

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARTA ARNOLD

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA AREIA DE BRITAGEM EM
ARGAMASSAS PARA CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2014**

MARTA ARNOLD

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA AREIA DE BRITAGEM EM
ARGAMASSAS PARA CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro, sob orientação do Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray

PATO BRANCO

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA AREIA DE BRITAGEM EM ARGAMASSAS PARA CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

MARTA ARNOLD

Aos 12 dias do mês de fevereiro do ano de 2014, às 8h15min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 10-TCC/2014.

Orientador: Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc NORMELIO VITOR FRACARO (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. MIGUEL JOSE ECHALUS (DACOC / UTFPR-PB)

Dedico este trabalho a minha família que sempre me apoiou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray, pela atenção, sabedoria e paciência com que me auxiliou no desenvolvimento deste trabalho. Igualmente agradeço aos professores componentes da banca de avaliação, Prof. Msc Normelio Vitor Fracaro e Prof. Msc Miguel José Etchalus, que com suas observações enriqueceram este trabalho.

Destaco o agradecimento à minha família me deram apoio sempre.

Enfim, agradeço a todos os que se fizeram presentes e me auxiliaram, de uma forma ou de outra, nesse caminho.

Obrigado pelo apoio.

Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim. (Chico Xavier)

RESUMO

ARNOLD, Marta. Estudo da utilização da areia de britagem em argamassas para concreto auto adensável. 2014. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

O concreto auto adensável tem se mostrado uma vantagem em comparação ao concreto convencional, levando-se em conta que pode apresentar uma redução nos custos globais da obra. Em sua composição tem-se os mesmos materiais utilizados no concreto convencional, porém tem-se a apresentar um maior teor de argamassa. Em vista da escassez das jazidas de areia natural e o preço desta no mercado, tem-se como proposta verificar qual o menor teor de aditivo utilizado em argamassas com areia de britagem para concretos auto adensáveis, através de ensaio de espalhamento. Sendo utilizadas argamassas com diferentes composições entre areia natural e areia de britagem tem-se um teor mínimo de aditivo utilizado de 0,3%, onde todas as argamassas atenderam o critério de espalhamento estabelecido.

Palavras-chave: concreto auto-adensável. Areia de britagem. Ensaio de espalhamento.

ABSTRACT

ARNOLD, Marta. Study of the use of sand crushing in mortar for self compacting concrete.. 2014. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

The self compacting concrete has proved an advantage compared to conventional concrete, taking into account that can demonstrate a reduction in the overall costs of the work. In its composition, has the same materials used in conventional concrete, however have to have a higher mortar content. In view of the scarcity of natural sand deposits and the price in this market, it has been proposed to find what the lowest amount of additive used in mortars with sand crushing to self compacting concrete, through scattering assay. Being used mortars with different compositions of natural sand and sand crushing has a minimum amount of additive used in 0.3%, where all mortars met the criteria established scattering.

Keywords: self-compacting concrete. Sand crushing. Assay scattering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacia de decantação.....	24
Figura 2 – Esquema de dosagem para CAA proposto por Gomes	26
Figura 3 – Esquema de dosagem de CAA proposto por Repette-Melo.....	27
Figura 4 – Esquema de dosagem de CAA proposto por Tutikian.....	28
Figura 5 – Sequencia de dosagem de CAA proposta por Tutikian.....	29
Figura 6 – Cone de Abrams para ensaio slump flow em CAA.....	30
Figura 7 -(a) Caixa em L; (b) Vista lateral da caixa L e esquema de ensaio	31
Figura 8 – V- Funnel.....	32
Figura 9 – Organograma de ensaios	33
Figura 10 – Areia Natural e areia de britagem.....	34
Figura 11 – Granulometria da areia de britagem e areia natural e limites da NBR 7211	35
Figura 12 – Filler empregado	36
Figura 13 – Granulometria de composições de areia natural e areia de britagem	37
Figura 14 – Cone de Marsh.....	38
Figura 15 a – Espalhamento da argamassa com 0,2% de aditivo com 90% AB e 10% AN	40
Figura 16 b – Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 90% AB e 10% AN.....	40
Figura 17 c – Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 90% AB e 10% AN.....	40
Figura 18 d – Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 90% AB e 10% AN.....	40
Figura 19 a - Espalhamento da argamassa com 0,2% de aditivo com 80% AB e 20% AN	41
Figura 20 b - Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 80% AB e 20% AN.....	41
Figura 21 c - Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 80% AB e 20% AN.....	41
Figura 22 d - Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 80% AB e 20% AN.....	41

Figura 23 a - Espalhamento da argamassa com 0,2% de aditivo com 70% AB e 30% AN	41
Figura 24 b - Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 70% AB e 30% AN	41
Figura 25 c - Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 70% AB e 30% AN	42
Figura 26 d - Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 70% AB e 30% AN	42
Figura 27 a - Espalhamento da argamassa com 0,20% de aditivo com 60% AB e 40% AN	42
Figura 28 b - Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 60% AB e 40% AN	42
Figura 29 c - Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 60% AB e 40% AN	42
Figura 30 d - Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 60% AB e 40% AN	42
Figura 31 a - Espalhamento da argamassa com 0,20% de aditivo com 50% AB e 50% AN	43
Figura 32 b - Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 50% AB e 50% AN	43
Figura 33 c - Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 50% AB e 50% AN	43
Figura 34 d - Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 50% AB e 50% AN	43
Figura 35 – Espalhamento de argamassas	44
Figura 36 – Espalhamento de argamassas entre 200 e 280 mm	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades do concreto influenciado pelas características do agregado	19
Tabela 2 – Características da areia natural e areia de britagem	34
Tabela 3 – Dados técnicos aditivo Glenium 51	36
Tabela 4 – Ponto de saturação do aditivo superplastificante	40
Tabela 5 – Diâmetros de espalhamento das argamassas	43
Tabela 6 – Teores mínimo e máximo de aditivo para atingir o critério de espalhamento.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
2. CONCRETO AUTO ADENSÁVEL	14
2.1 DEFINIÇÃO	14
2.2 HISTÓRICO	14
2.3 PROPRIEDADES DO CAA	14
2.4 VANTAGENS, DESVANTAGENS E APLICAÇÕES	16
2.5 MATERIAIS CONSTITUINTES	17
2.5.1 Cimento Portland	18
2.5.2 Agregados	18
2.5.3 Adições minerais	20
2.5.4 Aditivos	21
2.5.5 Água	22
2.6 AREIA DE BRITAGEM	23
2.7 MATERIAL PULVERULENTO (FILLER)	25
2.8 MÉTODOS DE DOSAGEM DE CAA	25
2.8.1 Método de Gomes	26
2.8.2 Método de Repette-Melo	27
2.8.3 Método de Tutikian	27
2.8.4 Método Tutikian & Dal Molin	28
2.9 PRINCIPAIS ENSAIOS NO CAA	29
2.9.1 Ensaio de Slump Flow Test	29
2.9.2 Ensaio da caixa L (L-box test)	30
2.9.3 Ensaio do funil-V (V – Funnel Test)	31

2.9.4	Ensaio de resistência à compressão.....	32
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	33
1.1	MATERIAIS.....	33
3.1.1	Cimento.....	33
3.1.2	Agregado miúdo.....	34
3.1.3	Aditivo	35
3.1.4	Filler	36
3.2	MÉTODOS.....	36
3.2.1	Composições granulométricas	37
3.2.2	Ponto de saturação do aditivo	38
3.2.3	Ensaio em argamassa.....	39
4.	RESULTADOS	39
6.1	PONTO DE SATURAÇÃO DO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EM PASTA DE CIMENTO	39
6.2	ENSAIOS EM ARGAMASSA	40
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
6.	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	47
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

O concreto tem sido o material de construção mais utilizado no mundo. Estima-se que o consumo atual de concreto no mundo seja da ordem de 11 bilhões de toneladas ao ano. (MEHTA, 2008)

Segundo Tutikian (2012), o concreto auto-adensável pode ser considerado o mais significativo avanço na tecnologia do concreto ao longo de décadas e deve substituir gradualmente parte do concreto convencional produzido atualmente pela indústria de concreto.

Este concreto pode ser definido como um concreto fluido que pode ser moldado *in loco* sem o uso de vibradores para formar um produto livre de vazios (isto é, sem espaços não preenchidos no interior da fôrma) e falhas (isto é, sem ar aprisionado). (MEHTA, 2008)

Dentre as vantagens apresentadas pelo concreto auto-adensável, em relação ao concreto convencional, estão o lançamento rápido, o suprimento do adensamento, a redução da mão de obra, devido à eliminação da etapa de vibração, e a eliminação do ruído produzido pelos vibradores, dentre outras vantagens.

O concreto auto-adensável, dorovante denominado CAA pode ser moldado *in loco*, na indústria de pré-moldados, podendo ser dosado no canteiro-de-obras, ou em centrais de concreto e depois transportado por meio de caminhão-betoneira para as construções (TUTIKIAN, 2008).

O CAA é produzido basicamente com os mesmos materiais do concreto convencional, daqui em diante denominado CCV, entretanto requer a adição de aditivos especiais, tais como superplastificantes e filler. Além disso, requer maior teor de argamassa que o concreto convencional. Repette (2011) cita que todo tipo de agregado miúdo utilizado no concreto convencional pode ser utilizado no concreto auto adensável, como a areia natural e a areia artificial.

Considerando-se que na produção de concreto auto-adensável pode-se empregar agregado miúdo de britagem, então é possível vislumbrar um cenário no qual a utilização do agregado miúdo, de origem natural, seja cada vez menor. Em vista do esgotamento de jazidas de areia natural e o impacto que a extração desta causa ao ambiente, o emprego da areia de britagem nos concretos torna-se uma alternativa indispensável. Neto (2006) cita que tais impactos são decorrentes da exploração, muitas vezes desordenada das jazidas e que acarretam graves

problemas ambientais, pois agredem as calhas naturais dos rios, causando um aumento da velocidade de água e assim acelerando o processo de erosão das margens.

A erosão acaba retirando a cobertura vegetal dessas áreas e tornando o solo estéril, sem crescimento de vegetação e sem possibilidade de recomposição do ambiente explorado. Neste sentido, a atual legislação vem obrigando os mineradores a lançar mão de técnicas de gerenciamento e de extração ou até de interdição de jazidas que não atendem às suas exigências. (NETO, 2006)

Além disto, o esgotamento das jazidas próximas aos centros consumidores fez com que a distância entre os pontos de extração e os pontos de consumo de areia aumentasse o custo, em decorrência do aumento da distância de transporte.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Determinar a menor porcentagem de aditivo superplastificante em argamassas destinadas à produção de CAA, utilizando misturas de areia de britagem e areia natural, de forma a atender os critérios de espalhamento estabelecidos pelo método de dosagem para CAA de Repette-Melo.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Realizar revisão bibliográfica sobre concreto auto-adensável;
2. Realizar a caracterização física dos materiais: Determinar a granulometria do agregado miúdo; Determinar a massa específica dos agregados miúdos; Determinar a massa específica do cimento e do filler;
3. Realizar ensaio de espalhamento, flow-table, com o objetivo de determinar o menor teor de aditivo superplastificante, de forma a atender os requisitos de espalhamento propostos por Repette e Mello;
4. Escolha de uma relação água/cimento para a produção das argamassas, de modo a atender os requisitos de concreto auto-adensável;
5. Escolha da quantidade de filler (material pulverulento) a ser utilizado nas argamassas.

1.2 JUSTIFICATIVA

O adequado proporcionamento da areia de britagem e da areia natural, para a produção de concretos convencionais, tem apresentado vantagens técnicas e econômicas. Nesse trabalho, utilizando-se argamassas para CAA, espera-se obter, também, resultados favoráveis ao emprego da areia de britagem.

Segundo Silva *et al* (2005) a areia britada vem sendo, cada vez mais, uma alternativa para substituição da areia natural proveniente dos leitos de rios, na medida em que as jazidas de areia natural ou se esgotam ou sofrem restrição para proteção ambiental.

O CAA, segundo Tutikian (2008), é uma das áreas da tecnologia do concreto que tem o maior potencial de desenvolvimento, e observando-se a crescente utilização deste no mercado e as vantagens que este apresenta com relação ao concreto convencional, percebeu-se a necessidade de realizar estudo empregando areia de britagem, inicialmente, em argamassa para CAA.

Considerando-se que o CAA tem um maior teor de argamassa que o CCV, isto é, demanda maior consumo de areia por metro cúbico que o CCV, o emprego da areia de britagem (AB) em conjunto com a areia natural (AN), pode ser uma alternativa que permitirá a redução o custo do concreto por metro cúbico, posto que o metro cúbico de areia de britagem é consideravelmente menor que o metro cúbico de areia natural.

Além disso, na produção de argamassa para CAA será utilizado como filler material pulverulento, o qual tem, na grande maioria das vezes, possui destinação inapropriada.

O Laboratório de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, conta com equipamentos e infraestrutura que possibilita a realização da presente pesquisa.

2. CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

2.1 DEFINIÇÃO

O concreto auto-adensável (CAA) pode ser definido como um concreto fluido que pode ser moldado in loco sem o uso de vibradores para formar um produto livre de vazios e falhas (MEHTA, 2008)

2.2 HISTÓRICO

Possivelmente uma das primeiras aplicações do concreto auto-adensável tenha sido a doca de São Marco em Trieste (Itália), que foi construída em 1980 utilizando lançamento submerso de 40.000 m³ de concreto. Decidiu-se desenvolver um tipo de concreto com superplastificante que possuísse tanto alta fluidez quanto alta coesão (COLLEPARDI *et al*/apud MEHTA, 2008).

Inicialmente desenvolvido no Japão pelo Professor Hajime Okamura na década de 1980, o CAA surgiu da necessidade de obter estruturas mais duráveis, com economia e menor tempo de execução, tendo em vista a proporção otimizada dos componentes da mistura e a ausência da necessidade do adensamento mecânico do concreto. (GOMES; BARROS, 2009)

O adensamento inadequado do concreto foi identificado pelos engenheiros japoneses como uma das principais causas de comprometimento da durabilidade das estruturas. Neste contexto, o CAA foi inicialmente desenvolvido para suprir a deficiência de mão-de-obra qualificada na operação de concretagem.

Segundo Marques (2011) o objetivo de utilizar os aditivos e adições nos concretos das concretagens submersas era aumentar suficientemente a coesão interna do concreto para alcançar a desejada resistência à lavagem sem prejudicar demasiadamente a trabalhabilidade. A ideia de ampliar o campo de aplicação deste tipo de composição, para além das aplicações submersas, foi sugerida por Okamura, da Universidade de Tóquio, em 1996.

2.3 PROPRIEDADES DO CAA

O CAA se caracteriza por apresentar alta fluidez, elevada coesão, ser auto-adensável e auto-nivelante, o que permite que o concreto tenha acesso a partes da

estrutura que possua formas curvas e/ou complexas e/ou com elevada densidade de armadura, dotado ainda de baixa porosidade e permeabilidade, o que resultará em um concreto durável e resistente.

A habilidade de passar entre obstáculos, a habilidade de preenchimento e resistência à segregação são as principais propriedades de auto-adensabilidade do CAA (GOMES; BARROS, 2008).

Segundo Tutikian (2008) a fluidez é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de fluir dentro da forma e preencher todos os espaços. Gomes e Barros (2009) citam que esta capacidade de preenchimento está diretamente ligada à habilidade de passagem. Para que o CAA possa fluir dentro da forma, sem que os obstáculos ou formas complexas interfiram no fluxo, e preencher todos os espaços somente pelo efeito de seu peso próprio é preciso que este apresente alta fluidez e coesão da mistura.

A habilidade do concreto fresco, seja um CAA ou não, de preencher as fôrmas sem a presença de bolhas de ar ou falhas de concretagem (ninhas), é um dos principais fatores que influem na qualidade do concreto endurecido. (TUTIKIAN, 2008)

Tutikian (2008) cita que a compactação do CAA é feita somente através de seu peso próprio, ou seja, a ação da força da gravidade em sua massa, e que é estritamente proibido o uso de vibradores de imersão, régua vibratórias ou qualquer forma de compactação no CAA.

A habilidade de passagem é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de passar por entre obstáculos como: armaduras, diminuições de seções e aberturas e seções estreitas, sem que haja obstrução do fluxo. (GOMES, BARROS, 2009)

Segundo Gomes e Barros (2009) a viscosidade da pasta e da argamassa e as características dos agregados influenciam na habilidade de passagem do CAA. Os autores observam que havendo presença de segregação esta propriedade dificilmente será atendida.

Repetto (2011) cita que para o CAA apresentar resistência à segregação, este deve manter a homogeneidade durante as etapas da mistura, transporte e lançamento, além de não apresentar segregação por afundamento dos agregados, ou exsudação no concreto colocado nas formas. Gomes e Barros (2009) citam que

para apresentar resistência à segregação o CAA deve apresentar coesão da mistura e viscosidade.

Tutikian (2008) ressalta que deve-se tomar cuidado na dosagem do CAA, sendo necessário a realização de testes com equipamentos que simulem as condições reais de lançamento do material, pois “uma mistura mal dosada pode até parecer coesa, mas ao ser lançada nas fôrmas iniciará o processo de segregação”.

Repette (2011) cita outros requisitos comuns ao concreto convencional que também são aplicáveis ao CAA, como:

- Tempo em aberto: tempo em que o CAA mantém suas propriedades de escoar, sem comprometer a aplicação;
- Bombeabilidade: refere-se a facilidade com que o CAA é bombeado, possibilitando o transporte por bomba em maiores distâncias ou alturas, com menor desgaste dos equipamentos;
- Acabamento superficial: refere-se à qualidade da superfície acabada, observando-se se há ou não a presença de bolhas, a homogeneidade de textura e cor;
- Resistência mecânica e durabilidade: são propriedades que o concreto no estado endurecido tem de satisfazer, em vista das normas vigentes pertinentes.

No estado endurecido o CAA apresenta microestrutura homogênea devido à presença de grande quantidade de finos. A resistência à compressão apresenta-se melhor que a do concreto convencional, com mesma relação água/cimento. A aderência pode apresenta-se melhor ou igual a do CCV, porém o módulo de elasticidade do CAA tende a reduzir, em comparação ao CCV. Com relação a durabilidade o CAA apresenta boas características de durabilidade (SKARENDAHL,2003 *apud* MELO, 2005).

2.4 VANTAGENS, DESVANTAGENS E APLICAÇÕES

Segundo Tutikian (2008) o uso do CAA pode proporcionar diversos ganhos diretos e indiretos como:

- a) Acelera a construção, já que seu lançamento é muito rápido e dispensa o adensamento;

- b) Reduz a mão-de-obra no canteiro porque elimina a vibração e facilita o espalhamento e o nivelamento do concreto;
- c) Melhora o acabamento final da superfície;
- d) Pode aumentar a durabilidade por ser mais fácil de adensar e evita, assim, que ocorram falhas de concretagem e grandes vazios resultantes da má vibração;
- e) Permite grande liberdade de formas e dimensões: o CAA preenche formas curvas, esbeltas, com altas taxas de armadura e de difícil acesso;
- f) Elimina o barulho de vibração, o que é muito importante em grandes centros urbanos, concretagens noturnas ou obras perto de escolas e hospitais;
- g) Torna o local de trabalho mais seguro em função da diminuição do número de trabalhadores;
- h) Permite obter um ganho ecológico porque utiliza em sua composição altos teores de resíduos industriais como cinza volante, escória de alto forno ou cinza de casca de arroz;
- i) Pode reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura caso sejam computados economicamente todos os ganhos citados acima.

Sendo tão versátil quanto o CCV, O CAA pode ser aplicado em elementos e construção vertical, regiões de elevado risco sísmico, trabalhos de reabilitação em áreas de difícil acesso e seções congestionadas, indústria de pré-moldados, pontes, túneis, barragens, paredes diafragma, tanques. (NUNES, 2001; OKAMURA; OUCHI 2003 *apud* MELO, 2005)

Como principal desvantagem do CAA Marques (2011) cita a necessidade de mão de obra especializada para sua confecção e controle tecnológico. Segundo o autor, o CAA necessita de maior controle durante sua aplicação, com relação ao CCV, de maiores cuidados durante o transporte, para evitar segregação, e também apresenta menor tempo disponível para aplicação.

2.5 MATERIAIS CONSTITUINTES

Os materiais utilizados no CAA são os mesmos utilizados no CCV, porém no CAA tem-se uma maior quantidade de finos e o emprego de aditivos superplastificantes e/ou modificadores de viscosidade.

2.5.1 Cimento Portland

No CAA são empregados os mesmos cimentos utilizados para a produção do CCV. Tutikian (2008) cita que não existem critérios científicos que especifiquem o cimento mais adequado para o CAA, sendo melhor aquele que apresenta menor variabilidade em termos de resistência à compressão.

Variações no tipo de cimento, e mesmo de seus fabricantes, afetam diretamente as propriedades do CAA no estado fresco, uma vez que a viscosidade e a tensão de escoamento dependem fortemente das características reológicas da pasta que compõe o concreto (REPETTE, 2011).

Tutikian (2008) cita que como se tem uma elevada demanda de finos no CAA devido à necessidade de uma alta coesão da mistura, cimentos de maior superfície específica são mais apropriados, aumentando-se porém os cuidados necessários em relação ao calor de hidratação e a retração do concreto.

2.5.2 Agregados

Como pelo menos três quartas partes do volume do concreto são ocupadas pelos agregados, não surpreende que a sua qualidade seja de considerável importância (NEVILLE, 1997).

O agregado não só pode influenciar a resistência do concreto, pois agregados com propriedades indesejáveis podem não apenas reduzir um concreto pouco resistente, mas também podem comprometer a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto. (NEVILLE, 1997)

A forma e a textura superficial das partículas do agregado influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que as no estado endurecido. Comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas necessitam de mais pasta de cimento para produzir misturas de concreto trabalháveis e, portanto, o custo aumenta. (MEHTA, 2008)

Na Tabela 1 SBRIGHI NETO (2003) *apud* Neto (2006) relaciona algumas das características dos agregados às principais propriedades do concreto.

Tabela 1 – Propriedades do concreto influenciado pelas características do agregado

Propriedades do concreto	Características relevantes do agregado
Resistência Mecânica	Resistência mecânica Textura superficial Limpeza Forma dos grãos Dimensão máxima
Retração	Módulo de elasticidade Forma dos grãos Textura superficial Limpeza Dimensão máxima
Massa unitária	Massa específica Forma dos grãos Granulometria Dimensão máxima
Economia	Forma dos grãos Granulometria Dimensão máxima Beneficiamento requerido disponibilidade

Fonte: Neto, 2006

Segundo Neto (2006) a quantidade de água necessária para a obtenção da trabalhabilidade é influenciada pelas variações da dimensão máxima característica do agregado e a razão entre agregado graúdo e miúdo e o conteúdo de finos, sendo que o formato dos grãos tem influencia direta na trabalhabilidade e consequentemente na resistência a compressão.

2.5.2.1 Agregado miúdo

Segundo Repette (2011) todo tipo de agregado miúdo empregado no CCV pode ser empregado no CAA, porém é preferível o emprego de areias naturais devido a forma mais uniforme e arredondada dos grãos.

A seleção do agregado miúdo está condicionada à demanda de água, fator essencial por sua influência sobre a coesão e fluidez do concreto (TUTIKIAN, 2008).

Repette (2011) cita que é melhor o emprego de areias tidas como médias-finas ($MF \approx 2,4$) e finas ($MF \approx 1,0$), pois areias mais grossas promovem a necessidade do aumento do teor de pasta.

Otaviano (2007) apud Tutikian (2008) acrescenta que deve-se ter um controle rigoroso na umidade do agregado miúdo, pois este fator é uma das principais causas de variação da fluidez da mistura.

2.5.2.2 Agregado graúdo

Para garantir a passagem do concreto por todos os obstáculos durante o lançamento e reduzir a tendência à segregação, as exigências quanto à dimensão máxima característica do agregado graúdo são mais restritivas (TUTIKIAN, 2008).

Agregados graúdos com forma irregular, como partículas angulosas e lamelares, e com textura áspera, devem ser empregados em uma granulometria mais fina para que seja menor o efeito na fluidez do concreto (REPETTE, 2011).

Tutikian (2008) cita que na prática são empregados agregados com tamanhos entre 12,5 e 19mm. Este também recomenda que se empregue no CAA agregados com coeficiente de forma próximo a 1, para evitar o aumento do consumo de água e redução da trabalhabilidade se empregado agregados com angulosidade acentuada.

Deve-se considerar que quanto maior o diâmetro do agregado, maior deverá ser a viscosidade da pasta para evitar a sua segregação, além de ser maior a possibilidade de ocorrência de bloqueio quando da passagem do concreto por restrições (REPETTE, 2011).

2.5.3 Adições minerais

Adições são frequentemente utilizadas na produção do CAA visando o aumento da quantidade de finos, em oposição ao aumento do teor de cimento Portland nas misturas (REPETTE, 2011).

Tutikian (2008) cita que as adições minerais podem desempenhar um papel importante para a resistência e durabilidade do concreto, tanto física quanto quimicamente, além de serem responsáveis pela resistência à segregação da mistura.

Consideram-se adições ou finos os materiais com dimensões de partículas menores do que 0,150mm, sendo indicado que mais que 75% tenham dimensões menores do que 0,075mm (REPETTE, 2011)

As adições minerais devem ser escolhidas após uma análise técnica e econômica e podem ser diversas, desde que tenham áreas superficiais maiores que a do componente que estão substituindo (TUTIKIAN, 2008)

A adições podem ser quimicamente ativas, sendo empregados material pozolânico como material cimentante (cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz) e sem atividade química, sendo utilizados fílers em substituição ao agregado miúdo.

Neville (1997) define filler como um material finamente moído, com aproximadamente a mesma finura do cimento Portland, que, devido as suas propriedades físicas, tem um efeito benéfico sobre as propriedades do concreto, tais como trabalhabilidade, densidade, permeabilidade, capilaridade, exsudação ou tendência à fissuração. O autor ressalta a importância da uniformidade das propriedades, e, especialmente da finura, pois o filler não deve aumentar a demanda de água da mistura quando usados em concreto, a menos que usados com um aditivo redutor de água, para não prejudicar a resistência do concreto as intempéries ou a proteção do concreto à armadura.

A adição de materiais finos no CAA melhora diversas propriedades tanto no estado fresco como no endurecido. Os finos atuam como pontos de nucleação, ou seja, quebram a inércia do sistema, fazendo com que as partículas de cimento reajam mais rapidamente com a água. Obtém-se, assim, ganhos de resistência nas primeiras idades da mesma forma que, ao aumentar o pacote de partículas finas, cresce a compacidade da pasta, dificultando a penetração de agentes externos agressivos, melhorando a zona de transição (TUTIKIAN, 2008).

2.5.4 Aditivos

Um aditivo pode ser definido com um produto químico que, exceto em casos especiais, é adicionado à mistura de concreto em teores não maiores do que 5% em relação à massa de cimento durante a mistura ou durante uma mistura complementar antes do lançamento do concreto, com a finalidade de se obterem

modificações específicas, ou modificações das propriedades normais do concreto. (NEVILLE, 1997)

Tutikian (2008) cita que no CAA são empregados dois principais tipos de aditivos: os superplastificantes e os modificadores de viscosidade.

Os superplastificantes, também chamados de aditivos redutores de água de alta eficiência, são capazes de reduzir de três a quatro vezes a água de amassamento de uma determinada mistura de concreto comparado aos aditivos redutores de água normais (MEHTA, 2008).

Segundo Aïtcin (2000) estes podem ser classificados em quatro categorias, de acordo com a natureza química de sua base:

- Policondensado de formaldeído e melamina sulfonada, também chamado de melamina sulfonada;
- Policondensado de formaldeído e naftaleno sulfonado, também chamado de naftaleno sulfonado;
- Lignossulfonato;
- Poliacrilatos.

Repette (2011) cita que os aditivos de base policarboxilato são os mais empregados na produção de CAA. O superplastificante necessita promover a redução de água de no mínimo 20%.

Os aditivos modificadores de viscosidade são empregados para melhorar a resistência à segregação do CAA (REPETTE, 2008). São produtos à base de polissacarídeos com cadeias poliméricas de alto peso molecular ou de base inorgânica, que quando adicionados ao concreto, melhoram a coesão da massa no estado fresco (TUTIKIAN, 2008)

2.5.5 Água

A qualidade da água também tem um papel importante: impurezas contidas na água podem influenciar negativamente a resistência do concreto ou causar manchamento da sua superfície, ou também, resultar corrosão da armadura. Por essas razões, deve-se dar atenção à qualidade da água para amassamento e para cura do concreto. (NEVILLE, 1997)

A água de amassamento não deve conter matérias orgânicas indesejáveis nem substâncias inorgânicas em teores excessivos. (NEVILLE, 1997)

Os requisitos de qualidade da água para CAA são os mesmos que para o CCV (TUTIKIAN, 2008).

2.6 AREIA DE BRITAGEM

Segundo a NBR 9935 (2005) da ABNT, areia de britagem é um material pétreo, proveniente de processos de cominuição mecânica de rochas já britadas, com granulometria entre 4,75mm e 150 µm.

“Os agregados miúdos de britagem diferem dos naturais pela forma e textura superficial de suas partículas e pela granulometria do material mais fino” (DAMO, 2011).

A areia de britagem é proveniente do processo de extração da brita. Esse material vem ganhando espaço na construção civil por ser mais barato que a areia de rio, a qual é substituída pela areia de britagem (PILZ *et al* , 2009).

Algumas das características a areia de britagem são devidas ao processo de britagem e outras devidas ao tipo de rocha de origem, ambas influenciando na curva granulométrica e na forma de suas partículas (DAMO, 2011).

Nas pedreiras, há diversos produtos classificados durante o beneficiamento da brita, variando conforme o processamento que ocorre a seco ou a úmido. Segundo Neto (2006), se o processo é a seco, costuma-se comercializar e ou estocar o pó de pedra, e se a úmido, separar a areia de brita e enviar a “lama” para bacias de decantação conforme apresentado na figura .



Figura 1 - Bacia de decantação
Fonte – Neto (2006)

As partículas das areias de britagem são, em geral, angulosas, apresentando superfícies recém-criadas pela britagem (KLEIN, 2008).

A sua distribuição granulométrica, seus altos teores de material pulverulento, a forma angulosa e, muitas vezes, lamelar das partículas, podem prejudicar o concreto, elevando a demanda de água para uma mesma trabalhabilidade e conseqüentemente, elevando também o consumo de cimento (DAMO, 2011).

Repetto (2011) cita que areias artificiais são menos indicadas para o uso em CAA por apresentarem grãos com elevada angulosidade e aspereza superficial, o que causa maior intertravamento das partículas e maior absorção de água, aumentando a demanda por pasta e aditivos superplastificantes na composição do CAA. Entretanto, considerando-se que neste estudo a granulometria do agregado miúdo será composta tanto por agregados naturais quanto por agregados de britagem, espera-se que estes efeitos sejam minimizados.

Já Santos (2008) cita que é viável a substituição total da areia natural pela areia britada em CCV, tomando-se cuidados como usar areias com formato equidimensional/esférico, de preferencia empregar areias com altos percentuais de grãos médio-finos buscando ter-se uma estrutura sólida mais compacta. Neto (2006) conclui que é viável a substituição integral de areia natural (AN) por areia de britagem (AB) em CCV desde que seja controlado o teor de material pulverulento e otimizada a granulometria, levando-se em conta que estes dois fatores exercem as

principais influencias nas propriedades e no consumo de cimento em concretos de cimento Portland.

Neto (2006) constata que concretos contendo AB possuem maior resistência à tração por compressão diametral e a tração na flexão do que os concretos contendo AN, comprovando que os concretos com consumos mais elevados de cimento e maior quantidade de material pulverulento influenciam nestes resultados, aliado ao melhor travamento da AB, devido à presença de agregados mais angulosos, evidenciando que uma maior área específica da AB equivale a um menor módulo de elasticidade em relação à AN.

2.7 MATERIAL PULVERULENTO (FILLER)

Os finos de pedra são caracterizados por apresentar material de granulometria com percentual abaixo de 0,075 mm, em suspensão na água. A produção dos finos, limitada a deslamagem da areia na produção de brita com processo de beneficiamento a úmido, apesar de não ser tão significativa em termos quantitativos, é um grande problema ambiental, quanto à sua disposição. Trata-se de um material gerado como uma polpa muito diluída que é disposta em bacias de decantação ou lagoas de captação (que abastecem o beneficiamento). Isto faz com que o assoreamento destes corpos d'água seja um agravante antieconômico ao processo produtivo (NETO, 2006).

O armazenamento do agregado miúdo britado em pilhas de estocagem expostas à ação dos ventos pode liberar materiais particulados, que provocam a poluição do ar, e podem se deslocar para a rede de drenagem através das chuvas, provocando o entupimento das tubulações e assoreamento. (NETO, 2006)

Estes finos podem ser empregados no CAA como filler, podendo melhorar as características deste e dar uso a um resíduo do processo de britagem.

2.8 MÉTODOS DE DOSAGEM DE CAA

Fochs (2013) constata que pode-se dividir os métodos de dosagem de CAA nacionais em dois grupos. No primeiro tem-se os métodos propostos por Gomes *et al.* de 2002 e Repette e Melo de 2005, que propõem uma dosagem considerando o proporcionamento dos agregados e finos, realizando a dosagem em pasta ou da

pasta e argamassa, para depois realizar a dosagem do concreto. São métodos que exigem mais ensaios, e uma estrutura laboratorial bem equipada.

O segundo grupo descrito por Fochs (2013), tem-se os métodos de dosagem de Tutikian de 2004 e de Helene de 2006 e Tutikian e Dal Molin de 2007, sendo que estes métodos avaliam o CAA como um todo, sendo realizado os ajustes direto na mistura do concreto. São métodos que demandam um pouco de experiência do responsável durante a dosagem.

A seguir são descritos sucintamente alguns métodos de dosagem utilizados.

2.8.1 Método de Gomes

O método proposto por Gomes (2002) propõe a dosagem para CAA com alta resistência, sendo este obtido por duas fases: otimização da composição da pasta e do esqueleto granular, atendendo os requisitos das propriedades desejadas para o concreto. Algumas condições devem ser cumpridas:

- A relação água/aglomerante deve ser baixa ($<0,40$)
- Para obter-se pasta com alta fluidez e boa coesão deve-se otimizar as relações de aditivo superplastificante/cimento e finos/cimento.
- Determinar um esqueleto granular com mínimo teor de vazios;
- Determinar o teor de pasta com as características de auto adensabilidade do concreto fresco, bem como a resistência à compressão.

O esquema de dosagem proposto por Gomes(2002) pode ser visto na figura 2.

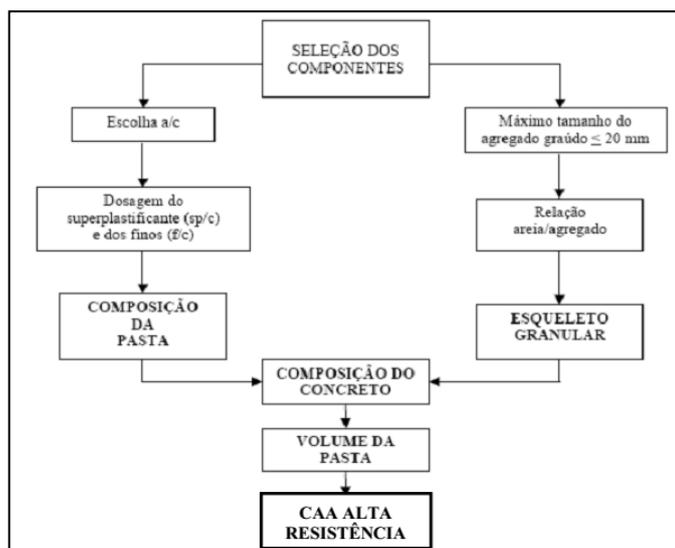


Figura 2 – Esquema de dosagem para CAA proposto por Gomes
Fonte – Gomes (2002) apud kraus (2006)

2.8.2 Método de Repette-Melo

Proposto através de uma tese de mestrado na Universidade Federal de Santa Catarina, este método baseia-se na dosagem do CAA com uso de cimento Portland e filler de base calcária. Na figura 3 tem-se um esquema do método de dosagem.

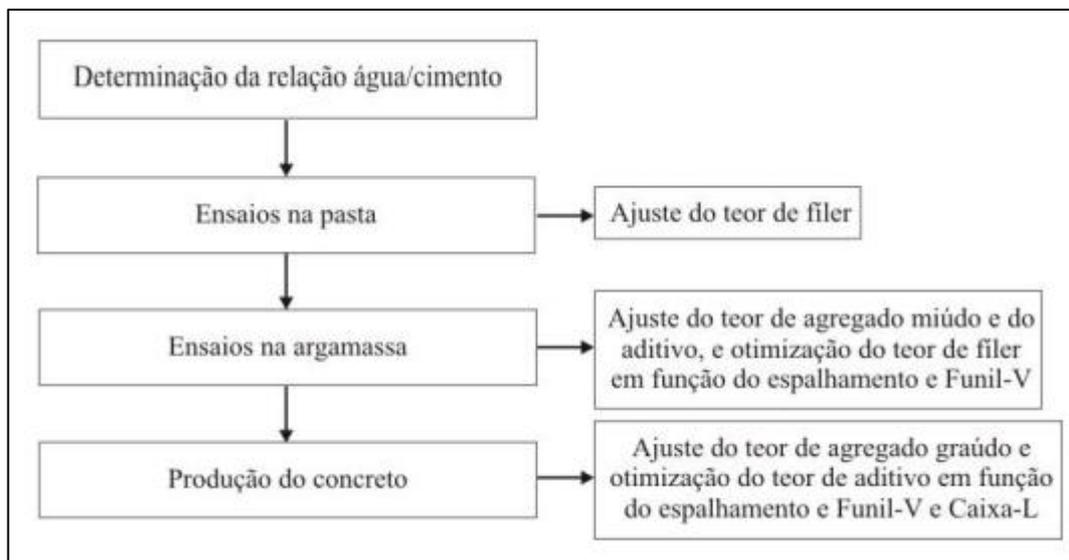


Figura 3 – Esquema de dosagem de CAA proposto por Repette-Melo
Fonte – Melo (2005)

Primeiramente é determinada a relação água/cimento, em função da resistência desejada, levando-se em conta o tipo de cimento utilizado. Depois passa-se para os ensaios em pasta onde se define o teor de filler para a relação água/cimento adotada.

Depois de definido o teor de filler são feitos ensaios em argamassa, onde são ajustados o teor de agregado miúdo e do aditivo. Estes ajustes são feitos através dos ensaios no funil –V e do ensaio de espalhamento.

Após serem definidos o teor de agregado miúdo passa-se a produção do concreto, onde é ajustado o teor de agregado graúdo e feita a otimização do teor de aditivo em função do espalhamento e funil-V e caixa-L.

2.8.3 Método de Tutikian

O método proposto por Tutikian (2004) é baseado no método de dosagem para CCV IPT/EPUSP, sendo um método experimental e prático, sendo apresentado na figura 4 o seu esquema, onde o objetivo final é a moldagem de três traços de concreto ou mais para que se possa desenhar o diagrama de dosagem.

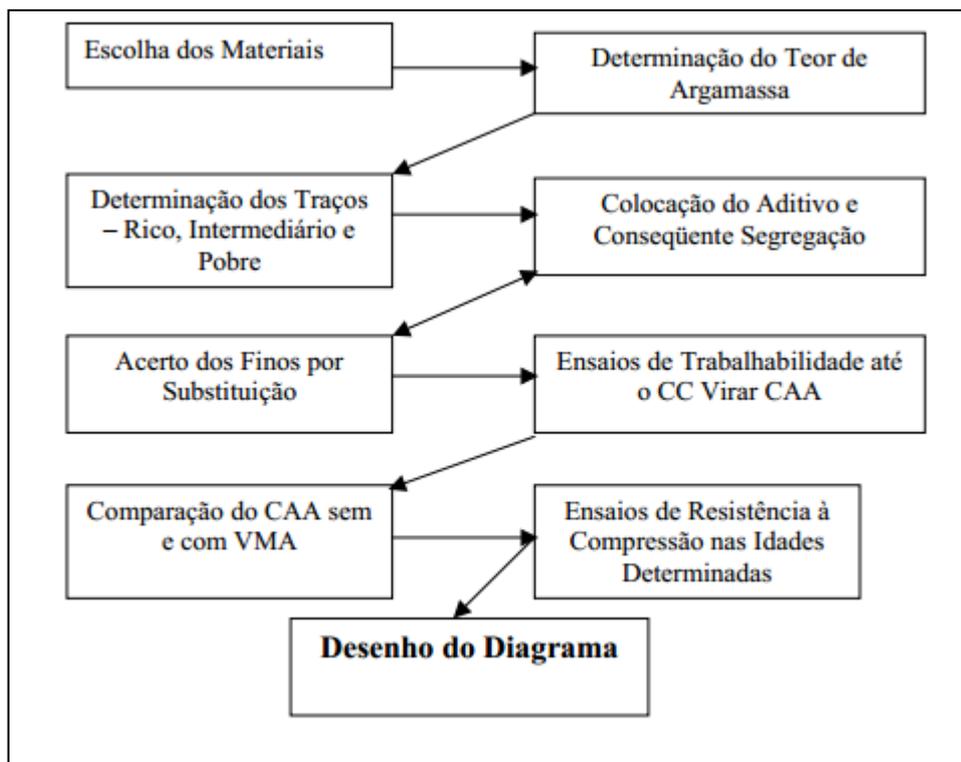


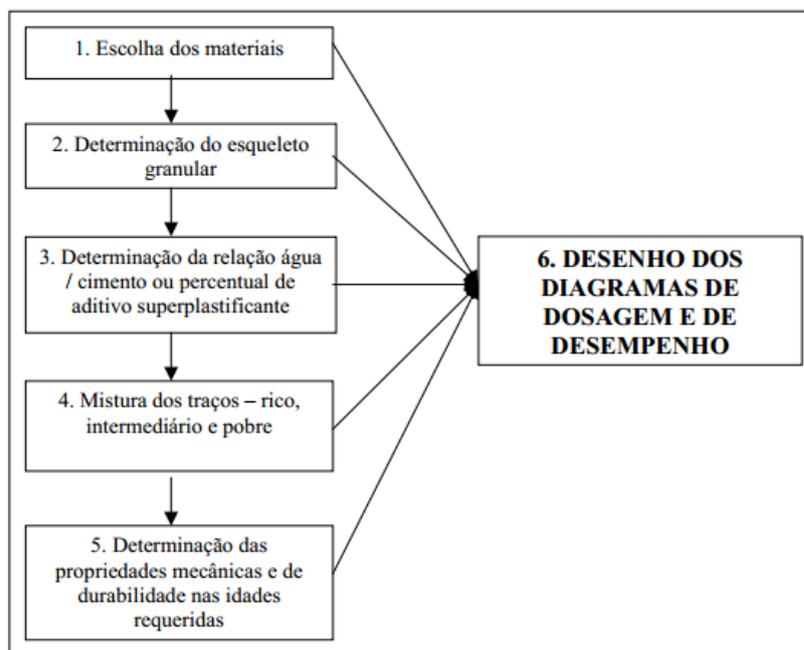
Figura 4 – Esquema de dosagem de CAA proposto por Tutikian
Fonte – Tutikian (2007)

2.8.4 Método Tutikian & Dal Molin

Este método foi proposto como uma tese, sendo uma nova versão do método de dosagem de Tutikian (2004). O princípio do método é fazer o empacotamento de todos os materiais selecionados, visando o menor índice de vazios.

É um método experimental e prático e possui passos que devem ser seguidos para que se alcance o objetivo final, que é a moldagem de três traços de concreto ou mais para que se possa desenhar o diagrama de dosagem. (TUTIKIAN, 2007).

Na figura 5 é demonstrado a sequência de dosagem do CAA proposta por Tutikian e Dal Molin.



**Figura 5 – Sequencia de dosagem de CAA proposta por Tutikian
Fonte – Tutikian (2007)**

2.9 PRINCIPAIS ENSAIOS NO CAA

Os principais ensaios realizados no CAA são o ensaio de Slump Flow test, ensaio da caixa L e ensaio do funil V no estado fresco, e ensaio de resistência à compressão no estado endurecido. Abaixo são descritos sucintamente a metodologia dos ensaios.

2.9.1 Ensaio de Slump Flow Test

O ensaio consiste em verificar se o concreto, com seu peso próprio, é capaz de se espalhar até atingir determinada dimensão em determinado tempo. O ensaio é realizado com o cone de Abrams (FIGURA 6), uma placa metálica base um cronometro e trena.

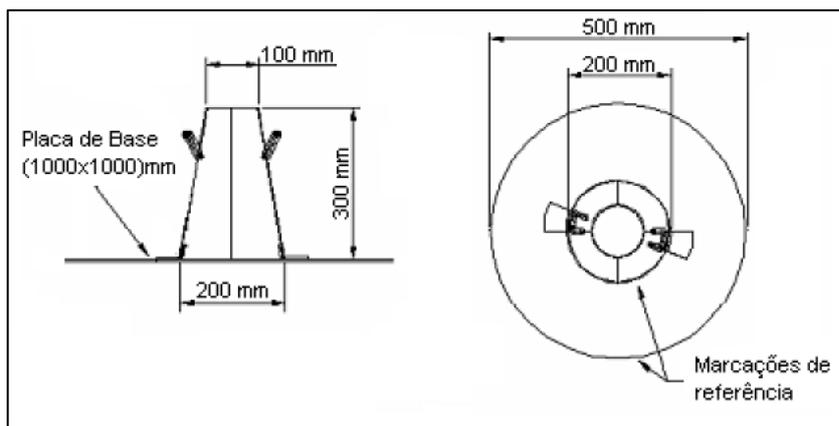


Figura 6 – Cone de Abrams para ensaio slump flow em CAA

Fonte – Furnas (2004) apud Klein (2008)

São feitas duas marcas circulares, uma de 20 cm e outra de 50 cm, em uma base posicionada horizontalmente nivelada e regular. As superfícies da base e o interior do cone são pré-umedecidas. O cone é colocado na marca circular central da base, com 20 cm de diâmetro, e fixado pelo peso do operário para evitar qualquer vazamento de concreto, sendo preenchido com uma amostra de CAA sem qualquer tipo de compactação ou adensamento mecânico. O excesso de concreto no topo do cone e da base são removidos.

O cone é levantado, perpendicularmente à placa, em um único movimento, de modo que permita ao CAA fluir livremente, simultaneamente acionando-se o cronometro.

Quando o concreto atinge a marca circular de 50 cm na placa, o cronometro é parado e o tempo, registrado, sendo este o tempo de fluxo T_{50} .

Cessado o espalhamento do concreto, mede-se com uma régua ou trena, dois diâmetros perpendiculares (d_1 e d_2) e calcula-se a média desses, que é denominada diâmetro final de espalhamento (D_{final}), sendo que este deve estar entre 60 e 80 cm e o tempo de fluxo T_{50} , entre 2 e 7 segundos.

2.9.2 Ensaio da caixa L (L-box test)

Este ensaio tem o objetivo de avaliar a capacidade de passagem por barras de armadura do CAA. A caixa L (FIGURA 7) possui uma coluna vertical que tem uma abertura para um canal horizontal, sendo esta abertura fechada por uma comporta, onde depois desta, tem-se barras de aço espaçadas entre si.

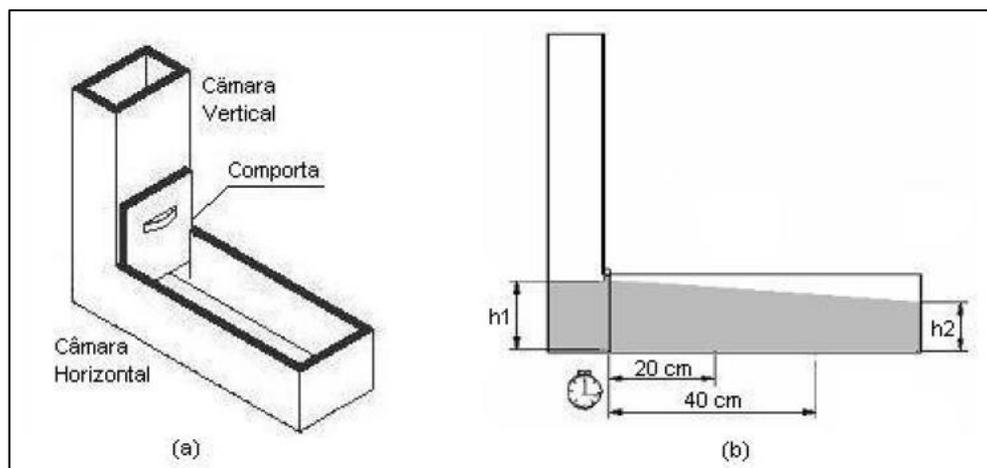


Figura 7 - (a) Caixa em L; (b) Vista lateral da caixa L e esquema de ensaio
Fonte – Furnas (2004) apud Klein (2008)

O ensaio é executado da seguinte forma: preenche-se o trecho vertical da caixa-L com uma amostra de CAA, esperando-se em torno de 30 segundos para verificar se há segregação da amostra. Levanta-se a comporta e deixa-se o concreto fluir pelo trecho horizontal, sendo acionados dois cronômetros quando a comporta é levantada.

Um cronometro é parado quando o concreto atinge a marca de 20 cm no trecho horizontal e o outro, quando a marca de 40 cm é alcançada, sendo os tempos denominados, respectivamente, T120 e TL40. Quando o concreto para de escoar, mede-se a altura no final do trecho horizontal (H2) e no início do trecho vertical (H1) da caixa-L.

2.9.3 Ensaio do funil-V (V – Funnel Test)

Este ensaio é utilizado para avaliar a capacidade do concreto em fluir através de áreas restritas na direção vertical, através de seu peso próprio, sendo possível também verificar a presença de segregação, quando o concreto é impedido de escorrer pela saída do funil.

O funil em V (FIGURA 8) utilizado no ensaio possui uma abertura no fundo, esta seção devendo ter dimensão mínima de três vezes o tamanho máximo do agregado.

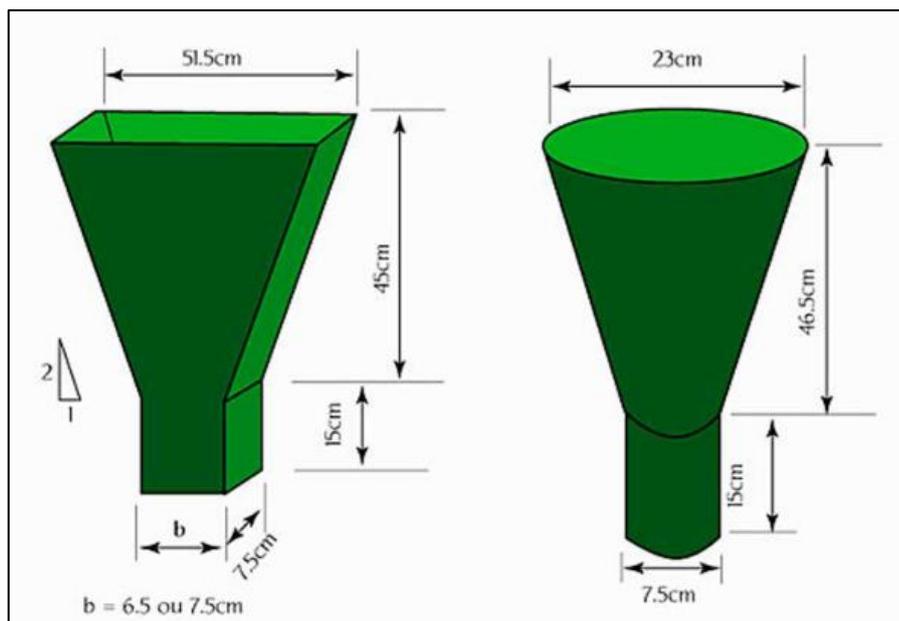


Figura 8 – V- Funnel

Fonte – Gomes, 2002 apud Tutikian, 2008

Com a porta de saída do funil fechada e um recipiente abaixo dela que retenha o concreto passante, preenche-se o funil completamente com uma amostra de CAA, removendo-se o excesso de concreto no topo do funil, e esperando-se aproximadamente 15 segundos para abrir a porta de saída. Quando abre-se a porta de saída marca-se o tempo no cronometro que leva para que esta esteja completamente visível da parte superior do funil. Este tempo é denominado tempo de fluxo do ensaio do Funil-V (T_v).

2.9.4 Ensaio de resistência à compressão

A moldagem dos corpos de prova é determinada pela norma NBR 5738 (2008) – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos –de-prova , da ABNT.

O rompimento dos corpos de prova, para determinar a resistência à compressão é feito como recomendado pela NBR 5739 (2007) – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, da ABNT.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise da viabilidade da incorporação da areia de britagem no CAA foi utilizado o método de dosagem de CAA proposto por Repette-Melo. A sequência dos ensaios é mostrada no organograma abaixo (FIGURA 09).

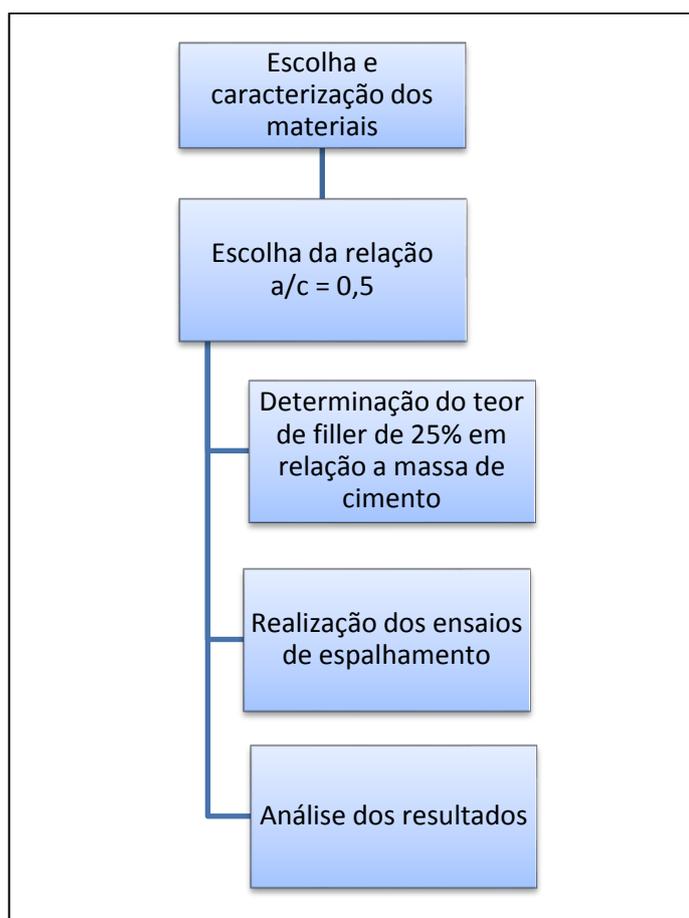


Figura 9 – Organograma de ensaios
Fonte: Autor (2014)

1.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento

O cimento empregado foi o CP V ARI RS da marca Votoran, sendo usado nos ensaios em pasta argamassa, com massa específica de 3035 kg/m³.

3.1.2 Agregado miúdo

Para os ensaios foram empregadas areia natural (AN) e areia de britagem (AB) (FIGURA 10). A granulometria das areias foi determinada conforme a NBR NM 248 – 2005 – Determinação da composição granulométrica, a massa específica foi determinada através do método do picnômetro. Os resultados são apresentados na Tabela 1.



Figura 10 – Areia Natural e areia de britagem

Fonte – Autor (2014)

Tabela 2 – Características da areia natural e areia de britagem

PENEIRA (mm)	% Retida Acumulada	
	Areia Natural	Areia de Britagem
9,5	0	0
6,3	0	0
4,8	0	0
2,4	0	17,06
1,2	0,66	51,55
0,6	4,47	72,77
0,3	54,29	83,13
0,15	95,83	91,25
Fundo	100	100

PENEIRA (mm)	% Retida Acumulada	
	Areia Natural	Areia de Britagem
Diâmetro máximo característico (mm)	0,6	0
Módulo de Finura	2,55	4,16
Massa específica (Kg/m ³)	2680	2900
Massa unitária (Kg/m ³)	1540	1580

Fonte 1 – Autor (2014)

Como nenhuma das areias utilizadas enquadrava-se dentro do limite de distribuição granulométrica requerido pela NBR NM 7211 (FIGURA 11), foram feitas composições destas de modo a se adequar as exigências da norma.

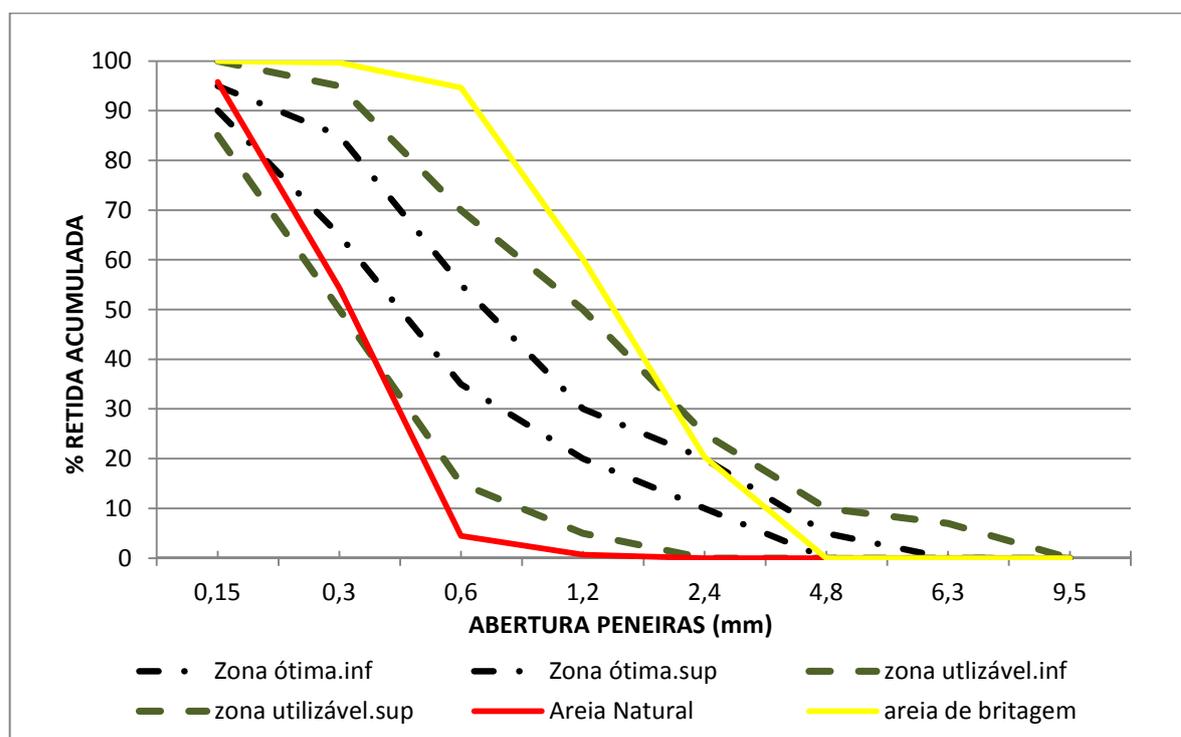


Figura 11 – Granulometria da areia de britagem e areia natural e limites da NBR 7211

Fonte – Autor (2014)

3.1.3 Aditivo

Como aditivo empregou-se o superplastificante de terceira geração Glenium 51, produzido pela empresa Basf. Este aditivo tem base química de éter carboxílico modificado, atuando como dispersante do material cimentício, propiciando

superplastificação e alta redução de água, resultando em um concreto com maior trabalhabilidade e sem alteração no tempo de pega. Os dados técnicos do aditivo fornecidos pelo fabricante são demonstrados na tabela 3.

Tabela 3 – Dados técnicos aditivo Glenium 51

Densidade (g/cm ³)	1,067 – 1,107
Aparência	Líquido branco turvo
pH (ABNT 10908)	5 - 7
Sólidos (%)	28,5 – 31,5
Viscosidade (cps)	< 150

Fonte - Basf

3.1.4 Filler

Como material fino foi empregado filler (FIGURA 12) proveniente de britadores de rocha basáltica da região. Este material é um resíduo da produção de areia de britagem, sendo separado desta no processo de lavagem.



Figura 12 – Filler empregado

Fonte – Autor (2014)

O filler utilizado apresenta massa específica de 2170 Kg/m³.

3.2 MÉTODOS

A fim de verificar qual a menor porcentagem de aditivo utilizado em argamassas contendo areia de britagem foi utilizada a relação água/cimento $a/c = 0,5$ e um teor de filler de 25% em relação a massa de cimento. A partir da definição

da relação a/c e do teor de filler foram feitos ensaios para definir o ponto de saturação do aditivo e o espalhamento das argamassas.

Para a confecção das argamassas optou-se por utilizar 5 composições entre a areia de britagem e areia natural fina, pois a AB não se enquadrava nas zonas utilizáveis sugeridas pela NBR NR 7211 – Agregados para concreto – especificações e também na literatura alguns autores não recomendam a utilização de areia de britagem somente devido a forma de suas partículas.

3.2.1 Composições granulométricas

Foram feitas composições nas seguintes proporções: 90%AB-10%AN, 80%AB-20%AN, 70%AB-30%AN, 60%AB-40%AN, 50%AB-50%AN (FIGURA 13), a fim de que se enquadrassem dentro da zona utilizável estabelecida pela norma.

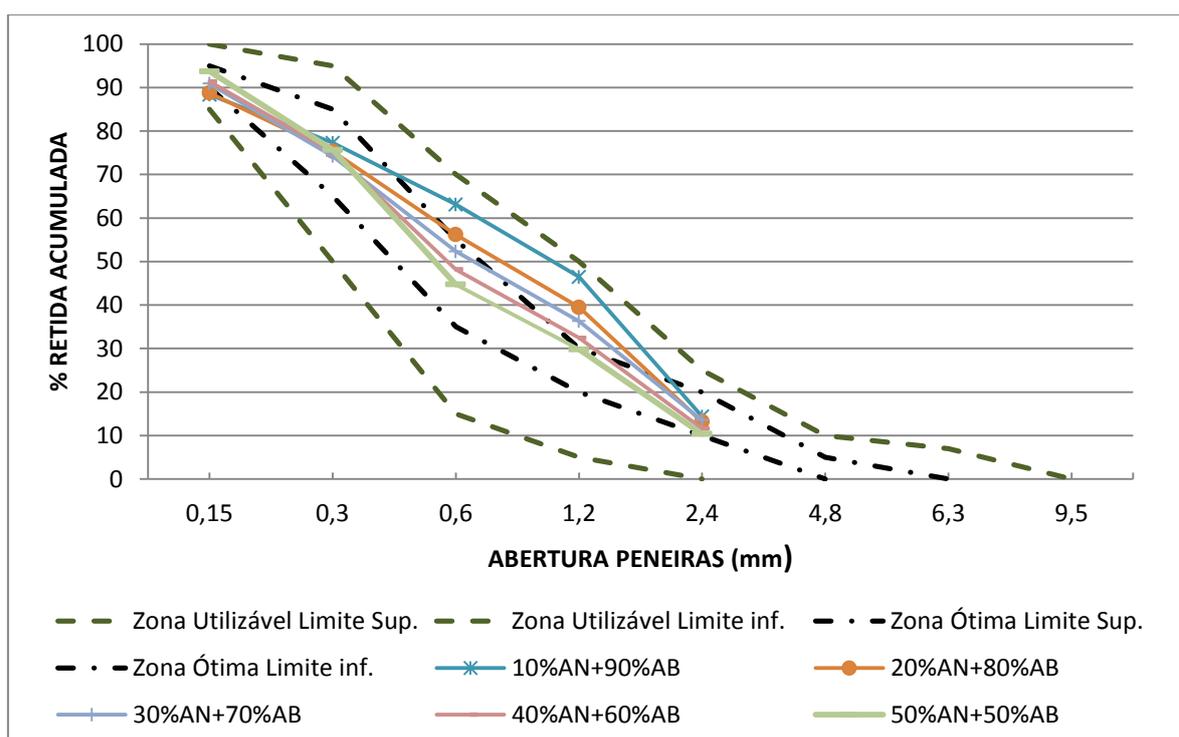


Figura 13 – Granulometria de composições de areia natural e areia de britagem

Fonte2 – Autor (2014)

A partir das composições, foram feitas argamassas com diferentes teores de aditivos para medir o empalhamento destas a fim de verificar quais se enquadravam no limite estabelecido pelo método de Repette-Melo.

3.2.2 Ponto de saturação do aditivo

Em pasta foi determinado o ponto de saturação do aditivo. Assim, foram feitas pastas com cimento, filler, água e aditivo, sendo este acrescentado em teores de 0,2% em relação a massa de cimento. O teor de filler empregado foi de 25% em relação a massa de cimento, sendo adotado com base na literatura.

As pastas foram preparadas conforme descrito por Melo (2005), totalizando 6 minutos de mistura:

- cimento e 80% da água, em velocidade lenta durante 30 seg;
- adição do filler em velocidade lenta durante 30 seg;
- mistura da pasta em velocidade rápida durante 1 min;
- limpeza da pá e descanso da pasta durante 3 min;
- incorporação do aditivo e restante da água, após 5 minutos do início da mistura;
- mistura final em velocidade rápida por 1 min.

Foram medidos os tempos de escoamento das pastas através do funil de Marsh (FIGURA 14) para diferentes teores de aditivo, adotando-se o mesmo critério de Melo (2005), tem-se variações menores que 1 segundo no tempo de escoamento.



Figura 14 – Cone de Marsh

Fonte – Autor (2014)

3.2.3 Ensaio em argamassa

Os ensaios em argamassa foram feitos para verificar o menor teor de aditivo que seria necessário para atingir-se o espalhamento proposto pelo método de Repette-Melo.

Foram feitas argamassas para todas as composições de AB e AN.

As argamassas foram moldadas seguindo o processo descrito por Melo (2005), totalizando 6 minutos de mistura, como descrito abaixo:

- cimento, filler e 80% de água, em velocidade baixa – 30 seg;
- adição do agregado miúdo, em velocidade baixa – 30 seg;
- mistura em velocidade alta – 1 min;
- limpeza da pá e descanso da argamassa – 3 min;
- incorporação do aditivo e restante da água, após 5 minutos do início da mistura;
- mistura final, em velocidade alta – 1 min.

Foram realizados ensaios de empalhamento do tronco de cone, onde este foi preenchido com argamassa, medindo-se o espalhamento desta sem a aplicação de golpes. O critério adotado foi proposto por Melo (2005), onde buscou-se um espalhamento entre 200mm e 280 mm. Os ensaios foram realizados em ambiente com temperatura climatizada 22°C e umidade de 59%.

4. RESULTADOS

6.1 PONTO DE SATURAÇÃO DO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EM PASTA DE CIMENTO

Observou-se para a relação a/c de 0,5 o ponto de saturação do aditivo apresentava-se em 0,2%, com base no critério adotado, onde a variação no tempo do escoamento fosse menor que 1 segundo. Os tempos de escoamento das pastas são apresentados no tabela 4.

Tabela 4 – Ponto de saturação do aditivo superplastificante

Aditivo (%)	Tempo de escoamento (s)
0	0
0,2	3,7
0,4	3
0,6	2,9

Fonte: Autor (2014)

6.2 ENSAIOS EM ARGAMASSA

Nas argamassas partiu-se do ponto de saturação de 0,2% para a relação a/c de 0,5. A quantidade de aditivo foi sendo aumentada em teores de 0,05% até atingir-se o espalhamento requerido, entre 200 e 280 mm, critério adotado conforme o método de Repette-Melo. Nas figuras abaixo pode-se ver os espalhamentos para os diferentes teores de aditivos e para as diferentes composições entre AN e AB.



Figura 15 a – Espalhamento da argamassa com 0,2% de aditivo com 90% AB e 10% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 16 b – Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 90% AB e 10% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 17 c – Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 90% AB e 10% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 18 d – Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 90% AB e 10% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 19 a - Espalhamento da argamassa com 0,2% de aditivo com 80% AB e 20% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 20 b - Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 80% AB e 20% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 21 c - Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 80% AB e 20% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 22 d - Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 80% AB e 20% AN

Fonte: Autor (2014)

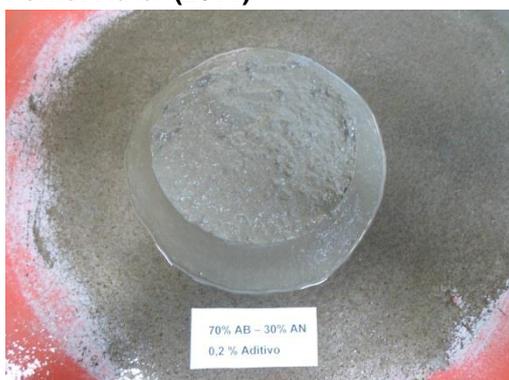


Figura 23 a - Espalhamento da argamassa com 0,2% de aditivo com 70% AB e 30% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 24 b - Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 70% AB e 30% AN

Fonte: Autor (2014)

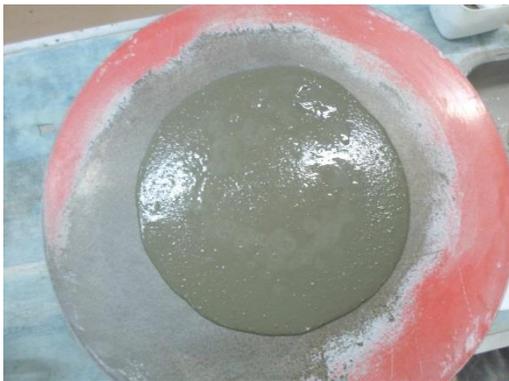


Figura 25 c - Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 70% AB e 30% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 26 d - Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 70% AB e 30% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 27 a - Espalhamento da argamassa com 0,20% de aditivo com 60% AB e 40% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 28 b - Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 60% AB e 40% AN

Fonte: Autor (2014)

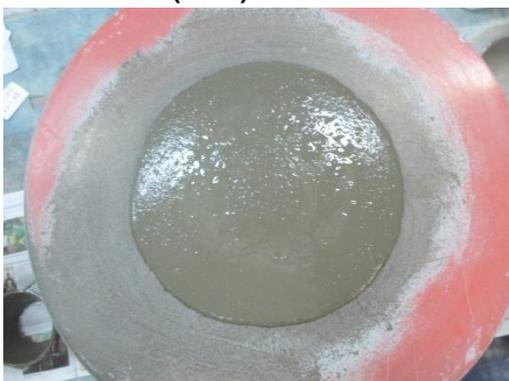


Figura 29 c - Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 60% AB e 40% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 30 d - Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 60% AB e 40% AN

Fonte: Autor (2014)

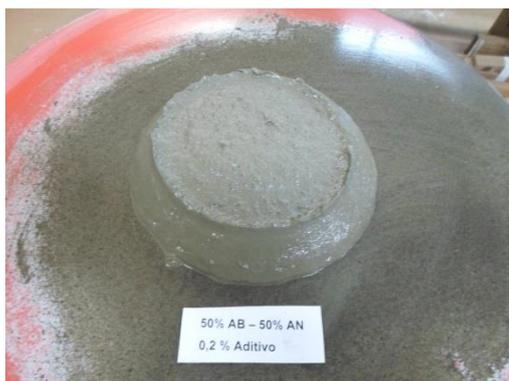


Figura 31 a - Espalhamento da argamassa com 0,20% de aditivo com 50% AB e 50% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 32 b - Espalhamento da argamassa com 0,25% de aditivo com 50% AB e 50% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 33 c - Espalhamento da argamassa com 0,30% de aditivo com 50% AB e 50% AN

Fonte: Autor (2014)



Figura 34 d - Espalhamento da argamassa com 0,35% de aditivo com 50% AB e 50% AN

Fonte: Autor (2014)

Na tabela abaixo podem ser vistos os diâmetros de espalhamento para cada proporção entre AN e AB.

Tabela 5 – Diâmetros de espalhamento das argamassas

% AN + AB	Espalhamento (mm)			
	0,20% Aditivo	0,25% Aditivo	0,30% Aditivo	0,35% Aditivo
50%AN + 50% AB	190	225	275	330
40%AN + 60% AB	140	270	275	315
30%AN + 70% AB	185	215	280	335
20%AN + 80% AB	145	165	265	285
10%AN + 90% AB	135	177	270	320

Fonte: Autor (2014)

Na figura 35 pode-se ver que o espalhamento aumenta conforme o aumento do teor de aditivo para todas as combinações entre AN e AB.

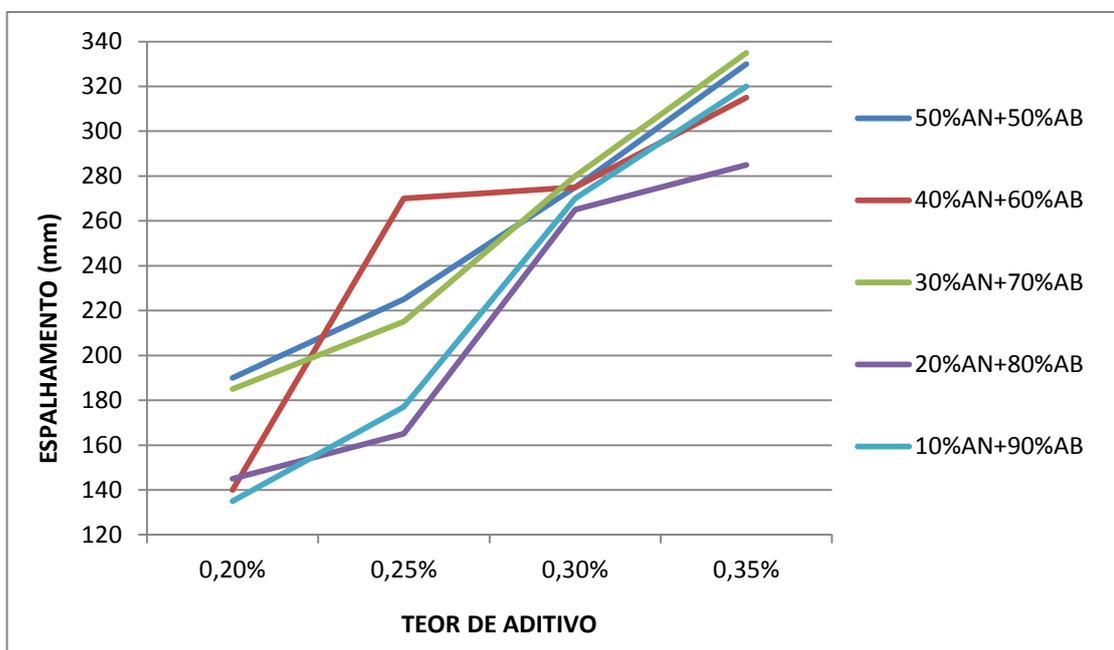


Figura 35 – Espalhamento de argamassas

Fonte: Autor (2014)

Na figura 36 pode-se ver o teor de aditivo para as diferentes proporções de AN e AB em função do critério de espalhamento do método de Repette-Melo (entre 200 e 280mm).

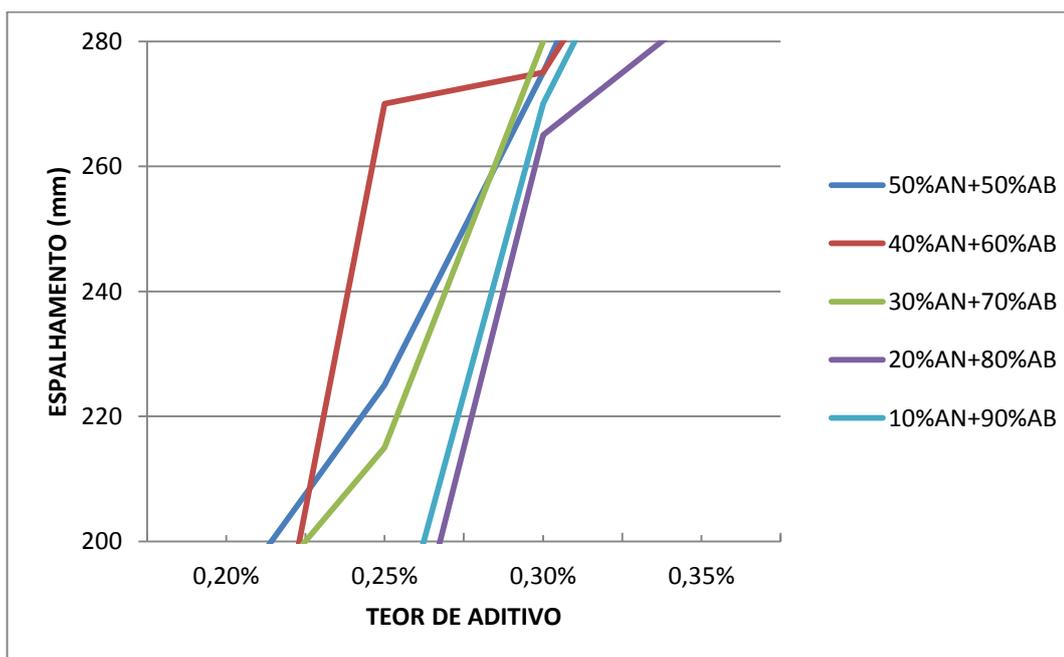


Figura 36 – Espalhamento de argamassas entre 200 e 280 mm

Fonte: Autor (2014)

A partir do gráfico 36 pode-se determinar o teor mínimo de aditivo para atingir o espalhamento de 200 mm e o teor máximo de aditivo para atingir o espalhamento de 280 mm para cada proporção de AN e AB, como pode ser visto na tabela 6.

Tabela 6 – Teores mínimo e máximo de aditivo para atingir o critério de espalhamento

%AN + % AB	Teor mínimo de aditivo (%)	Teor máximo de aditivo (%)
50%AN + 50% AB	0,210	0,310
40%AN + 60% AB	0,220	0,315
30%AN + 70% AB	0,225	0,300
20%AN + 80% AB	0,260	0,340
10%AN + 90% AB	0,270	0,320

Fonte: Autor (2014)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A areia de britagem utilizada nesta pesquisa é proveniente do britamento das rochas basálticas, tendo sido obtida por meio de uma série de britadores, sendo o último o britador de eixo vertical (Vertical shaft impactor – VSI). Esta areia não apresentou uma granulometria dentro das zonas utilizáveis definidas pela norma NM 248, por essa razão optou-se por adicionar areia natural e verificar qual era a proporção que atendesse os requisitos da referida norma.

As combinações adotadas de areia natural e de areia de britagem satisfizeram os requisitos de utilização propostos por norma.

Com as combinações de areia natural e de britagem adotadas, pode-se perceber, para a maioria das misturas, que na medida em que ocorria aumento na proporção de areia de britagem também ocorria um aumento na medida do espalhamento.

As argamassas produzidas com todas as diferentes combinações adotadas de areia natural e de areia de britagem atenderam os requisitos de espalhamento estabelecidos por Repette-Melo, conforme aumentando-se o teor de aditivo, aumentou o espalhamento.

Os resultados obtidos utilizando-se argamassas produzidas com diferentes proporções de agregados miúdos indicam que existe uma forte probabilidade de que os mesmos possam ser empregados em concretos auto-adensáveis.

6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se utilizar as composições das argamassas em CAA, buscando verificar se tem-se o mesmo teor de aditivo ou um teor próximo, para atingir as medidas do teste de slump flow adotadas pelo método de dosagem.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 9935 – Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro: 2011.

___ . **NBR NM 248 – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: 2005.

___ . **NBR NM 7211 – Agregados para concreto - Especificações**. Rio de Janeiro: 2005.

AÏTCIN, Pierre-Claude. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: Pini, 2000.

DAMO, GABRIELA FERREIRA. **Avaliação do desempenho de diferentes agregados miúdos de britagem em concreto de cimento Portland**. 2011. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

GOMES, Paulo C. C.; BARROS, Alexandre R. de. **Métodos de dosagem de concreto auto-adensável**. São Paulo: Pini, 2009.

FOCHS, Rafael G.; RECENA, Fernando A. P.; SILVA, Isaac N. L. da. **Review: métodos experimentais de dosagem de concreto auto-adensável (CAA) desenvolvidos no Brasil**. Revista Liberato, v. 14, n. 21, p. 01-112, jan./jun.2013. Novo Hamburgo:2013.

KLEIN, NAYARA SOARES. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável**. 2008. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

MARQUES, Ana Carolina. **Concreto auto-adensável: caracterização da evolução das propriedades mecânicas e estudo da sua deformabilidade por solicitação mecânica, retração e fluência**. 2011. Tese de doutorado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MELO, Karoline A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filer calcário**. 2005. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

NETO, GUILHERME T. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland.** 2006. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

NEVILLE, Adam M.. **Propriedades do concreto.** 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

PILZ, SILVIO E. *et al* . **Contribuição ao estudo de concreto auto-adensável utilizando resíduos de britadores.** Anais 51º Congresso Brasileiro do concreto. IBRACON, 2009.

REPETTE, Wellington Longuini. **Concreto auto-adensável.** In: Geraldo Cechellaisa. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1ed. São Paulo: IBRACON, 2011, v. 2, p. 1769-1806.

SANTOS, CARLA C. N. **A influência das características da areia britada nas propriedades do estado fresco do concreto.** 2008. Tese de doutorado – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SILVA, N. G. BUEST, G. CAMPITELI, V. C. **Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas.** *In:* VI Simpósio Brasileiro de argamassas. I International Symposium on Mortars Technology. Florianópolis, 2005.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. **Concreto Auto-Adensável.** São Paulo: PINI, 2008.