

DOSAGEM DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL PELO MÉTODO TUTIKIAN 2004

Eduardo Curty Coelho¹, Henrique Curty Coelho², Sávio Colodetti de Assis³
Carlos Eduardo Conegundes⁴

1 - Acadêmico do curso de Engenharia Civil

2 - Acadêmico do curso de Engenharia Civil

3 - Acadêmico do curso de Engenharia Civil

4 – Engenharia civil, MSc. – Professor Multivix - Castelo

RESUMO

O concreto autoadensável (CAA) é considerado por muitos pesquisadores uma revolução na tecnologia do concreto, porém se for observar e analisar todas as vantagens que se pode obter, a sua utilização é muito pequena. Neste trabalho foi feita uma revisão de literatura do método de dosagem do CAA proposto por Tutikian em 2004, em busca de inovações e adaptações na construção civil o CAA se torna interessante devido as suas características, esse estudo explica o surgimento e funcionamento do CAA, cita as suas características, detalha os ensaios e equipamentos necessários para o mesmo e cita as vantagens, mas principalmente apresenta o método de dosagem. O método de pesquisa utilizado foi o de natureza básica, pesquisa exploratória, abordagem qualitativa, com caráter bibliográfico, permitindo um trabalho embasado com o intuito de entrar no assunto, observar e absorver todo o conhecimento em relação ao tema proposto, interpretar de diversas formas os dados extraídos e esclarecer as dúvidas.

Palavras chave: método de dosagem, CAA, inovações, características, vantagens.

1. INTRODUÇÃO

Por apresentar baixa produtividade, alto número de desperdícios de materiais, trabalho muito moroso e baixo controle de qualidade, a construção civil tem sido considerada um seguimento atrasado quando comparado a outros. Uma das formas de reduzir os atrasos desse seguimento é utilizar novas técnicas que facilitam e acrescentam velocidade a produção da construção civil, que ajudam a reduzir o tempo da construção, melhora o controle de qualidade e reduz os desperdícios (EL DEBS, 2017).

A construção civil é considerada importante para o desenvolvimento e crescimento de um país, pois ela movimenta o mercado gerando empregos, causando impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais. Na construção civil, a rapidez na construção e a obtenção de novas tecnologias são exigências do mercado e isso faz com que gere uma competição. Reduzir custos, reduzir prazos de execução da obra, ter uma maior margem de lucro e

produzir peças com qualidade, é o que mantém as indústrias da construção civil dentro desse competitivo mercado (MOREIRA, 2009).

Com a industrialização da construção, as empresas continuam sempre buscando inovações para que consigam seguir o ritmo do mercado atendendo os prazos e custos a fim de se manterem competitivas. Uma das inovações é a utilização do CAA, que é considerado tecnológico e isso faz com que possam ser adquiridas novas vantagens e oportunidades (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

Em buscas de inovações e adaptações, o estudo sobre o CAA se torna interessante para a construção civil, pois ele apresenta características que possibilitam corte de etapas, uma delas é a sua capacidade de se moldar nas fôrmas por conta do seu peso próprio e preencher os espaços destinados a ele, sem necessidade de vibração ou compactação externa de qualquer natureza. As vantagens obtidas com o CAA são nítidas e uma delas é o custo final da obra, devido ao aumento da produtividade, rápida execução da concretagem, menor uso da mão-de-obra e equipamentos (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

O CAA tem duas propriedades mais importantes, trabalhabilidade e a estabilidade, são elas que fazem ele se destacar em comparação com os outros, mas para serem atendidas é necessário um bom controle de produção, ou seja, desde a classificação dos materiais utilizados na dosagem até o seu processo de cura (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

São vários os métodos de dosagem do CAA e seus estudos começaram com Okamura no Japão 1986, que resolveu estudar sobre com o intuito de obter estruturas mais duráveis, por falta de mão de obra qualificada e de equipamentos adequados para atender a demanda de estruturas com alto índice de armadura, devido aos terremotos que ocorrem no país (CAVALCANTI, 2006).

Como já é conhecido, o concreto convencional é uma mistura de agregados graúdos, agregados miúdos, cimento e água. Já o CAA, além de possuir todos os itens da mistura do concreto convencional, depende também de adição de finos e aditivos superplastificantes que ajudam na fluidez melhorando o seu desempenho e facilitando a concretagem (LISBÔA, 2004).

Assim como vários métodos de dosagem, existem uma variedade de matéria prima cada um com as suas características específicas, por isso a etapa de dosagem é de suma importância para obter a mistura ideal, pois cada situação requer um traço diferente de CAA. Por se tratar de um concreto tecnológico, o CAA exige também que seja feito um acompanhamento dos resultados obtidos e para isso existem os ensaios para controle da trabalhabilidade, onde se identifica todos os dados necessário para o funcionamento.

Segundo Tutikian e Molin (2008), o mercado e as técnicas construtivas exigem concretos que apresentam características especiais, como os concretos de alta resistência, de alto desempenho, autoadensáveis, com fibras, com altos teores de adições pozolânicas, aparentes, coloridos, brancos e sustentáveis, entre outros.

O CAA é considerado uma das grandes tecnologias do concreto para a construção civil nos últimos anos e por meio da sua utilização é possível obter vários ganhos diretos e indiretos (TUTIKIAN; MOLIN, 2008). Com o intuito de agregar informações e contribuir ao estudo do CAA, o tema do presente projeto será ajudar a esclarecer possíveis dúvidas do leitor, abordando como parte principal o método de dosagem proposto por Bernardo Fonseca Tutikian (Tutikian, 2004).

Esse estudo tem como objetivos específicos explicar o surgimento e funcionamento do CAA, assim como a sua composição, citar as características do CAA, detalhar os ensaios e equipamentos necessários que ajudam a medir a trabalhabilidade do CAA e citar as vantagens ao utilizar o CAA, e como objetivo geral apresentar o método de dosagem proposto por Tutikian (2004).

Para isso, o método de pesquisa ideal é o de natureza básica, pois a intenção é compreender melhor sobre o assunto aumentando o conhecimento sobre o mesmo. De acordo com Prodanov e Freitas (2013, p.51), a pesquisa de natureza básica “[...] objetiva gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses universais”.

Será utilizada a pesquisa exploratória, que consiste realizar um estudo na intenção de potencializar o conhecimento em relação ao objetivo do tema descrito, no intuito de aprofundar ainda mais sobre o método de dosagem do CAA proposto por Tutikian em 2004.

Pesquisa exploratória: quando a pesquisa se encontra na fase preliminar, tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto que vamos investigar, possibilitando sua definição e seu delineamento, isto é, facilitar a delimitação do tema da pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 51-52).

A pesquisa sendo ampla e com fundamentos traz grande entendimento do assunto, fazendo com que se possa tratá-lo com clareza e firmeza. Por possuir um planejamento flexível, os dados bibliográficos e análise de exemplos podem ser de grande variação, o que possibilita interpretar sobre o tema de diversas formas e retirar todas as possíveis dúvidas.

Será aplicado o método de abordagem qualitativa, pois os dados que serão recolhidos através do contato com o que será estudado apresentará de maneira geral o método de dosagem proposto por Tutikian em 2004.

[...] considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Esta não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para a coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. Tal pesquisa é descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 70).

O objetivo é entrar no assunto, observar e absorver todo o conhecimento sobre o que será proposto na pesquisa, ficando dessa forma apto a interpretar todos os dados da abordagem qualitativa extraído.

O procedimento técnico de pesquisa será de caráter bibliográfico, utilizando livros, artigos e sites que tenham fundamentos e sejam de confiança, conseguindo assim um trabalho embasado.

[...] quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa. Em relação aos dados coletados na internet,

devemos atentar à confiabilidade e fidelidade das fontes consultadas eletronicamente. Na pesquisa bibliográfica, é importante que o pesquisador verifique a veracidade dos dados obtidos, observando as possíveis incoerências ou contradições que as obras possam apresentar (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 54).

As referências adquiridas serão estudadas detalhadamente para que o objetivo da pesquisa seja alcançado.

2. CONCRETO AUTOADENSÁVEL

2.1. SURGIMENTO E CARACTERÍSTICAS

Para suprir a demanda do mercado, o Japão no ano de 1988 contando com um avanço na tecnologia de concreto, desenvolveram o CAA que é capaz de se moldar nas fôrmas por conta própria e fazer o preenchimento de todos os espaços necessários sem precisar de um fator externo ao processo, como vibrações ou compactações, devido a isso ele é denominado como um concreto tecnológico.

O CAA não é apenas um novo tipo de concreto senão uma tecnologia que, quando aplicada corretamente, proporciona propriedades diferentes e, principalmente, novas oportunidades. Com a utilização do CAA, a estrutura deve ser analisada de uma forma integral, em que tanto o processo construtivo quanto a concepção arquitetônica possam ser otimizados (TUTIKIAN; MOLIN, 2008, p.7-8).

Esse estudo sobre o CAA surgiu na universidade de Tóquio, através do professor Okamura, com o objetivo de aumentar a durabilidade e a confiabilidade das estruturas de concreto e ainda obter uma redução no ruído no momento do lançamento e adensamento do concreto (ISAIA, 2005).

No Brasil, cada vez mais as indústrias vem inovando e utilizando o CAA, porém o foco está sempre voltado às possibilidades de uso de materiais encontrados na região, as propriedades mecânicas e a durabilidade. Essa parte é importante, mas a dosagem do concreto é um dos aspectos fundamentais e não pode ser estudado de maneira superficial, porque é necessário entender todos os procedimentos para que o concreto atinja suas duas principais propriedades que são: trabalhabilidade e estabilidade.

Para que um concreto seja definido como autoadensável, ele terá que alcançar três exigências simultaneamente, são elas: fluidez (*filling ability*), habilidade passante (*passing ability*) e resistência à segregação (*segregation resistance*). A fluidez é a capacidade de fluir e preencher completamente todos

os espaços dentro da fôrma, utilizando apenas o seu próprio peso para realizar esse preenchimento. A habilidade passante é a capacidade de fluir através de pequenas aberturas e com restrições, como as armaduras de aço sem obstrução do fluxo. A resistência a segregação é a capacidade de o concreto permanecer homogêneo na sua composição, ou seja, não haver separação do agregado graúdo da argamassa, durante o transporte, lançamento e adensamento (EFNARC, 2002; NBR-15823-1, 2017).

Uma das principais características do concreto autoadensável é a sua trabalhabilidade (*workability*), não há um teste específico para essa característica, mas há testes para garantir as três exigências anteriormente citadas, e uma vez aprovadas essas exigências ela é atingida. A trabalhabilidade é a facilidade com que o concreto no seu estado fresco pode ser manuseado, misturado, lançado e adensado (EFNARC, 2002; NEVILLE, 2016).

Atingindo essas características a concretagem se torna mais homogênea e por ter facilidade de preenchimento de todos os espaços, evitam-se as falhas de concretagens que são fatores agravantes no concreto em estado endurecido.

2.2. COMPOSIÇÃO

Tutikian e Molin (2008) explicam que os materiais utilizados nos concretos convencionais são os mesmos utilizados nos CAA com um aumento na quantidade de finos e de aditivos superplastificantes que modificam sua viscosidade. Eles também alertam que não existe uma regra que seja objetiva permitindo a escolhas dos materiais adequados, mas que existe um consenso da parte técnica que indicam características e propriedades dos materiais modificando as misturas, podendo assim melhorar as propriedades mecânicas, reológicas e a durabilidade.

O primeiro componente da mistura que forma o autoadensável é o cimento. O tipo dele pode ser o mesmo utilizado na composição do concreto convencional, desde que ele atenda aos usos adequados e à durabilidade, mas

os mais indicados são os que apresentam menores variações em relação à resistência a compressão.

Quando se trata de finura e de parâmetros reológicos, quanto maior a superfície específica do cimento, maior a quantidade dessas partículas em contato com a água, diminuindo a distância e aumentando a frequência de colisão entre elas, reduzindo a tensão de escoamento e aumentando a viscosidade da mistura. Assim, como a demanda por finos para os CAA é elevada em virtude da necessidade de aumentar a coesão da mistura, cimentos de maior superfície específica são mais apropriados (TUTIKIAN; MOLIN, 2008, p.28).

Como o CAA possui uma alta resistência em relação à segregação, as adições minerais entram como componente na mistura para ajudar nesse quesito, mas antes de utilizá-los deve-se conhecer a parte técnica e econômica. Segundo Tutikian e Molin (2008), essas adições (com atividade química) formam um componente químico durante a hidratação do cimento e esse componente ocupa os vazios com maiores dimensões existentes na pasta de cimento ou na zona de transição, reduzindo ou eliminando qualquer acúmulo de água, e sem atividade química são os denominados filers que tem como ações os efeitos físicos que melhoram a compacidade granulométrica e coesão do concreto.

Na parte dos agregados, os miúdos são as areias naturais ou aquelas adquiridas de processos industriais. As naturais são as mais indicadas por possuir um formato arredondado e mais liso, facilitando na fluidez do concreto. Segundo Tutikian e Molin (2008), a escolha do agregado miúdo está condicionada à uma determinada quantidade de água, que influencia diretamente a coesão e fluidez do concreto. Já os graúdos são os conhecidos como brita e sua forma granulométrica não pode ser superior a 19 mm para que assim o concreto consiga fluir entre as barras de aço e caminhar por toda a fôrma superando todos os obstáculos (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

Os aditivos são o grande diferencial do CAA em relação ao concreto convencional e eles podem ser divididos em dois tipos: os superplastificantes que ajudam na alta fluidez da mistura e os modificadores de viscosidade que oferecem ganho de coesão, não deixando exsudar e segregar o concreto (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

E por fim, a água. Deve atender os requisitos de qualidade que são padrão até para o concreto convencional.

Portanto, para que possamos dosar e trabalhar de maneira correta com o CAA, devemos estudar e entender sobre algumas peculiaridades que o torna diferente do concreto convencional. Uma das grandes características do CAA é a capacidade de fluir, porém, ao mesmo tempo ele precisa ser capaz de carregar as partículas maiores que são os agregados graúdos durante todo o seu trajeto. Com isso, temos duas propriedades que são completamente distintas que são a fluidez e a viscosidade acontecendo ao mesmo tempo.

2.3. REOLOGIA

Reologia é uma parte da física que investiga e estuda as propriedades e o comportamento mecânico dos corpos deformáveis que não são nem sólidos e nem líquidos, estudando a deformação e o fluxo. O CAA pode ser estudado através da reologia porque ele é entendido como uma concentração de partículas sólidas que estão suspensas (os agregados) em um líquido (a pasta de cimento) (CASTRO; LIBORIO; PANDOLFELLI, 2011)

Olhando pelo lado da reologia, o CAA pode ser estudado pelo modelo de Bingham citado por Roussel e outros (2005 apud TUTIKIAN; MOLIN, 2008), sendo essa a classificação que a maioria dos autores aceitam. Ele é caracterizado através da viscosidade plástica (que é a taxa de fluxo) e a tensão do cisalhamento (que é a taxa de força). Devido a baixa tensão de cisalhamento e a alta viscosidade, o CAA apresenta alta fluidez sem que aconteça a segregação. A viscosidade plástica é adquirida pelo aditivo superplastificante (que tem características de aumentar a fluidez com desprezível diminuição de viscosidade) e pela água (que aumenta a fluidez e diminui a viscosidade) , e a tensão de cisalhamento é o resultado da ação dos materiais finos (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

2.4. PRESSÃO NAS FÔRMAS

No estado fresco, o CAA exerce uma maior pressão nas fôrmas quando são comparados com os concretos convencionais. O concreto convencional por

não possuir um abatimento sem forças externas, sempre que é lançado em uma superfície se faz necessário exercer a vibração para que ele seja adensado, já o CAA consegue o adensamento assim que é lançado.

[...] os empuxos do CAA possuem valores elevados, e são transmitidos às fôrmas, que devem suportá-los enquanto o concreto estiver no estado fresco. Dessa forma, para melhor dimensionamento das fôrmas, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos tais como: influência entre o empuxo e a composição do CAA; sua consistência; o tipo de concretagem, se pelo topo ou pela base; densidade de armadura no elemento estrutural a concretar; material utilizado na fabricação e montagem das fôrmas. Destaca-se ainda a importância do controle da velocidade de lançamento do CAA no elemento estrutural, assim como o monitoramento contínuo dos empuxos na fôrma. (CALADO et al. 2015, p.116).

2.5. TESTES COM O CAA NO ESTADO FRESCO

Para o correto funcionamento do CAA, é de fundamental importância entender sobre a parte da física, denominada de reologia, que analisa e investiga as propriedades e comportamento mecânico dos corpos que possuem deformação e não sejam sólidos e nem líquidos, entendendo assim a deformação e o fluxo. O CAA possui dois parâmetros: viscosidade plástica que é o fluxo de material e a tensão de cisalhamento que é a força necessária para a movimentação (CALADO et al., 2015).

Como o CAA possui uma alta trabalhabilidade em seu estado fresco e não depende de ações externas para seu adensamento, algum tipo de correção necessária no momento da concretagem não será possível. Devido a isso, foram desenvolvidos equipamentos para a realização de ensaios que ajudam a medir sua trabalhabilidade. Segundo Tutikian e Molin (2008), os ensaios mais recomendáveis são: *Slump flow test*, *Slump flow T-500mm test* e *J-Ring test*.

Para os testes de *Slump*, a NBR 15823-2 (ABNT, 2017) descreve como aparelhagem os seguintes itens:

- Cone de Abrams (molde em forma de cone);
- Placa de base (quadrada com 900mm de lado e marcações circulares com os diâmetros de 100mm, 200mm e 500mm);
- Régua métrica com no mínimo 1000mm;

- Recipiente com no mínimo 10 litros e que não absorva água e não reaja com o concreto;
- Complemento do cone de Abrams;
- Colher de pedreiro;
- Cronômetro com resolução em 0,1s.

Slump flow test: a NBR 15823-2 (ABNT, 2017, p.1) “[...] prescreve o método de ensaio para determinação da fluidez do concreto autoadensável, em fluxo livre, sob a ação do seu próprio peso [...]”. O resultado do ensaio é o espalhamento do concreto e essa medida do espalhamento é feita de uma média de duas medidas do diâmetro em milímetros, que sejam perpendiculares.

Slump flow T-500mm test: segundo a NBR 15823-2 (ABNT, 2017) o procedimento de ensaio desse teste é o mesmo do teste escrito anteriormente, porém é feito a marcação de tempo que o concreto demora para percorrer do diâmetro de 200mm até o diâmetro de 500mm da placa base.

Para o teste *J-Ring* a NBR 15823-2 (ABNT, 2017) descreve como aparelhagem os seguintes itens:

- Cone de Abrams (molde em forma de cone);
- Placa de base (quadrada com 900mm de lado e marcações circulares com os diâmetros de 100mm, 200mm e 500mm);
- Régua métrica com no mínimo 1000mm;
- Recipiente com no mínimo 10 litros e que não absorva água e não reaja com o concreto;
- Complemento do cone de Abrams (opcional);
- Colher de pedreiro;
- Anel J com 300mm de diâmetro e 120mm de altura, constituído por barras verticais de diâmetro 10mm a cada 58mm.

J-Ring test: segundo a NBR 15823-2 (ABNT, 2017) o teste é feito para verificar a habilidade passante que o concreto possui ao encontrar obstáculos pelo caminho percorrido. O resultado é determinado pela média aritmética entre a medida dos diâmetros perpendiculares um ao outro, e assim

comparado ao resultado do *Slump flow test*. A diferença obtida entre os testes, é o resultado da obstrução à passagem do concreto.

2.6. VANTAGENS AO UTILIZAR O CAA

Apesar do rígido controle de produção e testes do CAA para obter as suas características, são muitas as vantagens da sua utilização. Segundo Tutikian e Molin (2008) através da utilização do CAA é possível obter vários ganhos diretos e indiretos, entre os quais:

- Agilidade na construção: para indústria de pré-fabricado quanto mais rápido as fôrmas ficam liberadas, maior será a produção das peças e maior será o atendimento ao cliente. O CAA possibilita isso, porque ele possui um lançamento rápido e como o nome já diz ele tem a habilidade de adensamento automática através do seu peso, não necessitando de forças externas iguais a do concreto convencional;
- Redução da mão de obra e equipamentos: por não haver a necessidade de forças externas para adensamento, nivelamento do concreto e espalhamento, a mão de obra só é necessária no momento do lançamento do concreto nas fôrmas e nos pequenos acabamentos superficiais. Com isso, se obtêm uma redução no custo de produção e torna o ambiente de trabalho mais seguro por possuir um número reduzido de colaboradores;
- Melhorias no acabamento superficial e durabilidade: o CAA por possuir uma elevada quantidade de finos em sua composição e possuir alta capacidade de adensamento, adquire uma elevadíssima diferença se tratando de acabamento das superfícies das peças e elimina a necessidade de acabamentos externos (retrabalhos) para reparos das peças quando são retiradas das fôrmas (MOREIRA, 2009). Ou seja, quando as peças são retiradas das fôrmas, elas podem ir diretamente para o estoque da indústria ou até mesmo diretamente para obra;
- Permite liberdade na formatação e dimensão das fôrmas: pela habilidade de preenchimento do CAA, as fôrmas podem ser pensadas considerando essa vantagem, podendo ser curvas, esbeltas, possuir altas taxas de armações e de acessos complicados ou seções reduzidas. Com o

concreto convencional, fica complicado de atender aos diversos modelos de fôrmas existentes (MOREIRA, 2009);

- Permite o funcionamento da indústria/obra em horários e locais menos apropriados: o CAA não necessitando de vibradores para seu adensamento, consegue um ambiente de trabalho com menos ruídos. Isso possibilita o funcionamento das indústrias/obras em relação ao local onde elas estão locadas sem acarretar problemas e possibilita os horários de funcionamento fora dos expedientes normais. Sem contar que em relação à saúde dos funcionários, essa redução do ruído causado não so prejudica auditivamente;
- Ganho ecológico: o CCAA pode possuir em sua composição resíduos industriais que muitas das vezes são descartados no meio ambiente causando poluição (VIEIRA, 2013);
- Redução do custo final do concreto e/ou da estrutura produzida: com todas as vantagens citadas, é possível obter uma redução considerável no custo do concreto ou da estrutura.

Devido a sua elevada fluidez no estado fresco, o CAA se molda com mais facilidade nos mais variados tipos de fôrmas. Essa deformabilidade que ele possui, permite desde o seu lançamento, percorrer dez metros na horizontal, mesmo com armaduras e eletrodutos no meio do caminho (EFNARC, 2002).

3. MÉTODO DE DOSAGEM PARA CAA

3.1. INTRODUÇÃO

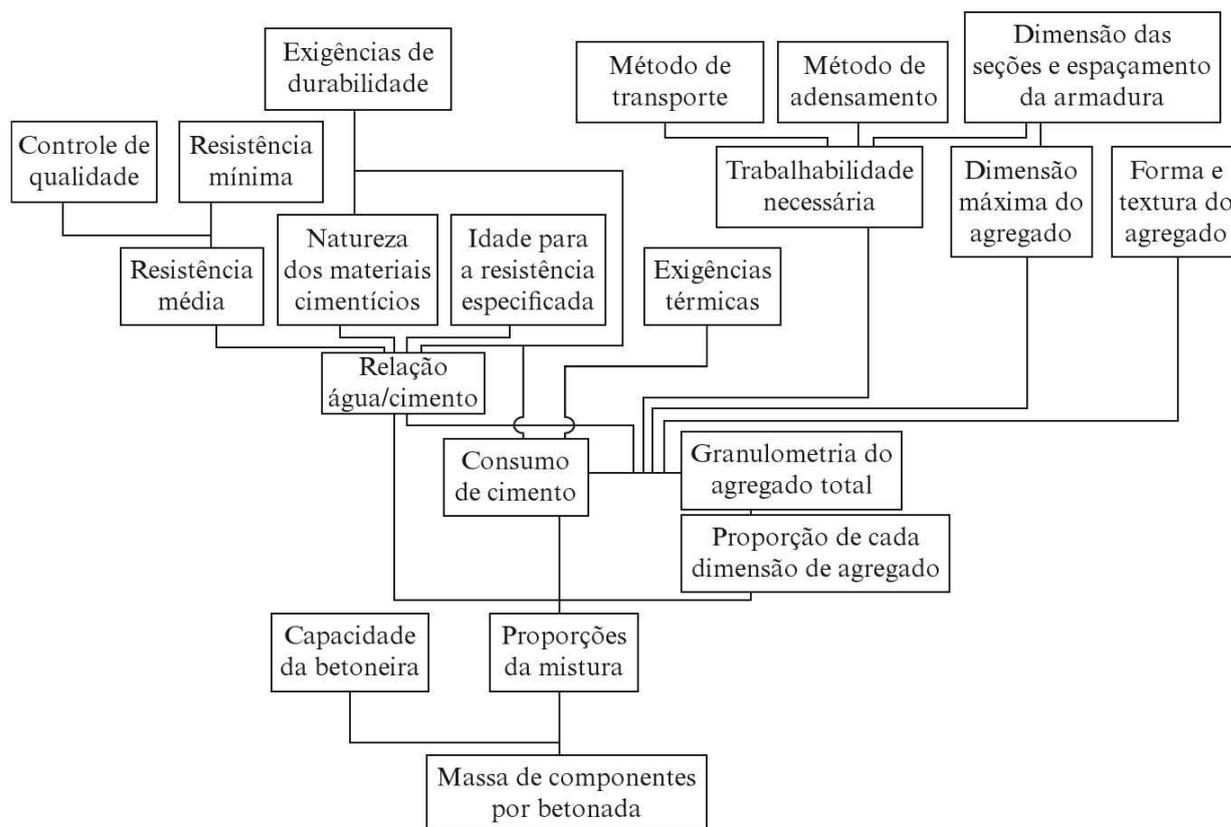
A dosagem do concreto está relacionada com a proporção entre os materiais que o constituem, tendo como objetivo obter resistência, durabilidade e consistência de maneira econômica. Porém conforme citado no item 2, o CAA tem vários testes que são extremamente necessários para que ele atinja as suas características, mas isso depende das condições de cada obra, tendo que ter uma análise dos procedimentos de execução, desde a seleção das proporções dos componentes até o lançamento. Outros critérios importantes

são: tempo de pega, exsudação e facilidade de acabamento, três fatores que estão interligados (CAVALCANTI, 2006; NEVILLE, 2016).

São necessários vários ensaios em laboratórios para atingir cada dosagem específica, lembrando que mesmo satisfazendo todos os aspectos solicitados dessa dosagem em laboratório, a dosagem não é definitiva, mesmo quando as condições de umidade dos agregados são levadas em consideração. Somente quando o traço for elaborado na obra será garantido que todas as propriedades do concreto satisfaçam a cada detalhe dessa obra específica (NEVILLE, 2016).

É importante ressaltar que uma vez que a dosagem foi satisfeita não quer dizer que permanecerá inalterada, pois as propriedades de cada componente utilizado na mesma podem variar de tempos em tempos. Desde o teor de umidade dos agregados, teor de material fino, ou até mesmo a temperatura do dia de concretagem (NEVILLE, 2016).

Figura 1 - Fatores básicos do processo de dosagem



Fonte: Neville (2016, p. 758)

3.2. MÉTODO PROPOSTO POR TUTIKIAN (2004)

O CAA é uma evolução do concreto convencional, sendo composto não só por cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo, mas também por finos e aditivos, ou seja, a sua proporção é mais complexa. Ao elaborar um concreto com elevado abatimento de tronco de cone, é necessário sempre estudar previamente a sua proporção, pois sem esse estudo pode-se observar uma tendência da água subir à superfície, esse fenómeno é denominado exsudação, e ela dificulta a aderência dos agregados e armaduras com a argamassa do concreto, acarretando em falhas de concretagens (TUTIKIAN, 2004).

3.2.1. MATERIAIS CONSTITUINTES

Os materiais constituintes da dosagem vão depender das características que pretende alcançar, pois cada tipo de cimento terá suas vantagens e desvantagens para determinada situação, é necessário conhecer as variações e particularidades de cada local de uso, para escolher o ideal entre os cimentos Portland comum, composto, de alto-forno, pozolânico, de alta resistência inicial, branco, resistente a sulfatos e de baixo calor de hidratação. Lembrando que pode haver variações na composição de cada tipo de cimento, isso depende de cada indústria, épocas ou até mesmo lotes (TUTIKIAN, 2004).

Os agregados devem ter a menor granulometria possível, estipulando a dimensão máxima do agregado graúdo através da pior seção a qual o CAA fluirá. Deve levar em consideração as massas unitárias dos agregados e o coeficiente de inchamento do agregado miúdo, para realizar as devidas correções (TUTIKIAN, 2004).

Os materiais finos assim como todos os outros materiais, são analisados conforme a sua viabilidade técnica e econômica, pois o mercado fornece vários tipos de materiais que são resíduos de indústrias, de baixo custo. Conforme EFNARC (2002, p.5), os finos são definidos como partículas menores que 0,125 mm, incluindo as dos agregados. São classificados como pozolânicos (cinza de casca de arroz, sílica ativa, metacaulim, escória alto forno e outros) e não pozolânicos (cerâmica moída, fíler calcáreo e outros), desde que tenham

área superficial maior que o componente que estão substituindo. Os pozolânicos substituem o cimento e os não pozolânicos substituem o agregado miúdo, tendo o papel de resistir à segregação da mistura e sendo importante para a durabilidade do concreto, tanto fisicamente quanto quimicamente. Como são partículas pequenas, elas fecham os poros e ajudam na zona de transição, evitando que agentes agressivos penetrem no concreto (TUTIKIAN, 2004).

São dois tipos de aditivos que podem ser utilizados no CAA, os superplastificantes (lignossulfonatos, naftaleno, melamina e policarboxilatos), responsável pela fluidez do concreto, e os modificadores de viscosidade (polímeros derivados da celulose e acrílico, que são solúveis em água), responsável pela coesão da mistura, quando há ausência de materiais finos viáveis tanto economicamente quanto tecnicamente (TUTIKIAN, 2004).

3.2.2. PROCEDIMENTO

É baseado no procedimento de dosagem do concreto convencional, mas com a adição de outros dois componentes conforme já informado (aditivos e finos). O CAA é considerado uma evolução do concreto convencional e para dosá-lo, deve-se basear em pelo menos três traços de concreto da mesma família, obtendo o diagrama de dosagem (TUTIKIAN, 2004).

Segundo Tutikian (2004) para que a dosagem ocorra de maneira adequada alguns passos devem ser seguidos:

- O primeiro deles é a escolha dos materiais podem formar a melhor composição possível para o CAA, e dentro dessa escolha estão os custos de obtenção, a disponibilidade em quantidades e distâncias que são consideradas boas e se houver a opção de escolher entre mais de um tipo de item, deve-se pensar em selecionar o que já seja de conhecimento. O agregado graúdo deve possuir um diâmetro máximo sendo selecionado o menor entre 20mm ou $1/3$ do espaçamento entre as armaduras onde o CAA será aplicado. Os finos são mais fáceis de serem obtidos, podendo ser até resíduos de indústrias, mas devem ser cuidadosamente escolhidos.

- O segundo passo é definir o teor de argamassa com os materiais que foram escolhidos, sem os finos e aditivos, mantendo esse teor até o fim da

dosagem do CAA. Os finos serão adicionados à mistura substituindo o cimento ou o agregado miúdo, sem alterar a proporção.

- O terceiro passo é a escolha de três traços que formarão a base do diagrama. Um traço deve ser rico, um intermediário e um pobre para a realização das curvas. Com essas informações, é possível dosar qualquer tipo de concreto que seja desejado com estes materiais.

- A partir do quarto passo que o concreto deixa de ser convencional e passar a se tornar o concreto autoadensável, quando o aditivo superplastificante é colocado e logo em seguida a adição dos materiais finos. A proporção de aditivo a ser adicionado pode ser bem variada, pois existem uma infinidade de aditivos e uma infinidade de cimentos, mas é recomendado acréscimos de 0,30% da massa do cimento e ir acrescentando, até chegar ao ponto que pode ser considerado o ideal para a mistura. Esse ponto é identificado visualmente, ou seja, quando o concreto encontra-se com bastante fluidez sem que haja a separação dos agregados graúdos da argamassa. Desse ponto em diante, é de fundamental importância a agilidade no processo, devido ao tempo de trabalho do aditivo que gira em torno de 50 minutos (dependendo do tipo, marca e temperatura do ambiente).

- O quinto passo ocorre juntamente com o quarto passo, porque conforme é lançado o aditivo na mistura os finos também são adicionados e são os finos que corrigem o concreto não permitindo que ele segregue, tornando-o fluido e coeso. A água é adicionada em relação à massa dos aglomerantes e a relação água/aglomerantes deve ser o mais insignificante possível para que a durabilidade e resistência da estrutura sejam aumentadas.

- O sexto passo é a verificação do concreto e executar as devidas correções para identificar o ponto ideal e também ir realizando os ensaios de trabalhabilidade e pelo visual, até que o concreto fique nos limites finalizando dessa forma a dosagem.

Figura 2 – Passo a passo para dosagem do CAA



Fonte: Tutikian (2004, p. 95)

O CAA possui uma marca que é manter estabilidade juntamente com a fluidez e para garantir isso, existem os sólidos finos ou os aditivos modificadores de viscosidade que podem garantir essa coesão. Esses aditivos eles podem fazer o papel dos finos na dosagem do CAA, porém não é viável em relação à parte econômica. Porém, em algumas regiões onde é mais escasso o encontro de materiais finos que podem compor a mistura, usam-se os aditivos modificadores de viscosidade. Após dosagem sendo feita com esse aditivo, deve ser recalculado o valor do concreto visando se é válido o uso (TUTIKIAN, 2004).

Com todos os traços formulados, é necessário retirar os corpos de prova para as idades necessárias, não podendo ter vibrações ou qualquer outra forma de compactação em suas moldagens. São necessários dois corpos de prova para cada idade e os resultados obtidos serão o complemento para o desenho do diagrama e para o cálculo das equações da resistência a compressão, espalhamento do concreto e consumo de cimento por m³ (TUTIKIAN, 2004).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: Concreto autoadensável: parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: Concreto autoadensável: parte 2: Determinação do Espalhamento e do Tempo de Escoamento – Método do Cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: Concreto autoadensável: parte 3: Determinação da Habilidade Passante – Método do Anel J. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

CALADO, C. F. A. et al. **Concreto Auto-Adensável (CAA), mais do que alternativa ao Concreto Convencional (CC)**. Recife: Universidade de Pernambuco, 2015.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2006.

EFNARC – EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. In: EFNARC. Fevereiro, 2002.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldados: Fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

ISAIA, G. C. et al., **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005.

LISBOA, E. M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas**. 2004. P.1-15. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004. Disponível em: https://www.academia.edu/11517716/EDVALDO_MONTEIRO_LISB%C3%94A_OBTEN%C3%87%C3%83O_DO_CONCRETO_AUTO-

[ADENSAMENTO UTILIZANDO RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DO MARMORE E GRANITO E ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS](#). Acesso em: 14 de abr. 2020.

MANUEL, P. J. M., Estudo da Influência do Teor de Argamassa no Desempenho de Concretos Auto-Adensáveis. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8142/000568918.pdf>. Acesso em 23 de mai. de 2020.

MOREIRA, K. A. W., Estudo das Manifestações Patológicas na Produção de Pré-Fabricados de Concreto. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Curitiba, 2009. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp136336.pdf>. Acesso em: 23 de mai. de 2020.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**, 5. ed., Porto Alegre: Bookman, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C., **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

TUTIKIAN, B. F., Método Para Dosagem de Concretos Auto-Adensáveis. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3918/000450678.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 de mai. de 2020.

TUTIKIAN, B. F.; MOLIN, D. C. D., **Concreto Auto-Adensável**. São Paulo: Pini, 2008.

VIEIRA, R. A. G., Vantagens do Concreto Auto-Adensável Comparado ao Concreto Convencional Simples. **Universidade Federal de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/73546605-Monografia-vantagens-do-concreto-auto-adensavel-comparado-ao-concreto-convencional-simples-autor-romney-anderson-goncalves-vieira.html>. Acesso em 23 de mai. de 2020.