

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PROJETO DE ESTRUTURAS

JUCELEM RAZERA

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO E
APLICAÇÃO DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEL E CONVENCIONAL**

MONOGRAFIA

TOLEDO
2012

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PROJETO DE ESTRUTURAS

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO E
APLICAÇÃO DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEL E CONVENCIONAL**

Monografia do curso de
Especialização em Projeto de
Estruturas da Universidade
Tecnologia Federal do Paraná –
UTFPR, como requisito parcial para
obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof^a. Dra. Edna Possan.

TOLEDO
2012

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEL E CONVENCIONAL

por

JUCELEM RAZERA

Esta monografia foi apresentada às dezesseis horas do dia **dezoito de dezembro de 2012**, como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM PROJETO DE ESTRUTURAS, Linha de Pesquisa Concretos Especiais, do Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof^a. MSc. Gladis Cristina Furlan
(UTFPR)

Prof. Dr. Cristiano Poletto
(UTFPR)

Prof^a. Dr. Edna Possan
(UTFPR)
Orientadora

Visto da Coordenação

Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
Coordenador do Curso

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho aos meus pais,
irmãos, sobrinha, meu marido Carlos
e à minha orientadora.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, à minha família, ao meu marido, que sempre me apoiaram e incentivaram nesta nova empreitada.

A experiência sem a teoria é cega
e a teoria sem a experiência é um puro jogo intelectual.

Emmanuel Kant

RESUMO

RAZERA, Jucelem. **Avaliação comparativa dos custos de produção e aplicação de concretos autoadensável e convencional**. 2012. Monografia (Especialização em Projeto de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UTFPR, Toledo.

O concreto autoadensável (CAA) é um concreto que dispensa o processo convencional de vibração ou adensamento por ter capacidade de fluir e preencher os espaços da forma apenas através de seu peso próprio, sendo considerado uma evolução da tecnologia do concreto. No entanto, sua utilização ainda é muito pequena, devido, sobretudo, à falta de normas e métodos de dosagem para determinação da proporção dos materiais constituintes da mistura, levando em conta a economia e racionalidade, e à carência de profissionais capacitados na área. Nos últimos tempos, várias pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de estabelecer métodos de dosagem para tornar o CAA um concreto de aplicação comum. Com o objetivo de comparar os custos de aplicação deste concreto com o concreto convencional (CCV), esse estudo, avaliou vários traços de CAA e CCV produzidos por Manuel (2005) e Tutikian (2007). Constatou-se que o CAA, apesar de apresentar um custo de produção mais elevado, obteve um custo de aplicação em estrutura inferior ao CCV. Isso se deve ao fato do CAA não necessitar de adensamento durante o lançamento e de regularização para o acabamento final da superfície concretada. Quando comparado um concreto convencional, com mesmo teor de argamassa, o concreto auto-adensável apresentou qualidades similares, porém seu custo é superior. Deste modo, o presente trabalho contribui para um conhecimento mais amplo do CAA, para que o mesmo possa ser aplicado com segurança em edificações e obra correntes de engenharia.

Palavras-chave: concreto autoadensável, dosagem de concretos, concretos especiais, aplicação de concretos.

ABSTRACT

RAZERA, Jucelem. **Comparative assessment of the costs of production and application of self-compacting concrete and conventional.** 2012. Monograph (Specialization in Structural Design) - Graduate Program in Civil Engineering - UTFPR, Toledo.

The concrete autoadensável (SCC) is a concrete process that eliminates the conventional vibration or compaction by having ability to flow and fill the spaces of the form only through its own weight and is considered an evolution of concrete technology. Though, its use is still very small, owing mainly to the lack of standards and measurement methods for determining the proportion of the constituent materials of the mixture, taking into account the economy and rationality, and the lack of trained professionals in the area. Recently, several studies have been performed in order to establish measurement methods to make the SCC a concrete common application. With the aim of comparing the costs of implementing this concrete with conventional concrete (CCV), this study evaluated various traits SCC CCV and produced by Manuel (2005) and Tutikian (2007). It was found that SCC, although presenting a higher production cost was obtained at a cost of implementation structure below the CCV. This is because the SCC does not require densification during launch and regularization for the finishing of the surface concreted. When compared to a conventional concrete, mortar with the same content, the self-compacting concrete had similar qualities, but its cost is higher. Thus, this study contributes to a broader knowledge of the SCC, so that it can be safely applied in buildings and work streams of engineering.

Keywords: self-compacting concrete, batching of concrete, special concrete, concrete application.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
SIGLAS	11
SIMBOLOS	12
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
2. CONCRETO AUTOADENSÁVEL.....	20
2.1 Definições.....	21
2.2 Vantagens da utilização	22
2.2.1 Produção de CAA e Variantes no Estado Fresco e Endurecido ...	23
2.2.2 Fluidez.....	23
2.2.3 Resistência à segregação.....	24
2.2.4 Habilidade passante	25
2.2.5 Propriedades no estado endurecido	25
2.3 Ensaio no Estado Fresco	26
2.3.1 Espalhamento.....	27
2.3.2 Espalhamento T50cm.....	28
2.3.3 Funil – V.....	29
2.3.4 Caixa-L	30
2.3.5 Caixa-U.....	31
2.4 Método de Dosagem	31
2.5 Método de dosagem para CAA proposto por Tutikian (2004)	32

3. CONCRETO CONVENCIONAL.....	35
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1 Seleção dos traços dos concretos.....	38
4.2 Resistências dos concretos.....	40
4.3 Custos dos concretos.....	45
4.4 Estrutura padrão para cálculo dos Custos Globais	49
4.4.1 Volume de concreto:.....	51
4.4.2 Forma de análise dos custos	51
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	52
5.1 Custos de produção dos Concretos (sem considerar a resistência): ..	52
5.1.1 Comparação das resistências obtidas à compressão aos 28 dias	54
5.1.2 Custos considerando Produção, lançamento, adensamento e acabamento superficial de uma estrutura.....	60
6. CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comportamento do agregado graúdo na concretagem das barras da armadura formando um arco estável	25
Figura 2: Ensaio e requisitos para CAA	27
Figura 3: Equipamento para o teste de espalhamento	28
Figura 4: Vista frontal com as dimensões do funil-V	29
Figura 5: Vista superior da caixa-L com suas dimensões	30
Figura 6: Corte lateral da caixa-U com suas dimensões	31
Figura 7: princípio básico do método proposto por Tutikian (2004)	33
Figura 8: passo a passo para dosagem do CAA	33
Figura 9: resistências à compressão aos 28 dias dos concretos	41
Figura 10: resistências à compressão aos 28 dias dos concretos convencionais ensaiados por Tutikian (2007)	44
Figura 11: resistências à compressão aos 28 dias dos concretos autoadensáveis ensaiados por Tutikian (2007)	44
Figura 12: estrutura padrão a ser aplicada os valores	50
Figura 13: custos para produção de 1 m ³ de concreto utilizando os traços de Manuel (2007)	52
Figura 14: comparativo de custos dos concretos ensaiados por Tutikian	54
Figura 15: evolução da resistência à compressão do CCV-REF e CAA-54	55
Figura 16: evolução da resistência à compressão do CCV-REF e CAA-54	56
Figura 17: evolução da resistência à compressão do CCV-REF e CAA-54	56
Figura 18: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA	58
Figura 19: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA	58
Figura 20: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA	59
Figura 21: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA	59
Figura 22: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA	60
Figura 23: custos dos concretos aplicados na estrutura, considerando material e mão de obra	62
Figura 24: custos dos concretos aplicados na estrutura, considerando material e mão de obra	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: consumo de materiais para cada concreto, em kg/m ³	38
Tabela 2: traços unitários e cálculo de materiais por m ³	39
Tabela 3: traços unitários do CAA	40
Tabela 4: consumos de materiais calculados para o CAA	40
Tabela 5: resultados das resistências à compressão	41
Tabela 6: resultados das propriedades no estado endurecido	42
Tabela 7: resultados das propriedades no estado endurecido	43
Tabela 8: quadro resumo do consumo de materiais	45
Tabela 9: quadro resumo do consumo de materiais	45
Tabela 10: preço dos insumos constituintes dos concretos	46
Tabela 11: preço dos insumos constituintes dos concretos, ajustados por unidade utilizada	46
Tabela 12: quadro resumo aplicado os valores dos produtos	47
Tabela 13: quadro resumo aplicado os valores dos produtos	47
Tabela 14: Composição: transporte em carrinho de mão, em local plano, transportado, considerando 5 m de distância – unidade: m ³	48
Tabela 15: Composição: preparo mecânico do concreto – unidade: m ³	48
Tabela 16: Composição: Lançamento e aplicação de concreto – unidade: m ³	48
Tabela 17: Composição: Lançamento, aplicação e adensamento de concreto – unidade: m ³	48
Tabela 18: Composição: Regularização de superfície sarrafeada com argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:4, e= 3 cm. – unidade m ²	48
Tabela 19: quadro resumo para os traços de Manuel (2005)	52
Tabela 20: quadro resumo para os traços de Tutikian (2007)	53
Tabela 21: resultados das resistências à compressão	55
Tabela 22: resultados das resistências à compressão	57
Tabela 23: Valores unitários das composições de mão de obra	60
Tabela 24: Valores de materiais e mão de obra, aplicados na estrutura	61
Tabela 25: Valores dos materiais e mão de obra, aplicados na estrutura	62

SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CAA: Concreto Autoadensável.

CCV: Concreto Convencional.

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

SÍMBOLOS

α : teor de argamassa seca

a/c: relação água-cimento, em Kg/kg

CAA: concreto autoadensável (em inglês "*Self-Compacting Concrete-SCC*")

CAA-54: concreto autoadensável obtido com $\alpha= 54\%$

CCV: concreto convencional

CCV-REF: concreto convencional referencia (ou CCV-54)

CP IV-32: cimento *Portland* pozolânico cuja resistência à compressão aos 28 dias é de 32 MPa

E_c = módulo de elasticidade do concreto

MPa: mega Pascal

R\$/m³: Reais por metro cúbico

Slump: valor de abatimento do concreto pelo ensaio do cone de Abrams

SFT: *slump flow test* (resultado do ensaio de espalhamento do concreto autoadensável)

SP: aditivo superplastificante

T: traço

1. INTRODUÇÃO

A pedra, a madeira e o barro eram os materiais de construção que o homem utilizava nas civilizações primitivas, aos poucos as exigências humanas aumentaram, sendo necessários materiais de maior resistência, durabilidade e melhor aparência. Assim surgiu o concreto, resistente como a pedra e moldável como o barro.

Os produtos cimentícios podem ser considerados como um dos materiais mais importantes de todas as épocas da civilização humana, por terem suprido as necessidades de edificações e obras de infraestrutura. A explicação para esta constatação é simples: a natureza forneceu matérias-primas abundantes e o homem, pela sua inerente capacidade de elaborar relações de causa e efeito, estabeleceu interações entre as necessidades existentes e as possibilidades de aplicação que esses materiais disponibilizaram para solução de seus problemas imediatos (ISAIA, 2005).

Um dos produtos cimentícios mais importantes para a engenharia civil é o cimento Portland, o qual tem a propriedade de aglomerar partículas e endurecer após o contato com a água, sendo um dos principais componentes do concreto.

O concreto sempre foi utilizado como material de construção, sua utilização vem aumentando graças ao desenvolvimento de novas tecnologias. O concreto pode ser empregado em ambientes de agressão moderada e fortemente agressivos, devido à sua excelente resistência à água. Molda-se facilmente em infinitas formas e dimensões.

O surgimento do concreto vem da evolução do uso de aglomerante de gesso calcinado pelos egípcios, aos calcários calcinados pelos gregos e romanos que aprenderam, posteriormente, a misturar cal e água, areia e pedra fragmentada, tijolos ou telhas em cacos.

Mas o concreto convencional que conhecemos hoje é, basicamente, uma mistura entre dois componentes: os agregados e a pasta. Os agregados podem ser divididos em miúdos e graúdos, dependendo de sua granulometria. Já a pasta engloba o cimento e a água, sendo que materiais cimentícios suplementares e aditivos podem ser incluídos neste grupo. O endurecimento

da pasta une os agregados em uma massa densa devido às reações químicas do cimento com a água (PCA, 2002).

Desde a antiguidade até a atualidade as técnicas de dosagem, produção e utilização do concreto passaram por incontáveis inovações, sendo constante a evolução tecnológica nesta área a fim de desenvolver concretos que melhor atendam às necessidades de cada tipo de edificação e, nesta evolução, os aditivos tem protagonismo destacado.

Atualmente, as técnicas construtivas exigem concretos que apresentem características particulares, tais como: concretos de alta resistência, de alto desempenho, autoadensáveis, com altos teores de adições e pozolanas, aparentes, coloridos, brancos, sustentáveis, entre outros, os quais são conhecidos como concretos especiais.

Foi desenvolvido, no Japão, no início da década de 90, um concreto capaz de fluir e preencher os espaços vazios. Entende-se como concreto autoadensável o resultado obtido da mistura homogênea dos componentes, sem necessidade da vibração para que haja o adensamento, pois se obtém uma massa de alta fluidez e estável, ou seja, sem segregação e baixa exsudação.

O entendimento de que as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido, podem ser modificadas pela adição de certos materiais, em especial, aditivos, ocasionou um enorme crescimento da indústria de aditivos durante os últimos anos. Entretanto, foi no século passado que a tecnologia de fabricação deste material se desenvolveu, sendo produzidos produtos que permitem a melhora considerável de certas propriedades do concreto e seu emprego em produções de larga escala (et al., 2006). Em um curto período de tempo, a indústria de aditivos para concreto e argamassa tem se transformado em uma indústria moderna que prepara numerosos produtos que permitem obter concretos com as características requeridas pelos usuários, como a adensabilidade e resistência elevada, bem como fabricar concretos mais duráveis (MARTIN, 2005).

O primeiro protótipo de concreto autoadensável foi completado em 1988 usando materiais utilizados no mercado. O desempenho do protótipo foi satisfatório, com atenção especial para a retração por secagem, calor de hidratação, densidade depois de endurecido e outras propriedades.

Dentre o grupo dos aditivos para concreto estão os aditivos do tipo redutores de água que podem ser: plastificantes, polifuncionais ou superplastificantes, de acordo com sua forma de ação. Os aditivos plastificantes quando são aplicados nos concretos, revestem os grãos de cimento e provocam uma repulsão entre os grãos, essa repulsão promove um melhor deslizamento entre os grãos, permitindo um fluidez com menor quantidade de água, já os polifuncionais proporcionam uma redução de 7% a 15%, facilitando o acabamento superficial do concreto. Os aditivos superplastificantes são aditivos desenvolvidos para reduzir a água acima de 12%, proporcionam uma alta resistência inicial, mínima exsudação e maior facilidade no lançamento, é considerado uma parte muito importante de uma mistura de concreto de Cimento Portland denominada concreto autoadensável (CAA), autocompactável, autonivelante ou ainda concreto reoplástico, que a EFNARC (2002) destaca como o mais revolucionário desenvolvimento no setor da construção nas últimas décadas.

O CAA é claramente uma das áreas da tecnologia do concreto que tem o maior potencial de desenvolvimento (PETERSSSEN e REKNES, 2005). O CAA não é apenas um novo tipo de concreto, senão uma tecnologia, que, quando aplicada corretamente, proporciona propriedades diferentes e, principalmente, novas oportunidades (SZECSY, 2005). Com a utilização do CAA, a estrutura deve ser analisada através de uma forma integral, onde tanto o processo construtivo como a concepção arquitetônica podem ser otimizados (PACIOS, 2005).

As duas propriedades mais importantes do CAA são a trabalhabilidade e a estabilidade. As características deste concreto precisam ser determinadas e mantidas, assim as propriedades dos materiais e, principalmente, o proporcionamento destes, passam a ser os fatores mais importantes para a otimização da mistura.

O concreto autoadensável pode ser definido, segundo Mehta e Monteiro (2008), 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). Segundo a EFNARC (2002) um concreto só é considerado autoadensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: fluidez, coesão

necessária para que a mistura escoe intacta entre barras de aço (ou habilidade passante) e resistência à segregação.

Para obter um CAA que atenda simultaneamente a estas três propriedades é imprescindível o uso de aditivos plastificantes e/ou superplastificantes que atuam principalmente sobre as partículas de cimento afetando diretamente as propriedades no estado fresco e endurecido dos concretos.

Uma vez que a atuação dos aditivos superplastificantes se dá, independe do mecanismo de ação, durante a hidratação do cimento; e que a hidratação do cimento se manifesta através da pega e do endurecimento, além do desenvolvimento da resistência à compressão da mistura, é importante avaliar a influência do tipo de aditivo superplastificante no tempo de início de pega do CAA para que se possa empregá-lo em dosagem adequada de modo que o concreto obtido não apresente retardo excessivo de pega e diminuição de resistência à compressão.

O CAA vem atraindo cada vez mais pesquisas no Brasil e vem sendo utilizado em obras correntes e especiais, podemos citar como exemplos a superlaje do Metrô - SP, o Edifício Parthenon Residence em Novo Hamburgo (RS), neste foi utilizado CAA a partir do quinto pavimento-tipo, unidade JK-Itaim do Laboratório Fleury, também em São Paulo, utilizado pela Perville Pré-fabricados de Joinville, uma sala exclusiva de tratamento radioterápico oncológico do edifício Dr. Ghelfon Diagnóstico Médico, São Bernardo do Campo (SP), reservatório de água da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA em Belo Horizonte (MG), entre outras. Porém, os principais temas das pesquisas focam as propriedades mecânicas, a durabilidade e a possibilidade de utilização com determinados tipos de materiais locais. A dosagem, que é um dos aspectos mais importantes deste concreto, vem sendo estudada superficialmente, prejudicando, assim, todos os temas anteriores.

Sabe-se, no entanto, que o CAA só pode ser diferente do CCV até que a mistura passe do estado fresco para o endurecido, logo suas propriedades mecânicas e de durabilidade serão, simplesmente, o efeito da proporção dos materiais constituintes. Os materiais são parecidos com os do CCV, assim como as propriedades no estado endurecido, quando não superiores.

Podem-se demonstrar as vantagens do concreto autoadensável ressaltando alguns aspectos tecnológicos, ambientais e econômicos de sua utilização. Em aspectos tecnológicos pode-se destacar como principal, o aumento da durabilidade das estruturas, visto que, a não necessidade de adensamento elimina as bolhas de ar decorrentes da má vibração do concreto, grandes responsáveis pela redução da resistência, e conseqüente, redução da durabilidade da estrutura. Permite assim a concretagem de elementos de seções reduzidas, lembrando-se que é cada vez mais frequente a opção pela execução de peças esbeltas, as quais apresentam por conseqüência grande densidade de armadura, sendo, portanto, muito suscetíveis aos defeitos acima citados.

Analisando-o pelo lado econômico, encontram-se ganhos quantitativos e qualitativos. Como qualitativos temos a redução do barulho de vibração, visto que essa etapa não se faz necessária, permitindo assim concretagens à noite ou próximas a hospitais; melhoria do acabamento final; aumento da vida útil das fôrmas; economia de energia elétrica; diminuição dos riscos e acidentes pela redução do número de trabalhadores no canteiro. Já entre ganhos quantitativos citam-se a redução do custo global, devido à diminuição da mão de obra e o aumento da velocidade de construção.

No entanto, o CCA ainda é pouco utilizado no Brasil, tanto por desconhecimento da dosagem quanto pelo custo de produção, que em função do maior consumo de cimento, se analisado sem considerar o custo global, tende a ser superior ao concreto convencional.

Existe uma lacuna muito grande nesta área, a inexistência de métodos experimentais de dosagem para CAA. Hoje em dia, para se dosar um CAA, pesquisadores se valem de métodos baseados em tabelas prontas, que foram produzidas, muitas vezes, em outros países, com materiais diferentes dos nossos. Necessita-se fazer adaptações baseadas no método da tentativa e erro, gasta-se tempo sem a certeza de que o concreto produzido seja um concreto econômico e dosado de uma forma que minimize futuras manifestações patológicas, como por exemplo a retração.

De maneira sucinta, pode-se afirmar que o concreto é uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem. Este foi capaz de desenvolver um material que, depois de endurecido, tem resistência similar às

das rochas naturais e, quando no estado fresco, é composto plástico: possibilita sua modelagem em formas e tamanhos mais variados (PEDROSO, 2009).

Diante disso, o concreto autoadensável mostrou-se um objeto interessante de estudo, tendo em vista a necessidade de comparação dos custos de diferentes traços de concreto autoadensável com traços de concreto convencional, considerando não só os custos de produção, mas os custos globais (mão de obra, vibração, acabamento superficial, entre outros) para os dois tipos de concretos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar comparativamente os custos de produção e aplicação de concretos autoadensáveis e convencionais para utilização em estruturas de concreto armado.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a. Levantar os custos de produção por m³ dos concretos convencional e autoadensável;
- b. Fazer um comparativo das resistências alcançadas pelos concretos aos 28 dias.
- c. Conduzir o estudo comparativo considerando o concreto aplicado em uma estrutura, considerando o custo global de produção.

2. CONCRETO AUTOADENSÁVEL

O CAA é uma das grandes revoluções ocorridas na evolução do concreto e por meio de sua utilização obtém-se ganhos diretos e indiretos, entre os quais destacam-se:

- a. redução da mão de obra no canteiro;
- b. aumenta a durabilidade por adensar com maior facilidade;
- c. aceleração da construção;
- d. melhora no acabamento final da superfície;
- e. grande liberdade de formas e dimensões;
- f. permite concretar peças de seções reduzidas;
- g. não precisa ser vibrado, eliminando assim o ruído da vibração;
- h. pode-se obter um ganho ecológico;
- i. pode-se reduzir o custo final do concreto e/ou da estrutura.

Outra característica importante é que o concreto autoadensável pode ser produzido nas mesmas centrais e com os mesmos materiais empregados na produção do concreto convencional.

Com tantas vantagens podemos esperar um crescimento no uso do CAA nos próximos anos, mas é preciso que sua dosagem seja feita de uma forma adequada. O CAA se diferencia do concreto convencional (CCV) pelas suas propriedades no estado fresco, principalmente por sua elevada fluidez, e para que essa elevada fluidez ocorra, é necessário o emprego de aditivos superplastificantes em grandes quantidades (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Caso se obtenha uma resposta positiva com o experimento, pode-se promover economia, segurança, rapidez e qualidade, entre outras vantagens, nas edificações que utilizarem CAA nas suas estruturas, uma vez que, essa nova tecnologia muito se difere das atuais utilizadas pelo mercado da construção civil, como será mostrado nos itens seguintes deste trabalho.

O CAA vem sendo objeto de diversas pesquisas no Brasil nos últimos anos. A maioria dessas pesquisas é realizada nas universidades, fazendo com que este material comece a ser testado e aprovado em diversas empresas. Segundo Tutikian (2007) a maioria das aplicações do CAA em empresas de

construção ocorreu por iniciativa ou, no mínimo, acompanhamento dos profissionais das universidades envolvidas com os estudos. Em empresas de pré-fabricados a utilização do CAA é mais usual.

A utilização do CAA vem crescendo e se consolidando como o material com maior potencial de desenvolvimento.

2.1 Definições

O termo concreto autoadensável identifica uma categoria de material cimentício que pode ser moldado nas formas e preencher cada espaço exclusivamente através de seu peso próprio, sem necessidade de compactação ou vibração externa.

Um concreto só será considerado autoadensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente (EFNARC, 2002):

- j. fluidez;
- k. coesão ou habilidade passante, necessária para que a mistura escoe intacta entre barras de aço e;
- l. resistência à segregação.

Segundo a EFNARC (2002) Fluidez é a propriedade que caracteriza a capacidade do concreto autoadensável de fluir dentro das formas preenchendo os espaços vazios. Coesão ou habilidade passante é a propriedade que caracteriza a capacidade da mistura escoar pelas formas, passando por obstáculos (entre as armaduras de aço) sem obstrução do fluxo ou segregação. Resistência à segregação é a propriedade que define a capacidade do concreto autoadensável em se manter coeso ao fluir dentro das formas, passando ou não por obstáculos, assim sendo, o concreto autoadensável terá que ser capaz de se moldar nas formas por conta própria sem a necessidade de fatores externos para vibrar ou compactar, exceto a ação da gravidade, para que ocorra seu perfeito acomodamento e adensamento.

As propriedades do estado fresco, elevada fluidez e estabilidade da mistura são o que diferenciam o concreto autoadensável do concreto convencional (REPETTE, 2005). Qualquer auxílio como adensamento ou

vibração para alcançar a perfeita compactação ou para preencher os espaços, descaracterizara a capacidade de ser autoadensável.

2.2 Vantagens da utilização

Segundo EFNARC (2002), o CAA foi o mais revolucionário desenvolvimento em construções de concreto ocorrido nas últimas décadas. Embora, tenha sido desenvolvido para compensar a escassez crescente de mão de obra qualificada, observam-se benefícios econômicos e operacionais atrelados a sua utilização:

- a. maior liberdade nas formas arquitetônicas, permite concretagem de formas esbeltas com alta taxa de armadura, obtendo melhor acabamento na superfície final;
- b. diminuição dos riscos de acidentes, pois despende de menor número de trabalhadores para os locais de concretagem e melhora as condições de trabalho sem os ruídos de vibração;
- c. prerrogativa ecológica, pode-se usar adições provenientes de resíduos industriais como escoria de alto forno, cinza da casca do arroz e cinza volante.

Com todas essas vantagens vinculadas, Tutikian e Dal Molin (2008) afirmam que o CAA é uma das áreas da tecnologia do concreto que tem maior potencial de desenvolvimento. Embora existam discussões a respeito do alto custo dos materiais e do controle de qualidade de execução, Tutikian (2004), afirma que em muitos casos de dosagem o CAA pode ser muito mais vantajoso economicamente que o concreto convencional, além do que, carrega consigo todas as vantagens citadas anteriormente.

A possível diminuição dos macros defeitos, bolhas de ar e falhas de concretagem devido a grande fluidez e grande resistência à segregação que tem o material, evitando assim, graves diminuições no desempenho mecânico e durabilidade do elemento estrutural de concreto (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.2.1 Produção de CAA e Variantes no Estado Fresco e Endurecido

Vários autores destacam que o CAA quando comparado com o CCV deve apresentar propriedades no estado fresco diferenciadas para garantir o seu autoadensamento. Apesar disso, ele pode ser produzido nas mesmas centrais dosadoras que o concreto convencional e utilizar os mesmos materiais: cimento, brita, areia, aditivos e adições minerais, o que muda são os conceitos de dosagem. Na dosagem do concreto convencional, empregam-se maiores quantidades de agregados graúdos para ocupar um volume maior, e argamassa suficiente para garantir união entre esses agregados graúdos e proporcionar mobilidade e estabilidade para as partículas de maiores dimensões. No concreto autoadensável, algumas alterações nos materiais empregados e nos métodos de dosagem podem ser necessárias a fim de garantir as propriedades que o diferenciam do concreto convencional, e, além disso, assegurar sua resistência mecânica e sua durabilidade.

As principais diferenças na dosagem de um CAA em comparação com a dosagem de um concreto convencional são: utilizam-se maiores quantidades de materiais finos (cimento, areias e adições minerais), menores quantidades e dimensões de agregado graúdo, maiores doses de aditivos redutores de água e, eventualmente, aditivos promotores de viscosidade (REPETTE, 2005; HASTENPFLUG, 2007).

Tendo em vista que as três características básicas necessárias para não descaracterizar o autoadensamento do CAA são: capacidade de preenchimento, resistência à segregação e capacidade passante. Na sequência serão detalhadas estas propriedades com seus principais promotores e atenuadores. Serão discutidas também, de forma sucinta, as propriedades do estado endurecido do CAA.

2.2.2 Fluidez

Segundo Almeida (2005) existem duas propriedades intrínsecas à capacidade de preenchimento do CAA: a capacidade de deformação, estando esta relacionada à distância que o concreto pode percorrer, e a velocidade de deformação. Para se conseguir uma capacidade de enchimento satisfatória, o

CAA deve apresentar um baixo atrito interno e uma pasta com boa deformabilidade.

Para conseguir um concreto deformável é necessário reduzir a fricção entre as partículas sólidas. Um modo de conseguir este efeito consiste na diminuição da dosagem de agregado, aumentando o teor de pasta com a incorporação de adições como: fíler calcário, cinza volante e sílica ativa.

Outro ponto relevante é o fato de que, não é possível reduzir o atrito interno dos materiais do concreto, aumentando a dosagem de água na pasta, uma vez que, a elevada dosagem de água pode conduzir a segregação e perda de resistência no estado endurecido (ALMEIDA, 2005).

2.2.3 Resistência à segregação

A segregação do CAA é caracterizada pela falta de homogeneidade da distribuição dos materiais constituintes, sendo inadmissível, a exsudação, a segregação da pasta e agregados e a segregação do agregado graúdo, originando bloqueio e não uniformidade da distribuição dos poros (ALMEIDA, 2005).

Para se ter uma boa resistência a segregação pode ser considerada, no sentido de reduzir a exsudação, a diminuição da dosagem de água, e da relação água/finos, bem como o uso de aditivos promotores de viscosidade (ALMEIDA, 2005; REPETTE, 2005). No sentido de separação da pasta de cimento dos agregados graúdos, pode-se promover uma distribuição contínua (empacotamento) e restrições do diâmetro máximo do agregado graúdo, além disso, deve-se também empregar mais finos ou adições mineralógicas ao cimento (ALMEIDA, 2005; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008)

Para Repette (2005), a princípio, todos os cimentos empregados na produção do concreto convencional, podem ser usados na produção de concreto autoadensável, entretanto, cimentos com maior índice de finos possibilitam uma maior resistência. Variações no tipo de cimento e do fabricante podem alterar diretamente as propriedades do concreto autoadensável. Entretanto, Melo (2005) alerta para um limite na quantidade de cimento para evitar a alta liberação de calor por hidratação e conseguinte aumento de retração plástica, e também para baixar o custo do produto final,

uma vez que este insumo tem um alto valor comercial. Para a EFNARC (2002) devem ser controlados os teores de C_3A e álcalis do cimento, a fim de evitar uma perda de fluidez já nos primeiros instantes.

2.2.4 Habilidade passante

A capacidade do CAA de passar pelos espaços entre armaduras, e destas com as paredes das formas, é melhorada limitando o teor e a dimensão dos agregados graúdos na mistura, além disso, deve-se fazer uso de aditivo promotor de viscosidade quando não conseguir homogeneidade no escoamento (REPETTE, 2005).

Segundo Almeida (2005), a existência de obstáculos ao fluxo de concreto, provoca uma alteração do percurso das partículas sólidas, provocando o contato entre elas, crescendo a probabilidade de se formar um arco estável, ou seja, um acomodamento firme dos agregados impedindo a passagem do restante dos agregados, como é possível ser visto na Figura 1.

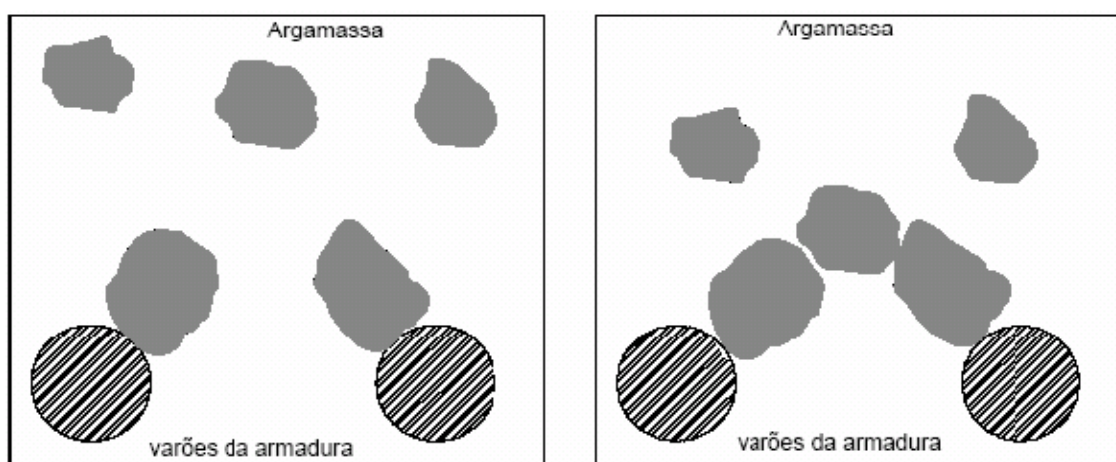


Figura 1: Comportamento do agregado graúdo na concretagem das barras da armadura formando um arco estável

Fonte: Manuel, 2005

2.2.5 Propriedades no estado endurecido

As propriedades no estado endurecido do CAA não diferem das do concreto convencional, ou seja, depois de endurecido o CAA comporta-se igual a um concreto convencional. Os ensaios para avaliar o CAA no estado

endurecido são os mesmos empregados no concreto convencional (REPETTE, 2005; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

No entanto, quando se utiliza elevados teores de argamassa para produção do CAA, o módulo de elasticidade tende a diminuir, já que os agregados graúdos são os principais responsáveis por essa propriedade (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008). Quanto maior o módulo de elasticidade maior será a rigidez da estrutura e por conseguinte, menores serão as deformações para os mesmos esforços.

De maneira resumida, na sequência, destacam-se os fatores que influenciam as propriedades no estado endurecido do CAA (MEHTA e MONTEIRO, 2008):

- a. o CAA apresentará fissuração de secagem e alto calor de hidratação se for dosado com alto teor de cimento;
- b. terá sua pega inicial retardada se tiver um consumo muito alto de aditivo superplastificante;
- c. terá afetado seu módulo de elasticidade para baixo, caso seja dosado com baixo consumo de agregado graúdo;
- d. o baixo consumo de agregado graúdo é, também responsável por prováveis retrações plásticas do concreto;
- e. sua resistência será reduzida quanto maior for à relação água/cimento.

2.3 Ensaio no Estado Fresco

Para Repette (2005), os ensaios usados na avaliação do concreto autoadensável se diferem do concreto convencional, apenas quando se quer mensurar as características no estado fresco, pois estão no estado fresco as maiores diferenças entre estes concretos.

Segundo The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, (Guia Europeu para CAA), nenhum método de teste do concreto convencional pode ser aplicado ao CAA para avaliar suas propriedades fundamentais no estado fresco. Assim sendo, foram executados ensaios chaves para definir a capacidade de preenchimento e estabilidade do CAA: teste do espalhamento e espalhamento T_{50cm} , funil-V, caixa-L. Podendo ainda acrescer o teste da caixa-

U, anel-J e de tubo amoldado-U, temperatura e anel Japonês (HASTENPFLUG, 2007; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Na Figura 2 são apresentados os ensaios utilizados para avaliar as propriedades do CAA no estado fresco e as respectivas características do concreto avaliadas em cada ensaio com seus valores limites. O CAA só será adequado quando satisfeito os valores limites dos ensaios descritos, embora que os ensaios e seus limites ainda não sejam normatizados (REPETTE, 2005).

Propriedades avaliadas	Método de ensaio	Valores limites
Fluidez	Espalhamento (Cone de Abrams)	Entre 60 e 80 cm
Habilidade passagem por restrições e fluidez	Funil V	Entre 5 e 10 segundos
	Caixa L	H2/H1 entre 0,8 e 1,0
Resistência à segregação	Espalhamento (Cone de Abrams) e Caixa L	Observações visuais. Não pode haver separação dos materiais

Figura 2: Ensaio e requisitos para CAA

Fonte: REPETTE, 2005

A seguir serão exemplificados os ensaios e seus respectivos equipamentos. Todas as dimensões dos equipamentos estarão detalhadas nas figuras subsequentes ao ensaio. Embora existam muitas divergências a respeito da dimensão dos equipamentos, optou-se pelas medidas publicas por Repette (2005).

2.3.1 Espalhamento

O espalhamento ou slump flow test, é utilizado para medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem segregar, ou seja, a capacidade de preenchimento ou deformabilidade, do CAA, sob ação única e exclusiva do seu peso próprio (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008; MELO, 2005).

Os equipamentos necessários para o ensaio são: uma base quadrada de 100 x 100 cm, de preferência metálica e lisa; e um tronco de cone, com materiais de mesmas características que a base. Sobre o centro da base deve haver um círculo inscrito na sua superfície de 20 cm de diâmetro para

colocação do cone. O cone deve atender as medidas de, 30 cm de altura, 10 cm para o menor diâmetro e 20 cm para o de maior diâmetro. Um esquema do equipamento é detalhado na Figura 3.



Figura 3 – Equipamento para o teste de espalhamento

Fonte: <http://www.pmccatalogue.com/Katalogdata/pdf/610110-1-3-1.pdf>

Após liberar o concreto é feita a medida do diâmetro do espalhamento em duas direções diferentes (D1 e D2), de preferência ortogonais, a média aritmética das duas medições será o valor do ensaio. Entretanto, o método não se resume num processo apenas quantitativo, mas também qualitativo. Para Almeida (2005) e Mello (2005) pode-se fazer uma análise visual do ensaio e conferir se houve segregação do concreto, da seguinte maneira:

- a. análise da distribuição do agregado graúdo: verificar se houve acúmulo do agregado no centro do espalhamento;
- b. análise da segregação e exsudação: ater-se a possível formação de um “anel” em volta do espalhamento formado por uma fina camada de pasta ou água de exsudação, respectivamente;
- c. análise da forma adquirida pelo concreto após o espalhamento, verificando se há formação de um diâmetro regular.

2.3.2 Espalhamento T50cm

Este ensaio é uma variação do ensaio de espalhamento já que o procedimento e os equipamentos são os mesmos. As únicas alterações são a

marcação de um círculo de 50 cm de diâmetro no centro da base, e a necessidade de um cronômetro (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Para Repette (2005) a variante deste ensaio consiste apenas em marcar o tempo gasto para o concreto atingir a marca de 50 cm de diâmetro no espalhamento. Doravante, todas as vezes que for feito o espalhamento $T_{50\text{cm}}$ estará concomitantemente realizando o slump flow test acrescido da velocidade de escoamento do concreto.

2.3.3 Funil – V

É composto de um funil, de seção retangular ou circular, e deve possuir na extremidade inferior uma porta, para quando preenchido, mantenha o concreto preso até que seja aberta para iniciar o ensaio. Mede-se a fluidez do concreto, sendo o resultado do ensaio o tempo que o concreto leva para esvaziar o funil. Suas dimensões geométricas estão expostas na Figura 4 (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

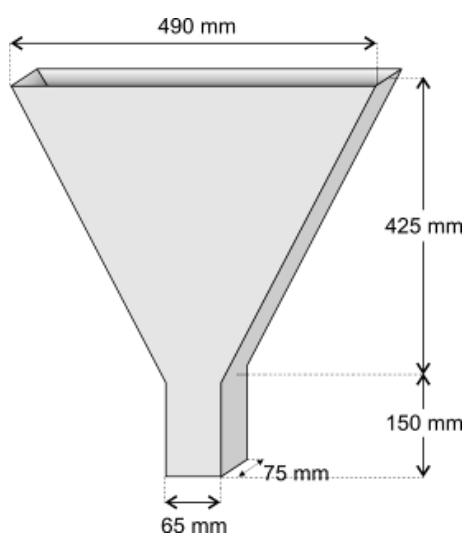


Figura 4: Vista frontal com as dimensões do funil-V

Fonte: Melo, 2005

O funil-V é mais indicado para ensaios de concreto com agregados graúdos com diâmetro inferiores a 20 mm (REPETTE, 2005).

Este ensaio também está relacionado com a resistência à segregação. Após a execução do ensaio, pode-se preencher novamente o funil e esperar 5

minutos para repetir o teste. Se o tempo gasto para escoar aumentar pode ser indício que esta segregando o concreto (EFNARC, 2002).

2.3.4 Caixa-L

A caixa-L consiste em uma caixa em forma de “L”, com uma porta móvel separando a parte vertical da horizontal, e junto com a divisória, barras de aço que simulam a armadura real da estrutura, criando um entrave à passagem do concreto, conforme Figura 5. O objetivo deste ensaio é medir a capacidade do concreto escoar simultaneamente com a capacidade de passar por obstáculos e permanecer coeso (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

As medições referentes a este ensaio são as duas alturas extremas da parte horizontal da caixa (H_1 e H_2), depois de realizada a intercomunicação do concreto entre as partes. Outra consideração que pode ser feita no ensaio consiste em medir o tempo que o concreto leva para alcançar as distâncias horizontais de 20 e 40 cm, sendo essas distâncias previamente marcadas na caixa-L (ALENCAR, 2008).

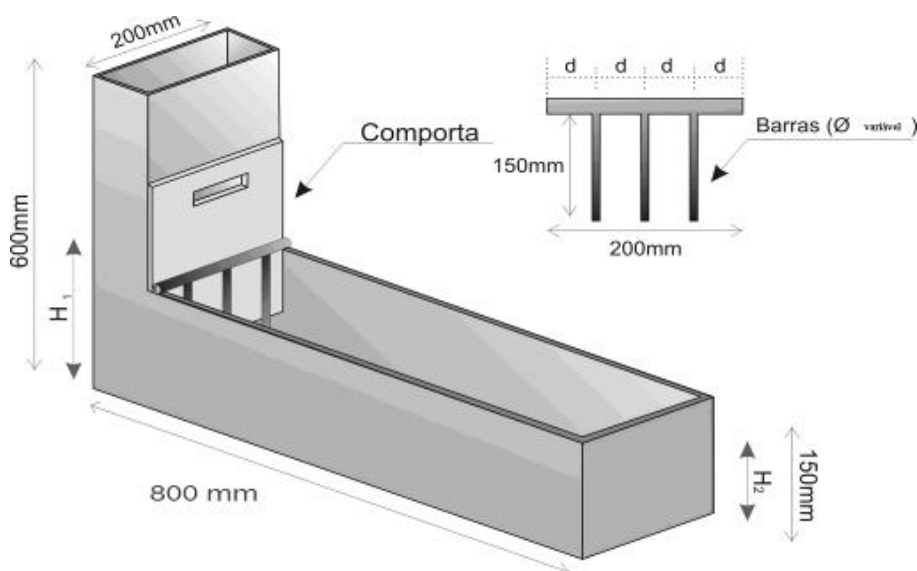


Figura 5: Vista superior da caixa-L com suas dimensões

Fonte: Melo, 2005

Pode-se fazer, também, uma avaliação visual nas barras de restrição e observar se esta havendo acúmulo de agregado graúdo junto a elas, se estiver, comprova-se que o concreto tem baixa resistência ao bloqueio e coesão

insuficiente para mover-se homoganeamente ao redor dos obstáculos (REPETTE, 2005).

2.3.5 Caixa-U

Trata-se de uma caixa em forma de “U”, com dois compartimentos isolados entre si por uma comporta, onde um dos lados é preenchido pelo concreto e, então, é permitida sua passagem para o outro lado. Serve para medir a fluidez e a capacidade do concreto de passar por obstáculos sem segregar (MELLO, 2005; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008; REPETTE, 2005). Um esquema do equipamento é demonstrado na Figura 6.

Segundo Melo (2005) o ensaio é bastante completo, pois mede a autocompatibilidade do concreto, além de dar indicativos sobre a viscosidade.

Sua análise consiste no princípio dos vasos comunicantes, uma vez que será feita a medição da diferença de altura nas duas partes do “U”. (REPETTE, 2005).

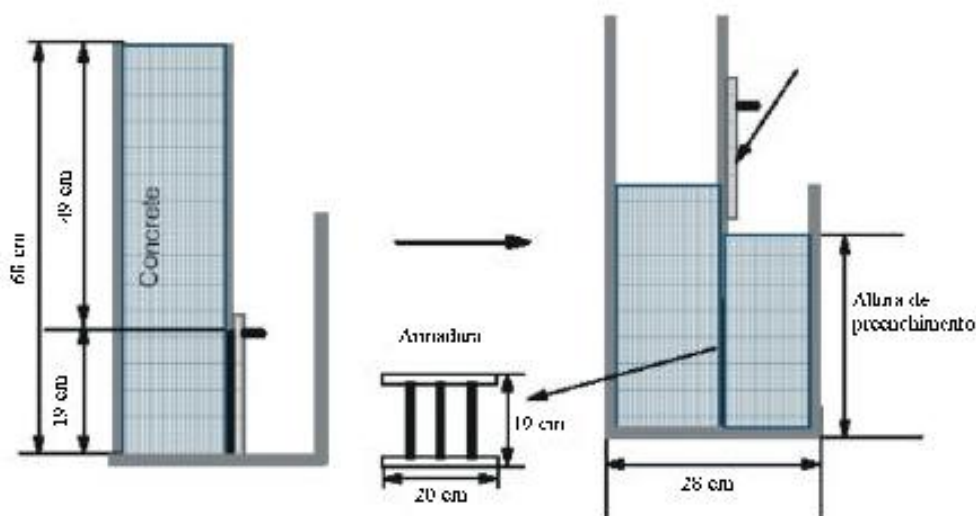


Figura 6: Corte lateral da caixa-U com suas dimensões

Fonte: Melo, 2005

2.4 Método de Dosagem

Para Tutikian e Dal Molin (2008), a dosagem dos CAA era apontada como o principal empecilho para essa nova tecnologia, uma vez que, os

modelos existentes baseavam-se em conceitos duvidosos e não havia tecnologia suficiente para dar suporte a tal avanço.

Para Repette (2005) a dificuldade em proporcionar adequadamente o concreto autoadensável deve-se ao grande número de quesitos a serem satisfeitos: fluidez, resistência, durabilidade, autoadensamento, resistência à segregação e capacidade passante.

Mello (2005) e Kraus (2006) citam alguns métodos de dosagem para o concreto autoadensável:

- a) Okamura (1997);
- b) Sedran (1996);
- c) Gomes (2002);
- d) Melo-Repette (2005).

Alem destes métodos, podem ser citados aqueles desenvolvidos por Tutikian (2004) e Tutikian e Dal Molin (2008).

2.5 Método de dosagem para CAA proposto por Tutikian (2004)

Entende-se por estudo de dosagem dos concretos os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecida por traço de concreto (HELENE, 2005).

Neville (2000) define a dosagem do concreto como um processo de apropriados ingredientes e sua proporção com o objetivo de produzir um concreto tão econômico quanto possível, atendendo as propriedades requeridas da consistência, resistência e durabilidade.

O princípio básico do método, simplificado na Figura 7, obtém-se um CAA a partir de um CCV cujo teor ideal de argamassa deverá ser previamente determinado (MANUEL, 2005).



Figura 7: princípio básico do método proposto por Tutikian (2004)

Fonte: Manuel, 2005

O método proposto por Tutikian (2004) é baseado no método da dosagem para CCV IPT/EPUSP (HELENE E TERZIAN, 1992).

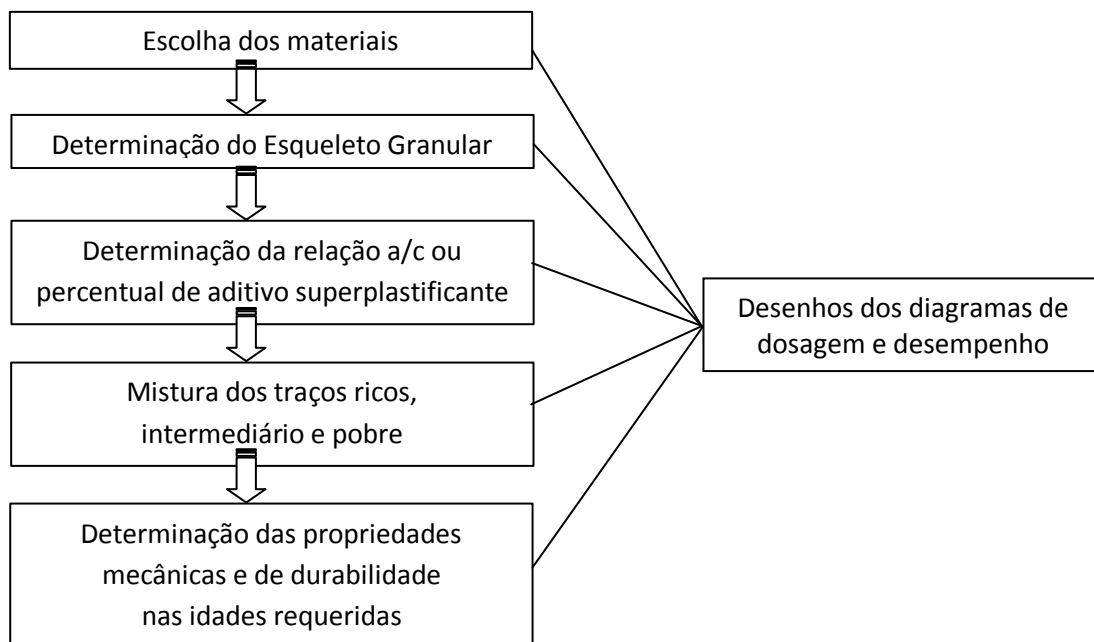


Figura 8: passo a passo para dosagem do CAA

Fonte: Tutikian, 2007

A escolha dos materiais pouco se difere do procedimento adotado para o concreto convencional, sendo os componentes praticamente os mesmos acrescidos de um material fino, com granulometria inferior ao agregado miúdo, e aditivo superplastificante. Ocasionalmente, é possível acrescentar outras classes de agregados graúdos e aditivos promotores de viscosidade. Deve-se priorizar a escolha de agregados arredondados e com menor diâmetro máximo possível e especificar todas as faixas granulométricas dos agregados (TUTIKIAN 2007).

Outro ponto observado com a prática por Tutikian (2007), onde o método está sendo aperfeiçoado, é em relação à dependência de experiência do responsável pela dosagem, pois o acerto da quantidade de água, do aditivo superplastificante e do percentual de finos é experimental, na central de concreto. E este acerto deve ser ágil, devido à possibilidade do aditivo perder o efeito e ter de recomeçar todo o processo.

3. CONCRETO CONVENCIONAL

O concreto de Cimento Portland é, por definição, um material composto de duas fases distintas: a pasta de cimento, constituída de cimento Portland e água, e os agregados. O cimento, ao entrar em contato com a água, desenvolve propriedades ligantes, como resultado da hidratação, ou seja, reação química entre os minerais do cimento e a água e, após algumas horas, a mistura se solidifica e endurece tornando-se uma massa resistente (MARTINS, 2005).

Entretanto, o concreto moderno é mais do que uma simples mistura de cimento, água e agregados. Cada vez mais são utilizados componentes minerais, que conferem características específicas aos concretos, como as adições, e aditivos químicos, que têm efeitos ainda mais específicos (AÏTCIN, 2000). Esses fatores transformam o concreto convencional em novos concretos os quais são chamados de concretos especiais, dentre os quais está o concreto autoadensável.

Assim, define-se o concreto convencional como aquele material que é produzido usando apenas cimento, agregados miúdos e graúdos e água, e eventualmente aditivos plastificantes. Em geral, são os produzidos em obra, mas podem ser produzidos em centrais dosadoras ou misturadoras de concreto. Sua resistência, em geral, é baixa, inferior a 40 MPa. No Brasil, a maioria dos concretos utilizados em obra são concretos convencionais.

O Cimento Portland é o aglomerante hidráulico utilizado em maior quantidade na construção civil. Tem importância no desempenho, custo, qualidade e durabilidade do concreto. Após entrar em contato com a água, o cimento Portland é submetido a processos de transformações químico-mineralógicas, que contribuem para agregar e consolidar os agregados, resultando em um compósito, o concreto de cimento Portland (CENTURIONE e KIHARA, 2005). Atualmente, o uso do concreto está ainda mais disseminado, podendo ser empregado nas mais variadas obras, desde simples residências até os edifícios mais altos, pontes, pavimentos de rodovias, plataformas petrolíferas, entre outros.

Mesmo não sendo tão duro e resistente como o aço, o concreto possui características que tornam sua utilização mais vantajosa em relação aos demais materiais de construção, entre elas:

- a) excelente resistência à água
- b) consistência plástica
- c) disponibilidade e baixo custo

O concreto desenvolve suas propriedades conforme a pasta de cimento endurece. O cimento Portland adquire a propriedade adesiva apenas quando é misturado à água. Isso se dá porque a reação química do cimento com a água, comumente denominada hidratação do cimento, resulta em características de pega e endurecimento (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A água é claramente em dos ingredientes essenciais do concreto, que preenche duas funções básicas: uma função física, que consiste em dar ao concreto as propriedades reológicas exigidas, e uma função química, que consiste em produzir as reações de hidratação do cimento. O concreto ideal deveria conter somente água suficiente para desenvolver a resistência máxima do cimento, ao mesmo tempo provendo as propriedades reológicas necessárias ao seu lançamento (GRZESZCZYK e KUCHARSKA apud AİTCIN, 2000).

A hidratação começa tão logo o cimento Portland entra em contato com a água, porque, de um lado, alguns componentes do cimento são muito reativos e, de outro, porque o cimento contém partículas muito finas e, dessa forma, uma grande superfície das fases reativas está em contato com a água (AİTCIN, 2000).

A pasta formada pela mistura de água e cimento endurece com o tempo adquirindo resistência mecânica e aderindo as partículas do agregado. Dessa forma, ela liga as partículas de agregado entre si e constitui um material resistente que preenche os vazios entre essas partículas. Forma-se assim o concreto, material monolítico com características de pedra (GIAMUSSO, 1992).

As reações químicas que envolvem a hidratação do cimento Portland são bastante complexas e, apesar da vasta literatura que existe sobre o assunto, seus pormenores ainda não são totalmente compreendidos (MARTINS, 2005).

A hidratação do cimento Portland para quando não existe mais fase anidra (concreto de alta relação água/aglomerante bem curado) ou quando a água não pode mais chegar às fases não hidratadas (sistemas muito densos e defloculados), ou ainda quando não existe mais água disponível, caso isso aconteça (relação água/aglomerante muito baixa) (TUTIKIAN 2007).

O concreto é um material estrutural, assim, depois de endurecido deve ter resistência mecânica e durabilidade. Um aspecto importante e peculiar do concreto é que essas propriedades podem ser modificadas de acordo com o proporcionamento entre seus constituintes. Além disso, estas propriedades dependem fundamentalmente das características do material no estado fresco, antes da ocorrência da pega e endurecimento, quando o concreto apresenta consistência plástica (TUTIKIAN 2007).

Concretos com maior consumo de cimento ou o uso de cimentos de maior finura apresentam maior velocidade de reação e, conseqüentemente, um enrijecimento mais rápido é observado (COLLEPARDI, 1998 apud SILVA, 2010).

Mehta e Monteiro (2008) destacam que cimentos com maior quantidade de C_3A e álcalis apresentam maior taxa de perda de trabalhabilidade devido formação de maior quantidade de etringita primária e C-S-H.

Em um concreto de cimento Portland convencional, com um dado consumo de água, a redução considerável do consumo de cimento tende a produzir misturas ásperas com acabamento precário, caso seja colocada muita água na mistura, o excesso migra para a superfície pelo processo de exsudação. Deixa atrás de si vazios chamados de porosidade capilar. Esta porosidade prejudica a resistência do concreto aumenta sua permeabilidade e diminui a durabilidade da peça concretada. As misturas de concreto com consumo muito elevado de cimento, ou alta proporção de finos, apresentam excelente coesão, mas tendem a ficar viscosas (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Métodos de dosagem, ABCP, IPT/EPUSP são os principais métodos usados no Brasil para a dosagem de concretos convencionais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

São descritos na sequência, os procedimentos necessários para o cumprimento dos objetivos citados no item 1.1.

4.1 Seleção dos traços dos concretos

Para o estudo comparativo dos custos do concreto Convencional e o Concreto auto Adensável, cujos traços são apresentados nas Tabelas 1 e 2, foram selecionados diversos traços de concreto oriundos da literatura, sobretudo de Manuel (2006) e Tutikian (2007).

O cálculo dos traços dos concretos convencionais dosados por Manoel (2006) foi realizado de acordo com o proposto no método de dosagem de Helene e Terzian (1992) e do concreto auto adensável pelo método de Tutikian (2004) para vários teores de argamassa das misturas (de 55 a 75%), os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: consumo de materiais para cada concreto, em kg/m³

Concretos estudados	Traço 1:m	Consumo de materiais, em kg/m ³						Aditivo SP
		Cimento	Filler Calcário	Areia	Brita	Água		
CCV-REF $\alpha = 54\%$	1:3	532	0,00	617	978	222	0,00	
	1:4,5	397		782	1004	199		
	1:6	313		869	1007	196		
CAA-55 $\alpha = 55\%$	1:3	530	246	369	975	228	3,28	
	1:4,5	398	314	471	1008	201	2,47	
	1:6	313	348	523	1009	199	1,94	
CAA-60 $\alpha = 60\%$	1:3	532	298	447	851	222	3,62	
	1:4,5	397	365	548	873	201	2,70	
	1:6	308	394	591	862	211	2,09	
CAA-65 $\alpha = 65\%$	1:4,5	383	394	591	736	228	2,68	
CAA-70 $\alpha = 70\%$	1:4,5	385	439	659	636	220	3,73	
CAA-75 $\alpha = 75\%$	1:4,5	380	475	712	522	229	3,64	

Fonte: Manuel, 2005

Na Tabela 2 estão os traços unitários para concretos autoadensáveis utilizados por Tutikian (2007), que foram calculados a partir do teor de argamassa determinado em 53%, da quantidade de água necessária para os concretos atingirem o abatimento do tronco de cone de 100 ± 20 mm, e de cálculos posteriores, realizados com base na massa específica no estado fresco. A relação a/c foi calculada e utilizada posteriormente como valor de aproximação para os CAA. Nestes concretos não foram utilizados aditivos químicos. Para tal foi empregado o método de dosagem de Tutikian (2007).

Tabela 2: traços unitários e cálculo de materiais por m³

Concreto	Massa Específica (kg/m ³)	Traço			Consumo de materiais por kg/m ³					
		Cimento	Areia	Brita	Cimento	Areia Regular	Brita 19	Água	a/c	H (Teor de Umidade)
CCV1	2420	1	1,12	1,88	553	620	1040	207	0,37	9,35
CCV2	2408	1	1,65	2,35	443	731	1042	192	0,43	8,64
CCV3	2367	1	2,18	2,82	364	794	1027	183	0,50	8,37
CCV4	2343	1	2,71	3,29	309	836	1015	183	0,59	8,49
CCV5	2312	1	3,24	3,76	265	859	997	191	0,72	9,01

Fonte: Tutikian, 2007

As Tabelas 3 e 4 mostram os traços unitários e os cálculos posteriores para o CAA com areia fina, utilizados por Tutikian (2007). Observa-se que foi mantido o teor de argamassa mínimo do CCV de 53% e foram utilizados os valores de massas específicas determinadas no concreto no estado fresco para cada traço, as quais foram similares às do CCV. O aditivo superplastificante foi ajustado experimentalmente em 0,47% em relação à massa do cimento. As relações a/c foram similares às do CCV para os mesmos traços 1:m, enquanto que o teor de umidade novamente variou dentro da normalidade.

Tabela 3: traços unitários do CAA

Concreto	Traço				a/c	Umidade (%)	Aditivo (%)
	Cimento	Areia fina	Areia regular	Brita 19 mm			
CAA 1	1	0,45	0,67	1,88	0,36	8,93	0,47
CAA 2	1	0,66	0,99	2,35	0,41	8,14	0,47
CAA 3	1	0,87	1,31	2,82	0,48	8,08	0,47
CAA 4	1	1,08	1,63	3,29	0,62	8,86	0,47
CAA 5	1	1,30	1,94	3,76	0,68	8,46	0,47

Fonte: Tutikian, 2007

Tabela 4: consumos de materiais calculados para o CAA

Concreto	Consumo de materiais por kg/m ³						
	Massa Específica	Cimento	Areia Fina	Areia Regular	Brita 19	Água	Aditivo
CAA 1	2446	561	253	376	1055	200	2,64
CAA 2	2430	449	297	445	1056	183	2,11
CAA 3	2405	371	323	486	1046	180	1,74
CAA 4	2362	310	335	505	1020	192	1,46
CAA 5	2347	270	352	525	1017	183	1,27

Fonte: Tutikian, 2007

4.2 Resistências dos concretos

A Tabela 5 apresenta-se as médias das resistências à compressão, obtidas por Manuel (2005), sendo que os resultados das resistências à compressão dos CAA's foram superiores às do CCV-REF, como podemos verificar na Figura 9.

Tabela 5: resultados das resistências à compressão

Concreto estudado	Traço 1:m	Relação a/c	SP/cim (%)	Resistência à Compressão (MPa)			
				3 dias (*4 dias)	7 dias	28 dias	56 dias
CCV-REF $\alpha = 54\%$	1:3	0,417	0,00	24,7	27,1	38,9	49,4
	1:4,5	0,502		17,8	20,3	27,9	38,1
	1:6	0,630		11,4	14,6	21,2	27,5
CAA-54	1:3	0,430	0,62	26,8*	33,5	46,2	54,6
	1:4,5	0,504		16,4*	20,7	36,9	42,8
	1:6	0,636		11,7*	14,8	20,8	27,7
CAA-60	1:3	0,418	0,68	-	32,5	46,1	-
	1:4,5	0,505		-	21,1	31,4	-
	1:6	0,684		-	15,0	21,6	-
CAA-65	1:4,5	0,595	0,70	-	19,6	27,5	-
CAA-70	1:4,5	0,570	0,97	-	19,6	28,8	-
CAA-75	1:4,5	0,601	0,96	-	18,8	27,4	-

Fonte: Manuel, 2005

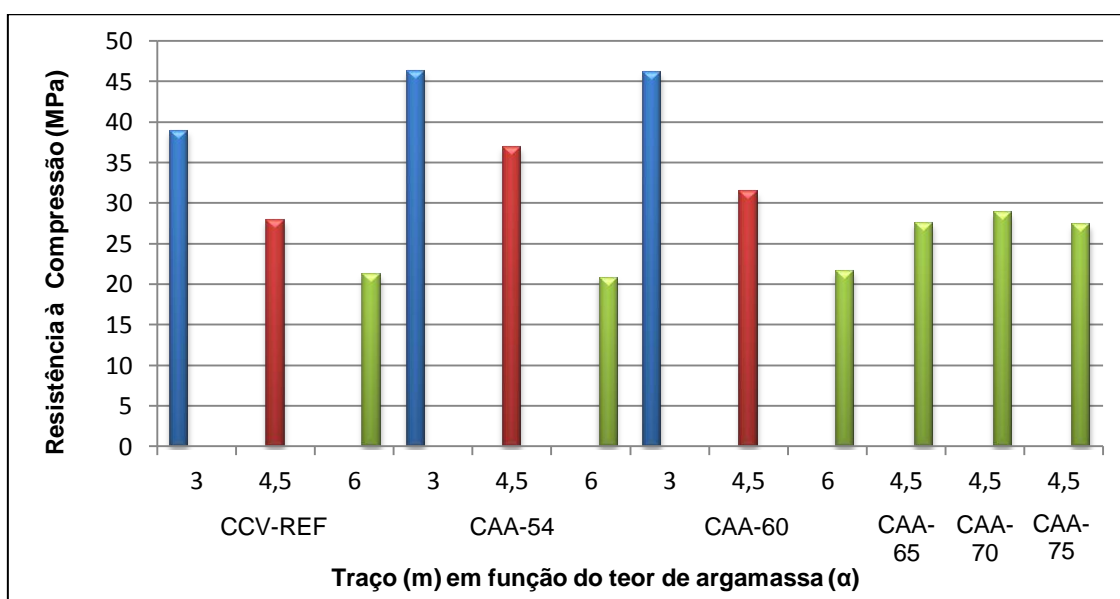


Figura 9: resistências à compressão aos 28 dias dos concretos

Verifica-se que com o aumento do teor de argamassa dos concretos ocorreu uma redução na resistência à compressão. Para o traço m=4,5, o CAA-54 foi superior aos demais concretos. O CAA-60, que foi superado pelo CAA-54 em 17,5%, foi o segundo melhor. Os outros quatro, apresentaram resistências bem similares. No traço 1:6 as resistências dos CCV-REF, CAA-54 e CAA-60

foram similares e tiveram diferença máxima abaixo dos 4%, como podemos verificar no gráfico abaixo.

Os resultados dos ensaios do concreto convencional feito por Tutikian (2007) estão representados na Tabela 6. Para a resistência à compressão nas idades de 1, 7, 28 e 91 dias, foi utilizado o resultado potencial, ou seja, aquele que foi mais alto.

Tabela 6: resultados das propriedades no estado endurecido

Traço 1:m	a/c	Resistência à compressão (MPa)				E _c (GPa)
		1 dia	7 dias	28 dias	91 dias	
CCV1 – 1:3	0,37	34,6	48,7	53,5	64,1	37,79
		35,8	48,3	49,0	63,2	35,39
		-	-	-	-	35,44
CCV2 – 1:4	0,43	27,7	39,4	46,4	56,0	34,31
		27,9	40,0	45,6	53,9	33,83
		-	-	-	-	36,00
CCV3 – 1:5	0,50	19,5	31,6	38,9	44,9	30,16
		19,5	32,4	38,4	46,8	25,35
		-	-	-	-	31,28
CCV4 – 1:6	0,59	15,6	27,1	32,7	37,9	23,09
		15,8	28,1	31,1	37,1	20,85
		-	-	-	-	26,28
CCV5 – 1:7	0,72	9,6	21,2	26,4	27,9	19,82
		9,5	22,6	27,8	29,0	17,87
		-	-	-	-	11,50

Legenda: E_c – módulo de elasticidade

Fonte: Tutikian, 2007

A faixa de abrangência da resistência foi satisfatória, já que contemplou de 27,8 até 53,5 MPa, aos 28 dias. Considerando o desvio padrão na resistência à compressão de projeto, pode-se considerar o f_{ck} entre 20 e 45 MPa.

O módulo de elasticidade variou conforme a resistência à compressão, de acordo com o relatado na literatura. Salienta-se que para o CCV dosado através do método IPT/EPUSP, o teor de argamassa seca é constante, sendo assim, não depende de nenhuma variável adicional para ser calculado.

A Tabela 7 detalha os resultados para todos os traços com areia fina, dosado através do método proposto por Tutikian (2007). Foram utilizados os valores potenciais para os ensaios.

Tabela 7: resultados das propriedades no estado endurecido

Traço 1:m	a/c	Resistência à compressão (MPa)				E _c (GPa)
		1 dia	7 dias	28 dias	91 dias	
CAA1 – 1:3	0,37	46,3	57,4	62,6	69,2	39,8
		46,3	58,7	65,2	67,3	43,3
		-	-	-	-	40,8
CAA2 – 1:4	0,43	41,8	48,3	67,3	66,5	41,2
		38,1	50,0	58,2	62,4	45,8
		-	-	-	-	41,1
CAA3 – 1:5	0,50	17,0	42,4	47,8	56,4	34,6
		27,3	41,8	48,7	53,8	38,2
		-	-	-	-	33,6
CAA4 – 1:6	0,59	16,3	27,1	32,2	38,7	29,4
		15,5	25,5	34,3	38,7	23,1
		-	-	-	-	25,1
CAA5 – 1:7	0,72	12,3	23,4	29,2	25,9	27,9
		12,7	22,4	30,2	33,4	24,3
		-	-	-	-	26,6

Legenda: E_c – módulo de elasticidade

Fonte: Tutikian, 2007

Observa-se na Tabela 7 que o comportamento dos resultados foi similar aos do CCV. A relação a/c foi parecida entre estes dois concretos, já que foram utilizadas as mesmas proporções 1:m e a quantidade de água do CCV foi utilizada como parâmetro para o CAA com areia fina.

Nas Figuras 10 e 11, podemos observar que os módulos de elasticidade foram sempre superiores aos do CCV, mostrando que CAA nem sempre apresentam módulos inferiores, porém ainda devem-se esperar as comparações entre os mesmos valores das resistências à compressão, apesar de que os traços 1:m já podem ser considerados como um indicativo do resultado final. Isto se deve, provavelmente, à propriedade da areia fina de fechar os poros no concreto, tornando-o menos deformável no estado endurecido.

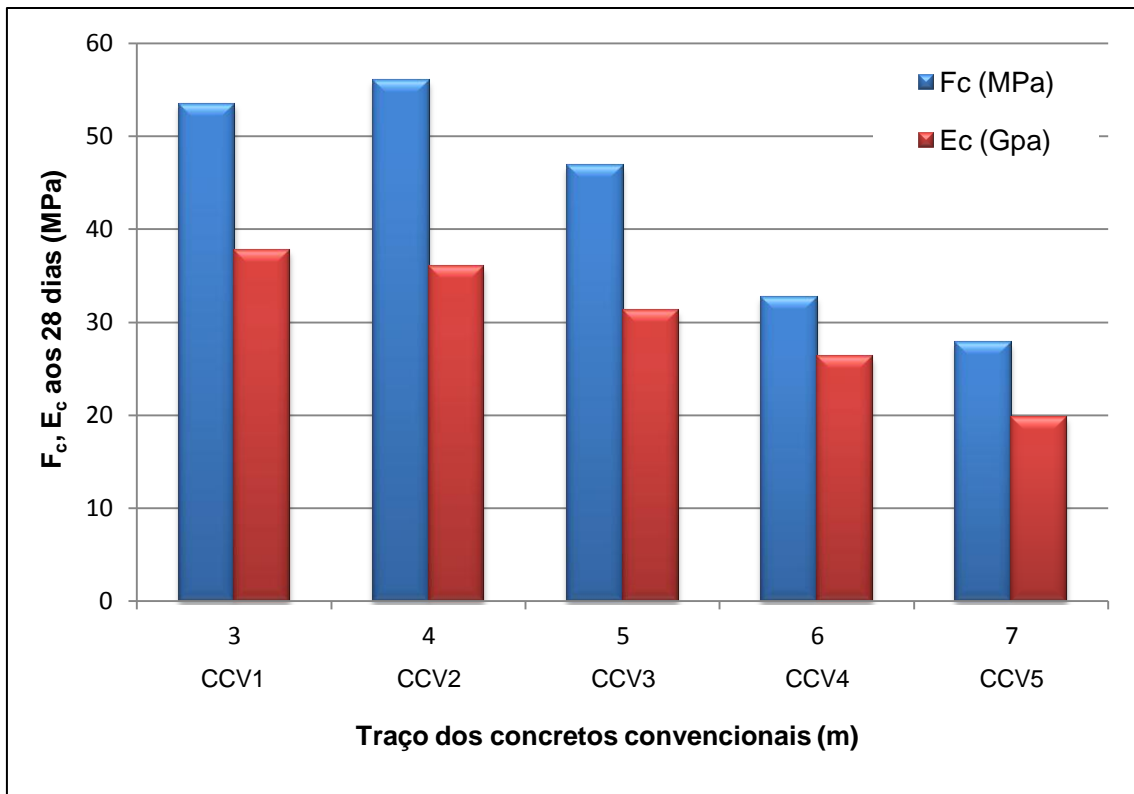


Figura 10: resistências à compressão aos 28 dias dos concretos convencionais ensaiados por Tutikian (2007)

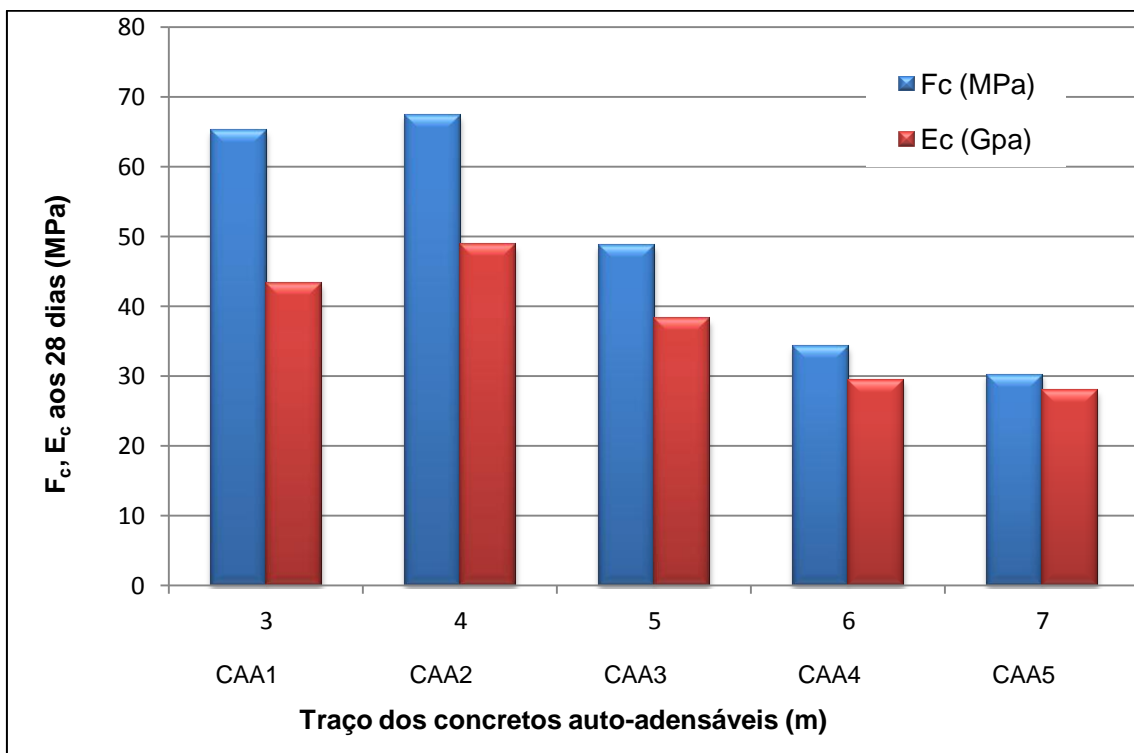


Figura 11: resistências à compressão aos 28 dias dos concretos autoadensáveis ensaiados por Tutikian (2007)

4.3 Custos dos concretos

Nas Tabelas 8 e 9, apresentam-se os quadros resumo com as quantidades de materiais para produzir 1 m³ de concreto, a partir dos traços de Manuel (2006) e Tutikian (2007), respectivamente.

Tabela 8: quadro resumo do consumo de materiais

Tipo de Concreto	Traço 1:m	Consumo de materiais, em kg/m ³					
		Cimento	Fíler Calcário	Areia	Brita	Água	Aditivo SP
CCV-REF	1:3	532	0,00	617	978	222	0,00
	1:4,5	397		782	1004	199	
	1:6	313		869	1007	196	
CAA-55	1:3	530	246	369	975	228	3,28
	1:4,5	398	314	471	1008	201	2,47
	1:6	313	348	523	1009	199	1,94
CAA-60	1:3	532	298	447	851	222	3,62
	1:4,5	397	365	548	873	201	2,70
	1:6	308	394	591	862	211	2,09
CAA-65	1:4,5	383	394	591	736	228	2,68
CAA-70	1:4,5	385	439	659	636	220	3,73
CAA-75	1:4,5	380	475	712	522	229	3,64

Fonte: Manuel, 2005

Tabela 9: quadro resumo do consumo de materiais

Tipo de Concreto	Quantidade de materiais (Kg) para produzir 1 m ³ de concreto					
	Cimento	Areia Fina	Areia Regular	Brita 19 mm	Água	Aditivo
CCV1 – 1:3	553	-	620	1040	207	-
CCV2 – 1:4	443	-	731	1042	192	-
CCV3 – 1:5	364	-	794	1027	183	-
CCV4 – 1:6	309	-	836	1015	183	-
CCV5 – 1:7	265	-	859	997	191	-
CAA1 – 1:3	561	253	376	1055	200	2,64
CAA2 – 1:4	449	297	445	1056	183	2,11
CAA3 – 1:5	371	323	486	1046	180	1,74
CAA4 – 1:6	310	335	505	1020	192	1,46
CAA5 – 1:7	270	352	525	1017	183	1,27

Fonte: Tutikian, 2007

Para o cálculo do custo de produção dos concretos, foram empregados os valores apresentados na Tabela 10. Na Tabela 11, apresentam-se os custos por unidade de medida.

Tabela 10: preço dos insumos constituintes dos concretos

Tipo de Concreto	Unidade	R\$
Cimento CPV ARI - RS	Saco de 50 kg	24,43
Fíler Calcário	1 m ³	73,00
Areia Fina	1 m ³	73,00
Areia Regular	1 m ³	73,00
Seixo rolado	1 m ³	83,00
Pó de pedra	1 m ³	55,62
Brita 19 mm	1 m ³	55,62
Aditivo Anchormix 1000	200 litros	544,38
Água	10 m ³	22,10

Fonte R\$ cimento, areia e brita: JD Home Center

Fonte R\$ Aditivo: <http://www.ciadoimpermeabilizante.com.br/anchormix.html>

Fonte R\$ Água: http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/tabela_tarifas_saneamento_basico.pdf

Tabela 11: preço dos insumos constituintes dos concretos, ajustados por unidade utilizada

Tipo de Concreto	Unidade	R\$/kg ou L
Cimento CPV ARI - RS	kg	0,4886
Fíler Calcário	kg	0,0456
Areia Fina	kg	0,0456
Areia Regular	kg	0,0487
Brita 19 mm	kg	0,0445
Seixo Rolado	kg	0,0664
Pó de Pedra	kg	0,0348
Aditivo Anchormix 1000	kg	2,7216
Água	kg	0,0022

Nas Tabelas 12 e 13, apresentam-se os quadros resumo com os custos de material por m³, com os traços utilizados por Manuel (2006) e Tutikian (2007), respectivamente. Os resultados destas tabelas advêm dos dados das Tabelas 8, 9 e 11.

Tabela 12: quadro resumo aplicado os valores dos produtos

Tipo de Concreto	Traço 1:m	Consumo de materiais, em kg/m ³						R\$/m ³
		Cimento	Filer Calcário	Areia	Brita	Água	Aditivo SP	
CCV-REF	1:3	259,94	0,00	30,03	43,52	0,49	0,00	334,01
	1:4,5	193,97		38,06	44,67	0,44		277,15
	1:6	152,93		42,29	44,81	0,43		240,51
CAA-55	1:3	258,96	11,22	17,96	43,38	0,50	8,93	341,00
	1:4,5	194,46	14,33	22,92	44,85	0,44	6,72	283,73
	1:6	152,93	15,88	25,45	44,90	0,44	5,28	244,92
CAA-60	1:3	259,94	13,60	21,75	37,87	0,49	9,85	343,54
	1:4,5	193,97	16,65	26,67	38,85	0,44	7,35	283,94
	1:6	150,49	17,98	28,76	38,36	0,47	5,69	241,78
CAA-65	1:4,5	187,13	17,98	28,76	32,75	0,50	7,29	274,42
CAA-70	1:4,5	188,11	20,03	32,07	28,30	0,49	10,15	279,15
CAA-75	1:4,5	185,67	21,67	34,65	23,23	0,51	9,91	275,63

Fonte: Manuel, 2005

Tabela 13: quadro resumo aplicado os valores dos produtos

Tipo de Concreto	Quantidade de materiais (Kg) para produzir 1 m ³ de concreto						R\$/m ³
	Cimento	Areia Fina	Areia Regular	Brita 19 mm	Água	Aditivo	
CCV1 – 1:3	270,20	0,00	30,17	46,28	0,46	0,00	347,10
CCV2 – 1:4	216,45		35,58	46,36	0,42		298,81
CCV3 – 1:5	177,85		38,64	45,70	0,40		262,59
CCV4 – 1:6	150,98		40,69	45,16	0,40		237,23
CCV5 – 1:7	129,48		41,80	44,36	0,42		216,07
CAA1 – 1:3	274,10	11,54	18,30	46,94	0,44	7,19	358,52
CAA2 – 1:4	219,38	13,55	21,66	46,99	0,40	5,74	307,72
CAA3 – 1:5	181,27	14,74	23,65	46,54	0,40	4,74	271,34
CAA4 – 1:6	151,47	15,28	24,58	45,39	0,42	3,97	241,11
CAA5 – 1:7	131,92	16,06	25,55	45,25	0,40	0,40	222,65

Fonte: Tutikian, 2007

Uma vez que o concreto por si só não é representativo dos custos globais de sua produção, já que o lançamento, adensamento, acabamento superficial e cura têm um custo significativo no valor da estrutura, abaixo

seguem as composições de mão de obra referentes à aplicação dos concretos em uma dada estrutura.

Tabela 14: Composição: transporte em carrinho de mão, em local plano, transportado, considerando 5 m de distância – unidade: m³

Descrição	Unidade	Índice	Valor do Insumo	Valor R\$
Servente	h	0,15	4,04	0,61
Total da composição				0,61

Fonte: <http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Construcoes.pdf>

Fonte: http://www.sinduscon-pr.com.br/principal/home/?sistema=conteudos|conteudo&id_conteudo=2332

Tabela 15: Composição: preparo mecânico do concreto – unidade: m³

Descrição	Unidade	Índice	Valor do Insumo	Valor R\$
Betoneira	h	0,30	0,18	0,05
Servente	h	5,00	4,04	20,20
Total da composição				20,25

Fonte: <http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Construcoes.pdf>

Fonte: http://www.sinduscon-pr.com.br/principal/home/?sistema=conteudos|conteudo&id_conteudo=2332

Tabela 16: Composição: Lançamento e aplicação de concreto – unidade: m³

Descrição	Unidade	Índice	Valor do Insumo	Valor R\$
Pedreiro	h	8,40	5,68	47,71
Servente	h	8,40	4,04	33,94
Total da composição				81,65

Fonte: <http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Construcoes.pdf>

Fonte: http://www.sinduscon-pr.com.br/principal/home/?sistema=conteudos|conteudo&id_conteudo=2332

Tabela 17: Composição: Lançamento, aplicação e adensamento de concreto – unidade: m³

Descrição	Unidade	Índice	Valor do Insumo	Valor R\$
Pedreiro	h	4,20	5,68	23,86
Servente	h	8,40	4,04	33,94
Vibrador	h	1,90	0,035	0,07
Total da composição				64,31

Fonte: <http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Construcoes.pdf>

Tabela 18: Composição: Regularização de superfície sarrafeada com argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:4, e= 3 cm. – unidade m²

Descrição	Unidade	Índice	Valor do Insumo	Valor R\$
Pedreiro	h	0,25	5,68	1,42
Servente	h	0,55	4,04	2,22
Areia lavada	m ³	0,0366	0,0487	0,0018

Cimento CP II-E-32	kg	10,95	0,4886	5,35
Total da composição				8,99

Fonte: TCPO, 13ª Edição, pg. 303, composição unitária 09605.8.1

Em relação às termologias empregadas, tem-se que o transporte do concreto deve ser feito de modo a evitar a segregação. Utilizando carrinhos de mão (com pneus de borracha) somente para pequenas distâncias. Prever rampas de acesso às formas. Iniciar a concretagem pela parte mais distante.

O lançamento do concreto deve ser realizado logo após o amassamento, nas fôrmas previamente molhadas. Em nenhuma hipótese lançar o concreto com pega já iniciada. A altura de lançamento não pode ultrapassar, conforme as normas, 2 m. Nas peças com altura maiores que 3 m, o lançamento do concreto deve ser feito em etapas, por janelas abertas na parte lateral das fôrmas. Em alturas de quedas maiores, usar tubos, calhas ou trombas.

Já o adensamento (vibração) deve iniciar logo após o lançamento do concreto na estrutura. Evitar vibrar a menos de 10 cm da parede da fôrma. A profundidade de vibração não deve ser maior do que o comprimento da agulha de vibração. Evitar vibrar além do tempo recomendado para que o concreto não desande. O processo de vibração deve ser cuidadoso, introduzindo e retirando a agulha, de forma que a cavidade formada se feche naturalmente. Várias incisões, mais próximas e por menos tempo, produzem melhores resultados.

Por fim, o acabamento é a atividade de sarrafear a superfície de lajes e vigas com uma régua de alumínio posicionada entre as taliscas e desempenar com desempenadeira de madeira, formando as guias e mestras de concretagem. Em seguida, deve-se verificar o nível das mestras com aparelho de nível, remover as taliscas, sarrafear o concreto entre as mestras e executar o acabamento final com desempenadeira de madeira.

4.4 Estrutura padrão para cálculo dos Custos Globais

A fim de calcular os custos globais referentes à aplicação de um dado concreto, selecionou-se a estrutura padrão abaixo (ver Figura 12) para fins de comparação da aplicação do concreto convencional e do concreto

autoadensável, considerando custos de produção o material, lançamento, adensamento e acabamento superficial.

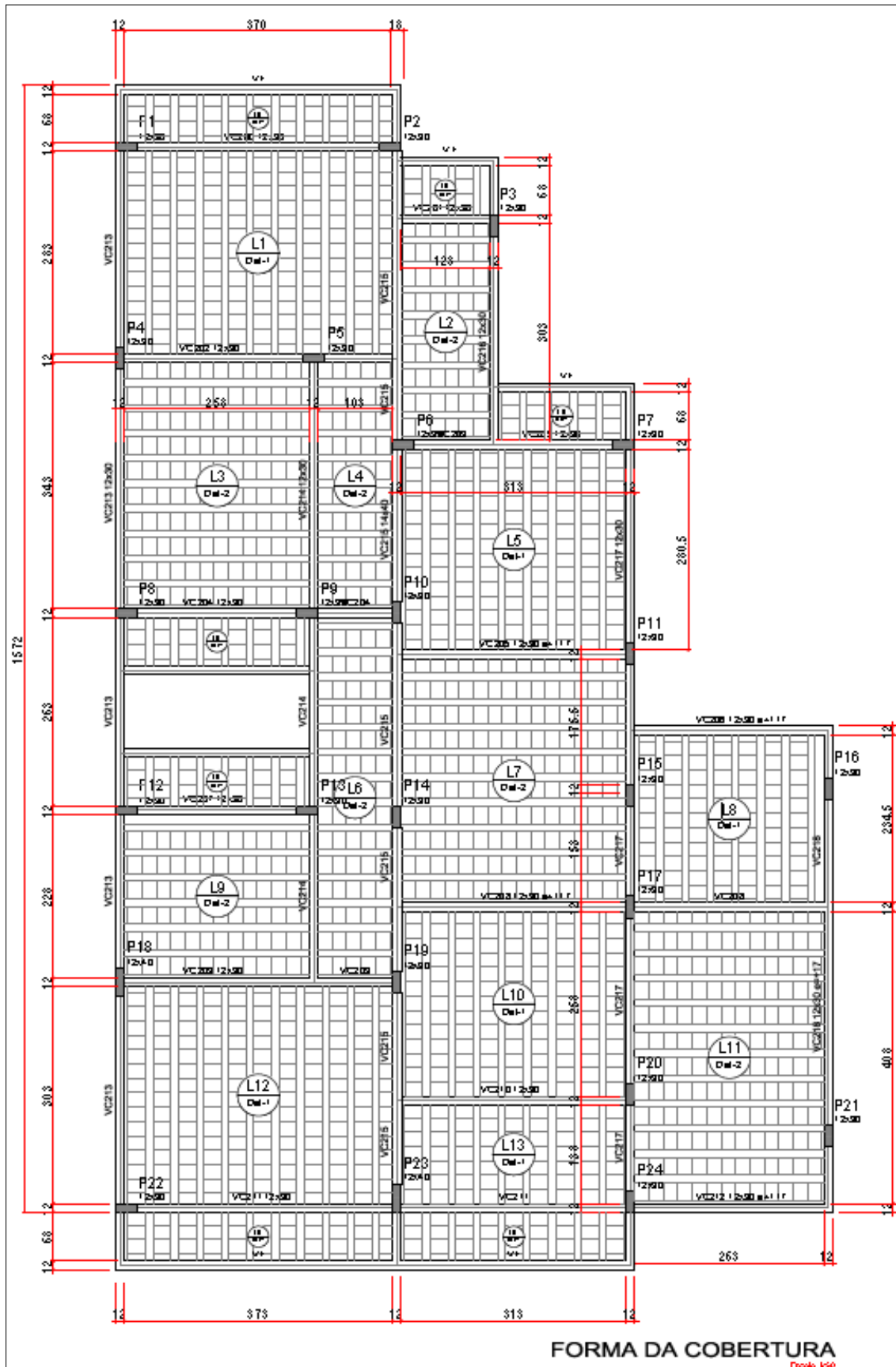


Figura 12: estrutura padrão a ser aplicada os valores

Na sequência segue o levantamento de quantitativos para a estrutura da Figura 12.

4.4.1 Volume de concreto:

Área da laje = 125,72 m²

Volume de concreto total da estrutura = 10,11 m³

- Volume de concreto da laje = 5,91 m³
- Volume de concreto das vigas = 4,22 m³

4.4.2 Forma de análise dos custos

Os custos serão avaliados quanto:

- à produção do concreto;
- transporte, lançamento e adensamento (quando necessário) do concreto;
- Regularização da superfície da laje (quando necessário) para assentamento de cerâmica;
- Aplicação em uma estrutura padrão.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Custos de produção dos Concretos (sem considerar a resistência):

Os resultados dos custos dos concretos, sem analisarmos as resistências, estão apresentados nas Tabelas 19 e 20, para a produção de 1 m³ de concreto.

Tabela 19: quadro resumo para os traços de Manuel (2005)

Tipo de Concreto	Traço 1:m	R\$/m ³
CCV-REF	1:3	334,01
	1:4,5	277,15
	1:6	240,51
CAA-54	1:3	341,00
	1:4,5	283,73
	1:6	244,92
CAA-60	1:3	343,54
	1:4,5	283,94
	1:6	241,78
CAA-65	1:4,5	274,42
CAA-70	1:4,5	279,15
CAA-75	1:4,5	275,63

Fonte: Manuel (2005)

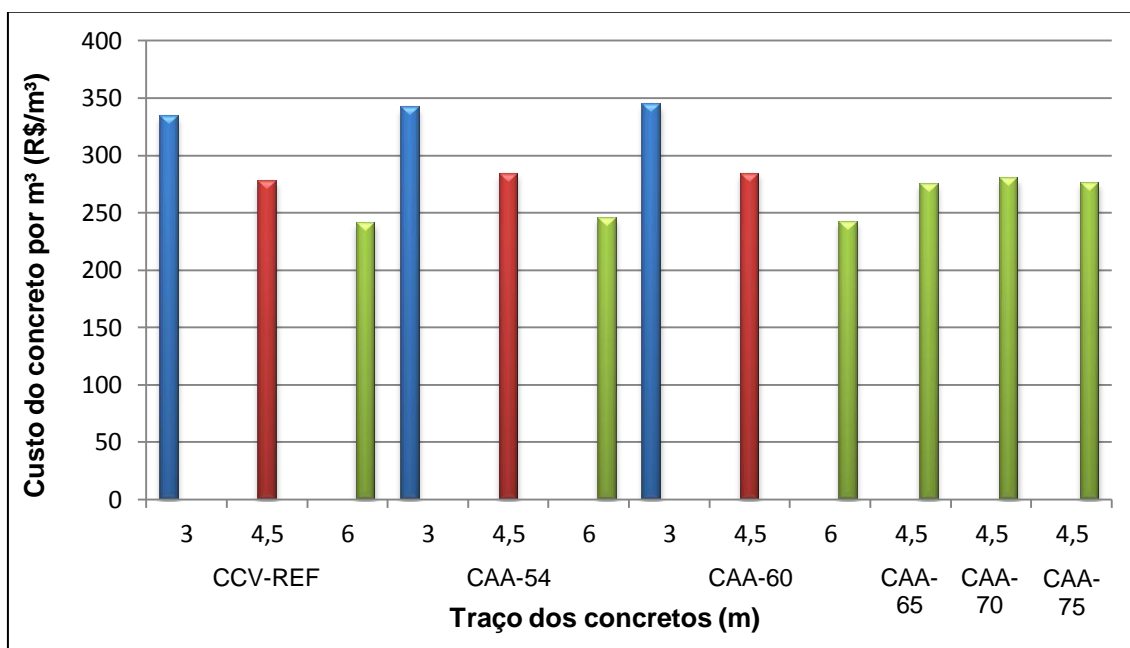


Figura 13: custos para produção de 1 m³ de concreto utilizando os traços de Manuel (2007)

Observa-se pelo gráfico apresentado na Figura 13, que o CAA com melhor resultado, em termos de custos em cada traço foi o CAA-54. O CAA-60 teve custos superiores ao CAA-54 em até 1%. Para o traço 1:4,5 verifica-se que os concretos CAA-54, 60 e 65 apresentaram custos bem similares entre si, sendo portanto, os teores de argamassa mais indicados desde que sejam atendidos os requisitos do CAA no estado fresco e endurecido.

Portanto, em termos de custos o CCV-REF apresenta-se como a opção mais econômica de curto e médio prazo, pois numa estrutura real não temos certeza de que todo o concreto foi vibrado adequadamente, mais tarde poderá revelar problemas advindos de uma vibração ou adensamento deficiente. Assim, a opção do CAA apesar de ser mais cara inicialmente, possui *garantia* de que o produto final (a estrutura acabada) tem um concreto durável para as condições a que se propõe.

Tabela 20: quadro resumo para os traços de Tutikian (2007)

Tipo de Concreto		R\$/m³
CCV	1:3	347,10
	1:4	298,81
	1:5	262,59
	1:6	237,23
	1:7	216,07
CAA	1:3	358,52
	1:4	307,72
	1:5	271,34
	1:6	241,11
	1:7	222,65

Na Figura 14 apresenta-se o gráfico comparativo de custos dos concretos produzidos por Tutikian (2007).

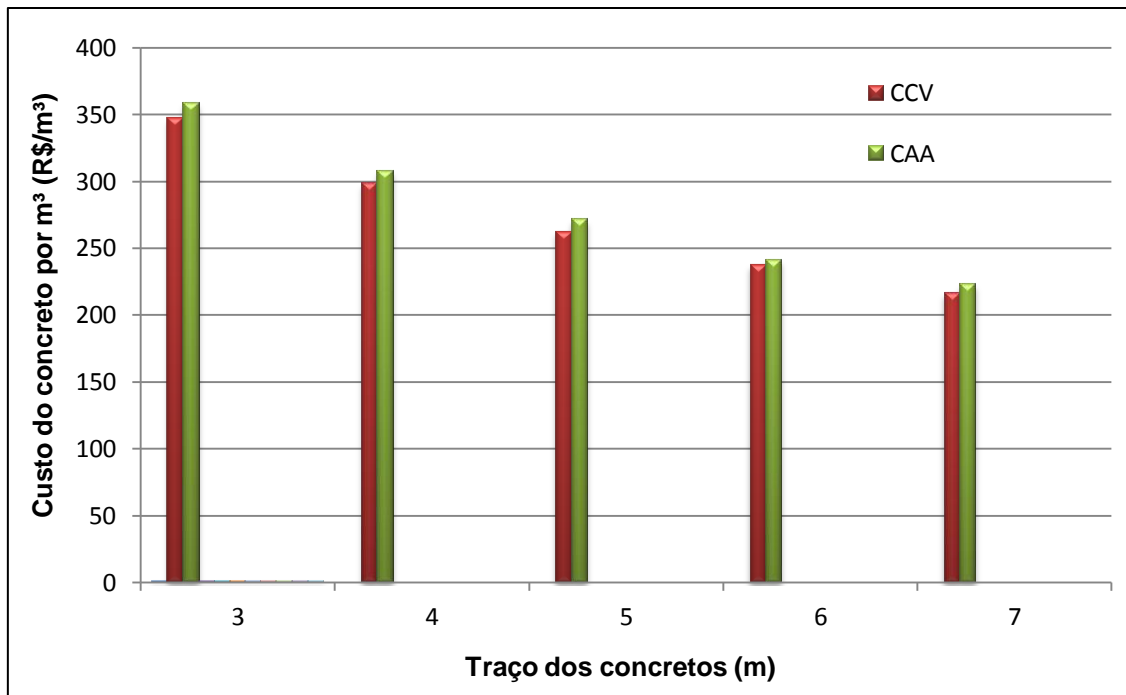


Figura 14: comparativo de custos dos concretos ensaiados por Tutikian

O custo de produção do CCV foi inferior em todos os traços, essa diferença chega aproximadamente a 3%.

Pelos gráficos produzidos com os dados da Tabela 19 e 20, do Manuel (2006) e Tutikian (2007), pode-se perceber que os custos do CAA para 1 m³ de concreto são mais elevados que os CCV, cabe ressaltar, porém que é possível a mistura de CAA, dependendo dos materiais escolhidos e da forma de dosagem, com custos similares ou até inferiores que o CCV.

5.1.1 Comparação das resistências obtidas à compressão aos 28 dias

Como a resistência à compressão aos 28 dias é a mais referendada, uma vez que é exigida no controle tecnológico do concreto, logo, a mais importante para os profissionais da área, está será a empregada para as análises seguintes.

Na Tabela 21, são apresentados os valores das resistências à compressão, obtidos por Manuel (2005), iremos utilizar apenas o CCV-REF e o CAA-54 como base para comparar os valores.

Tabela 21: resultados das resistências à compressão

Concreto estudado	Traço 1:m	Relação a/c	Resistência à Compressão (MPa)				R\$/m³
			3 dias (*4 dias)	7 dias	28 dias	56 dias	
CCV-REF $\alpha = 54\%$	1:3	0,417	24,7	27,1	38,9	49,4	334,01
	1:4,5	0,502	17,8	20,3	27,9	38,1	277,15
	1:6	0,630	11,4	14,6	21,2	27,5	240,51
CAA-54	1:3	0,430	26,8*	33,5	46,2	54,6	341,00
	1:4,5	0,504	16,4*	20,7	36,9	42,8	283,73
	1:6	0,636	11,7*	14,8	20,8	27,7	244,92

Nas Figuras 15, 16 e 17 apresentam-se o desenvolvimento das resistências à compressão do concreto convencional com teor de argamassa igual a 54% (CCV-REF) e do seu correspondente concreto autoadensável (CAA-54). Nota-se que o CAA-54, apesar de ter as maiores relações a/c, apresentou resistências maiores nos traços 1:3 e 1:4,5. No traço 1:6, os dois concretos apresentam crescimentos da resistência à compressão, praticamente iguais como ilustra a Figura 17.

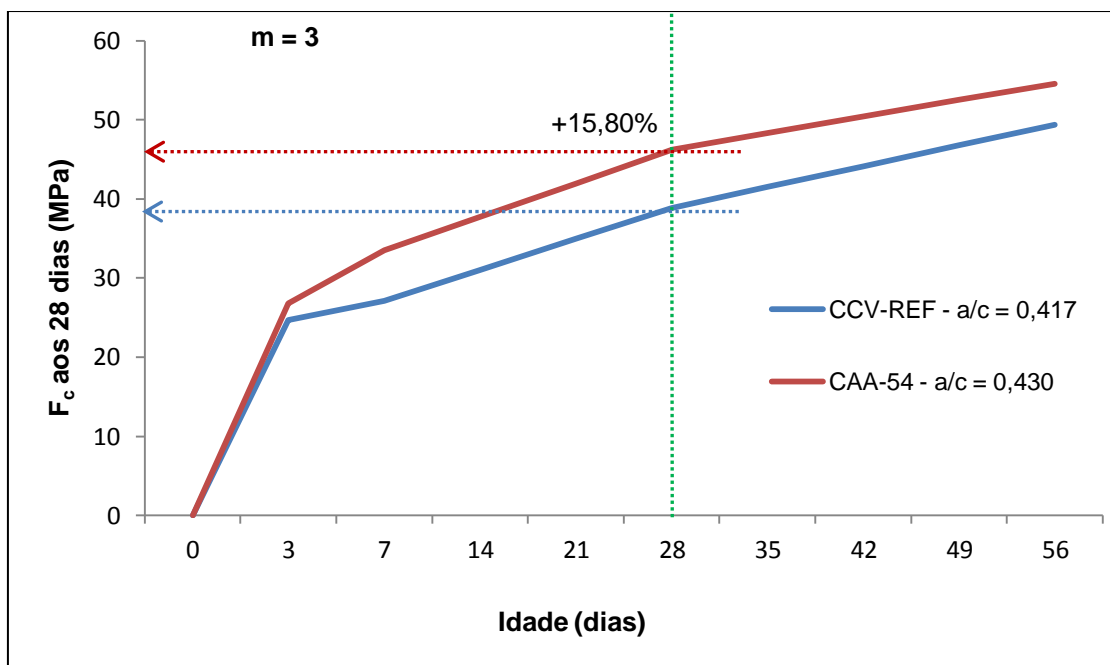


Figura 15: evolução da resistência à compressão do CCV-REF e CAA-54

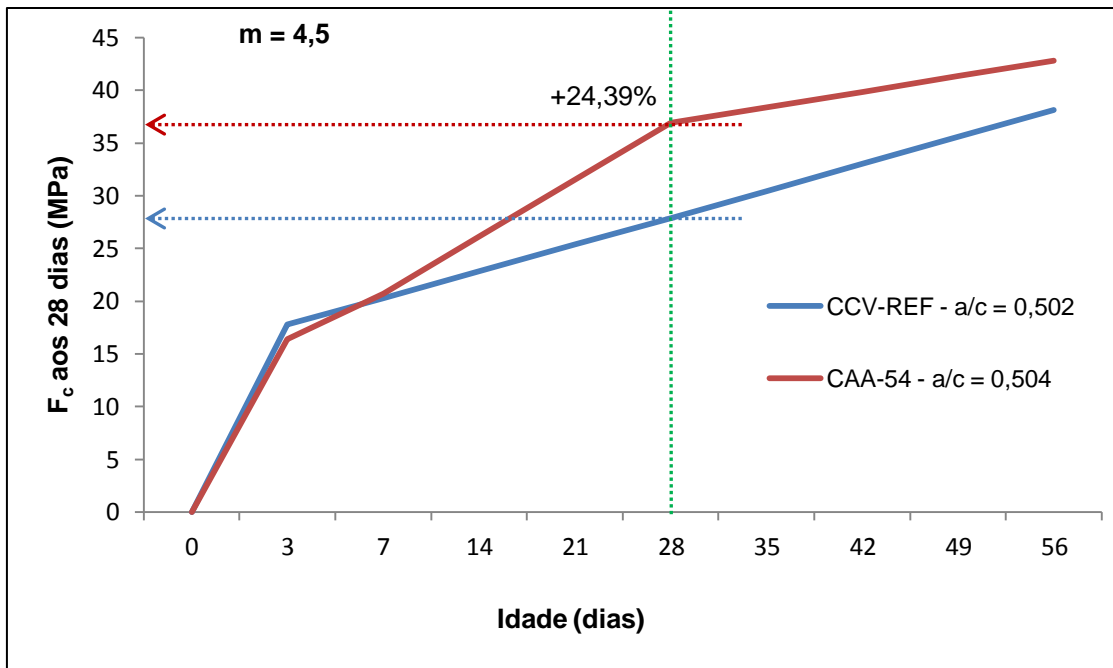


Figura 16: evolução da resistência à compressão do CCV-REF e CAA-54

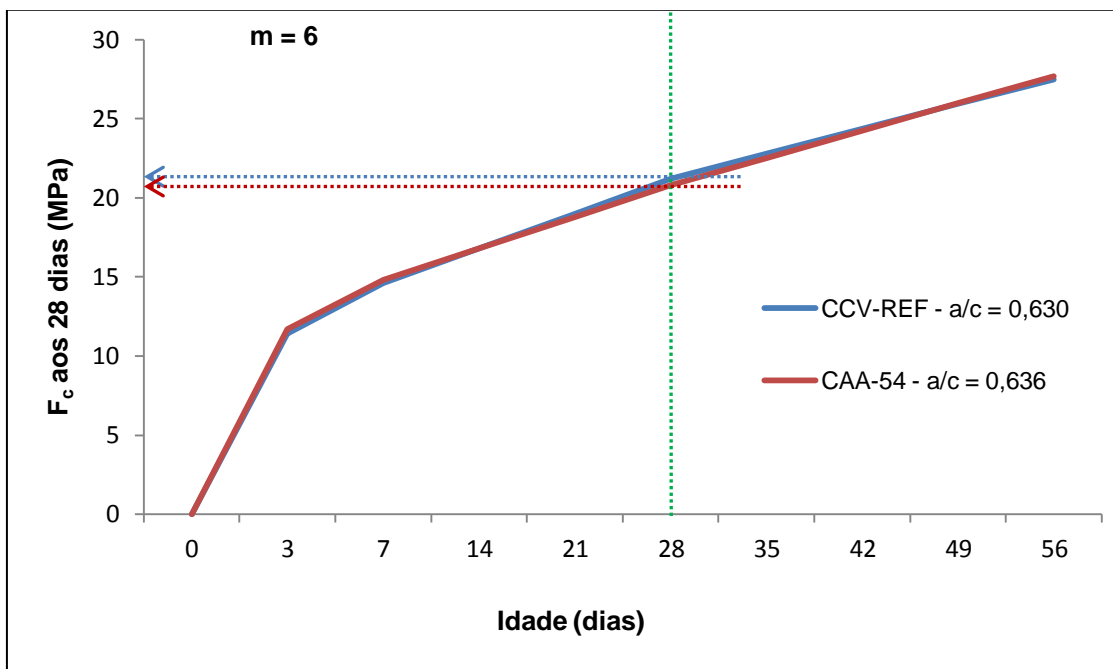


Figura 17: evolução da resistência à compressão do CCV-REF e CAA-54

Na Tabela 22, são apresentados os valores das resistências à compressão, obtidos por Tutikian (2007).

Tabela 22: resultados das resistências à compressão

Traço 1:m	a/c	Resistência à compressão (MPa)				R\$/m ³
		1 dia	7 dias	28 dias	91 dias	
CCV1 – 1:3	0,37	35,8	48,7	53,5	64,1	347,10
CCV2 – 1:4	0,43	27,9	40,0	46,4	56,0	298,81
CCV3 – 1:5	0,50	19,5	32,4	38,9	46,8	262,59
CCV4 – 1:6	0,59	15,8	28,1	32,7	37,9	237,23
CCV5 – 1:7	0,72	9,6	22,6	27,8	29,0	216,07
CAA1 – 1:3	0,37	46,3	58,7	65,2	69,2	358,52
CAA2 – 1:4	0,43	41,8	50,0	67,3	66,5	307,72
CAA3 – 1:5	0,50	27,3	42,4	48,7	56,4	271,34
CAA4 – 1:6	0,59	16,3	27,1	34,3	38,7	241,11
CAA5 – 1:7	0,72	12,7	23,4	30,2	33,4	222,65

Nas Figuras 18, 19, 20, 21 e 22 apresentam-se os desenvolvimentos das resistências à compressão do concreto convencional (CCV) e do seu correspondente concreto autoadensável (CAA). Nota-se que o CAA, aos 28 dias, apresentou resistências maiores nos traços 1:3, 1:4 e 1:5. No traço 1:6 e 1:7, os dois concretos apresentam crescimentos da resistência à compressão, praticamente iguais como ilustra as Figuras 21 e 22.

Tanto para os traços de Manuel (2005) e Tutikian (2007), a resistência dos CAA foram superiores aos CCV nos 28 dias.

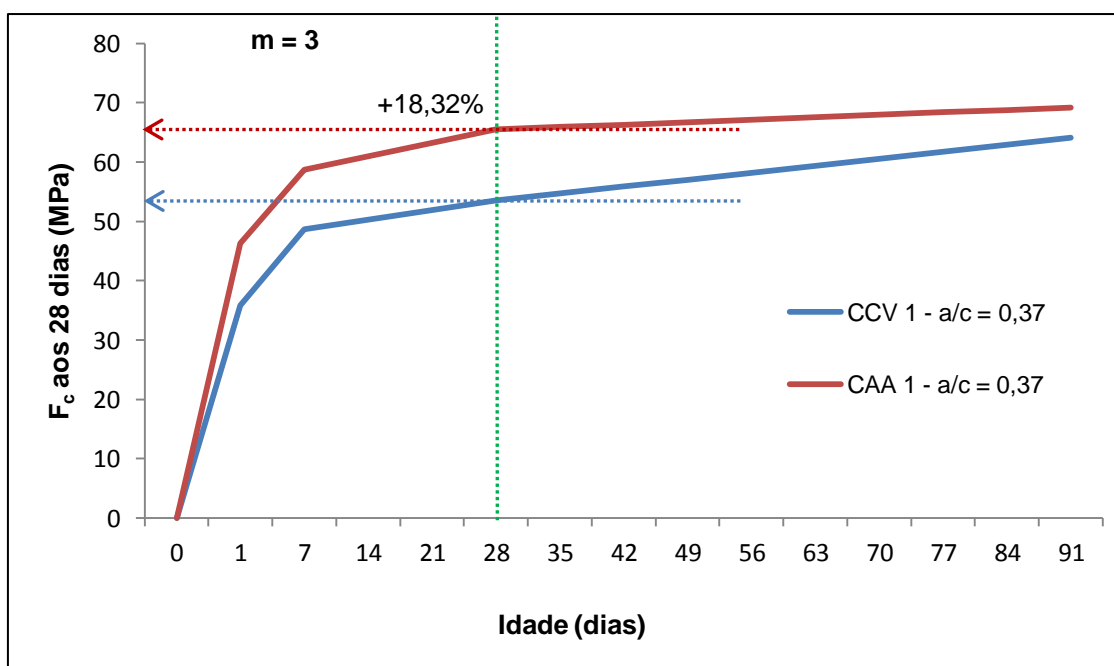


Figura 18: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA

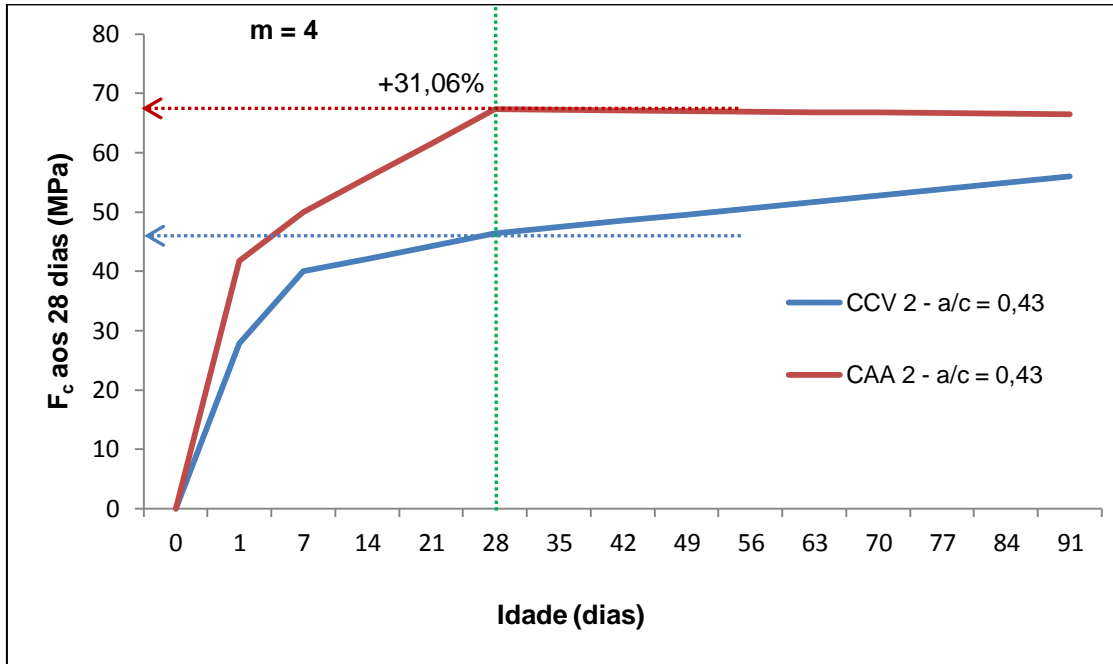


Figura 19: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA

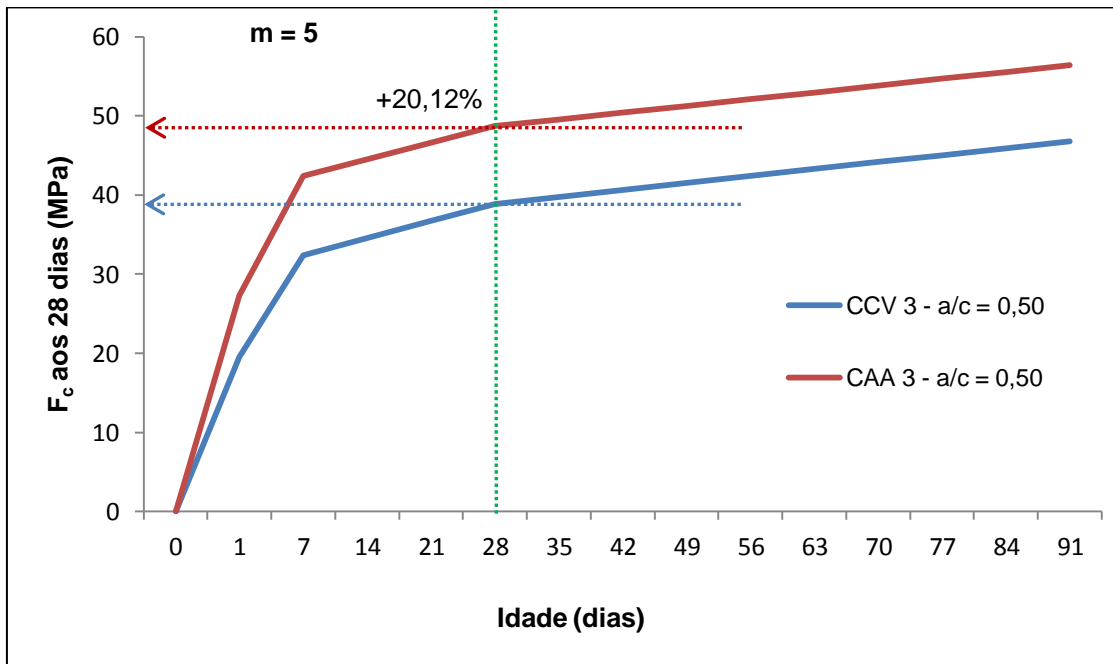


Figura 20: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA

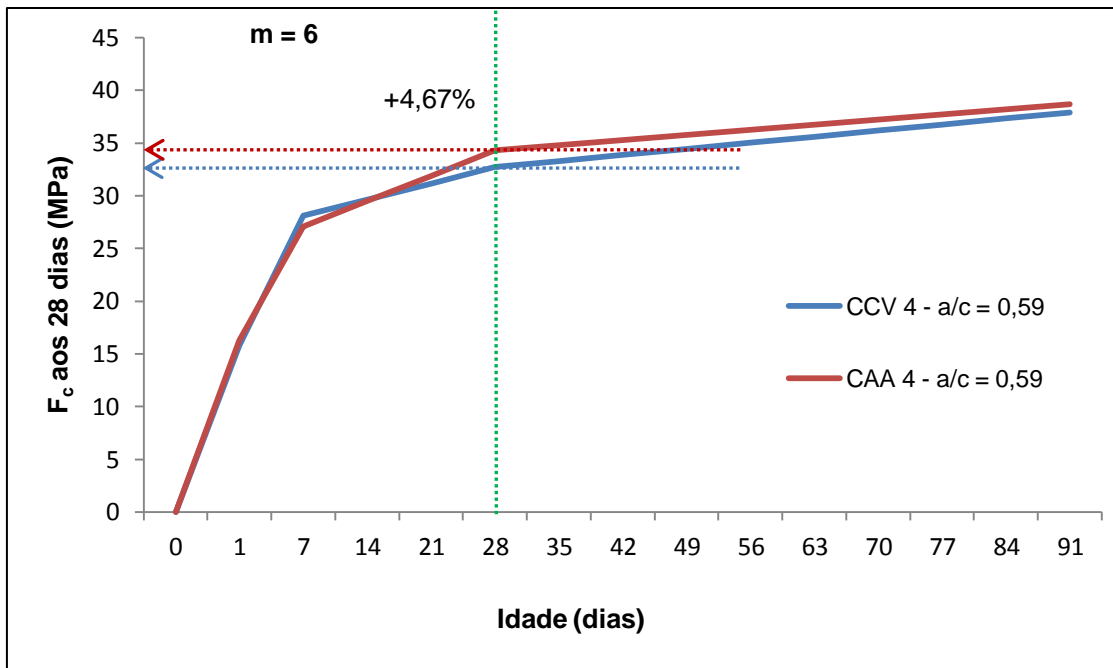


Figura 21: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA

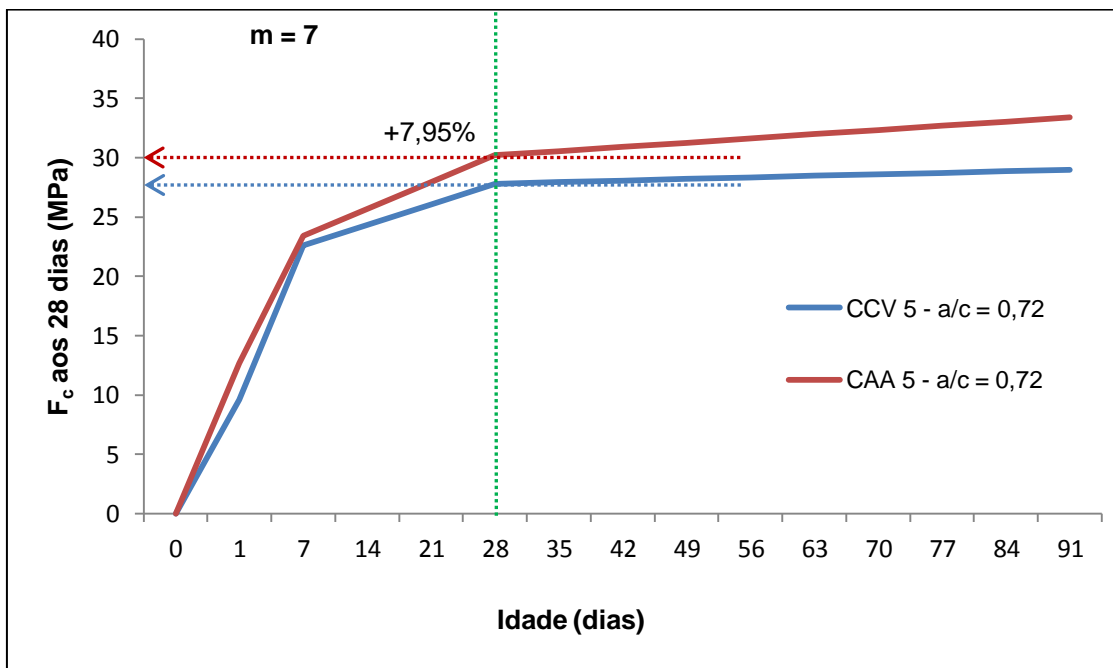


Figura 22: evolução da resistência à compressão do CCV e CAA

5.1.2 Custos considerando Produção, lançamento, adensamento e acabamento superficial de uma estrutura.

Na tabela 23, apresentamos os custos das composições unitárias da mão de obra por m³, que serão aplicados na estrutura padrão.

Tabela 23: Valores unitários das composições de mão de obra

Composição	R\$ Custo Unitário/m³
Transporte em carrinho de mão, em local plano, por m ³ transportado, considerando 5 m de distância.	0,61
Preparo mecânico do concreto por m ³ .	20,25
Lançamento e aplicação de concreto por m ³ .	81,65
Lançamento, aplicação e adensamento de concreto por m ³ .	15,75
Regularização de superfície para aplicação de revestimento	8,99

Para a estrutura apresentada, temos os seguintes valores quantitativos:

- ✓ Área da laje = 125,72 m²
- ✓ Volume de concreto total da estrutura = 10,11 m³
 - Volume de concreto da laje = 5,91 m³
 - Volume de concreto das vigas = 4,22 m³

Na tabela 24, apresentamos os custos de materiais e mão de obra aplicados na estrutura padrão, considerando os traços de Manuel (2005).

Tabela 24: Valores de materiais e mão de obra, aplicados na estrutura

Concretos estudados	Consumo de materiais, em kg/m ³						
	R\$ Material/m ³	R\$ Mão de Obra/m ³	Quantidade	R\$ Material	R\$ Mão de Obra	R\$ Regularização, Material e Mao de obra	R\$ Total/m ³
CCV-REF - 1:3	334,01	85,17	10,11	3.376,88	861,07	1.130,22	5.368,17
CCV-REF -1:4,5	277,15	85,17	10,11	2.801,95	861,07	3.029,63	6.692,65
CCV-REF - 1:6	240,51	85,17	10,11	2.431,55	861,07	3.029,63	6.322,25
CAA-55 - 1:3	341,00	102,51	10,11	3.447,50	1.036,38	0,00	4.483,87
CAA-55 - 1:4,5	283,73	102,51	10,11	2.868,52	1.036,38	0,00	3.904,90
CAA-55 - 1:6	244,92	102,51	10,11	2.476,19	1.036,38	0,00	3.512,56
CAA-60 - 1:3	343,54	102,51	10,11	3.473,18	1.036,38	0,00	4.509,56
CAA-60 - 1:4,5	283,94	102,51	10,11	2.870,59	1.036,38	0,00	3.906,97
CAA-60 - 1:6	241,78	102,51	10,11	2.444,43	1.036,38	0,00	3.480,81
CAA-65 - 1:4,5	274,42	102,51	10,11	2.774,39	1.036,38	0,00	3.810,77
CAA-70 - 1:4,5	279,15	102,51	10,11	2.822,21	1.036,38	0,00	3.858,59
CAA-75 - 1:4,5	275,63	102,51	10,11	2.786,64	1.036,38	0,00	3.823,02

O gráfico de custos, considerando material e mão de obra, estão representados na Figura 23.

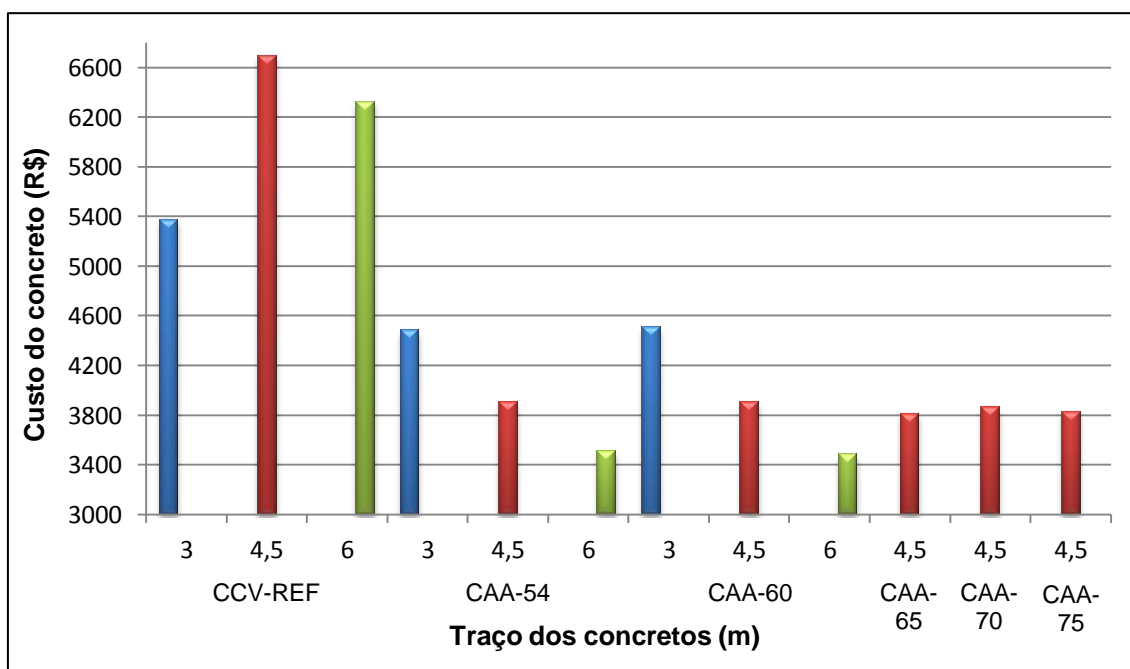


Figura 23: custos dos concretos aplicados na estrutura, considerando material e mão de obra

Na tabela 25, apresentamos os custos de materiais e mão de obra aplicados na estrutura padrão, considerando os traços de Tutikian (2007).

Tabela 25: Valores dos materiais e mão de obra, aplicados na estrutura

Concretos estudados	Consumo de materiais, em kg/m ³						
	R\$ Material/m ³	R\$ Mão de Obra/m ³	Quantidade	R\$ Material	R\$ Mão de Obra	R\$ Regularização, Material e Mao de obra	R\$ Total/m ³
CCV1 – 1:3	347,10	85,17	10,11	3.509,21	861,07	1.130,22	5.500,50
CCV2 – 1:4	298,81	85,17	10,11	3.021,01	861,07	1.130,22	5.012,30
CCV3 – 1:5	262,59	85,17	10,11	2.654,82	861,07	1.130,22	4.646,11
CCV4 – 1:6	237,23	85,17	10,11	2.398,40	861,07	1.130,22	4.389,69
CCV5 – 1:7	216,07	85,17	10,11	2.184,45	861,07	1.130,22	4.175,74
CAA1 – 1:3	358,52	102,51	10,11	3.624,61	1.036,38	-	4.660,99
CAA2 – 1:4	307,72	102,51	10,11	3.111,09	1.036,38	-	4.147,47
CAA3 – 1:5	271,34	102,51	10,11	2.743,21	1.036,38	-	3.779,59
CAA4 – 1:6	241,11	102,51	10,11	2.437,63	1.036,38	-	3.474,01
CAA5 – 1:7	222,65	102,51	10,11	2.250,95	1.036,38	-	3.287,32

O gráfico de custos, considerando material e mão de obra, estão representados na Figura 24.

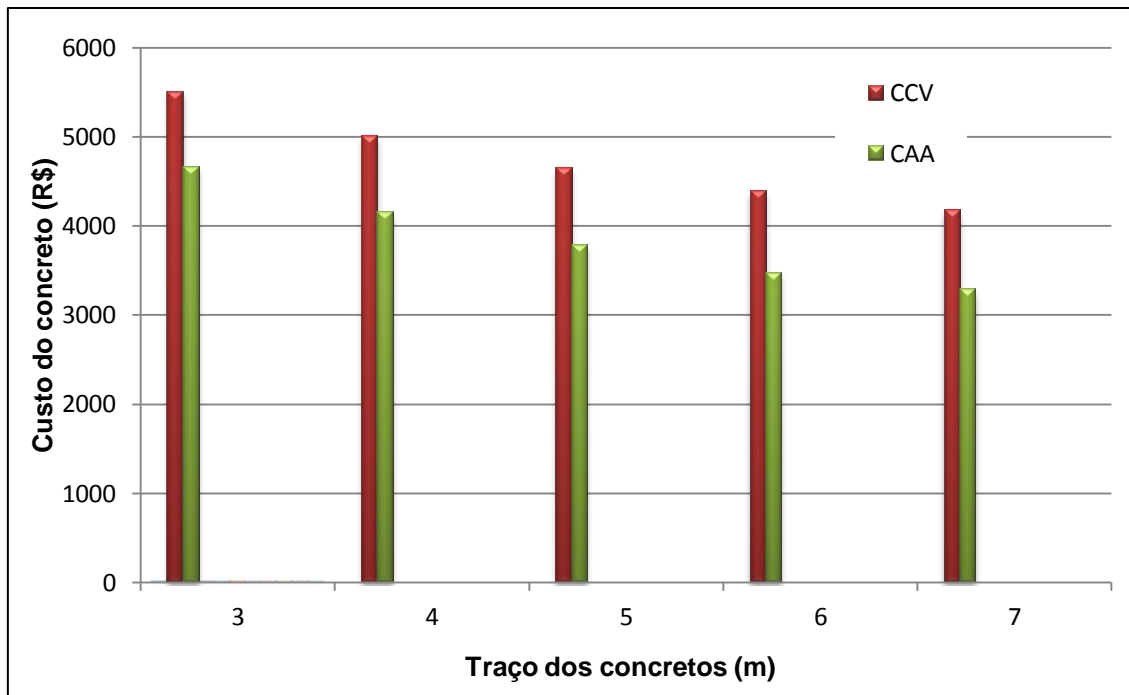


Figura 24: custos dos concretos aplicados na estrutura, considerando material e mão de obra

Observamos que quando os custos são aplicados em uma estrutura, o CAA se mostra muito mais vantajoso do que o CCV, isso se deve ao fato do CAA não precisar de vibração e regularização da superfície, os custos/m³ são praticamente o mesmo, mas quando aplicamos a mão de obra, vemos a grande diferença.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido para verificar a diferença de custo entre concretos convencionais e concretos autoadensáveis.

O custo por metro cúbico de concreto para as classes de resistências avaliadas aumenta à medida que aumenta a resistência do concreto, para todos os teores de argamassa.

As resistências à compressão dos CAA abrangeram a mesma faixa e até superiores às dos CCV, nos traços utilizados por Manuel (2006) para CAA o aumento do teor de argamassa aumenta o custo do concreto e a diferença entre concretos com diferentes teores de argamassa tende a aumentar para resistências maiores, o contrário do que ocorre com o CCV em relação ao CAA.

Pode-se perceber que o custo de produção do CCV é mais econômico que o CAA, porém quando se aplica os mesmos custos em uma estrutura, temos que levar em consideração o custo global, ou seja, custos de material e mão de obra para aplicação do concreto, observa-se que o CAA pode ser bem mais vantajoso que o CCV, já que o CCV demanda maior mão de obra, pois necessita que seja feito adensamento (vibração) e regularização da superfície, sem contar que esteticamente o CAA fica com um aspecto satisfatório, podendo até ser deixado aparente.

Assim, a aplicação do CAA depende da análise global da estrutura, para que o mesmo tenha competitividade econômica em relação ao CCV. Também os profissionais e concreteiras pouco sabem sobre CAA, não existindo competências e não tem domínio nas técnicas de dosagem deste material, cabendo estudos correlatos à área a fim de popularizar e difundir seu uso.

REFERÊNCIAS

- ÄITCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo. PINI: 2000.
- ALENCAR, R. S. A. **Dosagem do concreto autoadensável: produção de pré-fabricados**. 2008. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008. Acesso em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-19092008-161938/pt-br.php>, acesso em 20 set 2012.
- ALENCAR, R. S. A.; HELENE, P. R. L. **Concreto autoadensável de elevada resistência: Inovação tecnológica na indústria de pré-fabricados**. In: Revista Concreto & Construções. Ed. IBRACON. N.43. São Paulo, 2006. Acesso em: http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/rev_construcao_43.htm, acesso em: 20 set 2012.
- ALMEIDA, E.. **Avaliação do efeito de um adjuvante redutor de retração no betão autocompactável**. 2005. 119p. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Civil). Universidade do Algarve. Portugal, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2003. Acesso em: <http://pt.scribd.com/doc/67682149/NBR-6118-2007>, acesso em 20 set 2012.
- CESARI, V. F. **Avaliação do tempo de início de pega de misturas de concreto autoadensáveis**. UNIOESTE, 2011.
- CENTURIONE, S. L.; KIHARA, Y. **O Cimento Portland**. In: Concreto. Ensino, Pesquisa, e Realizações. São Paulo: Geraldo Cechella Isaia, 2005, p. 295-323
- COLLEPARDI, M. **Avery close precursor of self-compacting concrete (SCC)**. In: **Supplementary volume of the Proceedings of Three-day CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development and Concrete Technology**. 2001.
- COLLEPARDI, M. **Advances in superplasticizing admixtures**. In: *MAILVAGANAM, N.; JOLICOUER, C.. Nelu Spiratos Symposium on Superplasticizer. Bucharest, Romania: 2003.*
- DAL MOLIN, D. C. C. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: Concreto. Ensino, Pesquisa, e Realizações. São Paulo: Geraldo Cechella Isaia, 2005, p. 345-381.

EFNARC. *European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. **Specification and guidelines for self-compacting concrete.*** In: EFNARC. Reino Unido: 2002. Acesso em: <http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCC.PDF>. Acesso em 24 out 2012.

GEYER, A. L. B. **Utilização de concreto autoadensável em estruturas de edifícios com custos inferiores ao concreto convencional.** In: 12º Concurso Falcão Bauer. 2005. Acesso em: http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/Nova_Tecnica_Concreto_Auto_Adensavel.pdf. Acesso em 20 set 2012.

HASTENPFLUG, D.. **Contribuição ao estudo da uniformidade do concreto autoadensável de alta resistência em pilares e vigas.** 2007. 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007

HELENE. P. **Dosagem do concreto de cimento Portland.** In: ISAIA, G.C., Editor. In: Concreto: Ensaio, pesquisa e realizações. São Paulo, v.1, p. 75-107, 2005.

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

ISAIA, G. C. **O concreto: da era clássica à contemporânea.** In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações. Ed: G.C. ISAIA. São Paulo, volume 1, capítulo 1, p.1-43, 2005.

KRAUS, Z. **Produção de concreto auto-adensável com adição de fíler e de aditivo promotor de viscosidade – baseado no estudo fatorial em argamassas.** 2006. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

MARTINS, V. C. **Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com a utilização de aditivos superplastificantes.** 2005. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005, Acesso em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PECV0330.pdf>, acesso em 20 set 2012.

MANUEL, P. J. M. **Estudo da influencia do teor de argamassa no desempenho de concretos autoadensáveis.** Dissertação Mestrado. UFRGS, 2005. Acesso em:

<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8142/000568918.pdf?sequence=1>, acesso em 20 set 2012.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M.. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA, K. P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto autoadensável com adição de fíler calcário**.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Editora PINI, 1982.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador E. Giammusso. 2.ed. São Paulo: PINI, 1997.

PACIOS, A. **Optimization of in situ constructions system to benefit from SCC technology**. In: *Fourth International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete*. Chicago, EUA, 2005.

PEDROSO, L.F: Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. *Revista Concreto & Construções*, 2009. 6p. Edição no 53. Acesso em: <http://ibracon1.locaweb.com.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf >. Acesso em 15 set 2012.

PILAR, R. **Dosagem de concreto auto-adensável usando aditivo promotor de viscosidade**. 2009. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2009.

PETERSEN, B. G.; REKNES, K. **Advances in self-compacting concrete with lignosulphonate superplasticizer**. In: *Fourth International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete*. Chicago, EUA, 2005.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **FUNDAMENTALS OF CONCRETE**. In: **Design and control of concrete moistures**. Chapter 1. P 1-21. 2002. Acesso em <http://members.cement.org/ebiz50/ProductCatalog/Product.aspx?ID=451>, Acesso em 20 set 201.

REPETTE, W. L. **Concreto de Última Geração: Presente e Futuro**. In: **Concreto: Ensino, pesquisa e realizações**. Ed. IBRACON. N.43. São Paulo, 2005. Acesso em:

http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/rev_construcao_43.htm, acesso em: 20 set 2012.

REPETTE, W. L. **Concreto autoadensável – características e aplicação**. In: Revista Técnica. Ed 135. 208. Pg. 56-60. Acesso em: <http://pt.scribd.com/doc/53579233/Techne-Edicao-135-junho-de-2008>. Acesso em 20 set 2012.

SALESSE, J. M. **Influência de diferentes procedimentos para correção do abatimento na resistência à compressão do concreto**. 2010. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2010.

SZECSY, R. **Integration and application of self compacting concrete as a technology into other types of performance concrete**. In: *Fourth International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete*. Chicago, EUA, 2005.

SILVA, W. **Produção de concreto auto-adensável empregando materiais da região de Florianópolis**. Relatório final do Programa institucional de bolsas de iniciação científica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SILVA, L. R. W. **Concreto dosado em central: proposta de metodologia de controle de qualidade e identificação das causas de variabilidade no processo de produção do concreto**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TUTIKIAN, B. F., **Método para dosagem de concretos autoadensáveis**. Dissertação de Mestrado. PPGE/UFGRS, 2004. Acesso em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3918/000450678.pdf?sequence=1>, acesso em 20 set 2012.

TUTIKIAN, B. F., **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis**. Tese de Doutorado. PPGE/UGRGS, 2007. Acesso em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/11309/000611153.pdf?sequence=1>, acesso em 20 set 2012.

TUTIKIAN, B.F.; DAL MOLIN, D. **Concreto Auto-adensável**. 1ª Edição. São Paulo – SP. Editora PINI, 2008.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. Cap. 12. IBRACON. 2011. Acesso em: <http://www.concretophd.com.br/imgs/files/DosagemCap12Concreto2011.pdf>. Acesso em 20 set 2012.

WATANABE, P.S.. **Concretos especiais – Propriedades, materiais e aplicações**. Relatório final de pesquisa (Bolsa de iniciação científica FAPESP) – Universidade Estadual Paulista. Bauru: 2008.

Sites visitados:

<http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCC.PDF>, acesso 15.10.2012.

<http://www.sitengenharia.com.br/diversosaditivos.htm>, acesso 15.10.2012.

http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petreche/BT330-%20Hartmann.PDF, acesso 16.10.2012.

<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/132/artigo76078-1.asp>, acesso 19.10.2012.

http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arg_urbanismo/disciplinas/aut0139/Artigos_Tecnicos/Concreto_Auto_adensavel.pdf, 19.10.2012.

<http://www.cimentoitambe.com.br/concreto-auto-adensavel-em-pre-fabricados/>, acesso 19.10.2012.

<http://construcaocivilpet.wordpress.com/2012/03/11/inovacoes-no-concreto-2-concreto-auto-adensavel/>, acesso 19.10.2012.

<http://www.abesc.org.br/assets/files/jornal-26.pdf>, acesso 19.10.2012.

<http://dc97.4shared.com/doc/WS-62T4C/preview.html>, acesso 20.10.2012.

http://www.cement.org/tech/faq_scc.asp, acesso 20.10.2012.

<http://www.engineeringcivil.com/an-experimental-study-on-synergic-effect-of-sugar-cane-bagasse-ash-with-rice-husk-ash-on-self-compaction-concrete.html>, acesso 20.10.2012.

<http://www.pmccatalogue.com/view.aspx?ProductId=610110-1-3&menyCategory=1,8>, acesso 21.10.2012.

<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/cimento.html>, acesso 22.10.2012.

[http://www.ppgec.feis.unesp.br/producao2004/Concreto%20auto-
adens%20avel%20avalia%20da%20ader%20ancia%20a%20o-
concreto%20atrav%20dos%20ensaios%20de%20determina%20do%20coeficiente%20de%20conforma%20superficial%20das%20
barras%20de%20a%20o.pdf](http://www.ppgec.feis.unesp.br/producao2004/Concreto%20auto-
adens%20avel%20avalia%20da%20ader%20ancia%20a%20o-
concreto%20atrav%20dos%20ensaios%20de%20determina%20do%20coeficiente%20de%20conforma%20superficial%20das%20
barras%20de%20a%20o.pdf), acesso 30.11.2012.

<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/132/artigo76078-1.asp>,
acesso 30.11.2012.