

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MURILLO ADALBERTO FIGUEIRÓ CALESCO

**CONCRETO AUTOADENSÁVEL: FUNDAMENTOS, TECNOLOGIA, VIABILIDADE
TÉCNICA E ECONÔMICA**

Ilha Solteira
2022

MURILLO ADALBERTO FIGUEIRÓ CALESCO

**CONCRETO AUTOADENSÁVEL: FUNDAMENTOS, TECNOLOGIA, VIABILIDADE
TÉCNICA E ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira – UNESP como parte dos
requisitos para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Marco Antonio de Moraes Alcantara
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- C149c Calesco, Murillo Adalberto Figueiró.
Concreto autoadensável: fundamentos, tecnologia, viabilidade técnica e econômica / Murillo Adalberto Figueiró Calesco. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
41 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022
- Orientador: Marco Antonio de Moraes Alcântara
- Inclui bibliografia
1. Concreto autoadensável. 2. Tecnologia do Concreto. 3. Viabilidade técnica.

Murillo Adalberto Figueiró Calesco

**CONCRETO AUTOADENSÁVEL: FUNDAMENTOS, TECNOLOGIA,
VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto
ao Curso de Graduação em Engenharia
Civil, da Faculdade de Engenharia da
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho", Câmpus de Ilha Solteira.

Aprovado em 25/01/2023

Comissão Examinadora


Prof. Dr. Marco Antônio de Moraes Alcântara
UNESP/FE Ilha Solteira (Orientador)


Prof. Dr. Artur Pantoja Marques
UNESP/FE - Ilha Solteira (Examinador)


Profa. Dra. Claudia Scoton Antonio Marques
UNIFUNEC/Santa Fé do Sul (Examinadora)

Ilha Solteira
25 de janeiro de 2023

Dedico este trabalho à minha família, em especial, ao meu pai, Christiano, que sempre me deu total apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus, já que sem ele nada disso seria possível.

Ao meu pai, Christiano, por estar ao meu lado e me incentivar desde sempre, sempre transmitindo seu conhecimento e me mostrando o caminho correto a ser seguido.

Ao meu orientador, Marco, por aceitar ser meu orientador e contribuir com meu conhecimento, desde os trabalhos na Equipe Águia.

Aos docentes da FEIS, pelos conhecimentos transmitidos que me ajudaram a me transformar em um profissional.

Ao meu ex-chefe e parceiro, Danilo Schmidt, pelo companheirismo e pelas oportunidades que me deu.

Aos meus colegas de turma, que me proporcionaram momentos de alegria e amizade.

RESUMO

A utilização do concreto autoadensável como alternativa ao concreto convencional vibrado tem sido amplamente investigada por se mostrar promissora, no que se refere às propriedades físicas e mecânicas tanto no estado fresco como endurecido. Para ser considerado autoadensável, um concreto deve possuir três propriedades fundamentais: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação. A aplicação do material em obras correntes é benéfica, já que o material é capaz de se adensar apenas com seu peso próprio, dispensando a compactação manual, logo, reduzindo a mão de obra necessária. Além disso, seu uso é altamente indicado em obras que contém estruturas aparentes, formas estruturalmente complexas, esbeltas e/ou com elevadas taxas de armadura, já que evita o aparecimento de nichos de concretagem e trazem um acabamento melhor à estrutura. Mesmo considerando os fatores citados, seu uso ainda é pouco disseminado por ser uma tecnologia nova e ainda com muito potencial de desenvolvimento, além de que os métodos de dosagem são relativamente diferentes dos concretos convencionais, o que também leva a um aumento do custo do metro cúbico do concreto se analisado individualmente. Contudo, os custos estimados com mão de obra direta, indireta e outros custos indiretos tendem a diminuir. Diante das circunstâncias, foi realizado um trabalho de pesquisa sobre a tecnologia do concreto autoadensável, sua compreensão no meio técnico brasileiro e internacional, apontando suas vantagens econômicas, tecnológicas e ambientais.

Palavras-chave: Concreto Autoadensável, Tecnologia do concreto, Viabilidade técnica.

ABSTRACT

The use of self-compacting concrete as an alternative to conventional vibrated concrete has been widely investigated for showing promise in what refer to fresh and hardened, physical and mechanical properties. To be considered self-compacting, a concrete must have three fundamental properties: fluidity, passing ability, and resistance to segregation. The application of the material in current works is beneficial as the material is able to densify only with its own weight, dispensing with manual compaction, thus reducing the necessary labor. Furthermore, its use is highly recommended in works that contain exposed structures, structurally complex, slenderness, and/or with high armor rates, as it avoids the emergence of concrete failures and brings better finishing to the structure. Even considering the aforementioned factors, its use is still little disseminated as it is a new technology and still with much potential for development, in addition to the fact that the dosage methods are relatively different from conventional concretes, which also leads to an increase in the cost of the cubic meter of concrete if analyzed individually. However, the estimated costs with direct labor, indirect and other indirect costs tend to decrease. Given the circumstances, it is presented a research work on self-compacting concrete technology, its understanding in the Brazilian and international technical environment, pointing out its economic, technological and environmental advantages.

Keywords: Self-compacting concrete, Concrete technology, Technical viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte Kiba Koen Ohashi, Tóquio, primeira obra conhecida executada em concreto autoadensável, vista terrestre (a) e vista aérea (b).	18
Figura 2 – Momento da concretagem da ancoragem 4A da ponte Akashi-Kaikyo, Kobe, Japão.....	19
Figura 3 – Tanque de GNL, da Osaka Gas Company, construído com CAA, Osaka, Japão.	20
Figura 4 – Fachada da Fundação Iberê Camargo	21
Figura 5 – Elemento utilizado na estação de metrô do Amsterdã Arena.	22
Figura 6 – Ponte recuperada <i>The Katelbridge</i> , na Holanda (a) e vista das armaduras (b)...	23
Figura 7 - Curva de fluxo comparativos do CCV e CAA.	30
Figura 8 – Ensaio de Slump Flow	31
Figura 9 – Ensaio de Funil V.....	32
Figura 10 – Ensaio de Caixa L	33
Figura 11 – Residencial Pateo São Paulo, São Paulo - SP	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/f	Relação água/finos
a/c	Relação água/cimento
API	Adições predominantemente inertes
APR	Adições predominantemente reativas
CAA	Concreto Autoadensável
CCV	Concreto Convencional Vibrado
EFNARC	<i>European Federation of National Associations Representing for Concrete</i>
FIHP	<i>Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado</i>
NBR	Norma Brasileira
RILEM	<i>Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages</i>
σ	Tensão de cisalhamento no fluído
σ_0	Tensão de escoamento
η	Viscosidade plástica
$\dot{\gamma}$	Taxa de cisalhamento
μm	Micrômetros
m	Metros

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	10
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. METODOLOGIA	17
4. REVISÃO DE LITERATURA	18
4.1. Origem e Aplicações	18
4.2. Conceitos e Generalidades sobre o CAA	24
4.3. Caracterização do CAA	28
4.4. Viabilidade técnica e econômica	33
5. DISCUSSÃO	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

É fato conhecido que o concreto é o segundo material mais utilizado no mundo, perdendo apenas para a água (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Segundo a Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado, estima-se que anualmente são consumidas cerca de 11 bilhões de toneladas de concreto, o que resulta em um valor aproximado de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano. Em suma, a vantagem do uso deste material é sua capacidade de atingir resistências similares à de rochas naturais quando no estado endurecido, e no estado fresco ser um composto plástico capaz de ser moldado com as mais variadas formas e tamanhos (FIHP *apud* PEDROSO, 2009).

O concreto convencional é um material composto heterogêneo, constituído pelo cimento com função aglomerante, agregados (areia e brita) e água. Pode ainda trazer em sua composição alguns aditivos, com a função de alterar as propriedades físicas, químicas e mecânicas e atender as diferentes exigências e aplicabilidades deste material. Alguns aditivos podem trazer melhorias ao material ainda no estado fresco, como o aumento da trabalhabilidade ou do tempo de endurecimento, possibilitando uma maior qualidade no processo de moldagem, há ainda aditivos que visam reduzir o consumo de água no concreto, permitindo atingir resistências ainda maiores após o endurecimento (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

Ainda que o concreto convencional seja o mais utilizado, o mercado e as construções mais modernas têm trazido maiores desafios e soluções para a execução, dispensando as técnicas construtivas convencionais e apostando nas de maior complexidade tecnológica e que atendam às diversas necessidades. É nesse contexto que surge, ao final da década de 80, o concreto autoadensável (CAA). Desenvolvido no Japão, é um concreto cujo adensamento é feito apenas pelo seu peso próprio, sendo capaz de se moldar sem o auxílio de vibração ou qualquer meio de compactação externa (OKAMURA, 1997).

Das áreas da tecnologia do concreto com grande potencial de crescimento, o CAA é uma das que tem maior destaque (PETERSSEN e REKNES, 2005, *apud* TUTIKIAN, 2007). Seu desenvolvimento tinha como objetivo principal criar estruturas mais duráveis, resolver problemas de concretagem em estruturas com formas

complexas e altas taxas de armaduras e resolver problemas de falta de mão de obra especializada.

Como vantagens principais, o CAA possui a habilidade de preencher todo o espaço das formas durante o lançamento por ação exclusiva de seu peso próprio, dessa forma, atinge locais de difícil acesso para compactação mecânica, além de preencher formas de dimensões diversas e com alta densidade de armadura.

Além disso, outra evidente vantagem do CAA é que, devido à alta necessidade de finos na sua composição, tem incentivado o uso de resíduos industriais como adições minerais, ajudando a diminuir o impacto ambiental.

Apesar de suas inúmeras vantagens, no Brasil, o CAA ainda é pouco disseminado, sobretudo por conta de seu caráter inovativo, visto que os profissionais da construção civil ainda não dominam o uso do material. Outro evidente problema é que o custo do m³ do CAA produzido é maior do que o concreto convencional, isso leva a conclusão prévia de que sua aplicação tende a ser mais cara, apesar de não ser verdade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo sobre o estado-da-arte do concreto autoadensável, abordando a caracterização e a tecnologia, e levando em conta os seus aspectos técnicos e econômicos.

2.2. Objetivos específicos

- Descrever as principais diferenças entre o concreto autoadensável e o concreto convencional vibrado;
- Analisar e descrever os aspectos técnicos e econômicos relacionados à utilização do concreto autoadensável em obras;
- Identificar as principais vantagens do uso do concreto autoadensável em substituição ao concreto convencional vibrado.

3. METODOLOGIA

Para atingir o objetivo deste trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico com o objetivo de explorar estudos importantes realizados na área e, a partir desses, obter dados e informações que auxiliaram no desenvolvimento do trabalho.

Foram utilizados dados primários e secundários de fontes técnico-científicas como livros, teses e dissertações, normas e manuais, revistas periódicas e sites da internet, para analisar o uso de concreto autoadensável, sua viabilidade técnica e econômica.

A vantagem da pesquisa bibliográfica é que ela permite ao pesquisador abranger uma gama mais ampla de fenômenos do que seria possível através de pesquisas mais direcionadas (GIL, 2002).

Baseado nos objetivos gerais, o presente trabalho pode ser classificado como uma pesquisa descritiva e exploratória. Classifica-se como descritiva devido ao fato de proporcionar nova visão sobre o problema apresentado, focando na atuação prática, assumindo uma forma próxima a um levantamento. Seu caráter exploratório é demonstrado estimulando o leitor a estabelecer uma familiaridade com o tema, de modo a tornar o tema mais explícito e possibilitando construir hipóteses (GIL, 2002).

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Origem e Aplicações

Devido principalmente à falta de mão de obra qualificada e de equipamentos adequados à realização do adensamento do concreto em formas de alta complexidade e com altas taxas de armadura, surgiu nos laboratórios da Universidade de Tóquio, nos anos 80, um concreto especial capaz de se adensar de forma eficiente com ausência de vibração mecânica ou de meios externos de adensamento (CAVALCANTI, 2006).

Hajime Okamura, um dos responsáveis pela idealização do conceito, teria como objetivo principal solucionar os grandes problemas de durabilidade nas estruturas que estavam surgindo na época (OUCHI, 1999).

Ozawa e Maekawa, também pesquisadores da Universidade de Tóquio, foram os sucessores de Okamura e deram início aos estudos para desenvolvimento do concreto autoadensável (CAA), incluindo um estudo fundamental sobre a trabalhabilidade deste concreto (OKAMURA e OUCHI, 2003) .

A primeira utilização do CAA ocorreu também no Japão, em 1991, sendo utilizado nos tabuleiros, fundações e na torre da ponte estaiada Kiba Koen Ohashi (Figura 1a e 1b).

Figura 1 – Ponte Kiba Koen Ohashi, Tóquio, primeira obra conhecida executada em concreto autoadensável, vista terrestre (a) e vista aérea (b) .



(a)



(b)

Fonte: JCI, 2015.

Após esta aplicação, o uso do CAA foi aumentando progressivamente. Foi utilizado nas duas ancoragens da ponte Akashi-Kaikyo (Figura 2), conhecida por ser a ponte metálica com maior vão livre do mundo. Inaugurada em 1998, foi utilizado um método executivo em que se dependia do desempenho satisfatório do CAA, já que o concreto foi transportado por tubulações de 200 metros de comprimento e lançado através de válvulas distribuídas por essas tubulações. O concreto foi despejado a uma altura de 3 metros, sem sofrer segregação. Ao término da obra, concluiu-se que o uso do CAA reduziu o tempo de execução em 20%, de 2,5 anos para 2 anos (OKAMURA e OUCHI, 2003).

Figura 2 – Momento da concretagem da ancoragem 4A da ponte Akashi-Kaikyo, Kobe, Japão



Fonte: OKAMURA e OUCHI, 2003.

Os autores ainda destacam uma aplicação bastante relevante à época: a utilização do CAA para concretagem das paredes de um volumoso tanque de GNL (Figura 3), pertencente à companhia de gás de Osaka. Inaugurado em outubro de 2000, foram utilizados 10.000 m³ de concreto para a construção de um tanque de capacidade de 180.000 m³. Como resultado, o número de trabalhadores na concretagem foi reduzido de 150 para 50, enquanto o prazo de execução foi reduzido de 22 meses para 18 meses (NISHIZAKI, 2001; OKAMURA e OUCHI, 2003).

Apesar da difusão e do uso do CAA ter acontecido após a década de 80, sabe-se que o conceito teria surgido antes, pois em concretagens submersas já era utilizado concreto sem adensamento, já que a compactação se torna impossível. Esses concretos, antes da idealização e normatização do conceito do CAA, continham altos teores de pasta de cimento e aditivos plastificantes e certamente apresentam

problemas associados, como altos custos e patologias (BARTOS, 2000 *apud* TUTIKIAN, 2004).

Após a difusão no Japão, diversos países da Europa aprovaram a tecnologia e passaram a estudar e utilizar o CAA. Em 1997, a organização da *Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux e les Constructions* (RILEM) foi responsável por instituir o *TC 174 Technical Committee on SCC*, comitê internacional que reuniu 20 membros de quatro continentes, e foi responsável por reunir, analisar e apresentar recomendações e procedimentos para a recente conquista científica (CALADO *et al*, 2015; RILEM, 1999).

Figura 3 – Tanque de GNL, da Osaka Gas Company, construído com CAA, Osaka, Japão.



Fonte: NISHIZAKI, 2001

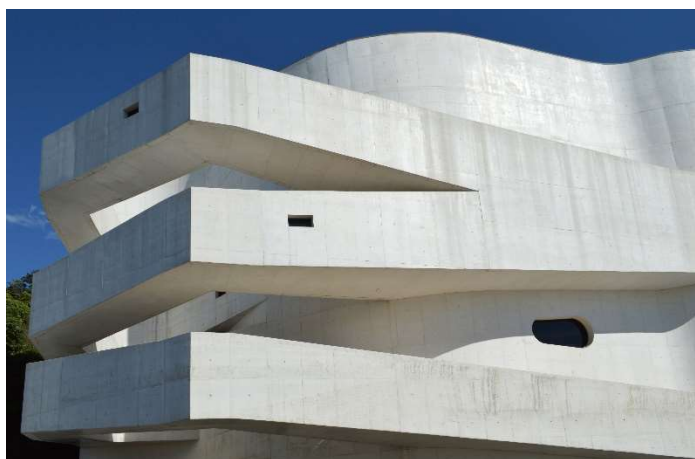
SÖDERLIND E CLAESON (2000, *apud* TUTIKIAN, 2004) descrevem aplicações diversas para o CAA na França e Suécia no final do século XX. Destaca-se o teste do material nas obras de *Bretonneau*, em 1999, na França e a construção do edifício comercial de sete andares *Norrköping*, na Suécia, em 1998, ocasião em que se utilizou cerca de 3000 m³ de CAA, no quais os cinco pavimentos superiores foram executados em concreto pré-moldado e os inferiores totalmente com CAA.

Em 2000, o CAA foi utilizado nos tubos coletores de água que passavam sob a auto-estrada A46, em Lyon, na França. Os antigos tubos, que se apresentavam deformados, foram substituídos por tubos de 110 centímetros de diâmetro, totalizando 120 m³ de CAA (BERNABEU e LABORDE, 2000 *apud* TUTIKIAN, 2004).

No Brasil, o CAA passou a ser largamente utilizado no início do século XXI, após se tornar tópic de grande interesse nos centros de pesquisas nacionais por apresentar desempenho satisfatório. Suas primeiras aplicações foram realizadas por empresas de construção com acompanhamento dos profissionais das universidades (TUTIKIAN, 2007). A primeira tese dentro do tema foi defendida apenas em 2007, por Bernardo Tutikian, no qual propunha um método de dosagem já adaptado para uso nacional.

Destaca-se, entre as aplicações no país, a execução do primeiro edifício residencial com CAA, ocorrida em 2004, em Goiânia (GEYER *apud* TUTIKIAN, 2005) e a fundação Iberê Camargo, em Porto Alegre, um museu que se destaca por sua imponente fachada executada em concreto branco (Figura 4) (SILVA FILHO *et al. apud* TUTIKIAN, 2005).

Figura 4 – Fachada da Fundação Iberê Camargo



Fonte: IBERÊ CAMARGO, s.d.

Em 2010, através do Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, o CB-18, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabeleceu os métodos de ensaio, recomendações, procedimentos para uso e controle dos CAA no país, apresentando a norma ABNT NBR 15823:2010 (CALADO *et al*, 2015).

Após a elaboração da norma brasileira, a difusão do CAA ocorreu com maior intensidade no país.

A construção da Arena Pernambuco, Recife, foi concebida para ter capacidade de até 46.105 pessoas, teve 40% do volume de concreto dos seus seis níveis de pavimentos executado em CAA. Um volume de aproximadamente 23.200 m³, sendo

usado principalmente nas estruturas moldadas *in situ*, além dos elementos pré-moldados (CALADO *et. al*, 2015).

A aplicação do CAA na indústria de pré-fabricados é mais desenvolvida, devido à facilidade do controle de qualidade do material neste ambiente. A falha de adensamento do CAA na indústria resulta em um descarte da peça executada, enquanto na aplicação *in situ* implica na demolição parcial ou total da estrutura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2021). PACIOS (*apud* TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2021) também destaca que a indústria de pré-fabricados tem um melhor entendimento sobre seus custos.

WALRAVEN (2005, *apud* TUTIKIAN, 2007) apresentou algumas aplicações do CAA em elementos pré-fabricados. Destaca-se o uso do material em tabuleiros de concreto protendido da estação de metrô do Amsterdã Arena, estádio de futebol do Ajax da Holanda (Figura 5). Foram executados 60 painéis de 23,30 metros de comprimento com $f_{ck} = 55$ MPa. A principal motivação para o uso do CAA foi o alto número de repetições das formas, representando grande melhoria econômica com o aumento da vida útil das formas.

Figura 5 – Elemento utilizado na estação de metrô do Amsterdã Arena.



Fonte: WALRAVEN, 2005, *apud* TUTIKIAN, 2007

O uso do CAA também foi importante na produção de elementos pré-fabricados em Denver, Estados Unidos. A utilização do CAA em pilares, vigas “T” e paredes arquitetônicas permitiu uma redução de 20% no tempo de concretagem somado a

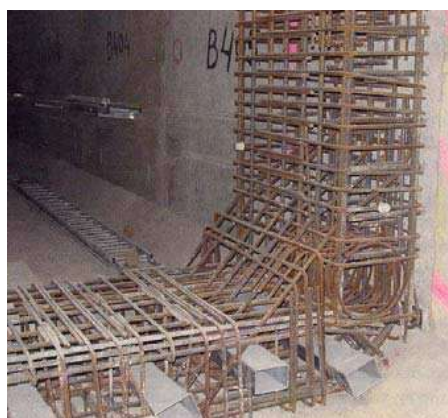
redução de 66% do número de trabalhadores, eliminação do ruído na concretagem e uma evidente melhoria no acabamento das peças (FERNANDEZ *et al.*, 2005).

O CAA também tem sido expressamente utilizado em recuperação de estruturas antigas, onde não é possível a utilização da vibração no adensamento do concreto, já que seu uso poderia acarretar falhas ou até a ruptura da estrutura a ser recuperada. TUTIKIAN (2007) cita a recuperação da ponte *Katelbridge* na Holanda (Figura 6a), realizada em 2002, na época com 45 anos de idade. Sua recuperação foi possível devido ao transporte do CAA por uma pequena janela que possibilitou a não interrupção do tráfego sobre ela. A Figura 6b ilustra as vigas e pilares densamente armados pelo qual o CAA precisou penetrar.

Figura 6 – Ponte recuperada *The Katelbridge*, na Holanda (a) e vista das armaduras (b).



(a)



(b)

Fonte: WALRAVEN, 2005, *apud* TUTIKIAN, 2007

Desde sua invenção, o CAA obteve alta aceitação entre os profissionais da engenharia, desenvolvendo rapidamente até se tornar tecnologia de alta relevância (SHINDOH e MATSUOKA, 2003). O material é relativamente novo, mas já provou oferecer significativas melhorias em função de seu emprego nas obras, principalmente no que diz respeito à redução do tempo de construção e custos (SKARENDAHL e PETERSEN, 1999, *apud* TUTIKIAN, 2004).

4.2. Conceitos e Generalidades sobre o CAA

MARANGON (2006) define o concreto autoadensável como um tipo de concreto que apresenta alta fluidez e coesividade, sendo capaz de atingir compactação total mesmo na presença de densa armadura.

Com grande potencial de desenvolvimento no mercado, o CAA representa uma das áreas com grande relevância na tecnologia do concreto, pois quando aplicado de forma adequada, torna-se uma solução satisfatória (FERNEDA, 2014).

Segundo TUTIKIAN (2007), concreto autoadensável (CAA) é o termo que descreve o material cimentício capaz de ser moldado em formas, e que, diferentemente do concreto convencional, preenche todos os espaços apenas com seu peso próprio, sem necessidade de compactação ou vibração.

O autor também aponta que um concreto pode ser considerado autoadensável se cumprir três requisitos simultaneamente: a fluidez, a habilidade passante, e a resistência à segregação. Ele define fluidez e habilidade passante como a capacidade da mistura de preencher todos os espaços vazios dentro das formas e escoar plenamente através das barras de aço sem perder coesão.

EFNARC (2002) descreve resistência à segregação como a habilidade do concreto se manter estável ao fluir nas formas, em outras palavras, é a capacidade de manter os agregados e o aglomerante igualmente dispersos na mistura enquanto é adensado.

KLUG (2003) afirma que as propriedades do concreto autoadensável estão mais associadas ao estado fresco, logo as propriedades no estado endurecido têm sido pouco estudadas.

No que diz respeito às características do CAA no estado endurecido, são poucas propriedades mecânicas que efetivamente se diferenciam do concreto convencional vibrado (CCV). O comportamento do CAA na compressão e o avanço da resistência à compressão com a idade é similar ao CCV, se comparado o concreto produzido com os mesmos componentes, sendo relacionados apenas à dosagem e combinação adequada dos componentes, bem como a escolha do cimento e relação água/cimento (REPETTE, 2011).

Apesar disso, EFNARC (2005) afirma que a ausência de vibração no CAA pode acarretar melhorias nas zonas de transição entre a pasta e o agregado, que se caracterizam por ser uma região de fragilidade no concreto.

No geral, o concreto autoadensável tem sua composição baseada nos mesmos materiais utilizados na produção do CCV (cimento, água, agregados, adições e aditivos), com uma diferença nas proporções entre os materiais. O CAA, de forma genérica, possui um menor teor de agregados graúdos e maior quantidade de finos na mistura.

Da mesma forma que o CCV, o CAA pode ser dosado em central de concreto ou em canteiro de obras, com rigorosa atenção e controle aos materiais utilizados, já que o CAA é mais sensível às variações de qualidade e uniformidade dos materiais do que o CCV (BARBOSA *et al*, 2017).

4.2.1. Cimento

Não existem limitações quanto ao tipo de cimento a ser utilizado na mistura, sendo seu critério de escolha, da mesma forma que o concreto convencional, definido pela disponibilidade ou outros critérios técnicos.

Por necessitar de maior teor de finos para a estabilidade, cada vez mais tem se usado cimento com maiores teores de materiais pozolânicos ou com efeito *filler* no cimento. O aumento do teor de finos no cimento aumenta a demanda de água para completa hidratação, e conseqüentemente, a retração por secagem. No entanto, o uso de materiais pozolânicos contribui positivamente no processo de formação dos produtos hidratados do cimento, que conferem resistência ao material endurecido (TUTIKIAN, 2007).

4.2.2. Agregados

TUTIKIAN (2004) afirma que além da granulometria, a forma dos agregados é mais preponderante para a dosagem adequada do CAA. Deve-se priorizar a escolha de agregados arredondados, lisos e com menor diâmetro, a fim de melhorar o empacotamento e, conseqüentemente, diminuir os efeitos da segregação na mistura.

O agregado miúdo utilizado no CAA também pode ser o mesmo utilizado na produção do concreto convencional, sendo sua escolha relativa principalmente à demanda de água, tendo em vista sua importância nas propriedades de fluidez e coesão do concreto produzido (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

Em relação ao agregado graúdo, existem recomendações quanto a limitar seu volume, já que tamanho e forma influenciam diretamente na habilidade passante e na fluidez, parâmetros que caracterizam o CAA. A diminuição do diâmetro dos agregados e o uso de materiais com formas menos obtusas levam a diminuição do atrito interno da mistura e possibilitam o adensamento do concreto nas formas sem obstrução. É recomendado que seja utilizado cerca de 30% de agregado graúdo em relação ao volume de concreto e que a dimensão máxima característica esteja em torno de 16 a 20 mm (GOMES E BARROS, 2009; EFNARC, 2002).

4.2.3. Aditivos

O desenvolvimento do CAA tornou-se possível devido à difusão da tecnologia dos superplastificantes. Esses aditivos são polímeros tensoativos de cadeia longa, solúveis em água, com massa molecular elevada e número elevado de grupos polares em sua cadeia. Quando acrescentados à mistura, devido a sua elevada polaridade, ligam-se, através de forças intermoleculares, com as partículas de cimento e geram repulsão interna no concreto fresco, reduzindo o atrito interno e favorecendo o escoamento da mistura, permitindo assim a redução da quantidade de água necessária (MEHTA E MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 2016).

As propriedades do CAA são geralmente obtidas através do uso de aditivos superplastificantes de 3ª geração, à base de policarboxilatos, que quando adicionados na ordem de até 1% em relação à massa de cimento, possibilitam reduzir a quantidade de água na mistura em até 20%, podendo alcançar resultados de abatimento elevados, sem causar exsudação excessiva e retardamento do tempo de pega. Com o uso de composições adequadas, permite-se atingir maiores resultados de resistência à compressão aos 28 dias se comparado ao mesmo concreto sem o uso do aditivo (NUNES, 2001; EFNARC, 2002; CAVALCANTI, 2006; CALADO, 2015).

Apesar de suas características, um erro na dosagem dos superplastificantes pode acarretar riscos de segregação e perda de resistência à compressão. Sabendo disso, é indispensável que a adoção do uso do material seja acompanhada por uma caracterização e estudo de compatibilidade dos materiais, já que a incorporação também afeta importantes características do concreto fresco e endurecido, tais como: hidratação, porosidade, retração, tempo de pega, entre outros (RONCERO, 2000; CAVALCANTI, 2006).

EFNARC (2002) cita outros tipos de aditivos que podem ser incorporados à mistura se necessário, como os agentes modificadores de viscosidade para garantia da estabilidade e controle da segregação, aditivos incorporadores de ar, em países que alcançam temperaturas abaixo de zero, para melhor a resistência no ciclo gelo-degelo ou até aditivos retardadores de pega.

4.2.4. Adições

MEHTA E MALHOTRA (1996) apontam que o uso de adições minerais provenientes de resíduos industriais traz não só benefícios ao meio ambiente, evitando que o material seja lançado no ambiente sem finalidade, como também gera redução no custo do m³ do concreto, com a substituição parcial do cimento, além de benefício tecnológico, com o aumento da viscosidade, e consequentemente aumento da resistência à segregação e/ou exsudação.

Classifica-se as adições em dois grupos, conforme sua atuação no concreto, podendo ser ambas utilizadas na produção do CAA: as adições predominantemente inertes (API) e as adições predominantemente reativas (APR). O primeiro grupo, representam os componentes que não tem participação efetiva no processo de hidratação do cimento. No entanto, têm ação física, proporcionando compacidade à mistura por meio da melhoria no empacotamento dos grãos. São alguns exemplos: fíleres calcários, quartzo e resíduos de serragem de mármore e granito. Já as APR têm efeito químico, com contribuição positiva na formação dos produtos de hidratação do cimento, visto que o material reage na mistura. São alguns exemplos: pozolanas, cinza volante, cinza de casca de arroz, cinzas da queima de bagaço de cana de açúcar, sílica ativa e metacaulim (CAVALCANTI, 2006).

ALCANTARA *et al.* (2004) afirma que os finos adicionados ao concreto são importantes para alcançar as características reológicas pretendidas no estado fresco. A utilização de adições muito finas provoca efeito “fíler” no concreto, ou seja, de redução do volume de vazios. Além disso, a utilização de adições reativas favorece a produção do silicato de cálcio hidratado. Em geral, no estado fresco, o aumento do teor de adições provoca aumento da coesão e redução da segregação e exsudação.

De forma genérica, as adições utilizadas na produção do CAA, necessárias para melhoria da coesão e redução da segregação dos materiais são finos minerais, inertes ou pozolânicos (PERIUS, 2009).

No CAA, a dimensão das partículas das adições tem grande influência nas propriedades do material. ESPING (2003) afirma em seus estudos que o aumento da superfície específica dos grãos, a elevada quantidade de fíleres e agregados de baixa granulometria tem ação positiva na melhoria da trabalhabilidade e no controle das propriedades do CAA.

No entanto, a granulometria ideal dos finos indicada para o uso no CAA varia de autor para autor. TRAGARDH (1999) informa que a aplicação de finos com diâmetro de até 125 μm tem grande influência na microestrutura do CAA. BARTOS *et. al* (2000, *apud* TUTIKIAN, 2004) registra a efetiva utilização de misturas com alto teor de finos com diâmetro de até 150 μm , a partir de escórias de alto forno. WESTERHOLM (2003) constata que os resultados utilizando teor de finos na faixa granulométrica de 0 μm – 75 μm e 75 μm – 125 μm são similares. Já KHAYAT *et. al* (1999) afirma que o uso de finos com diâmetro máximo de 80 μm resultam em melhores parâmetros de viscosidade e coesão da mistura.

Fato é que a faixa granulométrica das adições utilizadas deve ser previamente estudada e compatibilizada com a relação a/f (água/finos), parâmetro importante na dosagem do material. EFNARC (2002) indica que a relação a/f deve estar na faixa de 0,9 a 1,1.

4.3. Caracterização do CAA

4.3.1. Classificação reológica

Diversos autores já desenvolveram suas pesquisas visando classificar o comportamento reológico do CCV no estado fresco. Sabe-se que o concreto consiste em uma concentração de partículas sólidas agregadas em suspensão em uma matriz, que é a pasta de cimento, apresentando característica de material compósito (CASTRO, 2011).

Na literatura, o material é classificado como um fluido Não-Newtoniano complexo, que possui tensão de escoamento e viscosidade que mudam com o tempo, à medida que o concreto endurece. Sabendo disso, os pesquisadores aproximam, com inúmeras evidências, o comportamento do concreto fresco para um fluido do tipo viscoplástico de Bingham (CASTRO, 2007; FAVA & FORNASIER, 2004; FERRARIS, 1999 *apud* CASTRO, 2007; TATTERSAL, 1991 *apud* CASTRO, 2007; ZERBINO & BARRAGÁN, 2007). O modelo de Bingham é representado pela Equação 1.1:

$$\sigma = \sigma_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}$$
Equação 1.1

Sendo:

σ : Tensão de cisalhamento

σ_0 : Tensão de escoamento

η : Viscosidade plástica

$\dot{\gamma}$: Taxa de escoamento

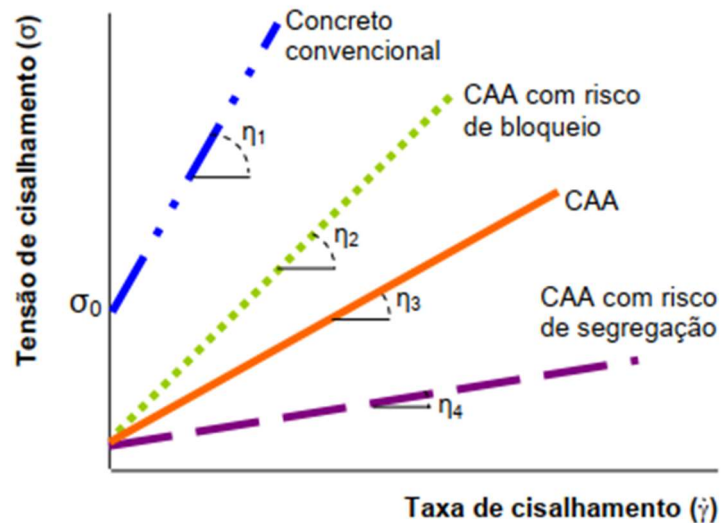
O comportamento de um fluido no modelo de Bingham se resume a caracterização da tensão de escoamento (σ_0) e viscosidade plástica (η). A tensão de escoamento se relaciona ao abatimento, de modo que, quanto maior o seu valor, menor a fluidez. Já a viscosidade plástica descreve a trabalhabilidade do concreto, sendo que, se muito alta, caracteriza um concreto bastante coeso e difícil de ser bombeado, e vice-versa. No concreto, as duas variáveis aumentam com a evolução do tempo (LARRARD & SEDAN, 2002 apud CASTRO, 2007).

As características do CAA são invariavelmente determinadas pelas constantes reológicas anteriormente descritas. O CAA é diferenciado do CCV, do ponto de vista reológico, se cumprir dois requisitos (FAVA & FORNASIER, 2004):

- a) Mínimos valores para tensão de escoamento (σ_0), de forma que o comportamento do concreto se aproxime de um fluido do tipo Newtoniano, ou seja, o material deve apresentar fluidez elevada, permitindo a compactação apenas com seu peso próprio;
- b) Um valor moderado para a viscosidade plástica (η), já que a aplicação de um concreto com η elevado implica em uma redução da trabalhabilidade, levando ao aparecimento de obstruções e deficiências de autoadensamento. Da mesma forma, a utilização do concreto com baixos valores para η poderia resultar em falta de estabilidade, causando segregação no concreto.

A Figura 7 representa as curvas esquemáticas para a função $\sigma(\dot{\gamma}) \times \dot{\gamma}$, para diferentes concretos.

Figura 7 - Curva de fluxo comparativos do CCV e CAA.



Fonte: ALENCAR, 2008

4.3.2. Caracterização do CAA no estado fresco

Em função das propriedades requeridas para o CAA, os ensaios aplicáveis para caracterização no estado fresco visam avaliar características de fluidez, viscosidade, habilidade passante e coesão. Como as propriedades citadas não são independentes entre si e estão correlacionadas, os métodos propostos avaliam algumas das propriedades simultaneamente. O conjunto de equipamentos para avaliação da trabalhabilidade do CAA foi totalmente desenvolvido para o novo tipo de concreto (TUTIKIAN, 2007).

4.3.2.1. *Slump flow*

O *Slump Flow Test* (ou ensaio de espalhamento) permite medir, após retirada do molde de forma troncônica (

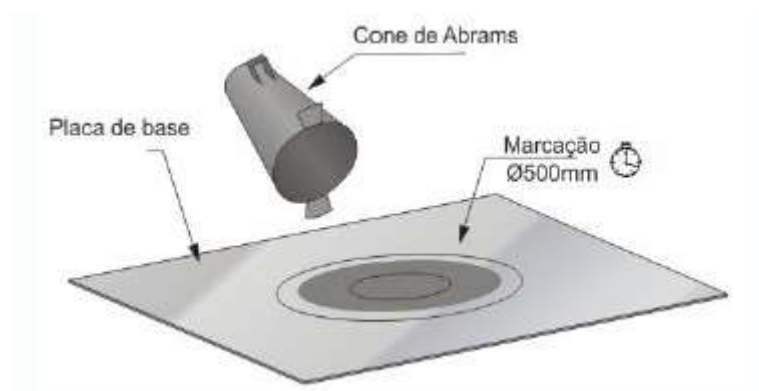
Figura 8), o diâmetro final da amostra. Além disso, o ensaio mede também o tempo que o diâmetro de espalhamento leva para atingir 500 mm.

A ABNT NBR 15823 (2010) classifica o CAA avaliado em três classes, são elas:

- a) SF1, cujo diâmetro de espalhamento está entre 550 e 600 mm, definido para ser utilizado em estruturas não armadas, em concreto autoadensável bombeado ou para estruturas com curtos espalhamento horizontais.

- b) SF2, cujo diâmetro de espalhamento está entre 600 e 750 mm, adequado para aplicações correntes;
- c) SF3, cujo diâmetro de espalhamento está entre 760 e 850 mm, adequado para estruturas com altas densidades de armadura, formas curvas e/ou complexas, restrito para ser utilizado com agregado graúdo com $D_{\text{máx}}=12,5\text{mm}$.

Figura 8 – Ensaio de Slump Flow

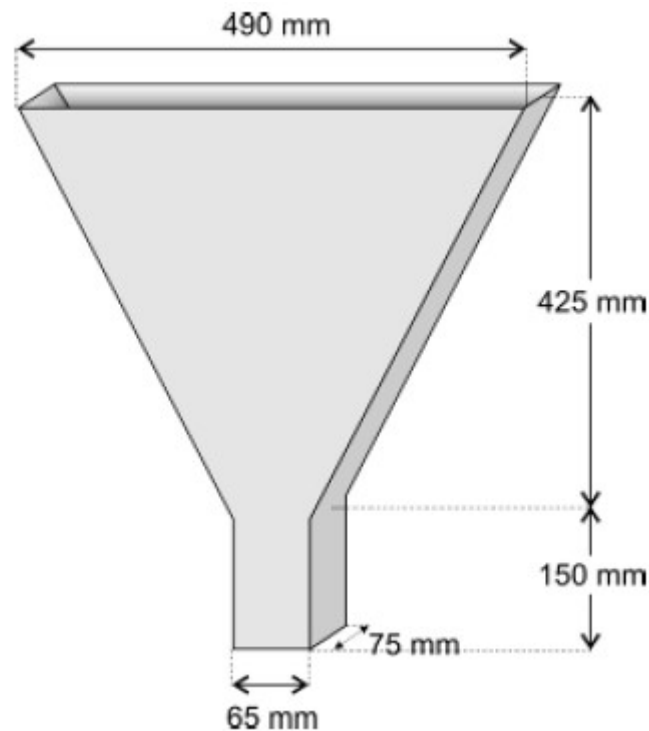


Fonte: PETRY, 2015

4.3.2.2. Funil V

O ensaio do funil V mede, de forma indireta, a viscosidade aparente do material, de forma que este parâmetro é definido pelo tempo em que o concreto leva a fluir pelo molde, em forma de funil. O resultado pode também ser retirado do *Slump Flow Test*, já que a norma NBR 15823 (ABNT, 2010) se empenha em fazer as equivalências de tempo entre os dois ensaios para caracterizar o material.

A Figura 9 indica as dimensões do molde para realização do ensaio. A ABNT NBR 15823 (2010) classifica o concreto avaliado em duas categorias, conforme mostra a Tabela 1.

Figura 9 – Ensaio de Funil V

Fonte: PETRY, 2015

Tabela 1 – Classificação do CAA quanto à viscosidade aparente.

Classe de viscosidade aparente	T_{500} (s)	Funil-V (s)	Aplicação	Exemplo
VS1 / VF1	≤ 2	≤ 8	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação. Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.	Lajes, paredes diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente.
VS2 / VF 2	> 2	9 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as fôrmas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outras.

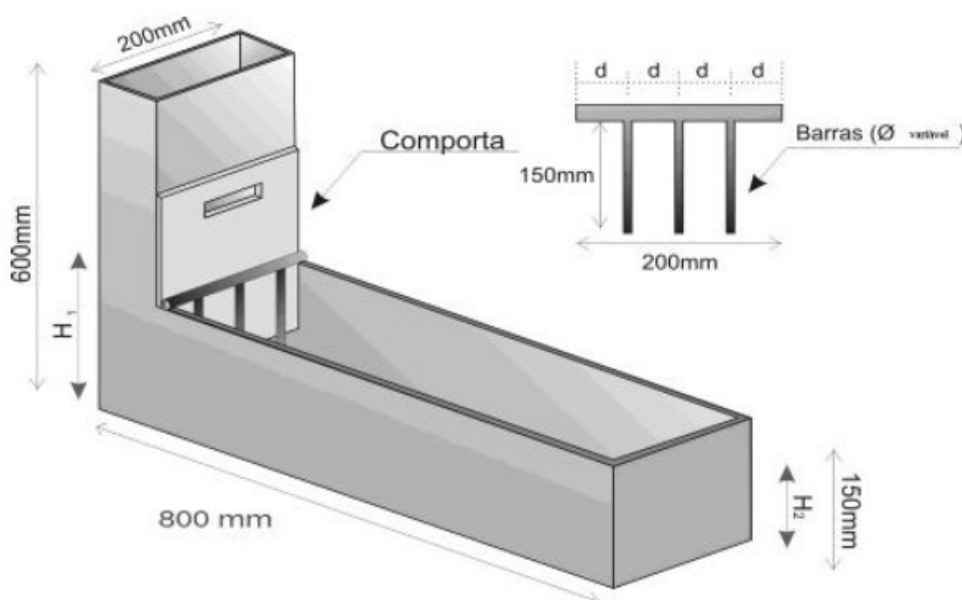
Fonte: ABNT NBR 15823 (2010)

4.3.2.3. Caixa L

O teste de caixa L, também descrito pela norma NBR 15823 (ABNT, 2010), consiste na verificação da habilidade passante do CAA. Esta verificação caracteriza a capacidade do concreto fresco fluir através de aberturas estreitas, como os espaços entre as barras de aço, sem manifestar segregação.

O concreto é inserido no molde, na abertura superior, com a comporta fechada. Após a comporta, na entrada do canal, são inseridas duas ou três barras com distâncias padronizadas de 58 ± 1 mm ou 40 ± 1 mm, respectivamente, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Ensaio de Caixa L



Fonte: PETRY, 2015

O ensaio consiste em, após a abertura da comporta, ao término do adensamento do concreto no canal, aferir as alturas H_1 e H_2 , sendo respectivamente, a altura da lâmina de concreto no início e no fim do canal. A habilidade passante é estimada pela razão entre H_2 e H_1 . A NBR 15823 (ABNT, 2010) determina que a razão H_2/H_1 deve ser maior ou igual a 0,8.

4.4. Viabilidade técnica e econômica

Com o desenvolvimento do concreto autoadensável, a construção civil passou a ter diversos ganhos diretos e indiretos. Como principais vantagens do uso do CAA podem ser citadas (BORRONI, 2006; MAAGE, 2005; OKAMURA, 2000; TUTIKIAN, 2004):

1. Permite maior agilidade na construção, já que a etapa de concretagem se resume ao lançamento nas formas, pois não há necessidade de adensamento mecânico por vibração;
2. Não havendo necessidade de adensamento mecânico, dispensa-se a mão de obra exclusiva para vibração durante lançamento e adensamento;
3. Dispensando mão de obra para esse serviço, melhora as condições de segurança do trabalho, atenuando os riscos de queda, problemas ergonômicos e audição dos colaboradores;
4. Não havendo vibração, elimina-se o ruído gerado por esta etapa da concretagem;
5. O acabamento da superfície tende a ser melhor e mais uniforme, já que a elevada fluidez leva ao preenchimento da forma com maior qualidade, sendo inclusive recomendado para concretagem de elementos de concreto aparente;
6. Evita o aparecimento de falhas na concretagem, as chamadas “bicheiras” em vocabulário de obra, que são grandes vazios em locais carecidos de vibração durante a concretagem, aumentando assim a durabilidade das estruturas e eliminando retrabalhos.
7. Permite a concretagem de uma diversidade de formas, sem limitação de seção de peças, curvas, esbeltez, e taxas de armadura, sendo inclusive recomendado em locais de difícil acesso.
8. Facilita o bombeamento do material em grandes distâncias horizontais e verticais;
9. Com a necessidade do teor de finos elevado, possibilita utilizar resíduos industriais em sua composição, como cinzas, sílica e escórias de alto forno, contribuindo para diminuição do impacto ambiental;
10. Pode reduzir substancialmente os custos finais da execução, se somar os ganhos supracitados.

BARBOSA *et al.* (2017) argumentam que o CAA também possui a vantagem de atender com maior rigor e qualidade as propriedades especificadas em projeto, já que o produto final não depende do processo de adensamento, diferentemente do concreto convencional.

Apesar de poder ser utilizado em qualquer situação de concretagem, BERNABEU (2000, *apud* TUTIKIAN, 2004) e CAMARGOS (2002) apontam que o uso do CAA é fortemente indicado em algumas situações específicas: quando se tem dificuldade para o adensamento do concreto convencional pela dimensões das formas ou pela alta densidade de armadura. Além disso, é muito indicado para os casos cuja concepção arquitetônica utiliza os elementos de concreto armado de forma aparente já que se produz uma superfície visivelmente melhor acabada. Os autores ainda indicam o uso do material para estruturas de fundações executada por hélice contínua, paredes, vigas e colunas, paredes diafragma, estações de tratamento, reservatórios de água, piscinas, entre outras.

COPPOLA (2000, *apud* TUTIKIAN, 2004) afirma que o aumento da resistência à segregação e da fluidez do material proporcionam a eliminação de falhas que comprometem o desempenho e a durabilidade das estruturas, devido à eliminação de bolhas de ar e falhas de concretagem.

KHAYAT *et. al* (2007) informa em suas pesquisas que concretos com maiores teores de finos, relação água/aglomerante ou teor de superplastificantes tendem a exercer maior pressão lateral nas formas, logo, surge a necessidade das formas utilizadas para concretagem do CAA serem mais bem vedadas e enrijecidas, já que estão sujeitas à grande pressão lateral no estado fresco.

VIEIRA (2013) apresentou em suas pesquisas algumas vantagens, dentre elas, o autor destaca a redução da porosidade do concreto, assim como os nichos de concretagem, já que o concreto deve preencher todo o espaço das formas.

TUTIKIAN e DAL MOLIN (2008) apontam que não há investimento inicial para implantar o concreto autoadensável nas edificações, já que os recursos e ferramentas utilizados para confecção do concreto convencional é o mesmo, sendo possível inclusive eliminar o vibrador da lista de equipamentos necessários.

Apesar dos estudos comprovarem a eficácia do uso do concreto autoadensável na redução dos custos de uma obra de forma geral, se analisado individualmente, o custo unitário de concreto é maior que o custo do concreto vibrado, isso acontece devido ao maior teor de pasta, associado ao teor de finos elevado no CAA, tornando-

se assim um impedimento na escolha desse material em uma obra. Em contraponto, seu uso permite a redução de custos indiretos que geralmente não são mensurados, como a redução do índice de acidentes de trabalho e afastamento dos colaboradores, devido à melhoria nas condições de trabalho (COUTINHO, 2011).

BARBOSA *et. al* (2010) apontam diversas evidências que mostram a diminuição de custos gerais com o emprego do CAA, entre elas, seu uso na construção do Residencial Pateo São Paulo, mostrado na Figura 11, na capital paulista, no qual, notou-se que o tempo de concretagem caiu pela metade utilizando o mesmo número de funcionários.

Figura 11 – Residencial Pateo São Paulo, São Paulo - SP



Fonte: LOFT

O mesmo pôde ser observado na reforma com ampliação do Shopping Flamboyant, em Goiânia (BARBOSA *et. al*, 2010).

BARETTA e PIOVESAN (2019) afirmam que a simples mudança para o material beneficia os parâmetros de produtividade das empresas, devido a agilidade no procedimento de moldagem.

COSTA e CABRAL (2019) apontam em seus estudos que o tempo de concretagem, se considerado eventuais paradas pode ser reduzido em até 84,5%, e a quantidade de mão de obra dedicada pode ser reduzida em 42,5%, proporcionando uma melhoria na produtividade da concretagem de 60,7%.

5. DISCUSSÃO

O desenvolvimento de novas soluções na construção civil para atender as diferentes necessidades e desafios que surgem têm se mostrado inovativos e suficientes para substituir as técnicas convencionais.

No que diz respeito ao uso do novo tipo de concreto, a falta de conhecimento técnico e o caráter inovativo do material estudado ainda é um fator limitante na escolha e uso do material.

A composição utilizada no CAA é similar à utilizada para fabricação do concreto convencional, com uma sensível diferença na dosagem, visto que o CAA necessita de um teor de finos maior, aditivos e adições minerais.

O aumento do teor de finos e de adições na dosagem do CAA leva ao aumento do teor de pasta, o que acarreta um aumento do custo unitário de concreto. Entretanto, fica evidente que se considerado os custos de mão de obra direta e os custos indiretos relacionados à mão de obra direta, como segurança do trabalho, o custo final da obra em que se utiliza o concreto autoadensável é menor.

Outro fator é, por dispensar o uso de equipamentos vibradores no adensamento, a aplicação de CAA elimina os fatores associados ao seu uso nas obras, como o custo para aquisição e manutenção desses equipamentos, diminuição do ruído gerado nesta etapa, diminuição de problemas ergonômicos e aumento da durabilidade das fôrmas.

Ainda pode ser considerado que a facilidade da concretagem em locais de difícil acesso e com altas taxas de armadura leva à diminuição do tempo de concretagem e eliminação de retrabalhos.

Considerando todos os fatores acima citados, é possível concluir também que a produtividade no canteiro de obras aumenta, logo, o prazo de execução também é reduzido, reduzindo-se também os custos com mão de obra indireta.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a utilização do concreto autoadensável oferece redução de custos e o aumento da produtividade, aproximando a construção civil para uma forma de produção industrializada.

Sendo um concreto de alta fluidez, capaz de moldar em formas sem a necessidade de intervenção humana ou mecânica, oferece um produto final mais próximo às especificações de projeto, com maior confiabilidade e durabilidade.

Além disso, a utilização de maiores teores de finos se dispõe à aplicação de diversos resíduos industriais à mistura, tendo um impacto ambiental positivo.

Portanto, é conclusivo que a utilização do concreto autoadensável em substituição ao concreto convencional vibrado representa um ganho de desempenho técnico e financeiro para a obra, comprovando desta forma, sua viabilidade técnica e econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA, M.A.M; LORRAIN, M.; BARBOSA.M.P. **A avaliação da influência da posição da armadura no desenvolvimento das tensões de aderência na interface entre o concreto auto-adensável e a armadura**. In: 48, Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, 2004. Anais. IBRACON, 2004, p.76-90.
- ALENCAR, Ricardo dos Santos Arnaldo de. **Dosagem do concreto auto-adensável: produção de pré-fabricados**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. doi:10.11606/D.3.2008.tde-19092008-161938. Acesso em: 16 dez. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823: Concreto autoadensável**. Rio de Janeiro, 2010.
- BARBOSA, Flávio Alchaar; CABRAL, Stênio Cavalier; DOS SANTOS, Letícia Mendonça; SATHLER, João Eduardo Versiani. **COMPARATIVO DO CONCRETO CONVENCIONAL CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL**. Revista Vozes dos Vales-UFVJM - MG- Brasil - N.12 - VI - 10/2017. Reg.: 120.2.095-2011- UFMJM - QUALIS/CAPES-LATINDEX-ISSN:2238-2238-6424. Disponível em: <http://www.ufvjm.edu.br/vozes>. Acesso em: maio. 2022.
- BILLBERG, P. **Self-Compacting Concrete for Civil Engineering Structures – The Swedish Experience**. In: S. C. C. R. I. 1-77. Stockholm, 1999. Disponível em: https://www.academia.edu/564922/Development_of_self_compacting_concrete Acesso em: 24 jun. 2022
- BORRONI, M., **Self compacting concrete for high performance structures**, In: Proceedings, 2nd fib International Congress, Naples, Italy, 2006. Disponível em: <https://www.buzziunicem.com/documents/20143/303485/Self+Compacting+Concrete+for+high+performance+structures.pdf/e1aee4a0-ed33-7af2-cfb6-6d62af748232> Acesso em: 16. nov 2022
- CALADO, C. *et al.* **Concreto Auto-Adensável (CAA), Mais do que Alternativa Ao concreto Convencional (CC)**. Recife: Editora da Universidade de Pernambuco, 2015.
- CAMPOS, Christopher Augusto. **Aplicação de concreto auto-adensável em lajes moldadas in loco – estudo de caso no setor de edificações**. 2013. 126 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, UFMG, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9LEJQK/1/monografia___ufmg.pdf. Acesso em: 15 out. 2022.
- CASTRO, A. L. de; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. **Reologia de concretos de alto desempenho aplicados na construção civil: revisão**. Cerâmica [online].

2011, v. 57, n. 341, pp. 63-75. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0366-69132011000100009>> Acesso em: 15 dez. 2022.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Estrutural, Universidade Federal de Alagoas, Maceró, 2006. Disponível em: https://ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgec/dissertacoes_arquivos/Dissertacoes/Diogo%20Jatoba%20de%20Holanda%20Cavalcanti.pdf. Acesso em: 24 out. 2022.

COSTA, A. C. S. de S.; CABRAL, A. E. B. **Estudo comparativo entre o concreto autoadensável e o concreto convencional vibrado em obra vertical**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 289-301, out./dez. 2019. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000400356>. Acesso em: 22 nov. 2022

COUTINHO, B. S.; **Propriedades e Comportamento Estrutural do Concreto Auto-Adensável**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011 Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/BiancaSerraCoutinho.pdf. Acesso em: 26 set. 2022

EFNARC. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. The European Guidelines for Self Compacting Concrete, n. May, p. 63, 2005. Disponível em: <https://anfah.org/wp-content/uploads/pdf/articulo-tecnico-scc-guidelines-may-2005.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2022

ESPING, O. Methods for characterization of fillers and fines for self-compacting concrete. O. Wallevik and I. Nielsson. In: **International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete**, 3st, 2003, Reykjavik. Proceedings... France: RILEM Publications, 2003, p.208-219 Disponível em: https://www.rilem.net/publication/publication/38?id_papier=4196. Acesso em: 30 mai. 2022

EUROPEAN PROJECT GROUP, 2005. **The European Guidelines for Self Compacting Concrete**. Specifications, Production and Use. European Project Group, 2005. Disponível em: https://www.theconcreteinitiative.eu/images/ECP_Documents/EuropeanGuidelinesSelfCompactingConcrete.pdf. Acesso em: 06 nov. 2022.

FERNANDEZ, P.; LUCIANO, J.; CONSTANTINER, D. Successful implementation of SCC in a precast operation-A case study. In: **Fourth International RILEM Symposium on Selfcompacting Concrete**. Chicago, EUA, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314174398_SUCCESSFUL_IMPLEMENTATION_OF_SCC_IN_A_PRECAST_OPERATION-A_CASE_STUDY. Acesso em: 25 set. 2022

FERNEDA, Cristina Mônica. **Estudo do Desenvolvimento de Concreto Auto-Adensável com areia artificial em pré-fabricados**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, no Curso Superior de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR, Pato Branco, 2014. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14369> Acesso em: 12 ago. 2022

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002

GOMES, P.C.C.; BARROS, A.R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo-SP, 2009.

_____. JAPAN CONCRETE INSTITUTE. **Ponte do Parque Kiba**. Tóquio. 2015. Disponível em: https://www.jci-net.or.jp/photo/archive/detail_db.php?id=168&page=6. Acesso em: 06 nov. 2022.

KHAYAT, K.H; HU, C.; MONTY, H. **Stability of self-consolidating concrete, advantages, and potencial applications**. Edição: A. Skarendhal; Petersson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 1st, 1999, Stockholm. **Proceedings...** France: RILEM Publications, 1999, p.143-152. Disponível em: https://www.rilem.net/publication/publication/12?id_papier=1287 Acesso em: 10 out. 2022

_____. LOFT. Disponível em: <https://loft.com.br/condominio/pateo-sao-paulo-vila-andrade-sao-paulo-sp/vy3xha> Acesso em: 12 jan. 2023

MAAGE, M., Self-compacting concrete (SCC) – development and practical application in Norway”, In: **Proceedings. IV International ACI/CANMET Conference on Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing**, Olinda, Pernambuco, 2005, p.87-97.

MARANGON, Ederli. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensáveis reforçados com fibra de aço**. 2006. Dissertação – Programa de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2006-1/1649-ederli-marangon-mestrado/file> Acesso em: 01 nov. 2022

MEHTA.P.K.; MALHOTRA, V.M. **Pozzolanic and cimentitious materials.**, 1996, p.428. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781482296761>

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed.** Nicole Hasparyk; Paulo Helene & Vladimir Paulon (Rev. & Trad.). São Paulo, IBRACON, 2008. 674 p. ISBN 978-85-98576-12-1.

NISHIZAKI, T., Osaka Gas Company. **Largest Aboveground Pc Lng Storage Tank In The World, Incorporating The Latest Technology— Construction Cost Reduction And Shortening Of Work Period By Employing New Construction**

Methods. 2001. Disponível em: <https://www.osakagas.co.jp/en/rd/technical/>. Acesso em: 06 nov. 2022

NUNES, S.C.B. **Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades.** Pós Graduação em Estruturas de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto. 2001, p.198. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11114/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 04 mai. 2022

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912p.

OKAMURA, H. Self-compacting High-performance concrete. In: **Concrete International**, v.19, n.7, p. 50-54, jul 1997.

OKAMURA, H.; OUCHI, M., **Self-compacting concrete**, Journal of Advanced Concrete Technology, v.1, n.1, 2003, p.5-15. Disponível em: https://www.j-act.org/headers/1_5.pdf. Acesso em: 02 abr. 2022

OUCHI, M., **State-of-the-art report on self-compactability evaluation**, Proceedings of the international Workshop on Self-Compacting Concrete, Kochi, Japão, Março 1999, Também disponível em Concrete Engineering Series, No. 30, Japan Society of Civil Engineers, March 1999. Disponível em: http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter41/Newsletter41_files/data/technology/HPC.pdf

PEDROSO, F.L.; Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. In: **Revista Concreto & Construções.** Ed. IBRACON. n. 53. São Paulo, p. 14-19, 2009. Disponível em: http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf. Acesso em: Maio 2022

PERIUS, Gustavo R. - **Influência das propriedades físicas de agregados reciclados sobre a retração por secagem em concreto auto-adensável.** 2009. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93057/276667.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: Junho 2022

PETRY, F. **Análise e otimização do método de dosagem Repette-Melo para concreto autoadensável através do modelo de empacotamento compressível de partículas (MEC).** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, Santa Catarina, 2015. 103p. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/133798/TCC_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 nov. 2022

RILEM, SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 1st, 1999, Stockholm. **Proceedings...** France: RILEM Publications, 1999, p.175-185. Disponível em: <https://www.rilem.net/publication/publication/38> Acesso em: 02 jun. 2022

RONCERO, J. **Effect of superplasticizers on the behavior of concrete in the fresh and hardened states: Implications for high performance concretes.** 2000, 189.p. Tese – Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

SHINDOH, T.; MATSUOKA, Y. **Development of combination-type self-compacting concrete and evaluation test methods.** In: Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, n 1, p.26-36. 2003. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/1/1/1_1_26/_article Acesso em: 12 dez. 2022

TRAGARDH, J. **Microstructural features and related properties of selfcompacting.** Edição: A. Skarendhal; Petersson. In: INTERNATIONAL RILEM, Janeiro, 1999. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268505326_microstructural_features_and_related_properties_of_self-compacting_concrete Acesso em: 19 nov. 2022

TUTIKIAN, B.F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** 2004. 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3918/000450678.pdf> Acesso em: 11 abr. 2022

TUTIKIAN, B.F. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis.** 2007. Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11309> Acesso em: 05 abr. 2022

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto autoadensável.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2015.

WESTERHOLM, M.; LAGERBLAD, B. **Influence of fines from crushed aggregate on micro-mortar rheology.** Edição: O. Wallevik and I, Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 3st, 2003, Reykjavik. **Proceedings...** France: RILEM Publications, p.165-173, 2003. Disponível em: https://www.rilem.net/publication/publication/38?id_papier=4191 Acesso em: 02 ago 2022