento.

Para a mistura dos materiais foi utilizada uma argamassadeira de capacidade para 5 Litros.

O procedimento ocorreu de acordo com as seguintes etapas:

- Adição do cimento com a argamassadeira desligada;
- Adição da água durante 30 s com a argamassadeira ligada em velocidade baixa;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante 30 segundos;
- Mistura manual durante 1 minuto;
- Adição do aditivo superplastificante com a argamassadeira ligada em velocidade baixa durante 30 segundos;

- Mistura mecânica em velocidade baixa durante 30 segundos;
- Mistura manual durante 30 segundos;
- Mistura mecânica em velocidade baixa durante 30 segundos;

A pasta foi colocada no tronco de cone de dimensões reduzidas, desmoldada com velocidade constante medido-se dois diâmetros perpendiculares de espalhamento e observando a ocorrência de segregação e/ou exsudação.

Após o ensaio de espalhamento da pasta, foi realizado o ensaio de escoamento (Funil de Marsh), preenchendo o mesmo com 800 ml de pasta e observado o tempo de escoamento para 200 ml conforme indicado na Figura 13.

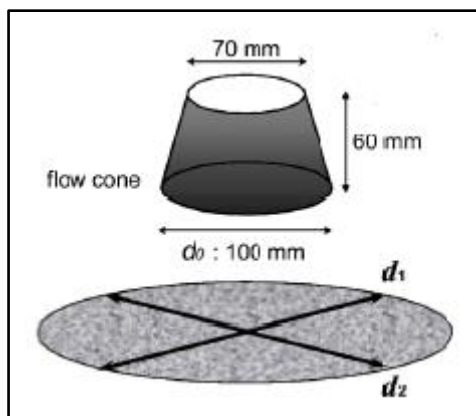
O procedimento foi repetido para cada nova adição de aditivo superplastificante.



**Figura 13** - Funil de Marsh.

**Fonte:** Autor (2017)

Na Figura 14 é mostrado as dimensões do mini tronco de cone utilizado por OKAMURA e OUCHI (2003).



**Figura 14** - Cone para Mini Slump.

**Fonte:** OKAMURA e OUCHI (2003)

### 3.2.3.2 – ESTUDO DA ARGAMASSA

Devido a utilização de uma composição de agregados miúdos (areia média e areia fina proveniente de processo de britagem) na qual foram definidas as proporções através do estudo de compactação dos materiais (definição do esqueleto granular) foi realizado o estudo de argamassa para a observação do espalhamento em função da quantidade do aditivo superplastificante. Inicialmente foi utilizada a proporção 1:m definida pela compactação e ajustada conforme discussão na seção de resultados.

O ensaio de espalhamento utilizou o mesmo molde (tronco de cone reduzido) utilizado no estudo da pasta e a sequência de adição dos materiais na argamassadeira foi realizada da seguinte forma:

- Adição do cimento com a argamassadeira desligada;
- Adição da água com a argamassadeira ligada na velocidade baixa;
- Mistura mecânica por 30 segundos em velocidade baixa;
- Mistura manual por 30 segundo;
- Adição do aditivo com a argamassadeira em velocidade baixa;
- Mistura mecânica por 1 minuto em velocidade baixa;
- Adição da areia média com a argamassadeira ligada em velocidade baixa;

- Mistura mecânica por 30 segundos;
- Mistura manual por 30 segundos;
- Adição da areia fina com a argamassadeira ligada em velocidade baixa
- Mistura mecânica por 30 segundos;
- Mistura manual por 1 minuto;
- Mistura mecânica por 30 segundos em velocidade baixa.

Após a etapa de mistura, a argamassa foi moldada no tronco de cone e desmoldada com velocidade constante sem gerar torção lateral no molde. Após a estabilização do movimento foram realizadas as leituras dos diâmetros perpendiculares.

#### 3.2.4 - PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL

O método de obtenção do traço do CAA foi empírico, fixando a proporção de agregados em relação ao cimento (1:m) em 1:4 (traço médio). Foram analisados os parâmetros obtidos no estudo do esqueleto granular para que fosse definida as proporções entre os agregados (brita 0, areia média, areia fina) que tivesse a maior massa específica e menor índice de vazios, e além disso satisfizessem os parâmetros para se obter autoadensabilidade, ou seja, consumo máximo de agregado miúdo (areia média + areia fina) e graúdo para não comprometer o consumo de água e características no estado endurecido como o modulo de elasticidade do concreto.

A cidade de Macaé-RJ está situada em uma região litorânea (ambiente marinho), sendo assim, o fator água cimento foi definido através da recomendação da NBR 6118:2014 para classe de agressividade III e concreto protendido, onde o limite do fator a/c é igual a 0,5, utilizou-se 0,45 para garantir melhores características no estado endurecido e, também, obter resistência característica mínima de 21 MPa para que a força de protensão possa ser transmitida dos bancos de reação para a peça com 20 horas (idade de desforma dos elementos).



Através do estudo da pasta e da argamassa definiu-se o teor de aditivo inicial da mistura, aumentando gradativamente até obter o ponto de saturação para cada mistura, gerando assim, uma faixa de utilização a depender da temperatura ambiente e dos materiais.

Os traços foram misturados em uma betoneira de 150 Litros, capacidade de mistura igual a 90 Litros. Os traços iniciais, onde foram observadas as propriedades como: espalhamento, fluidez e coesão, foram misturados em um volume de 20 litros, e, após a aprovação, rodados novamente em um volume de 40 litros para que se obtenha representatividade e fosse possível realizar todos os ensaios sem reutilização do concreto.

Foram realizados os ensaios de espalhamento e viscosidade plástica aparente (*Slump Flow test*), habilidade passante sob fluxo livre (Anel J) e habilidade passante sob fluxo confinado (Caixa-L) conforme a NBR 15823:2010.

Para cada traço misturado foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos 10x20cm para serem ensaiados conforme a NBR 5739:2007, nas idades de 20h, 7 e 28 dias, para a obtenção da resistência à compressão.

Os corpos de prova ensaiados aos 7 e 28 dias foram curados em água saturada com cal conforme especificações da NBR 5738:2003 e os corpos de prova com idade de 20 horas foram rompidos logo após a desforma.

Para o cálculo da resistência característica à compressão ( $F_{ck}$ ) foi utilizada a seguinte formulação:

$$F_{ck} = F_{cm} - 1,65 * Sd$$

Onde  $F_{cm}$  é a resistência média à compressão e  $Sd$  o desvio padrão. Devido ao controle rigoroso do ambiente de laboratório, foi utilizado o desvio padrão mínimo permitido pela NBR 12655, que é igual a 2.

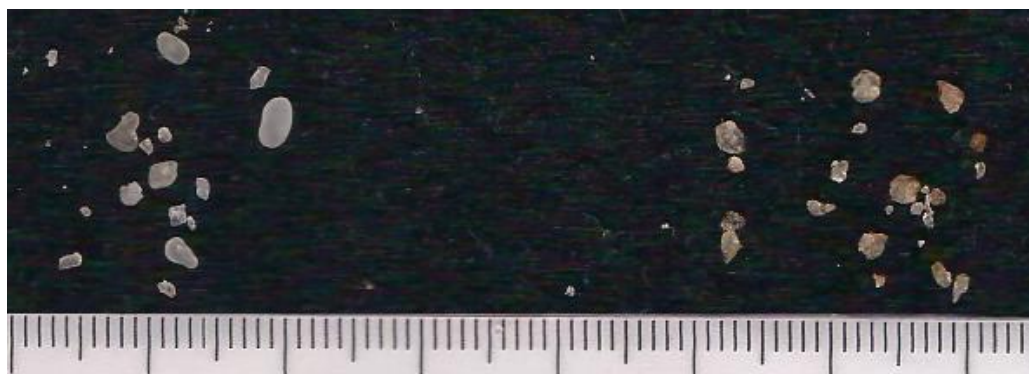
## 4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 – AGREGADOS

#### 4.1.2 - CARACTERIZAÇÃO

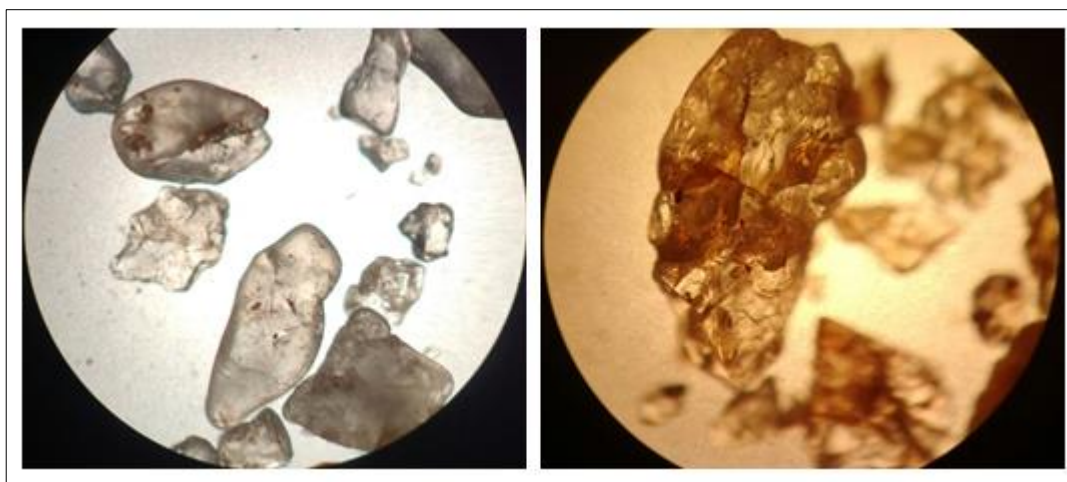
Foram analisadas as características das areias médias provenientes de doação da concreteira (areia média A) e da fábrica de pré-moldados (areia média B), e escolhida a que apresentou melhores propriedades para a utilização no CAA.

Conforme pode ser observado nas Figuras 15 e 16, a areia (A) proveniente da concreteira, apresentou partículas com formato mais arredondados e textura lisa, apesar de ter módulo de finura maior que o a areia média (B) já utilizada pela empresa, este formato e textura das partículas facilitam a fluidez da mistura e retém menos água, melhorando as propriedades reológicas do CAA.



**Figura 15** - Formato das partículas areia média (A) e (B).

**Fonte:** Autor (2017)



**Figura 16** - Detalhe das partículas das areia média (A) e (B) - microscópio óptico, lente 4x.

**Fonte:** Autor (2017)

Devido a necessidade de finos para garantir as propriedades de coesão e fluidez do CAA, a utilização da areia fina proveniente do processo de britagem foi imprescindível na composição do esqueleto granular. Sendo assim, após ensaios prévios, optou-se pela utilização das areias (A) e da areia fina artificial, mesmo com módulo de finura maior, conforme mostra a Tabela 4. O desenvolvimento da dosagem seguiu com esses dois materiais.

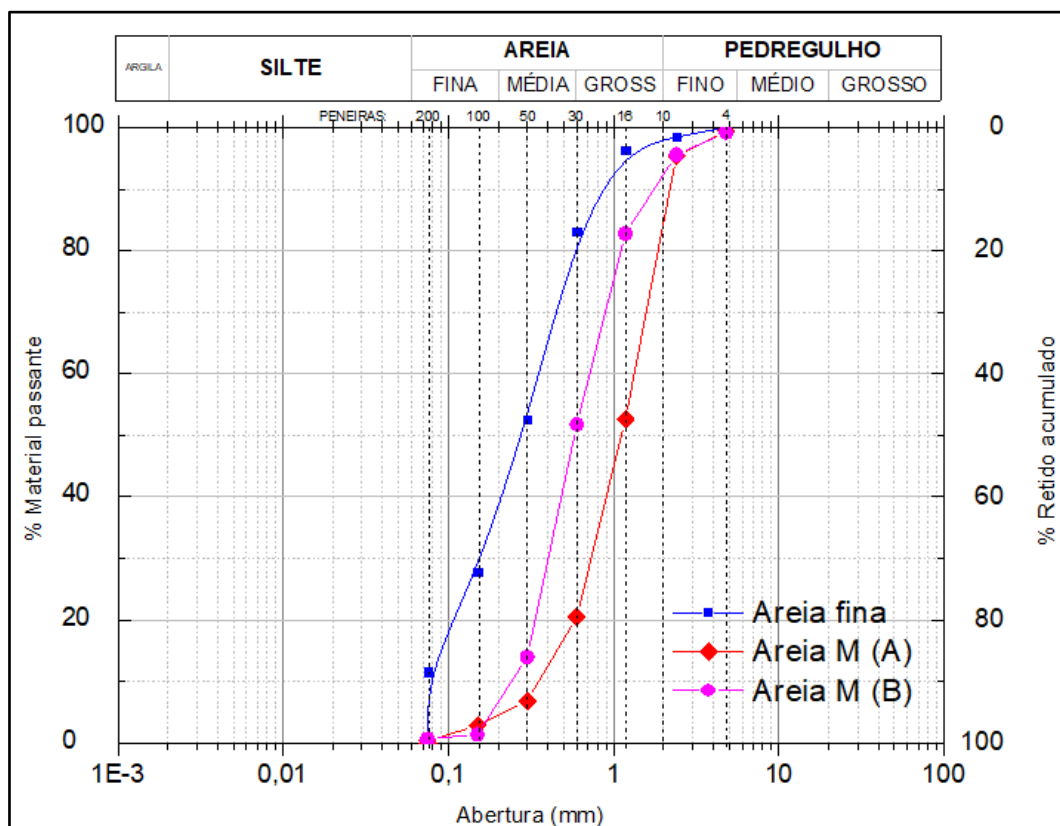
**Tabela 4** - Características dos agregados miúdos.

<b>Material</b>	<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Areia fina	Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,43
	Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,702
	Módulo de finura	1,42
	Percentual de finos (< 0,30 mm)	52,54
Areia Média (B)	Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,51
	Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,62
	Módulo de finura	2,55
	Percentual de finos (< 0,30 mm)	13,93
Areia Média (A)	Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,45
	Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,604
	Módulo de finura	3,22
	Percentual de finos (< 0,30 mm)	6,8

**Fonte:** Autor (2017)

A areia fina proveniente do processo de britagem é passante na peneira de nº 14 (abertura de malha igual a 1,2 mm). Esse procedimento é realizado pelo próprio fornecedor, facilitando a utilização da mesma.

Na Figura 17 é mostrado o comparativo das curvas granulométricas das três areias analisadas.



**Figura 17** - Curvas granulométricas das areias analisadas.

Fonte: Autor (2017)

#### 4.1.3 – DEFINIÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR

Através do ensaio de compactação dos agregados, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, foi possível observar um aumento da massa unitária compactada quando há adição de material com granulometria menor (areia média e areia fina) em relação a brita (material com diâmetros de partículas maiores que 4,2 mm). Com o aumento da massa unitária compactada, conseqüentemente há uma redução do índice de vazios da mistura.

**Tabela 5** - Determinação da massa unitária compactada e índice de vazios B0 e AM.

Brita 0 (%)	Areia M (%)	Massa Específica Brita 0 (kg/m <sup>3</sup> )	Massa Específica Areia M (kg/m <sup>3</sup> )	Massa Unitária Compactada (kg/m <sup>3</sup> )	Massa Específica mistura (kg/m <sup>3</sup> ) - Calculada	Índice de vazios Calculados (%)
100	0	2708,000	2604	1448	2708	46,529
90	10	2708,000	2604	1583,5	2697,6	41,300
80	20	2708,000	2604	1684,5	2687,2	37,314
70	30	2708,000	2604	1837	2676,8	31,373
<b>60</b>	<b>40</b>	<b>2708,000</b>	<b>2604</b>	<b>1891,5</b>	<b>2666,4</b>	<b>29,062</b>
50	50	2708,000	2604	1852	2656	30,271
40	60	2708,000	2604	1839	2645,6	30,488
30	70	2708,000	2604	1810,5	2635,2	31,296
20	80	2708,000	2604	1771,5	2624,8	32,509
10	90	2708,000	2604	1762	2614,4	32,604
0	100	2708,000	2604	1681	2604	35,445

Fonte: Autor (2017)

Para iniciar a composição do esqueleto granular, foi utilizada a melhor mistura entre brita 0 e areia média, ou seja, aquela que apresentou maior massa unitária compactada e menor índice de vazios.

**Tabela 6** - Determinação da massa unitária compactada e índice de vazios (B0+AM) + AF.

Brita 0 + Areia M	Areia Fina (%)	Massa Específica da Mistura (kg/m <sup>3</sup> )	Massa Específica Areia F (kg/m <sup>3</sup> )	Massa Unitária Compactada (kg/m <sup>3</sup> )	Massa Específica mistura (kg/m <sup>3</sup> ) - Calculada	Índice de vazios Calculados (%)
100	0	2666,400	2702,7	1891,5	2666,4	29,062
90	10	2666,400	2702,7	1917	2670,03	28,203
80	20	2666,400	2702,7	1943,5	2673,66	27,309
<b>70</b>	<b>30</b>	<b>2666,400</b>	<b>2702,7</b>	<b>1974,5</b>	<b>2677,29</b>	<b>26,250</b>
60	40	2666,400	2702,7	1949,5	2680,92	27,282
50	50	2666,400	2702,7	1890,5	2684,55	29,579

Fonte: Autor (2017)

A mistura 60% de brita 0 e 40% de areia média foi compactada adicionando gradativamente areia fina na proporção de 10% em relação a massa total.

Para a proporção final entre esses três agregados, foi adotada a mistura 70% (Brita0 + Areia média) e 30% de areia fina, por apresentar maior massa unitária compactada e menor índice de vazios, conforme a Tabela 6, o que resulta em proporção entre os agregados de 42% de Brita 0, 28% de areia média e 30% de areia fina. Tornando a relação cimento/agregados (cimento: areia média: areia fina: brita 0), já definida anteriormente em 1:4, igual a:

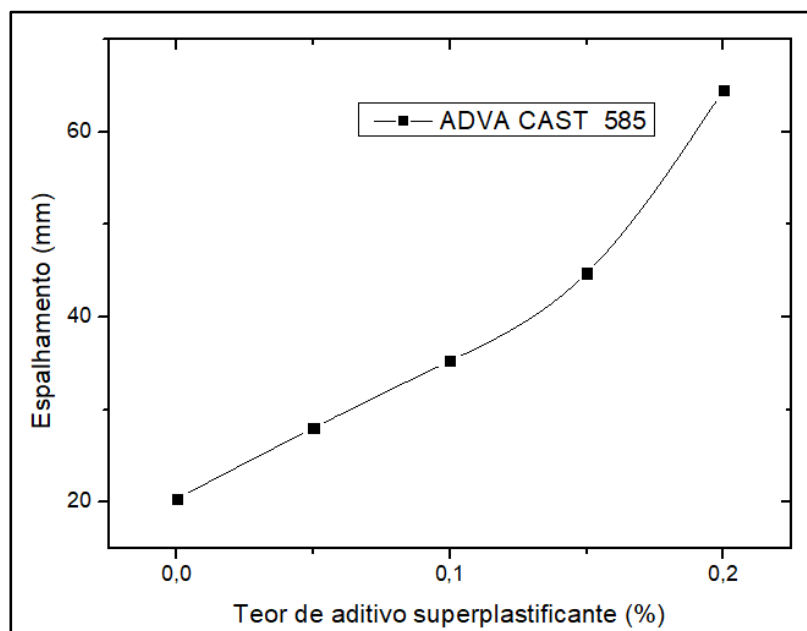
1 : 1,12 : 1,2 : 1,68

Esta proporção resultou em um consumo elevado de agregado miúdo e baixo consumo de agregado graúdo, 1017,48 kg/m<sup>3</sup> e 736,79 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. GOMES e BARROS (2009) sugerem consumos aproximados de agregados de 710 a 900 kg/m<sup>3</sup> para agregado miúdo e 750 a 920 kg/m<sup>3</sup> para agregado graúdo. Outro fator importante foi a possibilidade da redução do módulo de elasticidade do concreto quando o consumo de brita é baixo.

#### 4.1.4 – ESTUDO DA PASTA

Com o fator a/c já definido e igual a 0,45, foi realizado o estudo da pasta de cimento para avaliar a ação do aditivo nas propriedades de fluidez da pasta.

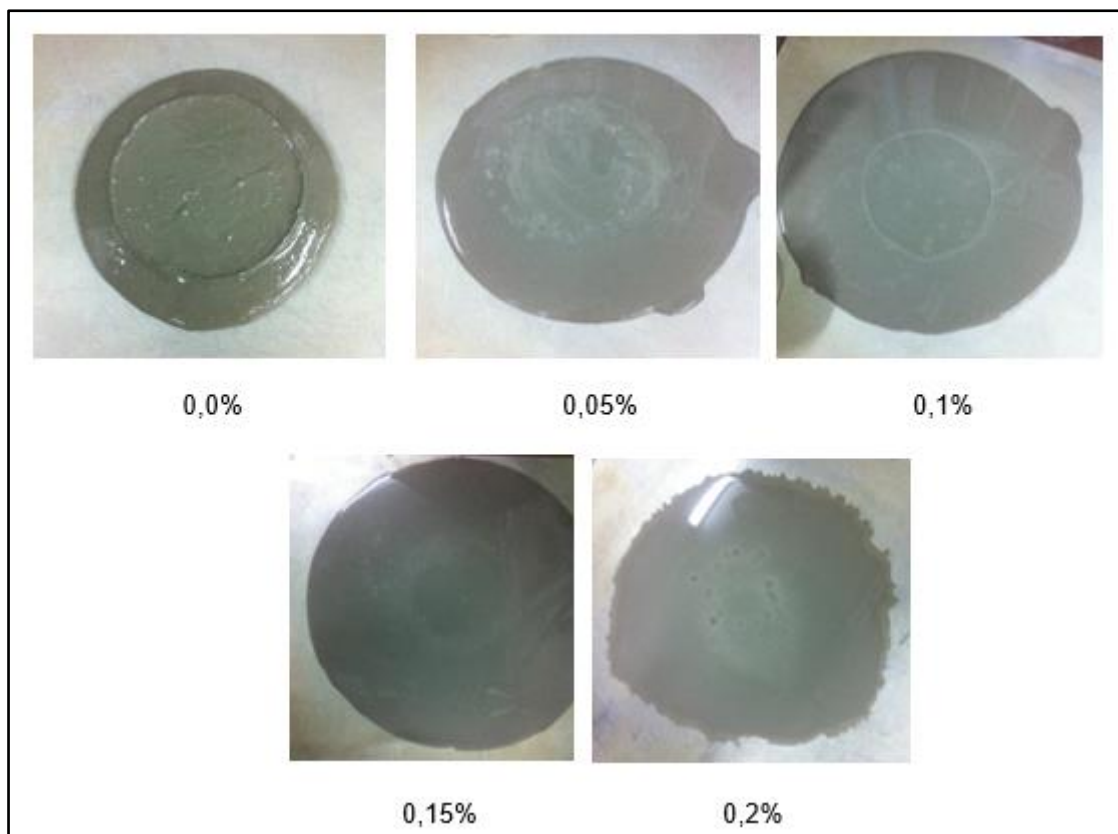
O aditivo foi adicionado à pasta gradativamente até se obter o ponto de saturação, ou seja, ponto em que ocorre segregação e exsudação aparente. A curva de espalhamento em relação a adição do aditivo superplastificante é apresentada na Figura 18.



**Figura 18** - Curva de espalhamento da pasta.

**Fonte:** Autor (2017)

Na Figura 19 é possível observar a ocorrência de segregação, através das manchas aparentes na pasta quando há aumento do aditivo, na mistura com 0,2% da Figura 19, é nitidamente visível o ponto de saturação do aditivo (0,2% de adição em massa), ou seja, a pasta apresentou exsudação e segregação acentuada.

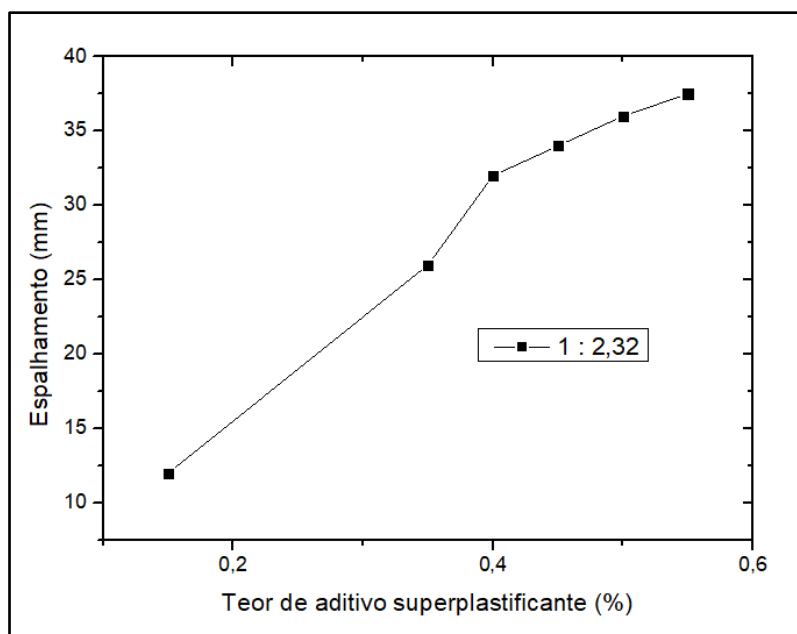


**Figura 19** - Aspecto do espalhamento da pasta.

**Fonte:** Autor (2017)

#### 4.1.5- ESTUDO DA ARGAMASSA

Após a realização dos ensaios na pasta, foi utilizado o teor de aditivo considerado limite (0,15%) no referido ensaio para dar início ao estudo da argamassa. Na Figura 20 é mostrado o espalhamento em função do teor de aditivo para o traço de argamassa obtido através do estudo de compacidade. O teor de aditivo ideal para esta mistura foi de 0,45% em massa.



**Figura 20** - Curva Teor de aditivo x Espalhamento.

**Fonte:** Autor (2017)

#### 4.1.6 – DESENVOLVIMENTO DO TRAÇO E PRODUÇÃO DO CONCRETO

Na elaboração do traço inicial foram utilizados os parâmetros do método IPT simplificado proposto por CAMPITELI (2011). O método se baseia em parâmetros básicos como a consistência e coesão. A consistência se relaciona ao traço através da relação água/materiais secos (H), já a coesão é relacionada através do teor de argamassa seca ( $\alpha$ ).

Tendo o traço como 1:a:p:x (cimento:areia:pedra:água), temos:

$$H = \frac{x}{1+a+p} * 100 (\%) \text{ ou } H = \frac{x}{1+m} * 100(\%) \quad (\text{Eq. 4.1})$$

$$\alpha = \frac{1+a}{1+a+p} * 100 (\%) \text{ ou } \alpha = \frac{1+a}{1+m} * 100(\%) \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Os valores de “a” e “p” foram definidos inicialmente através do ensaio de compacidade, onde “a” é a soma da proporção de areia média e fina. O valor de “H” foi fixado em 9%, valor que resulta em um consumo de cimento aproximado de 440 kg/m<sup>3</sup>, consumo seguro para obtenção da resistência característica



mínima de 21 MPa após 20 horas, visto que a relação água/cimento também foi fixada em 0,45. Este consumo de cimento se enquadra na zona intermediária das recomendações de consumo para o CAA.

Traço determinado através do estudo de compacidade:

**Tabela 7 - Traço inicial**

.Cimento	Areia (M+F)	Brita 0	Água	Aditivo (%)
1	2,32	1,68	0,45	0,4
Parâmetros				
H= 9%			α = 66,4	
Consumo de materiais por m <sup>3</sup>				
Cimento	Areia (M+F)	Brita 0	Água	Aditivo
438,6 kg	1017,5 Kg	736,8 Kg	197,3 L	1754g

**Fonte:** Autor (2017)

A porcentagem de areia fina em relação aos agregados foi obtido através do estudo de compacidade, sendo igual a 30%, assim, o traço unitário foi o seguinte:

$$1 : 1,12 : 1,2 : 1,68 : 0,45 : 0,004$$

(Cimento, Areia média, Areia fina. Brita 0, Água e Aditivo)

A quantidade de aditivo inicial foi determinada através das recomendações do fabricante e aumentada gradualmente até se obter as características desejadas. Devido ao alto consumo de materiais finos, o traço não apresentou as características de autoadensabilidade como já era previsto, pois, quanto maior consumo de materiais finos, maior é a demanda de água no traço, este fato se deu pela maior superfície de contato das partículas finas, retendo maior quantidade de água e tornando o concreto mais consistente com aspecto “farofado”, o que impossibilitou a realização dos ensaios de caracterização, mesmo com a adição significativa de aditivo superplastificante (0,55).

Modificou-se então o valor do parâmetro α (teor de argamassa seca) para 60%, resultando em uma proporção entre agregado graúdo e miúdo de 50% cada. Foram testadas as proporções entre os agregados miúdos areia média (AM) e areia fina (AF) em 60% e 40% e 55% e 45% respectivamente. O resultado

do traço é apresentado nas Tabelas 8 e 9, e os respectivos aspectos visuais dos ensaios de espalhamento nas Figuras 21 e 22.

**Tabela 8** - Traço (60%AM - 40%AF)

Cimento	Areia M	Areia F	Brita 0	Água	Aditivo
1	1,2	0,8	2	0,45	0,5%

Fonte: Autor (2017)



**Figura 21** - Aspecto do espalhamento - Traço com 60%AM e 40%AF.

Fonte: Autor (2017)

**Tabela 9** - Traço (55%AM-45%AF).

Cimento	Areia M	Areia F	Brita 0	Água	Aditivo
1	1,1	0,9	2	0,45	0,5%

Fonte: Autor (2017)



**Figura 22** - Aspecto do espalhamento - Traço com 55%AM e 45%AF

Fonte: Autor (2017)

Foi possível observar que o traço com 40% de areia fina, apresentou segregação e exsudação visíveis. Com aumento de 5% de areia fina, ou seja, 45%, o traço apresentou melhorias significativas. O concreto se mostrou coeso, sem segregação aparente e sem exsudação. A média do espalhamento de ambos foi igual a 710 e 685 mm respectivamente.

Considerando os mesmos parâmetros e alterando apenas a quantidade de aditivo, foi misturado outro traço com um maior volume de concreto afim de executar todos os demais ensaios propostos neste trabalho: Espalhamento e T500 (*Slump Flow Test*); Habilidade passante em fluxo livre (anel J); Habilidade passante em fluxo confinado (caixa L).

Na Tabela 10 é mostrado as características do traço e os resultados dos ensaios executados.

**Tabela 10** - Características do traço e resultado dos ensaios – Temperatura 23°C.

<b>Traço – Temperatura ambiente 23°C</b>			
<b>1 : 1,1 : 0,9 : 2 : 0,45 : 0,0055</b>			
<b>ENSAIO</b>	<b>CAA produzido</b>	<b>NBR 15823:2010</b>	<b>Classificação</b>
<b>Espalhamento (slump flow)</b>	735 mm	660 – 850	SF2
<b>Viscosidade plástica aparente T500</b>	3,6 s	≤ 2 e > 2	VS 2
<b>Habilidade passante sob fluxo livre (anel J)</b>	50 mm	0 a 25 mm 25 a 50 mm	PJ2
<b>Habilidade passante sob fluxo confinado (caixa L)</b>	0,82	0,8 a 1 com três barras de aço	PL2
<b>Resistência a compressão</b>			
<b>N° de corpos de prova</b>	<b>Idade</b>	<b>Resistência característica (Mpa)</b>	<b>Capecimento</b>
2	20h	22,14	Neoprene
2	7 dias	45,9	Neoprene

**Fonte:** Autor (2017)

O traço foi misturado em condições controladas em laboratório (temperatura do ambiente igual 23°C), porém devido a necessidade de se testar a mistura em condições reais de utilização, ou seja, temperaturas elevadas, em torno de 30 a 35°C, o mesmo traço foi repetido, agora com condições reais de temperatura e foi verificada uma redução nas propriedades no estado fresco do concreto, ou seja, o aumento da temperatura acarretou na diminuição da trabalhabilidade do CAA.

O espalhamento médio obtido com o aumento da temperatura foi de 580 mm, ou seja, redução considerável em relação ao traço misturado com temperatura mais amena. Sendo assim, foi necessário o aumento no teor de aditivo, passando de 0,55% para 0,65%, para que as mesmas propriedades fossem alcançadas. O resultado segue na Tabela 11.

**Tabela 11** - Características do traço e resultado dos ensaios – Temperatura 30°C.

<b>Traço – Temperatura ambiente 30 ° C</b>			
<b>1 : 1,1 : 0,9 : 2 : 0,45 : 0,0065</b>			
<b>ENSAIO</b>	<b>CAA produzido</b>	<b>NBR 15823:2010</b>	<b>Classificação</b>
<b>Espalhamento (slump flow)</b>	710 mm	660 – 850	SF2
<b>Viscosidade plástica aparente T500</b>	3 s	≤ 2 e > 2	VS 2
<b>Habilidade passante sob fluxo livre (anel J)</b>	25 mm	0 a 25 mm 25 a 50 mm	PJ1
<b>Habilidade passante sob fluxo confinado (caixa L)</b>	0,82	0,8 a 1 com três barras de aço	PL2
<b>Resistência a compressão</b>			
<b>N° de corpos de prova</b>	<b>Idade</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>	<b>Capeamento</b>
2	20h	20,7 MPa	Neoprene
2	7 dias	41,7MPa	Neoprene

**Fonte:** Autor (2017)

Para que o CAA seja caracterizado como apropriado para utilização na indústria de pré-moldados, o mesmo deve apresentar características conforme a Tabela 12 adaptada da NBR 15823:2010.

**Tabela 12** - Classes do concreto em função da sua aplicação

Classe de espalhamento	Espalhamento (mm)	-	Aplicação	Exemplo
SF2	660-750	-	Adequada para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras.
Classe de viscosidade plástica aparente	T500 (s)	Funil V (s)	Aplicação	Exemplo
VS1	≤ 2	≤ 8	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre	Lajes, paredes diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente
Classe de viscosidade plástica aparente	Anel J (mm)	Caixa L (H2/H1)	Aplicação	Exemplo
PL 2/PJ 2	0 a 25 com 16 barras de aço	≥ 0,80, com três barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm	Vigas, pilares, tirantes, indústria de pré-moldados

Fonte: Adaptada da NBR 15823:2010

O concreto produzido atendeu as principais características que o habilitam a ser utilizado em elementos pré-moldados, porém, com o intuito de melhorar algumas propriedades como fluidez e habilidade passante, foi realizado um ajuste no consumo de brita para que essas propriedades fossem melhoradas. Aumentou-se o teor de argamassa seca ( $\alpha$ ) para 62,4 afim de reduzir o consumo de brita de 50% para 47% do total dos agregados. O resultado é apresentado na Tabela 13.

**Tabela 13** - Características do traço com 47% de brita em relação ao total de agregados.

<b>Traço – Temperatura ambiente 23 ° C</b>			
<b>1 : 1,16 : 0,954 : 1,88 : 0,45 : 0,0055</b>			
<b>ENSAIO</b>	<b>CAA produzido</b>	<b>NBR 15823:2010</b>	<b>Classificação</b>
<b>Espalhamento (slump flow)</b>	710 mm	660 – 850	SF2
<b>Viscosidade plástica aparente T500</b>	3 s	≤ 2 e > 2	VS 2
<b>Habilidade passante sob fluxo livre (anel J)</b>	25 mm	0 a 25 mm 25 a 50 mm	PJ1
<b>Habilidade passante sob fluxo confinado (caixa L)</b>	0,92	0,8 a 1 com três barras de aço	PL2
<b>Resistência a compressão</b>			
<b>N° de corpos de prova</b>	<b>Idade</b>	<b>Resistência Característica (MPa)</b>	<b>Capeamento</b>
2	20h	20,9 MPa	Neoprene
2	7 dias	43,6 MPa	Neoprene
2	28 dias	51,7 MPa	Neoprene

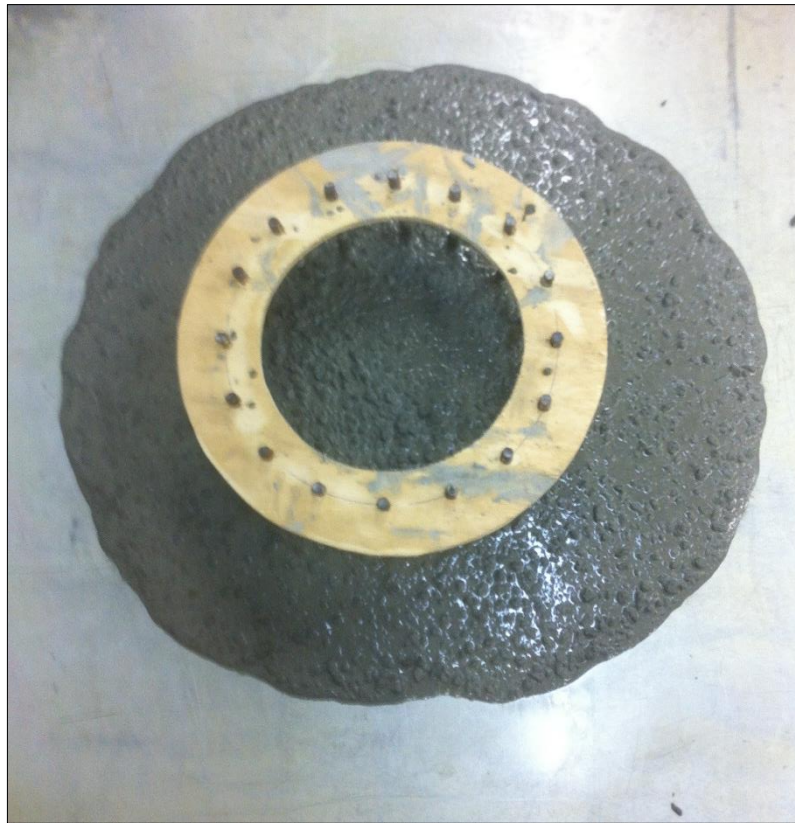
**Fonte:** Autor (2017)

O concreto apresentou fluidez e coesão satisfatórias, não houve segregação visual e nem exsudação nos ensaios de espalhamento e anel J, conforme pode ser observado nas Figuras 23 e 24. No ensaio de caixa L o concreto fluiu pelas barras de aço sem interrupção do fluxo, sugerindo-se, assim, que a pequena redução do consumo de brita no traço melhorou a habilidade passante da mistura.



**Figura 23** - Ensaio de espalhamento (Slump Flow).

**Fonte:** Autor (2017)



**Figura 24** - Ensaio de habilidade passante sob fluxo livre (anel J).

**Fonte:** Autor (2017)

É possível observar na Figura 25 a presença de brita chegando na borda da circunferência formada após o ensaio de habilidade passante sob fluxo livre (anel J), indicando a não ocorrência de segregação e não interrupção do fluxo da mistura ao passar pelas barras de aço. Também fica visível a não ocorrência de exsudação.



**Figura 25** - Aspecto da borda após o ensaio anel J.

**Fonte:** Autor (2017)

#### 4.1.7 - APLICAÇÃO DO CONCRETO DOSADO

Com o intuito de avaliar o desempenho do concreto autoadensável produzido, foi fabricada a armadura de uma pequena viga (Figura 26 - a), de seção 20x30cm e comprimento total 120 cm com volume de 0,072 m<sup>3</sup>. A fôrma foi reaproveitada da fábrica de pré-moldados conforme pode ser observado na Figura 26.

A fôrma apresentada na Figura 26 - (b) foi lixada e travada de modo que não apresentasse problemas no momento da concretagem. Antes da concretagem foi aplicado desmoldante em todas as faces da forma, para facilitar a desforma.





**Figura 26** - Detalhe armadura e fôrma da viga.

**Fonte:** Autor (2017)



**Figura 27** - Detalhe lateral da armadura e fôrma da viga utilizadas para teste.

**Fonte:** Autor (2017)

Para garantir o cobrimento mínimo de 2 cm conforme a NBR 9062:2017 utilizou-se espaçadores circulares em todas as faces da armadura. A armadura foi composta por 4 barras CA-50 de 8mm de diâmetro na parte inferior e 2 barras CA-50 de 8mm de diâmetro na parte superior. Os estribos nos primeiros 20cm das extremidades foram espaçados a cada 5 cm e ao longo da viga a cada 15 cm e tem diâmetro de 4,2 mm em CA-60. Além da armadura estrutural a viga foi armada com duas alças para içamento feitas de barras de aço CA-50 com diâmetro de 8 mm. Utilizou-se aço CA-60 de 4,2 mm para os estribos devido a disponibilidade do mesmo, lembrando que o diâmetro mínimo recomendado pela NBR 6118:2014 é de 5mm.

Na Figura 28 é possível observar a fôrma preenchida com a armadura antes da concretagem.



**Figura 28** - Detalhe do espaçamento da armadura.

**Fonte:** Autor (2017)

Para a concretagem da viga foram misturados dois traços com volume de 40 litros cada. Foram realizados todos os ensaios de caracterização do CAA já feitos nos traços anteriores para que fosse comprovada mais uma vez as propriedades de autoadensabilidade.



**Figura 29** - Espalhamento do concreto após o ensaio de Slump Flow.

**Fonte:** Autor (2007)

O concreto foi lançado diretamente da betoneira no centro da viga, para que fosse possível observar o fluxo do mesmo até as extremidades conforme é mostrado na Figura 30.





**Figura 30** - Detalhe do concreto chegando na extremidade da viga.

**Fonte:** Autor (2017)

Além dos ensaios de caracterização, foram moldados corpos de prova para a verificação da resistência característica a compressão no momento da desforma da viga (após 20 horas), aos 7 e 28 dias de idade. Na Tabela 14 é mostrado o resultado dos ensaios de caracterização e resistência à compressão do concreto.

**Tabela 14** - Resultado do traço final - Temperatura 23°C.

<b>Traço – Temperatura ambiente 23 ° C</b>			
<b>1 : 1,16 : 0,954 : 1,88 : 0,45 : 0,0055</b>			
<b>ENSAIO</b>	<b>CAA produzido</b>	<b>NBR 15823:2010</b>	<b>Classificação</b>
<b>Espalhamento (slump flow)</b>	715 mm	660 – 850	SF2
<b>Viscosidade plástica aparente T500</b>	3,2 s	≤ 2 e > 2	VS 2
<b>Habilidade passante sob fluxo livre (anel J)</b>	20 mm	0 a 25 mm 25 a 50 mm	PJ1
<b>Habilidade passante sob fluxo confinado (caixa L)</b>	0,95	0,8 a 1 com três barras de aço	PL2
<b>Resistência a compressão</b>			
<b>N° de corpos de prova</b>	<b>Idade</b>	<b>Resistência característica (MPa)</b>	<b>Caapeamento</b>
2	20h	20,3 MPa	Neoprene
2	7 dias	46,8 MPa	Neoprene
2	28 dias	53,7 MPa	Neoprene

**Fonte:** Autor (2017)

O acabamento da viga concretada foi considerado satisfatório. O concreto preencheu todos os espaços da fôrma sem deixar nenhuma “broca” ou “nicho de concretagem”. A superfície ficou lisa e bem acabada como pode ser observado na Figura 31.



**Figura 31** - Detalhe viga desformada.

**Fonte:** Autor (2017)

#### 4.1.8 - COMPARATIVO ENTRE CAA E CVV

##### 4.1.8.2 – CUSTO

Os custos dos materiais envolvidos na produção do concreto autoadensável e convencional (já utilizado pela fábrica) foram comparados. A composição do custo final dos insumos é apresentada na Tabela 15.

**Tabela 15** - Comparativo de custos entre o CAA e CCV.

	CAA			CCV		
	Qt. (Kg/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$ /kg)	Custo Total (R\$)	Qt. (Kg/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$ /kg)	Custo Total (R\$)
Cimento	440	0,42	184,8	460	R\$ 0,42	193,2
Areia M (A)	512	0,04	20,48	X	R\$ 0,04	0
Areia M (B)	X	0,45	0	1087	R\$ 0,045	48,92
Areia Fina	419	0,03	12,57	X	R\$ 0,03	0
Brita 0	825	0,043	35,475	770	R\$ 0,043	33,11
Aditivo	2,415	10,55	25,48	X	R\$ 10,55	0
<b>Custo Total</b>			<b>R\$ 278</b>			<b>R\$ 275,23</b>

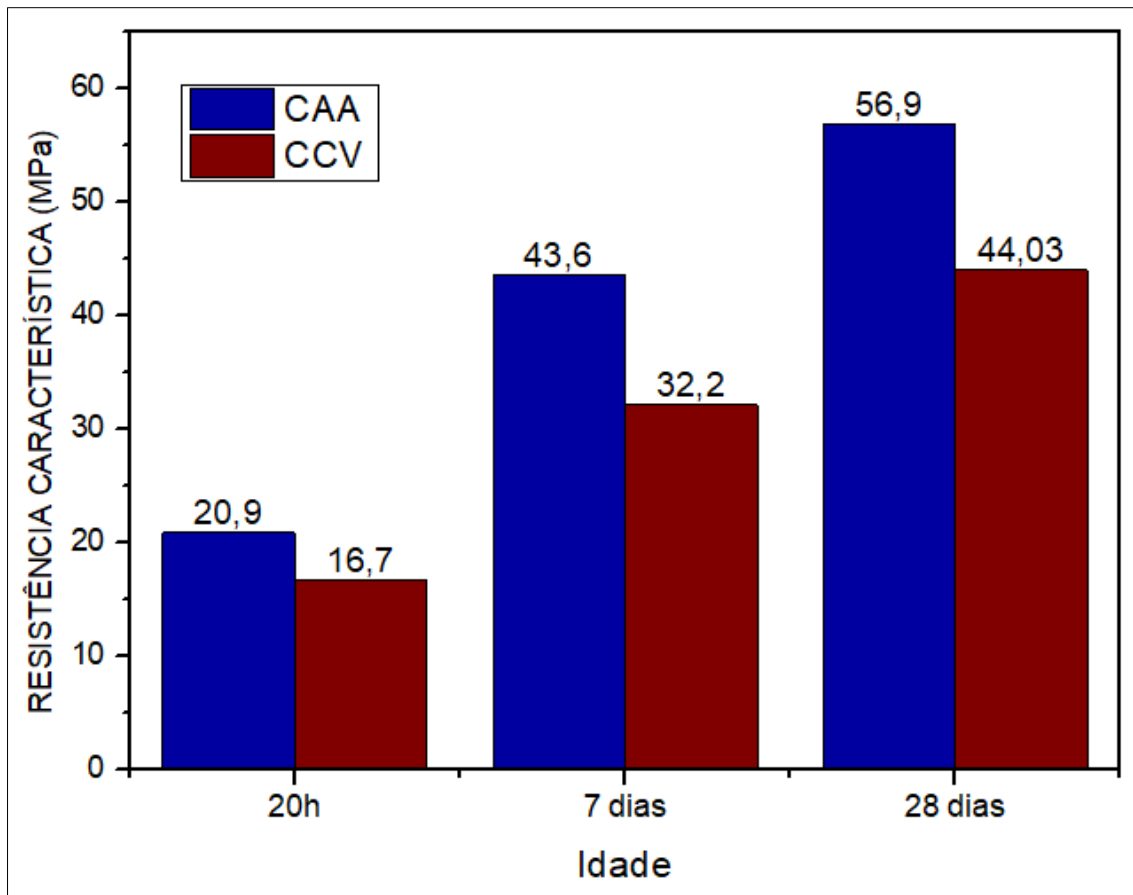
Fonte: Autor (2017)

Foi possível observar uma similaridade no custo final dos insumos para a produção dos dois tipos de concreto. Tendo em vista que os custos com mão de obra para mistura, transporte e lançamento podem ser considerados similares tanto no CAA quanto no CCV, ao utilizar o CAA, devido à eliminação da etapa de adensamento mecânico, obtém-se, ainda, uma considerável economia de mão de obra e consumo de energia, pois são necessários, no mínimo, dois colaboradores para executar essa função.

#### 4.1.8.2 – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Para que a força de protensão possa ser transmitida dos bancos de reação para as peças fabricadas sem que ocorram fissuras, trincas e até mesmo o escorregamento da cordoalha e/ou fios nos elementos concretados, fazendo com que seja perdida a força de protensão e, conseqüentemente, a perda da peça, a resistência característica do concreto no momento da desforma (normalmente, no intervalo entre 20 e 24h de idade) deve ser igual ou superior a 21 MPa, conforme as recomendações da NBR 9062:2017.

Na Figura 32 é mostrado o comparativo dos ensaios de compressão dos copos de prova referentes aos dois tipos de concreto.



**Figura 32** - Comparativo da resistência à compressão entre o CAA e o CCV.

Fonte: Autor (2017)

## 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise de desempenho realizada ao longo desse trabalho, foi observado o ganho significativo nas propriedades no estado fresco do concreto autoadensável (CAA) com a utilização da areia fina proveniente do processo de britagem na composição do agregado miúdo, devido à necessidade de finos que o mesmo requer, dispensando assim a utilização de aditivos modificadores de viscosidade. Além do ganho técnico, a areia fina artificial tem um custo reduzido em relação às areias médias, também avaliadas.

O desempenho do traço final dosado se enquadrou em quase todos os critérios da NBR 15823:2010 para classificação de uso em pré-moldados, tendo, em apenas um parâmetro do ensaio de espalhamento, classe de viscosidade plástica aparente (T500), resultado um pouco superior ao recomendado, três segundos, quando o ideal seria de dois segundos, porém, a execução do ensaio pode variar, pois depende da habilidade do operador, das condições de temperatura e dos avaliadores.

Quanto ao acabamento dos corpos de prova e da viga concretada para análise, o resultado foi satisfatório, atendendo aos critérios de qualidade exigidos pela empresa (superfície lisa, isenta de brocas ou ninhos de concretagem), além de redução da probabilidade da ocorrência de fissuras por retração devido a redução do consumo de cimento em relação ao concreto convencional (CCV).

Todos os traços que apresentaram propriedades de autoadensabilidade obtiveram resistência característica muito próxima do recomendado pela NBR 9062:2017 que especifica resistência mínima de 21 MPa para a desforma de elementos em concreto protendido. Os corpos de prova moldados com CAA tiveram melhor resultado quando comparados aos moldados com o CCV, reduzindo o tempo de desforma de 24h para 20h.

Levando em consideração o custo apenas dos materiais envolvidos na produção do concreto autoadensável e concreto convencional, o CAA ficou apenas 1% mais caro. Na composição final de utilização, o CAA apresenta menor custo, pois reduz 2 colaboradores no momento da concretagem,



responsáveis pelo adensamento mecânico do concreto, além de reduzir o custo da energia elétrica devido a eliminação dos vibradores de imersão.

Com base nos fatos analisados, foi possível concluir que a implementação do CAA na fábrica acarretará em benefícios técnicos e financeiros, além de melhorar o ambiente de trabalho com a considerável redução de ruído proveniente do uso dos vibradores de imersão e redução da probabilidade de acidentes de trabalho devido ao menor número de colaboradores no momento da concretagem das peças.

Por fim, o objetivo principal foi obtido, ficando como sugestão para trabalhos futuros a análise do módulo de elasticidade do concreto produzido, e a avaliação da redução de tempo no ciclo de produção da fábrica com a utilização do concreto autoadensável em relação ao concreto convencional.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados – Amostragem, Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_**NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_**NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_**NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_**NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_**NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_**NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_**NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos, Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_**NBR 12655**: Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_**NBR 15823-1**: Concreto auto-adensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco, Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_**NBR 15823-2**: Concreto auto-adensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams, Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_**NBR 15823-3**: Concreto auto-adensável Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J, Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_**NBR 15823-4**: Concreto auto-adensável Parte 4: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L, Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_**NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos.

ASTM **C29/29M (1992)** Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate.

ASTM **C125 (2011)** Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.

CAMPITELI, V.C. **Fundamentos da dosagem de concretos**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2011.

EFNARC – THE EUROPEAN FEDERATION OF SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **The European guidelines for selfcompacting concrete. February, 2002.**

EFNARC – THE EUROPEAN FEDERATION OF SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **The European guidelines for selfcompacting concrete. Specification, production and use. Maio, 2005.**

EL DEBS, M.K. **CONCRETO PRÉ-MOLDADO: Fundamentos e Aplicações.** São Paulo: EESC-USP, 2000.

FUSCO, P.B. **Tecnologia do Concreto Estrutural.** São Paulo: Editora PINI, 2008.

GOMES, Paulo C.C.; BARROS, Alexandre R. **Métodos de dosagem do concreto autoadensável.** São Paulo: Editora PINI, 2009.

HANAI, J.B, **Fundamentos do Concreto Protendido.** E-book de apoio para o Curso de Engenharia Civil, São Carlos, 2005.

HARTMANN, C.T.; HELENE, P.R.L. Avaliação de Aditivos Superplastificantes Base Policarboxilatos Destinados a Concretos de Cimento Portland. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil.** – São Paulo, EPUSP, 2003.

MOURET, M.; BASCOU, A.; EL BARRAK, M. **Characterization of the Self-compacting ability in the fresh state.** SELF-COMPACTING CONCRET NATIONAL PROJECT, France , 2011.

MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário, 2005, 183 p.** Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

METHTA, P.K. e MONTEIRO, P,J,M.. **CONCRETO: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1997

OKAMURA, H. **Self-Compacting High-Performance Concrete.** International Concrete, v. 19, n. 7, 1997, p. 50-54.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. **Self-compacting concrete. Development, present use and future.** Edição: A. Skarendhal; Petersson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 1st, 1999, Stockholm. **Proceedings...** France: RILEM Publications, 1999, p.3-14.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. **Self-compacting concrete.** Journal of Advanced Technology Vol. 1, No. 1. Japan Concrete Institute, 2003.

OUCHI, M; EDAMATSU, Y. **A simple evaluation method for interaction between coarse aggregate and mortar particles in the self-compacting**

**concrete.** A. Skarendhal; Petersson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELFCOMPACTING CONCRETE, 1st, 1999, Stockholm.

PETERSSON, Ö. **Design of Self-Compacting Concrete, Properties of the Fresh Concrete.** In: **Proceedings...** Seminar on Self-Compacting Concrete, p.15-20. Malmö/Copenhagen, 2000.

P. C. Aïtcin, **Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow**, Cement and Concrete Research 30 (9) (2000) 1349 -1359, July 2000.

TUTIKIAN, Bernardo; F. DAL MOLIN, Denise C. **CONCRETO AUTOADENSÁVEL.** 2ª ed. São Paulo: Editora PINI, 2015.

VASCONCELOS, A.C. **O concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações, volume III.** São Paulo: Studio Nobel, 2002.