



Monografia

**“ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO CONCRETO
AUTO ADENSÁVEL - ESTUDO DE CASO: OBRA DA PLANTA DE
REFRIGERAÇÃO DA MINA DE CUIABÁ.”**

Autora: Sandra Moreira Fernandes Teixeira

Orientador: Prof^o Dr^o Roberto Braga Figueiredo

Co-Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Teresa Paulino Aguilar

Janeiro/2011

Sandra Moreira Fernandes Teixeira

**“ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO CONCRETO
AUTO ADENSÁVEL - ESTUDO DE CASO: OBRA DA PLANTA DE
REFRIGERAÇÃO DA MINA DE CUIABÁ.”**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da
Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Gestão e tecnologia na construção civil

Orientador: Prof^o Dr^o Roberto Braga Figueiredo

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Maria Teresa Paulino Aguiar

Janeiro

Escola de Engenharia da UFMG

2011

T266e Teixeira, Sandra Moreira Fernandes.
Estudo da viabilidade técnica e econômica do concreto auto adensável
– estudo de caso [manuscrito] : obra da planta de refrigeração da Mina de
Cuiabá / Sandra Moreira Fernandes Teixeira. – 2011.
xii, 51 f., enc.: il.

Orientador: Roberto Braga Figueiredo.
Co-orientadora: Maria Teresa Paulino Aguiar.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Escola de Engenharia.

Inclui bibliografia

1. Construção civil. 2. Materiais de construção. 3. Concreto. I. Figueiredo, Roberto
Braga. II. Aguiar, Maria Teresa Paulino. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola
de Engenharia. IV. Título.

CDU: 691



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: SANDRA MOREIRA FERNANDES TEIXEIRA

MATRÍCULA: 2010704430

RESULTADO

Aos 09 dias do mês de fevereiro de 2011 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL: ESTUDO DE CASO: OBRA DA PLANTA DE REFRIGERAÇÃO DA MINA DE CUIABÁ”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 85

CONCEITO: B

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Roberto Braga Figueiredo

Nome

Assinatura

Profª. Drª. Adriana Guerra Gumieri

Nome

Assinatura

M.Sc. Fabrício Carlos França

Nome

Assinatura

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Belo Horizonte, 09 de fevereiro de 2011

Coordenador do Curso
Prof. Dalmiro Lúcio M. Figueiredo
Coordenador do Curso de Especialização
Em Construção Civil

Dedico este trabalho a Deus, a toda a minha família e em especial a meu querido esposo Euder e meus filhos Felipe e Danielle pelo apoio, carinho, dedicação e compreensão e também aos meus estimados pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que colaboraram direta ou indiretamente para que este projeto se realizasse.

O meu agradecimento especial à Prof^a Dr^a Maria Teresa Paulino Aguilár, pelo carinho, atenção e dedicação.

Ao Prof^o Dr^o Roberto Braga Figueiredo pela competência e interesse em ajudar.

Ao meu amigo Fabrício Carlos França pelo apoio, pois sem a sua ajuda não seria possível a realização deste trabalho.

Aos meus amigos Ana Margarida Ângelo, Sergio Luiz Ferreira Alvim, Flávio Capuruçu pelo incentivo.

Agradeço a Holcim por disponibilizar toda a sua estrutura para a realização deste trabalho, em especial a todos do Laboratório da Holcim Brasil em Pedro Leopoldo pelo auxílio durante todos os ensaios.

Agradeço a UFMG por disponibilizar sua estrutura para a realização deste trabalho.

Agradeço a AngloGold, em especial ao Eng^o Elânio Mauro Pantaleão e também ao Eng^o Edson Cirilo Gonzaga da VRG Engenharia & Comércio Ltda. por disponibilizar as informações referentes à obra utilizada neste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS	XII
RESUMO	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 <i>Origem</i>	2
2.2 <i>Características Gerais.....</i>	2
2.3 <i>Constituintes</i>	4
2.4 <i>Propriedades.....</i>	11
2.5 <i>Ensaio Específicos</i>	12
2.6 <i>Requisitos para classificar o Concreto Auto Adensável.....</i>	17
2.7 <i>Controle de Qualidade</i>	19
2.8 <i>Viabilidade Econômica do Uso do Concreto Auto Adensável.....</i>	21
3. ESTUDO DE CASO: OBRA DA ANGLOGOLD – PLANTA DE REFRIGERAÇÃO DA MINA DE CUIABÁ – SABARÁMG.	23
3.1 <i>Considerações Gerais.....</i>	23
3.2 <i>Características da Obra</i>	23
3.3 <i>Especificações Técnicas da Obra</i>	24
3.4 <i>Concreto Fornecido para a Obra: Concreto Auto Adensável 35 MPa.....</i>	26
3.4.1 <i>Descrição do Traço.....</i>	26
3.4.2 <i>Materiais Utilizados.....</i>	26

3.4.3 Estudo de Dosagem do CAA	29
3.4.4 Ensaio Reológicos do CAA para Caracterização do Concreto Auto Adensável no Estado Fresco	31
3.4.5 Ensaio Mecânicos do CAA - Desempenho Mecânico.....	35
3.4.6 Desafios	37
4. DISCUSSÕES DOS ASPECTOS ECONÔMICOS	40
4.1 Viabilidade Econômica para o Uso do Concreto Auto Adensável	40
5. CONCLUSÃO	47
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: EVOLUÇÃO MÉDIA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE CIMENTO PORTLAND.....	6
FIGURA 2.2: (A) ENSAIO FUNIL V; (B) ENSAIO CAIXA L; (C) ENSAIO SLUMP FLOW TEST.	13
FIGURA 3.1: (A) MEDIÇÃO DO SLUMP ANTES DA ADIÇÃO DO SUPERPLASTIFICANTE E MODIFICADOR DE VISCOSIDADE (B) RESULTADO DO SLUMP IGUAL A 9,5 cm.	29
FIGURA 3.2: MISTURA APÓS COLOCAR O SUPERPLASTIFICANTE E MODIFICADOR DE VISCOSIDADE DO CAA	30
FIGURA 3.3: MEDIÇÃO DO ESPALHAMENTO APÓS TÉRMINO DO ENSAIO DE SLUMP FLOW TEST.	30
FIGURA 3.4: MOLDAGENS DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS APÓS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CAA.	31
FIGURA 3.5: (A) TESTE DE ESPALHAMENTO: INÍCIO DO ENSAIO SLUMP FLOW TEST; (B) TÉRMINO DO ENSAIO SLUMP FLOW TEST.	32
FIGURA 3.6: V-FUNNEL TEST (A) PREENCHIMENTO DO FUNIL V COM CAA; (B) FUNIL V JÁ PREENCHIDO.	33
FIGURA 3.7: ENSAIO L-BOX TEST (A) INÍCIO DO ENSAIO DA CAIXA L: ABERTURA DA COMPORTA; (B) TÉRMINO DO ENSAIO CAIXA L.....	33
FIGURA 3.8: (A) ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL; (B) ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE NO LABORATÓRIO DA HOLCIM S/A.	36
FIGURA 3.9: (A) FÔRMA METÁLICA DO PILAR; (B) ESCORAMENTO EXTERNO DA FÔRMA DA PAREDE VERTICAL.	37
FIGURA 3.10: (A) DOSAGEM DO CAMINHÃO BETONEIRA NA OBRA; (B) REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE SLUMP FLOW TEST NA OBRA.....	38
FIGURA 3.11: (A) LANÇAMENTO DO CAA POR BOMBEAMENTO; (B) LANÇAMENTO DO CAA ATRAVÉS DA BICA DO CAMINHÃO BETONEIRA DIRETO NA FÔRMA.	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: PARÂMETROS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.	13
TABELA 2.2: CLASSES DE ESPALHAMENTO (SLUMP-FLOW).	14
TABELA 2.3: VISCOSIDADE PLÁSTICA APARENTE T_{500} (SOB FLUXO LIVRE).	14
TABELA 2.4: VISCOSIDADE PLÁSTICA APARENTE PELO FUNIL V (SOB FLUXO CONFINADO)...	15
TABELA 2.5: HABILIDADE PASSANTE CAIXA L (SOB FLUXO CONFINADO).	16
TABELA 2.6: HABILIDADE PASSANTE PELO ANEL J (SOB FLUXO LIVRE).	16
TABELA 2.7: CLASSE DE ESPALHAMENTO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DO CAA.	17
TABELA 2.8: CLASSE DE VISCOSIDADE PLÁSTICA APARENTE DO CAA.	18
TABELA 2.9: CLASSE DE HABILIDADE PASSANTE DO CAA.	18
TABELA 2.10: CLASSE DE RESISTÊNCIA A SEGREGAÇÃO DO CAA EM FUNÇÃO DE SUA APLICAÇÃO NA OBRA.	19
TABELA 3.1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CIMENTO CP V ARI RS DA HOLCIM.....	27
TABELA 3.2: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AGREGADOS MIÚDOS.....	28
TABELA 3.3: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS.	28
TABELA 3.4: TRAÇO DO CAA PRODUZIDO NO LABORATÓRIO DA HOLCIM BRASIL EM PEDRO LEOPOLDO/MG.....	31
TABELA 3.5: RESULTADO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CAA – SLUMP FLOW TEST E T_{500}	34
TABELA 3.6 RESULTADO DO ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DO CAA - FUNIL V.	34
TABELA 3.7 RESULTADO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CAA – CAIXA L.....	35
TABELA 3.8: RESULTADO DOS ENSAIOS MECÂNICOS DO CAA.....	36
TABELA 4.1: COMPARATIVOS ENTRE OS CAA, CCV ESPECIAL, CCV.	41
TABELA 4.2: COMPARATIVO ENTRE A MÃO DE OBRA DO CAA E DO CCV ESPECIAL.....	42
TABELA 4.3: COMPARATIVO ENTRE A MÃO DE OBRA TOTAL DO CAA E DO CCV ESPECIAL. .	42

TABELA 4.4: COMPARATIVO ENTRE OS MATERIAIS E EQUIPAMENTOS DO CAA E DO CCV ESPECIAL.....	43
TABELA 4.5 COMPARATIVO ENTRE OS CAA E CCV ESPECIAL PARA EXECUÇÃO DE UMA PAREDE VERTICAL DE 40 m ³	44
TABELA 4.6 COMPARATIVO ENTRE OS CAA E O CCV PARA EXECUÇÃO DE PAREDE VERTICAL DE 40 m ³	45

LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS

CAA = concreto auto adensável

CCV = concreto convencional

CPs = Corpos de prova

E = módulo de elasticidade

ε = deformação específica

ρ = densidade do material

σ = tensão

NBR = Norma Brasileira Registrada

ABNT = Associação Brasileiras de Normas Técnicas

fck = Resistência à compressão

MPa = Mega Pascoal

GPa = Giga Pascoal

a/c = relação água / cimento

T₅₀₀ = tempo para o concreto atingir um diâmetro de 50 cm

T₂₀ = tempo para o concreto alcançar um comprimento de 20 cm

T₄₀ = tempo para o concreto alcançar um comprimento de 40 cm

H_1/H_2 = relação final entre a altura do concreto no final do trecho horizontal e a altura do concreto remanescentes do trecho vertical da caixa L

pç = peça

Dfinal = diâmetro final do escoamento (ensaio Slump Flow)

Tv = tempo de escoamento no ensaio de Funil V

SF = classe de espalhamento (slump flow)

VS = classe de viscosidade plástica aparente T_{500} (sob fluxo livre)

VF = classe de viscosidade plástica aparente pelo funil V (sob fluxo confinado)

PL = classe de habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado)

PJ = classe de habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre)

SR = classe de resistência à segregação pela coluna de segregação

RESUMO

O concreto auto adensável é uma realidade na Europa, nos Estados Unidos e no Brasil, em São Paulo e no Rio de Janeiro. No entanto sua utilização em Minas Gerais é pouco difundida. Muitas construtoras desconhecem as vantagens deste material. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre o concreto auto adensável (CAA) e como exemplo de uso utilizou-se uma obra localizada no município de Sabará/MG executada com concreto auto adensável (CAA) em sua estrutura. O estudo deste concreto foi desenvolvido levando em consideração vários fatores no concreto fresco e endurecido para assegurar o seu desempenho, tais como, coesão, viscosidade, segregação, resistência à compressão, módulo de elasticidade aos 3, 7, 28 e 100 dias de cura. Com base nos dados da obra e estudos do CAA foi realizado um comparativo entre o concreto auto adensável e o convencional e a correlação de sua viabilidade econômica.

Palavras- chave: concreto auto adensável, concretos especiais, viabilidade técnica e econômica.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado no mundo e para atender aos diversos tipos de obra com rapidez e qualidade, vê-se a necessidade do uso de concretos com características especiais. Com o avanço da tecnologia surgiu o concreto auto adensável (CAA), que, através de seu peso próprio, ou seja, pela ação da força de gravidade, flui pela fôrma coesa e sem segregação de seus componentes, na qual dispensa a mão de obra para vibrá-lo ou de qualquer ajuda externa, além de reduzir o cronograma, melhorar a qualidade final da obra e diminuir o ruído e, conseqüentemente, economiza a energia elétrica, tornando-se uma aplicação mais sustentável (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

No Brasil, este concreto é pouco difundido, por ser desconhecido pela maioria dos profissionais da área, mas já está sendo utilizado em obras correntes, especiais e em pré-fabricados. As propriedades mais importantes são a trabalhabilidade e a estabilidade, porém, os estudos hoje focam principalmente as propriedades mecânicas e a durabilidade. Sua dosagem depende da composição dos diversos agregados locais para se obter melhores resultados e homogeneidade da mistura.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização do concreto auto adensável na estrutura, analisar o traço concreto auto adensável (CAA) 35 MPa, comparar o concreto auto adensável (CAA) com o concreto convencional (CCV), através do exemplo de uso de uma obra e analisar a viabilidade econômica comparando-se todo o sistema construtivo do concreto auto adensável (CAA) com o concreto convencional (CCV).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O concreto auto adensável é um concreto que pode ser compactado em todo canto de uma forma, simplesmente por meio de seu peso próprio e sem a necessidade de equipamento de vibração. (OKAMURA, 1997 apud GOMES e BARROS, 2009). Sendo que, um concreto só será considerado auto adensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: fluidez, coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre as barras de aço (habilidade passante) e resistência à segregação (EFNARC, 2002 apud TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.1 Origem

O concreto auto adensável surgiu em 1988 no Japão, devido à necessidade de se obter estruturas mais duráveis e também por não se ter mão de obra especializada para vibrá-lo com eficiência. Surgiu então este concreto que ao preencher as fôrmas não se utiliza de vibração ou compactação externa e passa pelas armaduras, coeso e com alta resistência à segregação (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.2 Características Gerais

Segundo a norma da NBR15823 (ABNT, 2010) definem-se concreto auto adensável: Concreto que é capaz de fluir, auto adensar pelo seu peso próprio, preencher as fôrmas e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertes), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento. A fluidez é a capacidade que CAA possui de fluir dentro das formas preenchendo todos os espaços sem vibração interna ou externa. A habilidade passante é caracterizada pela facilidade da mistura em escoar pela forma,

passando pelas armaduras de aço sem segregar. A resistência à segregação é a habilidade da mistura em se manter coesa ao espalhar-se pela fôrma (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

A aplicação deste concreto é ampla, podendo ser utilizado, segundo Watanabe (2008) e Tokudome (2006) em:

- Pisos e lajes de concreto;
- Paredes moldadas in loco ou pré-moldadas;
- Reparos;
- Locais de difícil acesso;
- Elementos pré-moldados;
- Túneis;
- Peças pequenas, com muitos detalhes ou com formato não convencional onde seja difícil a utilização de vibradores;
- Fôrmas com grande concentração de ferragens;
- Fundações executadas por Hélice contínua;
- Obras com acabamentos em concreto aparente.

As principais vantagens da utilização do concreto auto adensável (CAA), segundo Tutikian e Dal Molin (2008) e Tokudome (2006) são:

- Redução de mão de obra, pois não precisa vibrar;
- Menor tempo de concretagem;
- Maior produtividade;
- Facilidade no espalhamento e nivelamento do concreto;
- Eliminam-se os macros defeitos, bolhas de ar e falhas de concretagem, devido à resistência a segregação e fluidez do CAA;
- Facilidade em concretagens em fôrmas complexas e cantos de difícil acesso por possuir deformabilidade no estado fresco e não precisar vibrá-lo;
- Concretagens de peças esbeltas e com alta taxa de armaduras;
- Economia de energia elétrica por não precisar vibrar;

- Eliminação do barulho contribuindo para a saúde do trabalhador e também para concretagens noturnas e obras próximas de escolas e hospitais;
- Melhora as condições de trabalho;
- Melhora a superfície de acabamento;
- Aumenta a durabilidade da construção;
- Acelera o cronograma da obra.

No entanto algumas desvantagens são apontadas, de acordo com Iliescu (2007) tais como:

- Precisa de mão de obra especializada para a confecção do traço;
- Controle tecnológico;
- Cuidados especiais no transporte para evitar a segregação do CAA;
- Maior controle de sua aplicação;
- As fôrmas devem ter excelente vedação e seu escoramento bem dimensionado;
- Menor tempo de aplicação após a adição do superplastificante.

2.3 Constituintes

Obtém-se um concreto auto adensável de qualidade, controlando os materiais constituintes, pois eles influenciam nas propriedades do produto final tanto no estado plástico quanto nas propriedades mecânicas e durabilidade do mesmo. Na prática, normalmente se utiliza os mesmos materiais que se fabrica o concreto convencional: aglomerantes (cimento Portland), agregados (areia e brita), água e aditivos plastificantes, exceto pelo uso dos superplastificantes e/ou modificadores de viscosidade (BARROS, 2009; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008; GOMES e WATANABE, 2008).

Entretanto a seleção dos materiais finos é de grande importância para CAA, pois suas propriedades influenciam no grau de auto-adensamento e na qualidade do concreto endurecido. Comparando-se o concreto convencional (CCV) com o concreto auto

adensável, o CAA necessita de maior quantidade de finos, que gera um alto volume de pasta e que reduz o volume de agregado graúdo. Este fino absorve a água da mistura, auxiliando na garantia da viscosidade apropriada para não haver segregação e redução do agregado graúdo (DOMONE e JIN, 1999 apud FERRAZ, 2009; WATANABE, 2008).

Aglomerantes (Cimento Portland)

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008):

Para a confecção de CAA podem ser utilizados os mesmos cimentos já adotados para a produção de concretos estruturais convencionais (CCV) sendo idênticas as prescrições referentes à durabilidade e aos usos adequados. Não existem critérios científicos que especifiquem o cimento mais adequado. O melhor cimento é aquele que apresenta a menor variabilidade em termos de resistência à compressão.

Entretanto, segundo Gomes e Barros (2009), *“A escolha correta do tipo de cimento normalmente depende das exigências específicas de cada aplicação.”*

Destacam-se duas das principais características do cimento: a sua finura e a sua capacidade de absorção do dispersante. Com os cimentos mais finos, tem-se maior superfície específica, sendo mais adequados, pois quanto maior a superfície do cimento, maior a quantidade das partículas em contato com a água, diminuindo a tensão de escoamento e aumentando a viscosidade da mistura, apesar de aumentar os cuidados em relação ao calor de hidratação e retração do concreto (WATANABE, 2008; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Os cimentos mais comuns disponíveis no mercado mineiro são CPIII 40 RS (Cimentos Portland de Alto Forno com resistência a sulfatos); CPV ARI (Cimentos Portland de Alta Resistência) e CPV ARI RS (Cimentos Portland de Alta Resistência com resistência a Sulfatos) e também o CPII E (Cimento Portland composto com Escória de Alto Forno). Conforme os trabalhos técnicos da literatura o consumo de cimento é de 350 a 550 kg/cm³ para confecção do CAA (DOMONE JIN, 1999 apud GOMES, 2002; WATANABE, 2008; FERRAZ, 2009).

Quando se necessita de concretos com altas resistências iniciais utiliza-se o cimento tipo V (CPV ARI ou CPV ARI RS), pois este cimento, devido a sua composição e finura, tem característica de obter resistências iniciais mais elevadas que outros tipos de cimentos. Utilizam-se o cimento CPIII 40 RS por apresentar baixo calor de hidratação devido à presença de escória na sua composição para a resistência ao sulfato (RS). Os cimentos com resistência a sulfatos (RS) possuem propriedades de resistência aos meios agressivos sulfatados, geralmente empregados em obras de estações de tratamento de esgoto, industriais, na água do mar e em alguns tipos de solo (ABCP, 2002).

A Figura 2.1 mostra evolução média de resistência à compressão de vários tipos de cimento Portland (ABCP, 2002).

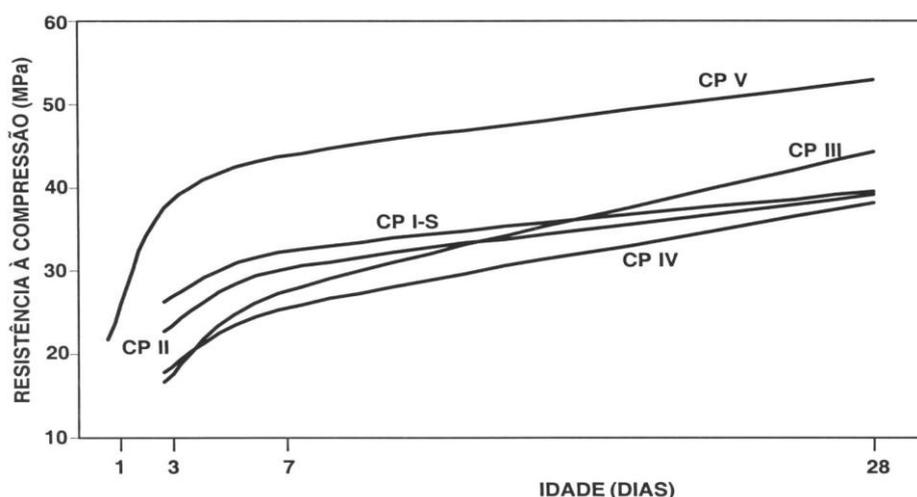


Figura 2.1: Evolução média de resistência à compressão dos diferentes tipos de cimento Portland (fonte: ABCP, 2002).

Agregados

Os agregados devem atender as exigências de normas NBR 7211 (ABNT, 2009) quanto à manutenção de sua granulometria, torrões de argila e matéria orgânica. Segundo Gomes e Barros (2009), “os agregados utilizados no CAA devem atender as mesmas exigências normativas quando utilizados no CCV” e a umidade, a absorção de água, a classificação e às variações na quantidade de finos dos agregados deve ser monitorada levando-se em consideração a manutenção da qualidade do CAA.

De acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009), a definição dos agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam na peneira com abertura da malha de 4,75 mm e dos agregados graúdos são aqueles cujos grãos passam na peneira com abertura da malha de 75 mm e ficam retidos na malha 4,75 mm.

Agregados Miúdos

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), *“De forma geral, todas as areias são adequadas para a produção do CAA, e pode-se utilizar tanto areias naturais (depósitos eólicos e beira de rio) quanto areias obtidas de processos industriais.”* As areias de forma mais arredondadas e textura mais lisa são mais recomendadas para a produção do CAA e quanto menor o módulo de finura do agregado melhor para se produzir concretos de elevada coesão (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008). O Concreto auto adensável (CAA) deve possuir um volume de agregado miúdo que varia entre 40 a 50% do volume de argamassa, com proporções aproximadas de 710 a 900 kg/m³ (GOMES e BARROS, 2009).

Agregados Graúdos

O CAA deve possuir um baixo volume de agregados graúdos, entre 28 e 35% do volume de concreto, e uma relação de peso agregado graúdo/concreto de 32 a 40%, com proporções aproximadas de 750 a 920 kg/m³. A dimensão máxima característica dos agregados graúdos utilizados no CAA é de 20 mm, porém diâmetros máximos de 40 mm já foram utilizados em aplicações do CAA (OKAMURA, 1997, apud GOMES e BARROS, 2009; WATANABE, 2008).

Água

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), *“Os requisitos de qualidade da água para CAA são os mesmos que para CVV.”* A quantidade de água é definida a partir da relação água/cimento (*a/c*), que para CAA pode estar entre os valores 0,3 a 0,5, em massa. Parte da água pode ser substituída pelo aditivo superplastificante, para garantir a fluidez do CAA, sem comprometer suas propriedades, (WATANABE, 2008).

Aditivos

De acordo com a NBR 15823-1 (ABNT, 2010), *“os aditivos devem atender aos requisitos da NBR 11768 (ABNT, 1992) e seu uso deve estar de acordo com as orientações do fabricante.”*

Segundo Bauer et. al. (2000), aditivo é:

Todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas e bem homogeneizadas, faz aparecer ou reforça certas características.

O aditivo químico é um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento e inovação do CAA, (TOKUDOME, 2006). De acordo com Gomes e Barros (2009), os aditivos mais utilizados na composição do CAA são: superplastificantes e os modificadores de viscosidade.

Superplastificantes

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008), os aditivos superplastificantes permitem que o CAA alcance alta fluidez nas misturas, sendo os mais utilizados no CAA a base de policarboxilatos, por serem de alta eficiência que dispersam e desfloculam as partículas de cimento. O superplastificante permite redução de água em até 40%, conservando a mesma trabalhabilidade. Segundo o fabricante BASF (2009), os superplastificantes reduzem a água de amassamento em até 45%. Com a utilização destes aditivos há aumento da resistência inicial, redução ou eliminação da exsudação, melhora da trabalhabilidade e facilitam o seu lançamento e aumentam a durabilidade da estrutura.

Segundo Watanabe (2008), o seu uso implica na modificação de várias características da pasta cimento, tais como a porosidade e sua distribuição, o percentual de hidratação, a morfologia dos hidratos, o desenvolvimento da resistência, a fluidez e sua perda com o tempo, o tempo de pega, a retração, a segregação e a exsudação.

Os aditivos superplastificantes mais conhecidos pesquisados no mercado são:

- GLENIUM™ da BASF - De acordo com o fabricante ele é considerado um superplastificante de terceira geração, a base de éter policarboxilato modificado e como sua composição química é diferente obtém resultados melhores que à base de naftaleno e melamina. Este superplastificante aumenta a eficiência da hidratação do cimento e com isto possui capacidade de redução da água na mistura. Proporciona ao concreto maior trabalhabilidade, tornando-se ideal para desenvolvimento de Concretos de Alto Desempenho, (BASF, 2009).
- SIKA VISCOCRETE – De acordo com a Sika é um aditivo a base de policarboxilato, desenvolvido para concretos de Alto Desempenho e de concretos auto adensáveis (concreto extremamente fluido e coesivo, porém sem apresentar segregação e exsudação, que não necessita vibração para seu adensamento), (SIKA, 2009).
- MC - PowerFlow – De acordo com o fabricante é um aditivo a base de polímeros policarboxilatos desenvolvidos pela MC BAUCHEMIE. Pode ser utilizado na confecção dos concretos auto adensáveis permitindo grande redução de quantidade de água, mantendo longo tempo de trabalhabilidade do concreto, (MC BAUCHEMIE, 2010).

Modificador de viscosidade

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008), *“os aditivos modificadores de viscosidade oferecem um aumento da coesão, prevenindo a exsudação e segregação do concreto.”* Segundo os fabricantes, os modificadores de viscosidade, são utilizados no concreto junto aos aditivos superplastificantes quando se precisa confeccionar um concreto auto adensável com alta viscosidade. Ele evita a segregação, melhorando a bombeamento do concreto.

O aditivo pesquisado no mercado é:

- RHEOMAC – VMA 358 – De acordo com o fabricante é um aditivo que é utilizado em conjunto com o aditivo superplastificante, quando existe a

necessidade de se executar um concreto auto adensável com alta fluidez. Ele interage com a mistura, evitando a segregação e melhorando a bombeabilidade do concreto, (BASF, 2009).

Adições Minerais

De acordo com Gomes e Barros (2009), para se obter características específicas utiliza-se as adições minerais que são materiais finamente moídos. Segundo Watanabe (2008):

Seu uso é muito importante para aumentar a estabilidade e fluidez do concreto, reduzindo o contato de fricção entre os agregados e aumentando a viscosidade e a resistência a segregação pela formação da granulometria continua em que todos os vazios deixados pelos agregados maiores fiquem preenchidos.

Sua eficácia depende da granulometria, forma, textura superficial, área superficial e da reatividade das partículas, *WATANABE (2008)*. Dentre estas se destacam a sílica ativa, cinza volante, metacaulim.

- **Sílica Ativa** - A micro-sílica é um material pozolânico altamente eficiente e muito fino, composto por grande quantidade de sílica. Utiliza-se a sílica ativa no concreto auto adensável para: aumentar a aderência e coesão; reduzir a permeabilidade: reduz os poros do concreto, evitando a corrosão das armaduras; aumentar a resistividade elétrica voluntária; aumentar a durabilidade em ambientes agressivos; aumentar a resistência inicial. Quando incorporada ao concreto melhora as características de compressão, de ligação e resistência a abrasão (WATANABE, 2008; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).
- **Cinzas volantes** - As cinzas volantes são materiais inorgânicos, provenientes da calcinação de carvão pulverizado. Possuem boas propriedades pozolânicas, que acrescentada ao CAA aumenta a coesão, reduz a exsudação, melhora a fluidez e reduz a quantidade de superplastificante. Com sua utilização altera a resistência à compressão e aumento da durabilidade (WATANABE, 2008; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

- **Metacaulim** – O Metacaulim é a calcinação de alguns tipos de argila ou tratamentos do resíduo de papel. Varia em função da moagem. A sua utilização aumenta a coesão, reduz a exsudação, aumenta o consumo de superplastificantes e melhora a resistência a compressão e durabilidade (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.4 Propriedades

Estado Fresco

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008) é importante a trabalhabilidade do concreto no estado fresco para garantir a sua aplicação. Deve-se, portanto conhecer a reologia do concreto auto adensável e a pressão nas fôrmas (cerca de 2400 kg/cm²), por ser extremamente fluido e com isto poder apresentar os equipamentos especiais desenvolvidos para ele.

A reologia estuda a deformação e o fluxo dos materiais fazendo compreender o comportamento dos concretos auto adensáveis, para se obter uma dosagem mais racional. O concreto auto adensável (CAA) é caracterizado pela tensão de cisalhamento e pela viscosidade plástica. A viscosidade é conferida pelo superplastificante e pela água, garantindo o transporte, preenchimento e o adensamento do concreto sem segregação (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008; GOMES e BARROS, 2009).

A utilização do concreto auto adensável faz aumentar a velocidade de concretagem e com isto aumenta a pressão exercida nas fôrmas. Esta pressão é maior que a pressão do concreto convencional e está relacionada com o tempo de lançamento até a estabilidade interna da estrutura. É importante ressaltar que quanto mais rápido for à velocidade de concretagem melhor para todo o processo, porém pode ocorrer o colapso das fôrmas. Por isto é necessário cuidados maiores na escolha do tipo de escoramento e deve-se fazer vistoria antes da concretagem (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008; TOKUDOME, 2006).

Estado endurecido

A qualidade do concreto está diretamente relacionada ao processo de concretagem, destacando-se a sua concepção e seu adensamento. Como a aplicação do CAA é de melhor qualidade do que o concreto convencional devido a seu adensamento não depender da mão de obra especializada para seu lançamento, as propriedades no estado endurecido são iguais ou superiores ao concreto convencional equivalentes, garantindo melhor a durabilidade do concreto. Portanto, pode-se dizer que o adensamento e a durabilidade do CAA são mais confiáveis. As propriedades de aderência da armadura com o concreto é de extrema importância, no estado endurecido do CAA (TOKUDOME, 2006; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.5 Ensaio Específicos

Para se avaliar as propriedades do CAA são propostos ensaios específicos abordados por Tutikian e Dal Molin (2008), Gomes e Barros (2009) e pela norma NBR15823 (ABNT, 2010), sendo os mais comuns:

- ensaio de espalhamento (slump flow test),
- ensaio do Funil-V (V-Funnel test),
- ensaio da Caixa-L (L-Box test),
- ensaio da Caixa-U (U-Box test),
- ensaio do Anel -J (J-Ring test), entre outros.

Para se comparar os resultados obtidos na realização dos ensaios de caracterização, temos o resumo dos principais parâmetros apresentados pela norma NBR15823 (ABNT, 2010) e também dos parâmetros descritos por Gomes e Barros (2009) e Tutikian e Dal Molin (2008), conforme mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Parâmetros dos ensaios de caracterização.

Ensaio	Parâmetros	Unidade	NBR15823 (ABNT, 2010)		Gomes e Barros (2009)		Tutikian e Dal Molim (2008)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Slump	D _{final}	mm	550	850	600	800	600	750
Flow Test	T ₅₀₀	S	≤ 2	> 2	2	7	3	7
Caixa L	H2/H1	S	≥ 0,80	-	≥ 0,80	-	0,80	1,00
Funil V	T _v	S	≤ 8	9 a 25	6	15	6	12

A figura 2.2 mostra o ensaio Funil V, caixa L e o ensaio Slump Flow test.



Figura 2.2: (a) Ensaio Funil V; (b) Ensaio caixa L; (c) Ensaio Slump Flow test. (Fonte: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/125/imprime59012.asp>)

Ensaio de Espalhamento (slump flow test) e do tempo de escoamento (método do cone de Abrams)

O ensaio consiste em determinar a fluidez do concreto auto adensável verificando-se o concreto, através da ação de seu peso próprio e a sua capacidade de se espalhar sem segregar em um prazo e dimensão limite (NBR 15823-2, 2010; GOMES e BARROS, 2009).

De acordo com a norma NBR 15823-2 (ABNT, 2010) o ensaio consiste em se fazer a limpeza e umedecimento da placa de vidro ou chapa metálica de 900 mm, que deverá ter marcação circular centrada de diâmetro de 500 mm. Posiciona-se o Cone de Abrams na placa centrada e com a amostra de CAA preenche-se o cone sem

adensamento. Após esta operação retira-se o cone, o levantado e medindo o tempo do início até atingir o diâmetro de 500 mm marcados na placa. Este resultado é o T_{500} (tempo de escoamento) que deve ser comparado com a tabela 2.3 e o espalhamento (Slump Flow) é obtido pela média aritmética de duas medidas.

As diferentes classes de espalhamento são apresentadas na Tabela 2.2 em função do diâmetro do espalhamento.

Tabela 2.2: Classes de espalhamento (Slump-Flow).

Classificação	Classe	Espalhamento (mm)	Método de ensaio
Espalhamento (Slump-Flow)	SF1	550 a 650	ABNT NBR 15823-2
	SF2	660 a 750	
	SF3	760 a 850	

Fonte NBR 15823-1 (ABNT, 2010)

As diferentes classes de viscosidade plástica aparente são apresentadas na Tabela 2.3 em função do tempo de escoamento t_{500} sob fluxo livre.

Tabela 2.3: Viscosidade plástica aparente t_{500} (sob fluxo livre).

Classificação	Classe	T_{500} (s)	Método de ensaio
Viscosidade plástica aparente t_{500} (sob fluxo livre)	VS1	≤ 2	ABNT NBR 15823-2
	VS2	> 2	

Fonte NBR 15823-1 (ABNT, 2010)

Ensaio do Funil-V (V-Funnel test)

O ensaio consiste em simular a passagem do concreto auto adensável através de seu peso próprio, determinando-se a viscosidade do CAA, pela medida do tempo de escoamento de uma massa de concreto através do funil V, além de se verificar a presença de segregação. O resultado deve estar de acordo com a tabela 2.4 (NBR 15823-5, 2010; GOMES e BARROS, 2009).

De acordo com a norma NBR 15823-5 (ABNT, 2010) o ensaio consiste em se fazer a limpeza e umedecer internamente o funil, fechando a comporta, logo após preenchendo-o com CAA, sem adensamento. Coloca-se o recipiente metálico sob o funil V para coletar o concreto. Aciona-se o cronômetro simultaneamente a abertura da comporta e após a completa coleta do mesmo, lê-se o T_{30seg} . Repeti-se novamente o ensaio sem a necessidade de limpeza do funil V, abrindo-se a comporta após 5 min. e anotando-se o novo resultado do T_{30seg} .

As diferentes classes de viscosidade plástica aparente são apresentadas na Tabela 2.4 em função do tempo de escoamento pelo funil V sob fluxo confinado.

Tabela 2.4: Viscosidade plástica aparente pelo funil V (sob fluxo confinado).

Classificação	Classe	Funil V (s)	Método de ensaio
Viscosidade plástica aparente pelo funil V (sob fluxo confinado)	VF1	< 9	ABNT NBR 15823-5
	VF2	9 a 25	

Fonte NBR 15823-1 (ABNT, 2010)

Ensaio da Caixa-L (L-Box test)

O ensaio consiste em avaliar a capacidade da passagem do concreto auto adensável através de seu peso próprio pelas armaduras para determinação da habilidade passante em fluxo confinado do CAA usando a caixa L. O resultado deve ser de acordo com a tabela 2.5 (NBR 15823-4, 2010; GOMES e BARROS, 2009).

De acordo com a norma NBR 15823-4 (ABNT, 2010) o ensaio consiste em se fazer a limpeza e umedecer internamente a caixa L fechando a comporta, logo após preenchendo-a com CAA, na parte vertical sem adensamento. Abre-se a comporta para que o CAA se esco para a parte horizontal, medindo-se o tempo e a altura H_1 e H_2 .

As diferentes classes de habilidade passante são apresentadas na Tabela 2.5 em função do tempo de escoamento pela caixa L sob fluxo confinado.

Tabela 2.5: Habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado).

Classificação	Classe	Caixa L (H_2/H_1)	Método de ensaio
Habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado)	PL1	$\geq 0,80$ com duas barras de aço	ABNT NBR 15823-4
	PL2	$\geq 0,80$ com três barras de aço	

Fonte NBR 15823-1 (ABNT, 2010)

Ensaio do Anel-J (J-Ring test)

O ensaio consiste em analisar o risco de bloqueio do concreto e também para verificação da resistência a segregação ao passar pelo anel pelas armaduras. O resultado deve ser de acordo com a tabela 2.6 (NBR 15823-3, 2010; GOMES e BARROS, 2009).

De acordo com a norma NBR 15823-5 (ABNT, 2010) o ensaio consiste em se fazer a limpeza e umedecer internamente o molde e placa da base. Posiciona-se o anel J no centro da base. Após deve-se preencher o molde e levantá-lo com velocidade constante.

As diferentes classes de habilidade passante são apresentadas na Tabela 2.6 em função do tempo de escoamento pelo Anel J sob fluxo livre.

Tabela 2.6: Habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre).

Classificação	Classe	Anel J (mm)	Método de ensaio
Habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre)	PJ1	0 a 25 com 16 barras de aço	ABNT NBR 15823-3
	PJ2	25 a 50 com 16 barras de aço	

Fonte NBR 15823-1 (ABNT, 2010)

2.6 Requisitos para classificar o Concreto Auto Adensável

Conforme a NBR 15823-1 (ABNT, 2010), os requisitos para se classificar o CAA são o espalhamento, a viscosidade plástica aparente, a habilidade passante e a resistência a segregação.

- **Espalhamento do concreto** As classes de espalhamento do concreto auto adensável estão divididas de acordo com a função de sua aplicação, conforme a Tabela 2.7.

Tabela 2.7: Classe de espalhamento em função da aplicação do CAA.

Classe	Espalhamento (mm)	Aplicação	Exemplos
SF1	550 a 650	Estruturas não armada	Lajes
		Estruturas com baixa taxa de armadura	
		CAA bombeado	Túneis
		Pequena distância de espalhamento do CAA	Estacas e fundações profundas
SF2	660 a 750	Maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outros
SF3	760 a 850	Estruturas com baixa taxa de armadura	Pilares - Paredes
		Forma arquitetônica complexa	Parede diafragma
		CAA utilizando agregado graúdo de dimensão menor que 12,5 mm	Pilares

Fonte NBR 15823-1 (ABNT, 2010)

- **Viscosidade plástica aparente:** A determinação da viscosidade plástica aparente é importante quando se quer obter um bom acabamento

superficial. As classes de viscosidade plástica aparente do concreto auto adensável estão divididas de acordo com a função de sua aplicação, conforme a Tabela 2.8.

Tabela 2.8: Classe de viscosidade plástica aparente do CAA.

Classe	T ₅₀₀ (s)	Funil V (s)	Aplicação	Exemplos
VS1/VF1	≤2	≤8	Estruturais com alta densidade de armadura.	Lajes, paredes diafragma, pré-moldados, etc.
			Concretagens realizadas do ponto mais alto com deslocamento livre	
VS2/VF2	>2	9 a 25	Maioria das aplicações correntes	Vigas, pilares

Fonte NBR 15823-1 (ABNT, 2010)

- **Habilidade passante:** As classes de habilidade passante do concreto auto adensável estão divididas de acordo com a função de sua aplicação, conforme a tabela 2.9.

Tabela 2.9: Classe de habilidade passante do CAA.

Classe	Anel J (mm)	Caixa L (h ₁ /h ₂)	Aplicação	Exemplos
PL1/PJ1	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	≥2 com duas barras de aço	Estruturas com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.	Lajes, painéis, fundação
PL2/PJ2	0 a 25 mm com 16 barras de aço	>0,80 com três barras de aço	Maioria das aplicações correntes que possuam espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm	Vigas, pilares, tirantes, pré-moldados

Fonte NBR 15823-1 (ABNT, 2010)

- **Resistência à segregação:** As classes de resistência à segregação do concreto auto adensável estão divididas de acordo com a função de sua aplicação, conforme a Tabela 2.10.

Tabela 2.10: Classe de resistência a segregação do CAA em função de sua aplicação na obra.

Classe	Coluna de segregação (%)	Distância a percorrer (m)	Espaçamento entre armaduras (mm)	Exemplos
SR1	≤ 20	< 5	>80	Lajes de espessura pequena
SR2	≤ 15	>5	>80	Fundações profundas
		<5	<80	Pilares, paredes e estruturas complexas, pré-moldados

Fonte NBR 15823-1 (ABNT, 2010)

2.7 Controle de Qualidade

Deve-se ter controle de qualidade do CAA desde seu desenvolvimento no laboratório até o seu fornecimento, transporte, lançamento, cura do mesmo.

Desenvolvimento do traço em laboratório

O estudo de dosagem do concreto é de extrema importância para viabilizar o melhor traço a ser fornecido para a obra. Os métodos de dosagem para o CAA, de acordo com a literatura, são entre outros, (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008):

- Método de OKAMURA em 1997;
- Método de dosagem de GOMES (2002);
- Método de dosagem proposto pelo TUTIKIAN (2004);

- Método de dosagem de REPETTE-MELO (Melo 2005);
- Método de ALENCAR E HELENE (2006);
- Método de dosagem proposto pelo TUTIKIAN e DAL MOLIN (2007).

Para o desenvolvimento do traço deve-se fornecer para o laboratório a resistência especificada nos projetos, características da exposição das estruturas, dimensões das estruturas, densidade das armaduras, características arquitetônicas, e também ter os dados das características dos materiais a serem empregados (BAUER, 2000). Em 2004 foi proposto um método prático do CAA que é o Método de Tutikian (2004). Em 2007 foi aprimorado por outro método, conhecido como Tutikian e Dal Molin, que ajudam a obter CAA econômicos e propriedades satisfatórias (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Recebimento do Concreto na obra

Devem-se conferir os dados da Nota Fiscal, verificar o lacre do caminhão e também o tempo entre a saída da Central de Concreto até a obra (TUTIKIAN et al, 2005).

Os aditivos superplastificantes e os modificadores de viscosidade devem ser misturados, na proporção adequada, no concreto após a sua chegada na obra (TUTIKIAN et al, 2005). Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), uma das dificuldades de se utilizar o CAA na obra é a perda de consistência após a adição do superplastificante que, dependendo das condições, mantém a consistência do concreto em torno de 30 a 60 minutos.

Logo após a adição do superplastificante e modificador de viscosidade, é realizado o ensaio de Slump Flow Test, conforme descritos no item 2.5 deste trabalho, moldando-se os corpos de prova para a verificação da resistência a compressão aos 7 e 28 dias devendo ser imediatamente lançado (TUTIKIAN et al, 2005).

Transporte

Deve-se realizar o transporte do concreto no tempo adequado para não perder água nem existir vibração excessiva. O ideal é que seja bombeado, devido à alta fluidez (WATANABE, 2008).

Lançamento

Segundo Watanabe (2008), o CAA pode ser lançado na vertical até 5m em queda livre sem que ocorram bolhas no concreto e para lançamento horizontal, indica-se uma distância até 7 m. Recomenda-se que antes do lançamento do CAA, as superfícies sejam molhadas. Mesmo com o concreto fresco, as interrupções de concretagem podem provocar juntas nas interfaces das camadas de concreto.

Cura

Os mesmos procedimentos utilizados para o CCV podem ser empregados para a cura do CAA (REPETTE, 2005 apud WATANABE, 2008). A cura do concreto interfere nas características de resistência do concreto. Para se obter um concreto impermeável, além de se procurar um fator água/cimento baixo, é indispensável à proteção contra a evaporação logo após o lançamento (BAUER, 2000). Pode ser feita com água ou aplicação de produtos químicos especiais e iniciada o mais rápido possível e mantida por 7 dias (WATANABE, 2008).

2.8 Viabilidade Econômica do Uso do Concreto Auto Adensável

Com o surgimento de grandes obras e novas tendências da construção civil, vê-se a necessidade de se obter novos processos construtivos que melhore a qualidade e reduzam os custos, aperfeiçoando a segurança nas obras. A utilização do concreto auto adensável está diretamente associada a estas tendências, melhorando assim a qualidade das obras, aumentando a vida útil das construções, diminuindo o tempo e viabilizando assim o empreendimento (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Apesar das construtoras julgarem que o concreto auto adensável tem um custo mais elevado que o concreto convencional, o estudo do concreto auto adensável é de extrema importante para as obras correntes e pré-moldadas, pois possuem tecnologia e qualidade superiores as do concreto convencional, aumentando assim a qualidade da sua estrutura. A sua utilização reduz o valor final da obra, pois apresenta um custo total, incluindo insumos e mão de obra, menor que o concreto convencional, além de permitir várias vantagens durante as concretagens, como maior velocidade de bombeamento, redução dos ruídos, diminuição de mão de obra, economia de energia, entre outros (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Observou-se através do comparativo realizado entre o CAA e CCV pelo estudo de Laumet et. al. (2005 apud Ferraz, 2009) que obteve um aumento de 100% de resistência a compressão e 37% no módulo de elasticidade para os corpos de prova com CAA.

Na análise de custo de Laumet et. al. (2005 apud Ferraz, 2009) pode-se verificar que o CAA pode ser mais caro que CCV em 40% a 60%, dependendo do superplastificante utilizado, podendo ser contrabalanceado pela eliminação da vibração do concreto e redução de mão de obra.

De acordo o comparativo do CAA e CCV de Alencar (2007 apud Ferraz, 2009) aplicados em pré-moldados, utilizando um F_{ck} igual a 50 MPa, o valor ficou 15% maior que o CCV, mas analisando o custo de produção comprovou que seu custo reduzia para 2%. Esta redução é devido ao menor número de mão de obra, eliminação de vibração e espalhamento do concreto, redução dos procedimentos de desempenho, possibilitando aumento de 19% na produtividade da fábrica, pois agiliza a processo de moldagem, maior organização admitindo trabalhos noturnos por diminuir os ruídos, além da melhor qualidade das peças.

3. ESTUDO DE CASO: OBRA DA ANGLOGOLD – PLANTA DE REFRIGERAÇÃO DA MINA DE CUIABÁ – SABARÁ/MG.

3.1 Considerações Gerais

A obra do presente estudo é a construção da planta de refrigeração da Mina de Cuiabá, situada na estrada Mestre Caetano, nº 01, na cidade de Sabará/MG. O projeto é da empresa BBE, da África do Sul, e foi adaptado de acordo com as normas brasileiras pela empresa Ônix. Os equipamentos de refrigeração são de fornecimento dos Estados Unidos. O prazo da obra é de 6 (seis) meses a partir da expedição da Ordem de Serviço e ou Assinatura do Contrato, incluindo o período de mobilização. O total de concreto utilizado na obra foi aproximadamente 1500 m³ de concreto, sendo que 80% foram de CAA (ONIX, 2009).

3.2 Características da Obra

As obras civis a serem realizadas no local, fundações, estruturas e pisos de concreto, são: Prédio para Torre de Arrefecimento; Prédio para Túnel de Ar Refrigerado; Prédio para Sala de Máquinas; Prédios para o CCM; Baias para transformadores; Bases para Pipe Rack; Envelopamento elétrico; Malha completa de aterramento elétrico e interligações; Dispositivos de drenagem pluvial. A execução da obra iniciou-se em março de 2010 com a previsão de término 31 de agosto de 2010, mas finalizou as concretagens em 27 de setembro de 2010 (ONIX, 2009).

3.3 Especificações Técnicas da Obra

A obra da AngloGold foi executada pela empresa VRG Engenharia & Comércio Ltda. conforme a especificação técnica do projeto, que visa atender a novas demandas das atividades minerais do subsolo tratando-se de melhoria das frentes de serviço com relação às condições adequadas de produção e obediência aos quesitos de segurança, devendo desde já ser considerada de extrema importância. As especificações técnicas da obra que mais se destacam são: concreto, fôrma e o controle tecnológico (ONIX, 2009).

Concreto

A especificação técnica do concreto para executar a obra descreve a opção de se utilizar o CCV (concreto convencional) ou CAA (concreto auto adensável), devendo ser utilizado com a resistência aos 3 ou 7 dias com o cimento CPV ARI (ONIX, 2009)

Para o CCV deverá ser adensado mecanicamente tendo o cuidado para atingir todos os pontos da forma. O concreto deverá ser lançado, contínuo e rápido quanto possível em camadas horizontais não superiores a 30 cm, antes do prazo de 3,00 horas de seu amassamento, e não será permitida sua utilização após este limite. Cada camada deverá ser lançada e adensada, antes que a camada precedente tenha iniciado a pega, evitando a descontinuidade entre elas, exceto para o concreto auto adensável caso seja utilizado (ONIX, 2009).

A execução das juntas de dilatação deverá ser rigorosamente dentro do PROJETO e das especificações e todas as superfícies de concreto expostas ao ar livre serão continuamente úmidas durante 14 dias após o lançamento do concreto. Nos casos em que as superfícies são protegidas pelas fôrmas, o concreto deverá ser curado, por umedecimento, durante pelo menos 7 dias (ONIX, 2009).

Será admitido o emprego do concreto auto adensável que apresentará todas as suas particularidades técnicas, tais como fluidez, a coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre barras de aço e que tenha resistência à segregação, para garantir

sua estabilidade e trabalhabilidade visando obter as melhores características de cada constituinte para a sua otimização a fim de viabilizá-lo. A fim de garantir todas as características do CAA, deverá ser realizado o Slump Flow (600 a 750) Test, Slump Flow T50 cm test (3 a 7), J-Ring test (0 a 10), V-Funnel test (6 a 12), L-box test (0,80 a 1,00), U-box test (0 a 30), Fill-box test (90 a 100), e outros que possam auxiliar no controle e qualidade do mesmo (ONIX, 2009).

A seleção dos materiais constituintes do CAA deve garantir algumas características e propriedades para não afetar no comportamento das misturas e permitir otimização das propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade do concreto. Dentre os materiais a serem considerados para utilização estão incluídos o cimento, as adições minerais (quimicamente ativas e sem atividade química), agregados (miúdo e graúdo), aditivos (plastificantes e superplastificantes, modificadores de viscosidade) e a água (ONIX, 2009).

Fôrma

A especificação técnica da fôrma está descrita como fôrmas metálicas, planas e desempenadas e como o CAA exerce maior pressão nas fôrmas em comparação com o CCV, deverá ter cuidados extras com o escoramento objetivando a sua perfeita estabilidade (ONIX, 2009).

Controle tecnológico

A especificação técnica da obra referente ao controle tecnológico do concreto deverá realizar o ensaio de slump teste, o slump flower test e outros, moldagem de corpos de prova, e também o acompanhamento criterioso das condições do concreto para sua utilização, os escoramentos deverão ser calculados para suportar o peso próprio total, acrescido do peso total do concreto fresco ($2,6 \text{ t/m}^3$) e uma sobrecarga de pelo menos 100 kg/m^2 (ONIX, 2009).

3.4 Concreto Fornecido para a Obra: Concreto Auto Adensável 35 MPa

A empresa VRG Engenharia & Comércio Ltda., a pedido de seu Cliente AngloGold, adotou o concreto auto adensável (CAA) com a finalidade de agilizar o cronograma da obra tendo em vista a importância do término da mesma, no prazo especificado, devido à atividade de extração de ouro do local. A AngloGold já tinha experiência no emprego do CAA em outras obras e para a obra específica, procurou, antecipadamente, viabilizar sua utilização, apesar de não ter sido concebido no projeto estrutural.

3.4.1 Descrição do Traço

O desenvolvimento do CAA para o presente trabalho foi realizada no Laboratório da Holcim em Pedro Leopoldo/MG tendo como base as seguintes características: fck 35 MPa para 7 dias, slump flow 70 ± 5 cm, módulo de elasticidade secante 24 GPa, com cimento CPV ARI RS.

3.4.2 Materiais Utilizados

A escolha dos materiais empregados neste estudo do traço foi disponibilizada pela Holcim Concreto. É importante ressaltar que para viabilizar economicamente a utilização do CAA, o estudo do traço deve ser realizado com materiais disponíveis na região e preferencialmente pelos materiais disponíveis pela central de concreto, caso este seja a forma de fornecimento do mesmo.

Cimento

Neste trabalho foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial - CPV ARI RS devido exigência do projeto da obra da AngloGold. Seguem na Tabela 3.1 as

principais características físicas do CPV ARI RS utilizados no desenvolvimento do traço.

Tabela 3.1: Características físicas do cimento CP V ARI RS da Holcim.

TIPO DE ENSAIO		CARACTERÍSTICAS	
Blaine (cm ² /g)		4325	
Tempos de pega (min.)	Início	141	
	Fim	199	
Resistência à compressão (MPa)		1 dia	20,5
		7 dias	41,3
		28 dias	52

Fonte: Holcim Brasil S/A

Agregados miúdos e graúdos

Os agregados miúdos utilizados foram duas areias artificiais, provenientes da empresa Martins Lanna (TCL) e Mineração Gerais. O agregado graúdo utilizado foi à brita 0 da empresa Ical.

Seguem na Tabela 3.2 as principais características físicas dos agregados miúdos quanto à massa específica, massa unitária seca, porcentagem de material pulverulento, dimensão máxima características e modulo de finura utilizados no desenvolvimento do traço.

Tabela 3.2: Características físicas dos agregados miúdos.

Agregado Miúdo	Massa Específica (kg/dm ³)	Massa Unitária Seca (kg/dm ³)	Material Pulverulento (%)	Dimensão Máxima Característica (mm)	Módulo de Finura
Areia Artificial (TCL)	2,667	1,679	8,50	4,8	2,863
Areia Especial (Minerações Gerais)	2,634	1,486	9,84	4,8	2,489

Fonte: Holcim Brasil S/A

Seguem na Tabela 3.3 as principais características físicas dos agregados graúdos quanto à massa específica, massa unitária seca, porcentagem de material pulverulento, dimensão máxima características e modulo de finura utilizados no desenvolvimento do traço.

Tabela 3.3: Características físicas dos agregados graúdos.

Agregados Graúdos	Massa específica (kg/dm ³)	Massa Unitária Seca (kg/dm ³)	Material Pulverulento (%)	Dimensão Máxima Característica (mm)	Módulo de Finura
Brita 0 (ICAL)	2,722	1,479	0,39	9,5	5,724

Fonte: Holcim Brasil S/A

Aditivos

Os aditivos utilizados na mistura foram o Viscrocrete 3535 (aditivo superplastificante a base de policarboxilato), aditivo VMA (modificador de viscosidade) e também o aditivo Sikament 175 (polifuncional).

Água

A água utilizada é do sistema de abastecimento da Copasa.

3.4.3 Estudo de Dosagem do CAA

Para o desenvolvimento do CAA foi realizado a mistura do agregado miúdo e graúdo, cimento e água, através da utilização da betoneira. Posteriormente, foi adicionado o aditivo polifuncional, verificando-se o slump, que deve estar entre 9 ± 1 e logo após o acréscimo do superplastificante e o modificador de viscosidade é realizado o ensaio de espalhamento Slump Flow Test onde se verifica o espalhamento 70 ± 5 . Em seguida foram realizados os ensaios para verificação das características do CAA e foram moldados os corpos de prova, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, para verificação da resistência à compressão e módulo de elasticidade.

A Figura 3.1 (a) e (b) mostra o ensaio de slump, após realizar a mistura dos componentes do CAA, antes da colocação dos aditivos superplastificante e modificador de viscosidade.

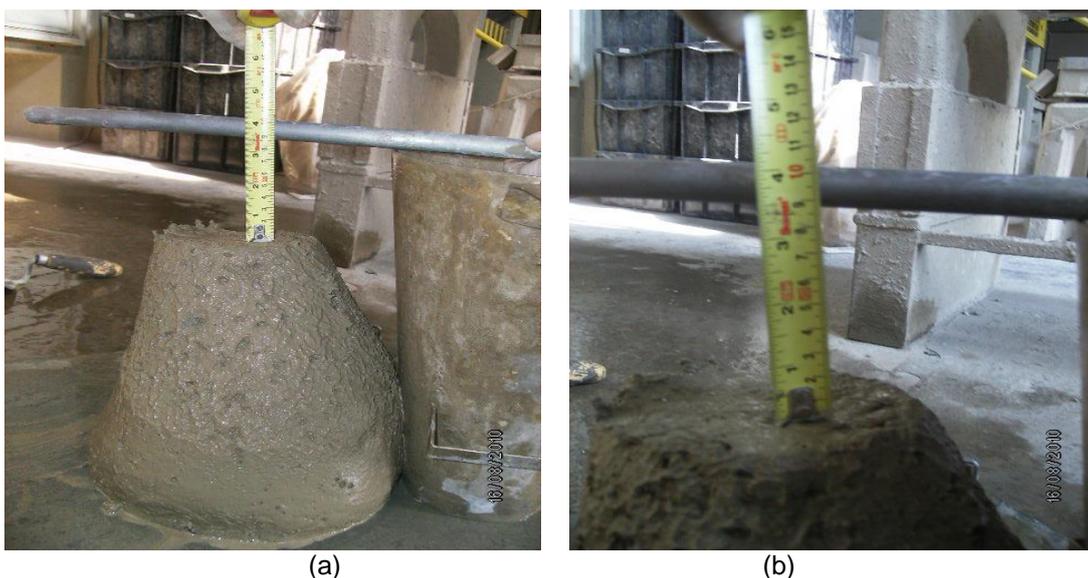


Figura 3.1: (a) Medição do slump antes da adição do superplastificante e modificador de Viscosidade (b) Resultado do slump igual a 9,5 cm.

A Figura 3.2 mostra o aspecto do CAA após acrescentar os aditivos superplastificante e modificador de viscosidade.



Figura 3.2: Mistura após colocar o superplastificante e modificador de Viscosidade do CAA

A Figura 3.3 mostra a leitura do espalhamento do traço após término do ensaio de slump flow test.



Figura 3.3: Medição do espalhamento após término do ensaio de slump flow test.

A Figura 3.4 mostra as moldagens dos corpos de prova para posterior realização dos ensaios de compressão e módulo de elasticidade.



Figura 3.4: Moldagens dos corpos de prova cilíndricos após ensaios de caracterização do CAA.

A Tabela 3.4 apresenta a composição do traço do CAA utilizado contendo as proporções de cimento, dois tipos de areias, brita 0, aditivo polifuncional, superplastificante e modificador de viscosidade, além do fator a/c e quantidade de água empregada na mistura. É importante ressaltar que este traço não possui adições minerais em sua composição, conforme mostra a tabela 3.4.

Tabela 3.4: Traço do CAA produzido no laboratório da Holcim Brasil em Pedro Leopoldo/MG

Cimento	Aditivo Polifuncional Sikament 175 (%)	Aditivo Superplastificante Viscocrete 3535 (%)	Aditivo Modificador de Viscosidade VMA (%)	a/c (*)	Cimento (kg/m ³)	Água (l/m ³)	Traço em massa (Cimento: areias: Brita 0:)
CPV ARI RS	0,5	0,7	0,2	0,48	448	215	1:2, 344:1, 357

(*) Relação água / cimento

3.4.4 Ensaios Reológicos do CAA para Caracterização do Concreto Auto

Adensável no Estado Fresco

Para a comprovação das características, ou seja, o desempenho reológico do concreto auto adensável, foi realizado os ensaios de espalhamento (Figura 3.1), teste da caixa L (Figura 3.2), análise de escoamento através do Funil-V

(Figura 3.3), além da verificação visual da ocorrência ou não da segregação, para cada betonada, conforme descritos no item 2.4.2 do presente trabalho.

A Figura 3.5 (a) apresenta o início do ensaio de espalhamento (Slump Flow Test) e a Figura 3.5 (b) mostra o concreto após seu espalhamento na placa de vidro, onde mostra visualmente que o CAA não segregou e marca um diâmetro de 74 cm.



(a)

(b)

Figura 3.5: (a) Teste de espalhamento: início do ensaio slump flow test; (b) Término do ensaio slump flow test.

A Figura 3.6 (a) apresenta o início do ensaio quando se despeja o CAA Funil V e a Figura 3.6 (b) mostra o CAA antes da abertura da comporta do Funil V para a realização do ensaio.

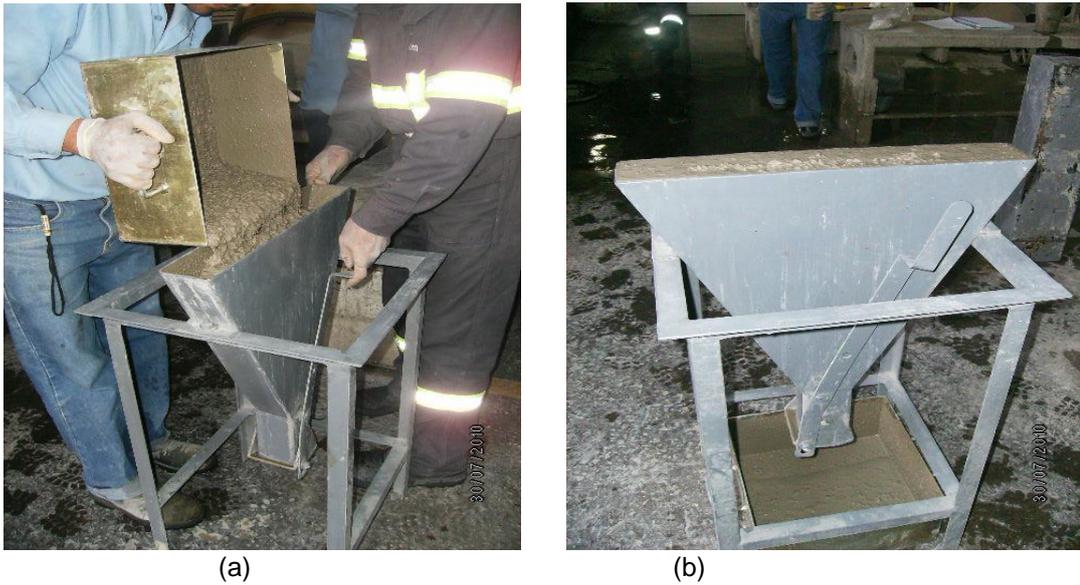


Figura 3.6: V-Funnel test (a) Preenchimento do Funil V com CAA; (b) Funil V já preenchido.

A Figura 3.7 (a) apresenta o início do ensaio Caixa L e a Figura 3.6 (b) mostra o CAA após espalhamento na Caixa L.

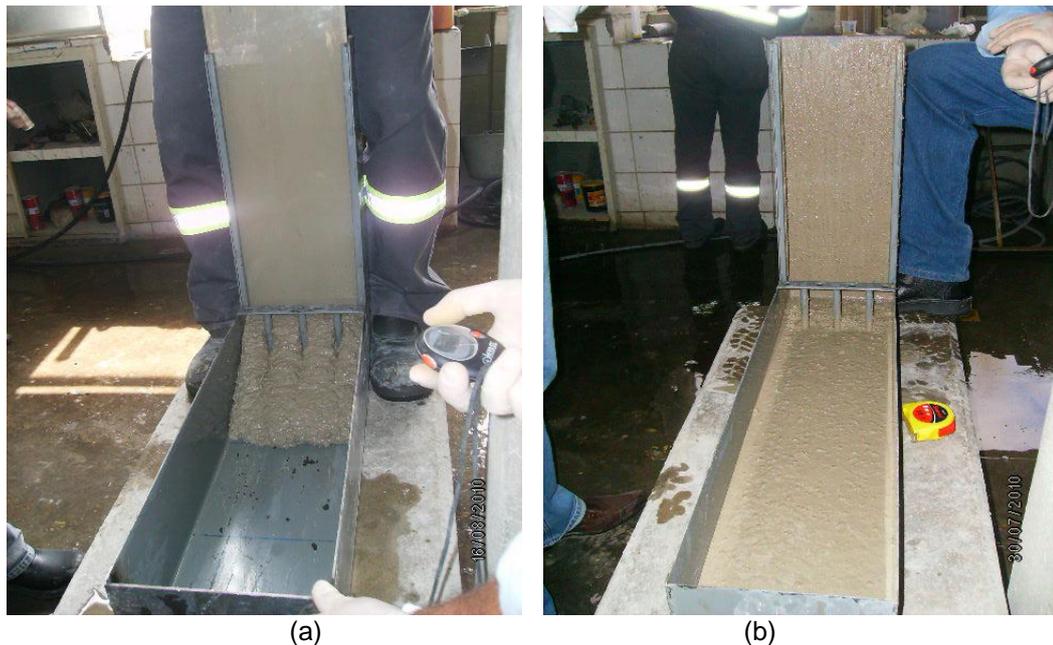


Figura 3.7: Ensaio L-Box test (a) Início do ensaio da Caixa L: abertura da comporta; (b) Término do ensaio caixa L.

A Tabela 3.5 apresenta os resultados dos ensaios realizados de Slump Flow Test e Slump Flow T_{500} , onde de acordo com a tabela 2.2 do item 2.5 deste trabalho, o valor do Slump Flow Test deve estar compreendido entre 660 a 750 mm e o tempo T_{500} ,

comparando com a tabela 2.3 do item 2.5 deste trabalho, é menor que 2,0 segundos. Observa-se que através do diâmetro de espalhamento este CAA é classificado como SF2 e sua viscosidade plástica é classificada como VS1 de acordo com a norma NBR15823-1 (ABNT, 2010).

Tabela 3.5: Resultado dos ensaios de caracterização do CAA – SLUMP FLOW TEST e T₅₀₀.

CONCRETO AUTO ADENSÁVEL				
Slump Inicial após 1º aditivo - Polifuncional (cm)	Densidade (kg/m ³)	Ar incorporado (%)	Slump Flow Test (mm)	Slump Flow T ₅₀₀ (seg.)
8,75	232,9	1,8	745,4	1"67,5"

A Tabela 3.6 apresenta os resultados do ensaio do Funil V. Observa-se uma média dos resultados menor que 9, classificando-o de acordo com a norma NBR15823-1 (ABNT, 2010), como VF1, conforme a Tabela 2.4 do item 2.5 deste trabalho.

Tabela 3.6 Resultado do ensaio de caracterização do CAA - FUNIL V.

FUNIL V	
T ₁ (seg.)	T ₂ (seg.) após 5'
4"69"	8"34"

A Tabela 3.7 apresenta os resultados do ensaio da Caixa L, onde H₁/H₂ é igual a 1,26 que, de acordo com a tabela 2.5 deve ser $\geq 0,80$, classificando-o como PL2 de acordo com a norma NBR15823-1 (ABNT, 2010).

Tabela 3.7 Resultado dos ensaios de caracterização do CAA – CAIXA L.

CAIXA L					
T ₂₀	T ₄₀	T _{FINAL}	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₂ /H ₁
1"30"	1"59"	3"29"	7,7	6,1	1,26

Portanto, analisando-se os resultados dos ensaios de caracterização do CAA, através dos requisitos para se classificar o CAA, de acordo com a norma NBR15823-1 (ABNT, 2010), observa-se que através do resultado do diâmetro de espalhamento este CAA pode ser utilizado na maioria das aplicações correntes, tais como paredes, vigas, pilares entre outras, conforme Tabela 2.7 deste trabalho. Como T₅₀₀ é menor que 2 e o tempo de escoamento no Funil V é menor que 8, de acordo com a norma NBR15823-1 (ABNT, 2010), este traço é adequado para utilizar nos locais com alta densidade de armadura, controlando-se a exsudação e a segregação, conforme mostra a Tabela 2.8 e 2.9 deste trabalho. Conclui-se então que este traço atende as exigências de norma.

3.4.5 Ensaios Mecânicos do CAA - Desempenho Mecânico

Para se comprovar as propriedades mecânicas do concreto auto adensável, foram moldados os corpos de prova cilíndricos de dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de comprimento, com o objetivo de se fazer os ensaios de Resistência à compressão e Módulo de Elasticidade Secante. Os ensaios foram executados conforme as normas da NBR 5739 (ABNT, 1994) e NBR 8522 (ABNT, 2003) respectivamente para as idades de 3, 7, 28, 100 dias. Os corpos de prova ficaram em câmara úmida à temperatura de 23°C ± 2°C e umidade relativa > 95% até as idades de ensaio. São retirados da câmara úmida um dia antes do ensaio.

A Figura 3.8 (a) mostra o ensaio de resistência a compressão e a Figura 3.7 (b) o ensaio de módulo de elasticidade secante.



Figura 3.8: (a) Ensaio de Compressão Axial; (b) Ensaio de módulo de Elasticidade no laboratório da Holcim S/A.

A Tabela 3.8 apresenta os resultados destes ensaios de compressão axial, módulo de elasticidade secante em todas as idades descritas acima.

Tabela 3.8: Resultado dos ensaios mecânicos do CAA.

CONCRETO AUTO ADENSÁVEL							
Resistência característica à Compressão (MPa)				Módulo de Elasticidade Secante (GPa)			
3 dias	7 dias	28 dias	100 dias	3 dias	7 dias	28 dias	100 dias
39,5	47,9	58,6	62,6	27,1	30,7	33,4	34,2

Analisando-se os resultados das Tabelas 3.8 verifica-se que a resistência característica à compressão encontrada alcançou 58,60 MPa aos 28 dias, que é maior que os 35 MPa especificados em projeto, devido à dosagem do concreto auto adensável ter um alto teor de argamassa com grande quantidade de finos. Como o CAA exigiu alto teor de finos e as areias utilizadas não supriram esta necessidade

através de estudos preliminares, houve a necessidade de se utilizar uma quantidade maior de cimento para se garantir as características exigidas para o concreto auto adensável.

3.4.6 Desafios

Devido à alta fluidez e peso próprio do CAA foi necessário o estudo, pela Construtora da melhor maneira de estanqueidade das fôrmas e escoramento adequado das mesmas.

A Figura 3.9 (a) apresenta a fôrma metálica utilizada para execução dos pilares na obra e Figura 3.9 (b) mostra o escoramento externo da fôrma da parede de concreto.



Figura 3.9: (a) Fôrma metálica do pilar; (b) Escoramento externo da fôrma da parede vertical.

O tempo de pega do CAA foi maior que o tempo normal, pois no estudo em laboratório teve que levar em consideração a distância de 60 km entre a central de concreto e a obra, trajeto acidentado e outras causas que aumentavam o tempo da aplicação, totalizando às vezes o tempo de carregamento na central até lançamento de concreto de até 3 horas, garantindo as mesmas características do concreto

desenvolvido em laboratório. Deve-se ter o cuidado de se fazer uma plataforma (da altura do caminhão betoneira) para dosagem de aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade que são adicionados ao concreto dentro do caminhão betoneira na obra.

A Figura 3.10 (a) apresenta a plataforma na obra para adição dos aditivos superplastificante e modificador de viscosidade e a Figura 3.10 (b) mostra a realização do Slump Flow Test na obra o CAA.

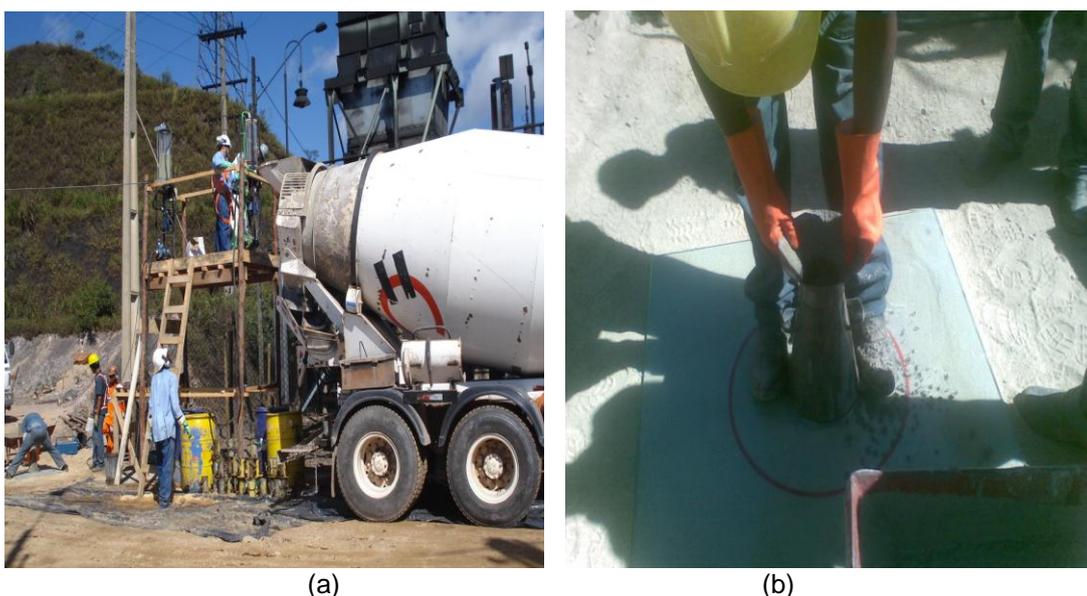


Figura 3.10: (a) Dosagem do caminhão betoneira na obra; (b) Realização do ensaio de Slump Flow Test na obra.

A Figura 3.11 (a) mostra o CAA sendo lançado por bombeamento, a Figura 3.11 (b) mostra o CAA sendo lançado sem bombeamento, ou seja, da bica do caminhão betoneira direto para a fôrma.



(a)



(b)

Figura 3.11: (a) Lançamento do CAA por bombeamento; (b) Lançamento do CAA através da bica do caminhão betoneira direto na fôrma.

4. DISCUSSÕES DOS ASPECTOS ECONÔMICOS

4.1 Viabilidade Econômica para o Uso do Concreto Auto Adensável.

Visando abordar a viabilidade do concreto auto adensável foi realizado uma correlação entre os preços do concreto convencional 35 MPa, concreto auto adensável 35MPa e também o concreto convencional especial 35 MPa conforme descritos na Tabela 4.1. Este concreto convencional especial 35 MPa, foi um dos concretos especificados para a obra em questão, que possui em sua descrição a utilização do cimento CPV ARI e módulo de elasticidade igual a 24GPa. O custo do concreto convencional (CCV) foi fixado em 100% e os demais insumos e serviços foram comparados a ele.

Se compararmos somente o preço do concreto auto adensável com o preço do concreto convencional, o CAA é superior ao preço do CCV em 37,17%, conforme mostra esta diferença em porcentagem dos itens 1 e 3 da Tabela 4.1. Entretanto, fazendo-se uma análise para a obra da AngloGold, devem-se comparar os itens 2 e 3 da Tabela 4.1, devido ao concreto exigido em projeto ser um concreto especial de $f_{ck}=35$ MPa, slump 10+2 cm, brita 1 com características diferenciadas (com Módulo de elasticidade secante de 24 GPa e cimento CPV ARI). Observa-se, neste caso, que a diferença entre os preços dos itens 2 e 3, em porcentagem, é de 15,55%.

A Tabela 4.1 apresenta os valores relativos para os concretos convencionais (CCV), CCV especial e CAA, com suas respectivas características especificadas em projeto da obra da AngloGold, sendo que o concreto CCV especial difere do CCV, pois apresenta em sua especificação o módulo de elasticidade secante.

Tabela 4.1: Comparativos entre os CAA, CCV especial e CCV.

COMPARATIVO DOS CONCRETOS								
Item	Tipo	Resistência (MPa)	Slump (cm)	Slump Flow (cm)	Brita	Módulo Elasticidade Secante	Cimento	Custo relativo (%)
1	CCV	35 Mpa	10±2	-	1	-	CPV ARI RS	100,00
2	CCV Especial	35 MPa	10±2	-	1	24 GPa	CPV ARI RS	115,55
3	CAA	35 Mpa	-	70±5	0	24 GPa	CPV ARI RS	137,17

(*) Custo dos concretos se refere ao mês de Outubro/2010. (Fonte: Holcim Brasil S/A).

No entanto, para o estudo da viabilidade econômica, devem-se levar em consideração todas as etapas construtivas para se comparar o custo final do item concreto. Foram utilizados os dados da Construtora VRG, para execução da obra da AngloGold da concretagem de uma parede vertical de 40m³ (46,00 x 2,50 x 0,35 m), dos quantitativos de materiais, equipamentos e mão de obra, mostrados nas Tabelas 4.2, 4.3, 4.4.

A duração da concretagem realizada com CAA é de 4 horas, enquanto com CCV é de 8 horas, além da quantidade de mão de obra, equipamento e materiais ser diferenciada devido ao processo executivo ser diferente, conforme Tabela 4.2, 4.3. É importante ressaltar que para se executar uma parede vertical com o CAA é necessário uma torre de andaime somente nas extremidades, pois ele escoar pelo seu peso próprio, enquanto o concreto convencional exige que o andaime esteja em toda a extensão da parede, pois precisa vibrá-lo, conforme mostra o quantitativo apresentado na Tabela 4.4. Em contrapartida a fôrma para o CAA pode ser a mesma utilizada em concretos convencionais (CCV), tendo a preocupação de vedá-la, sendo que nesta obra foi utilizado o Tarucel 6 mm (é um delimitador de profundidade impermeável e flexível, elaborado com espuma de polietileno de baixa densidade) e se ter um reforço no escoramento devido à maior pressão do CAA.

A tabela 4.2 mostra o comparativo da quantidade de mão de obra para concretagem de uma parede vertical de 40m³ (46,00 x 2,50 x 0,35 m) utilizando-se o CAA e CCV especial.

Tabela 4.2: Comparativo entre a mão de obra do CAA e do CCV especial.

QUANTIDADE DE PESSOAS PARA EXECUÇÃO DE PAREDE DE 40 m ³			
Descrição	Quant.	CAA	CCV especial
		4 horas de concretagem	8 horas de concretagem
Ajudante para vibrar o concreto	unidade	0	3
Pedreiro para vibrar o concreto	unidade	0	3
Pedreiro de acabamento	unidade	1	2
Carpinteiro	unidade	1	2

Fonte: Construtora VRG em 02/12/2010

A tabela 4.3 mostra o comparativo total da mão de obra para concretagem de uma parede vertical de 40m³ (46,00 x 2,50 x 0,35 m) utilizando o CAA e CCV especial.

Tabela 4.3: Comparativo entre a mão de obra total do CAA e do CCV especial.

MAO DE OBRA TOTAL PARA EXECUÇÃO DE PAREDE VERTICAL DE 40 m ³						
Descrição	CAA			CCV especial		
	Quant. mão de obra	Horas trabalhadas	Total de horas trabalhadas	Quant. mão de obra	Horas trabalhadas	Total de horas trabalhadas
Carpinteiro para verificar fôrma	2,00	4,00	8,00	2,00	4,00	8,00
Pedreiro para vibrar o concreto	0,00	4,00	0,00	3,00	8,00	24,00
Ajudante para vibrar o concreto	0,00	4,00	0,00	3,00	8,00	24,00
Pedreiro de acabamento	1,00	4,00	4,00	2,00	8,00	16,00

Fonte: Construtora VRG em 02/12/2010.

A tabela 4.4 mostra o comparativo entre os materiais e equipamentos para a concretagem de uma parede vertical de 40m³ (46,00 x 2,50 x 0,35 m) utilizando o CAA e CCV especial.

Tabela 4.4: Comparativo entre os materiais e equipamentos do CAA e do CCV especial.

QUANTIDADE DE MATERIAIAS E EQUIPAMENTOS PARA A EXECUÇÃO DE PAREDE DE 40 M ³			
Descrição	Quant.	CAA	CCV especial
Andaime	m ²	5	115
Forma metálica	m ²	230	230
Motor vibrador	pç	0	3

Fonte: Construtora VRG em 02/12/2010.

Utilizando-se o concreto convencional especial (item 2 da Tabela 4.1) e o concreto auto adensável (item 3 da Tabela 4.1) e os dados das Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, foi realizado o comparativo entre as etapas construtivas. Ressalvo que este comparativo da Tabela 4.5 não foi abordado à redução do custo energia elétrica, diminuição do uso de EPI e nem a utilização do Tarucel para vedação das fôrmas metálicas.

A Tabela 4.5 apresenta os quantitativos e os custos relativos dos materiais e equipamentos e mão de obra para a concretagem de uma parede vertical de 40m³ (46,00 x 2,50 x 0,35 m) utilizando o CAA e CCV especial da obra em questão.

Tabela 4.5 Comparativo entre os CAA e CCV especial para execução de uma parede vertical de 40 m³.

Descrição	Unidade	CONCRETO AUTO ADENSÁVEL (35 MPa) – item 3 da Tabela 4.1			CONCRETO CONVENCIONAL ESPECIAL (35 MPa) – item 2 Tabela 4.1		
		Quant.	Custo Unitário Relativo (%)	Custo Total Relativo (%)	Quant.	Custo Unitário Relativo (%)	Custo Total Relativo (%)
Concreto usinado	m³	40	137,17	5486,80	40	115,55	4622,00
Serviço de Bombeamento	m³	40	10,24	409,60	40	10,24	409,60
Forma metálica (15 dias p/ liberação)	m²	230	11,07	2546,10	230	11,07	2546,10
Motor Vibrador 6 mm	dia	0	4,10	0,00	3	4,10	12,30
Andaime	m²	5	2,87	14,35	115	2,87	330,05
Desmoldante	m²	230	0,04	9,20	230	0,04	9,20
Mão de obra carpinteiro para verificar fôrma (*)	hora	8	3,61	28,88	16	3,61	57,76
Mão de obra pedreiro para vibração (*)	hora	0	3,61	0,00	24	3,61	86,64
Mão de obra ajudante para vibração (*)	hora	0	2,42	0,00	24	2,42	58,08
Mão de obra pedreiro acabamento (*)	hora	4	3,61	14,44	16	3,61	57,76
TOTAL				8509,37			8189,49

(*) Para a mão de obra foi considerado encargos sociais de 132,06% conforme informado na revista Informador das Construções, ano 54, edição 1606, 31/10/2010.

Constata-se que neste caso a execução da obra da AngloGold com concreto auto adensável, após comparativo da somatória final dos custos dos dois processos construtivos, ficou 3,91% superior ao concreto convencional especial, conforme mostra a Tabela 4.5. Esta diferença se torna insignificante quando se compara a redução do cronograma e o indireto de mão de obra e também o aumento da qualidade da obra, mostrando ser uma solução viável.

Aproveitando os dados da obra da AngloGold, foi realizado um comparativo entre o concreto convencional (item 1 da Tabela 4.1) e o concreto auto adensável (item 3 da Tabela 4.1), para uma obra com especificação de projeto de CCV.

A Tabela 4.6 apresenta os custos relativos dos materiais, equipamentos e mão de obra para o CCV e CAA tendo como referência a execução da mesma parede vertical de concreto da obra em questão.

Tabela 4.6 Comparativo entre os CAA e o CCV para execução de parede vertical de 40 m³.

Descrição	Unidade	CONCRETO AUTO ADENSÁVEL (35 MPa) – item 3 da tabela 4.1			CONCRETO CONVENCIONAL (35 MPa) – item 1 tabela 4.1		
		Quant.	Custo Unitário Relativo (%)	Custo Total Relativo (%)	Quant.	Custo Unitário Relativo (%)	Custo Total Relativo (%)
Concreto usinado	m ³	40	137,17	5486,80	40	100,00	4000,00
Serviço de Bombeamento	m ³	40	10,24	409,60	40	10,24	409,60
Fôrma metálica (15 dias p/ liberação)	m ²	230	11,07	2546,10	230	11,07	2546,10
Motor Vibrador 6 mm	dia	0	4,10	0,00	3	4,10	12,30
Andaime	m ²	5	2,87	14,35	115	2,87	330,05
Desmoldante	m ²	230	0,04	9,20	230	0,04	9,20
Mão de obra carpinteiro para verificar fôrma (*)	hora	8	3,61	28,88	16	3,61	57,76
Mão de obra pedreiro para vibração (*)	hora	0	3,61	0,00	24	3,61	86,64
Mão de obra ajudante para vibração (*)	hora	0	2,42	0,00	24	2,42	58,08
Mão de obra pedreiro acabamento (*)	hora	4	3,61	14,44	16	3,61	57,76
TOTAL				8509,37			7567,49

(*) Para a mão de obra foi considerado encargos sociais de 132,06% conforme informado na revista Informador das Construções, ano 54, edição 1606, 31/11/2010.

Constata-se que o custo final da etapa de CAA apresenta um acréscimo de 12,45% frente ao concreto convencional (CCV), conforme mostra a Tabela 4.6.

Analisando os dados da tabela 4.6, nota-se que, como foram utilizados os dados da obra da AngloGold para execução de uma parede vertical, pode-se entender que este aumento se deve a vários fatores. Os fatores mais relevantes são: o maior consumo de aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidades utilizados no desenvolvimento da dosagem do concreto deste traço para garantir o seu desempenho, uma vez que a obra fica distante da central (em torno de 01h20min com trânsito bom). Também o CAA além de não ter sido concebido em projeto, onde reduções no dimensionamento poderiam ser realizadas, houve a exigência de sua utilização e o uso do cimento ARI RS na composição do CAA, pois este cimento tem um custo mais elevado que outros cimentos Portland. Portanto, esta diferença pode ser menor se for desenvolvido um traço específico para cada tipo de obra e se for realizado um comparativo das etapas construtivas para diferentes fases da obra, tais como execução de laje, pilares, vigas, entre outros.

5. CONCLUSÃO

Pode-se dizer, após análise dos dados apurados neste trabalho, que a utilização do concreto auto adensável possui vantagens para todos os envolvidos (contratante, construtora, concreteira, entre outros). É importante ressaltar que para viabilizar a aplicação do concreto auto adensável deve-se analisar a estrutura desde a concepção do projeto, de acordo com cada tipo de obra, visando otimizar as seções das estruturas, diminuindo, assim, o volume total de concreto, além de todas as vantagens descritas neste trabalho. É necessário também se preocupar com a execução da obra, visando aprimorar a execução das fôrmas para garantir sua estanqueidade e segurança do escoramento evitando assim possíveis deformações e ruptura das fôrmas no lançamento do CAA.

Conclui-se, portanto, que o emprego do concreto auto adensável, comparando todo sistema construtivo com relação ao concreto convencional é viável técnico e econômico, dependendo do tipo de obra, devido à diminuição da mão de obra efetiva, além da diminuição das etapas de construção por não ter que vibrá-lo, nem espalhá-lo e, conseqüentemente, aceleração do cronograma da obra. Vale lembrar que o CAA apresenta maior durabilidade, pois é mais coeso, possui menor porosidade, reduzindo a possibilidade de infiltração de ataques químicos e físicos no concreto.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106) Dezembro de 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Agregados para Concreto - Especificação**. NBR 7211: 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 1: Classificação, Controle e Aceitação no Estado Fresco**. NBR 15823-1: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 2: Determinação do espalhamento e do escoamento – Método do cone de Abrams**. NBR 15823-2: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 3: Determinação da Habilidade Passante – Método do anel J**. NBR 15823-3: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 4: Determinação da Habilidade Passante**. Método da caixa L. NBR 15823-4: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 5: Determinação da Viscosidade**. Método do Funil V. NBR 15823-5: 2010.

Basf S.A. **Aditivos para Concreto e Argamassas**, BASF S.A. 2009. Disponibilizado pela internet: <http://www.basf-cc.com.br/PT/solucoes/haditivos/Pages/default.aspx>. Acesso em ago/2010

Basf S.A. **Hiperplastificante – GLENIUM™**. BASF S.A. 2009. Disponibilizado pela internet: <http://www.basf-cc.com.br/PT/solucoes/haditivos/Pages/superplastificantes.aspx> Acesso em ago/2010

Basf S.A. **Modificador de Viscosidade – RHEOMAC VMA 358®**, BASF S.A. 2009. Disponibilizado pela internet: <http://www.basf-cc.com.br/PT/solucoes/haditivos/Pages/modificador.spx>. Acesso em ago/2010

FALCÃO BAUER, L.A. **Materiais de Construção**. LTC, Vol 1, 5ª Edição, Rio de Janeiro – RJ, 2000.

FALCÃO BAUER, L.A. **Materiais de Construção**. LTC, Vol 2, 5ª Edição, Rio de Janeiro – RJ, 2000.

FERRAZ, ANDRÉ LUIZ NONATO **Avaliação de Retração e Fluências do Concreto Auto Adensável para Aplicação em Elementos Pré-moldados**. Tese de Doutorado, Campinas, SP [s.n.], 2009.

GOMES, PAULO CÉSAR CORREIA, BARROS, ALEXANDRE RODRIGUES DE **Método de Dosagem de Concreto Auto Adensável**. - - São Paulo: Pini, 2009. 165p.

HOLCIM BRASIL S/A (Cimento e Concreto). **Tipos de cimentos**. Disponibilizado pela internet: <http://www.holcim.com.br/pt/produtos-e-servicos/cimento/tipos-de-cimento.HTML> Acesso em ago/2010

ILIESCU, MARCELO **Palestra sobre Concreto Auto Adensável**. Disponibilizado pela internet: <http://www.iliescu.com.br/palestras/concretoautoadensavel.pdf>. Acesso em 27 de junho de 2010.

MATTOS, ALDO DÓREA **Como Preparar Orçamentos de Obras: Dicas para Orçamentistas, Estudos de Caso, Exemplos**. São Paulo: Editora Pini, 2006.

MC - BAUCHEMIE BRASIL. **MC-PowerFlow® - Superplastificante de alto desempenho baseado na nova tecnologia de polímeros MC.** Ficha do Produto, Edição 01/2010. Disponibilizado pela internet: <http://www.mc-bauchemie.com.br/1855.aspx>. Acesso em ago/2010

MEHTA, P. K, MONTEIRO, P. J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 2. Ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 2 v. 248 p.

ONIX ENGENHARIA E CONSULTORIA Ltda. **Especificação geral - Sistema de Refrigeração – 0452 - Diretrizes Básicas para Planejamento e Controle.** ONIX-023-0452-200-ET-001, 2009.

REVISTA CONCRETO & CONSTRUÇÃO: IBRACON: **Concreto Auto Adensável de Alta Resistência Mecânica e Baixo Consumo de Cimento.** In Revista Concreto & Construção, Edição 55, Jul, Ago, Set. de 2009. ISSN 1809-7197.

REVISTA TÉCHNE: A Revista do Engenheiro Civil. São Paulo: **Concreto auto-adensável.** In Revista Téchné, Edição 132, Março de 2008. 0104-1053.

SIKA S.A, BRASIL. **Sika ViscoCrete® 3535 CB,** Ficha do Produto, Edição 21/9/2009. Disponibilizado pela Internet: http://www.sika.com.br/sika_viscocrete_3535_cb.pdf. Acesso em ago/2010

SIKA S.A, BRASIL. **Sikament® PF 175,** Ficha do Produto, Edição 23/2/2010 Disponibilizado pela Internet: http://www.sika.com.br/sikament_pf_175-3.pdf. Acesso em ago/2010

THALMUS MAGNONI FENATO, BERENICE M. TORALLES CARBONARI, FRANCISCO M. LEITE, HEITOR H. YOSHIDA. **Verificação da Existência de Propriedades Auto-Adensáveis em Concretos de Alto Desempenho, através de Ensaio Experimentais.** Semina: Ciências exatas e Tecnológicas, Londrina, v.28, n.1, p.65-78, jan/jun.2007.

TOKUDOME, SHINGIRO **Contribuição para o Desenvolvimento do Concreto Auto Adensável.** Dissertação de mestrado, UNESP Campus de Bauru/SP, [s.n.], 2006.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca **Método de Dosagem de Concretos de Auto-Adensável**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca e Dal Molim, Denise Carpena **Concreto Auto-Adensável**. 1ed. São Paulo: Pini, 2008. 140p.

TUTIKIAN, BERNARDO FONSECA, DAL MOLIN, DENISE, CREMONINI, RUY **Viabilização Econômica do Concreto Auto Adensável**. UFRGS, 2005

WATANABE, PAULA SUMIE **Concretos especiais – Propriedades, Materiais e Aplicações**. Campinas, SP, 2008.