

## **Monografia**

# **"VANTAGENS DO CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL COMPARADO AO CONCRETO CONVENCIONAL SIMPLES"**

Autor: Romney Anderson Gonçalves Vieira

Orientador: Prof. Eduardo Chahud

Janeiro/2013

Romney Anderson Gonçalves Vieira

**"VANTAGENS DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COMPARADO AO  
CONCRETO CONVENCIONAL "**

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

Ênfase: Tecnologia e produtividade das construções

Orientador: Prof. Eduardo Chahud

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013

À minha família pelo apoio, carinho, dedicação e paciência.

## *AGRADECIMENTOS*

Deixo registrado aqui, o meu reconhecimento, a minha gratidão , a minha esposa e filha , aos meus pais e irmãos, aos Professores do Curso de Especialização em Construção Civil, da Escola de Engenharia da UFMG e ao meu orientador Professor Eduardo Chahud .

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	8
2.1 Concreto auto-adensável .....	8
2.2 Definição .....	9
2.3 Propriedades do concreto auto-adensável no estado fresco .....	10
2.3.2 Coesão ou habilidade passante em fluxo livre ou confinado .....	11
2.3.3 Resistência a segregação .....	11
2.3.4 Viscosidade Plástica aparente em fluxo livre ou confinado.....	12
2.4 Reologia.....	12
2.6 Métodos de ensaios do CAA conforme ABNT NBR 15823/2010 .....	15
2.6.1 Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento-Método de cone de Abrams (ABNT NBR 15823-2 2010).....	16
2.6.2 Determinação da habilidade passante Método do anel J (ABNT NBR 15823-3 2010).....	18
2.7.3 Determinação da habilidade passante Método da caixa L (ABNT NBR 15823-4 2010).....	20
Prescreve o ensaio para a determinação da habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L (ABNT NBR 15823-4 2010), conforme figura 2.7. ....	20
2.7.4 Determinação da viscosidade-Método do funil V (ABNT NBR 15823-4 2010) .....	22
2.6.5 Determinação da resistência á segregação- Método da coluna de segregação (ABNT NBR 58523-5 2010) .....	24
2.7 Componentes básicos do concreto auto-adensável .....	26

2.7.1 Cimento.....	27
2.7.3 Agregados.....	30
2.7.5 Água.....	32
<b>3 CONCRETO CONVENCIONAL .....</b>	<b>33</b>
3.1 Componentes básicos do concreto convencional.....	33
3.1.1 Cimento.....	33
3.1.3 Agregados.....	34
3.1.4 Água e aditivos.....	36
3.2 Fatores que influenciam na durabilidade e na qualidade do concreto armado	37
3.2.1 Porosidade do concreto.....	38
3.2.1 Adensamento do concreto.....	38
<b>4 VANTAGENS DO CAA COMPARADO AO CCV .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Diminuição da mão de obra.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Tempo menor de descarga.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 Diminuição do ruído dos vibradores .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4 Vantagem do CAA na porosidade do concreto.....</b>	<b>45</b>
<b>4.6 Viabilidade econômica.....</b>	<b>48</b>
<b>5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>51</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema do método de ensaio para determinação da fluidez do concreto auto-adensável.....	17
--	----

Figura 2.2: Prescreve o método de ensaio para determinação da fluidez do concreto auto-adensável, empregando-se o cone de Abrams .....	17
Figura 2.3: Ensaio realizado com o cone de Abrams na posição invertida....	18
Figura 2.4 - Prescreve o método de ensaio para determinação da habilidade passante do concreto auto-adensável, em fluxo livre, pelo anel J .....	19
Figura 2.5: O ensaio tenta simular as armaduras de uma estrutura real,para verificação da fluidez e da habilidade do concreto passar por obtáculos...	19
Figura 2.6:Prescreve o ensaio para a determinação da habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L.....	20
Figura 2.7 Esquema habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L.....	21
Figura 2.8: Esquema habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L.....	21
Figura 2.9: Esquema habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L.....	22
Figura 2.10:O ensaio mede a fluidez do CAA,sendo que a medida é o tempo que o material leva para escoar do funil.....	23
Figura 2.11:Esquema do ensaio mede a fluidez do CAA,sendo que a medida é o tempo que o material leva para escoar do funil.....	23
Figura 2.12:O ensaio mede a fluidez do CAA,sendo que a medida é o tempo que o material leva para escoar do funil.....	24
Figura 2.13:Prescreve o ensaio para determinação da resistência á segregação do concreto,pela diferença das massas de agregado graúdo.....	25

Figura 2.14:Esquema do ensaio para determinação da resistência á segregação do concreto,pela diferença das massas.....	25
Figura 2.15:Massas de agregado graúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação.....	26
Figura 3.1:Vibração e compactação de pilar .....	38
Figura 3.2:Brocas e ninchos de falhas na vibração e adensamento do concreto.....	39
Figura 4.1 :Espaço reduzido com um número de trabalhadores grande.....	41
Figura 4.2:Caminhão em via movimentada com horário reduzido de carga e descarga e causando transtorno para a passagem de pedestre.....	43
Figura 4.4: Vibrador para adensar CCV.....	44
Figura 4.5:Ninchos de concretagem.....	45
Figura 4.6:Recuperação da estrutura com forma e grauteamento para os ninchos deixados pela vibração e adensamento ineficientes.....	46
Figura 4.7:Estrutura recuperada.....	46



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Classes de espalhamento do CAA.....	13
Tabela 2.2	Classes de resistência á segregação pela coluna de segregação do CAA.....	14
Tabela 2.3	Classe de viscosidade plástica aparente do CAA.....	14
Tabela 2.4	Classes de habilidade passante do CAA.....	14
Tabela 2.5	Ensaio Para a Avaliação da Trabalhabilidade do CAA.....	15
Tabela 3.1:	Ensaio de peneiramento normal das areias (EB-4).....	34
Tabela 3.2:	Classificação das areias.....	34
Tabela 3.3:	Categorias dos grãos de brita.....	35
Tabela 3.4 :	Poros de concreto.....	38
Tabela 4.1:	Comparação de custos globais entre CVV e CAA.....	48

## LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

ABNT= Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAA= concreto auto-adensável

CCV= concreto convencional

INBRACON= Instituto Brasileiro de Concreto

MPa= Mega Pascoal

NBR= Norma Brasileira

NR= Norma regulamentadora

MF= Módulo de Finura

N= não relevante

XXX=altamente recomendável;

XX=-recomendável;

## RESUMO

O objetivo deste trabalho busca comparar o concreto auto-adensável (CAA) com o concreto convencional simples (CCV), através de pesquisas bibliográficas de livros, dissertações de mestrado e monografias sobre o assunto, além de pesquisa em campo de problemas mais comuns nas concretagens convencionais (CCV).

O trabalho tem início com um breve histórico do surgimento do concreto armado sendo considerado uma das mais fantásticas descobertas da humanidade no fim do século XIX, tendo seu intenso uso no século XX, e também é abordado o surgimento do concreto auto-adensável, com o seu grande marco da história podendo ser considerado como grande propulsor desta nova tecnologia o professor Okamura da Universidade de Tóquio, introduzindo em 1986 o conceito de auto-adensável. São feitas avaliações das propriedades do concreto auto-adensável no estado fresco, os métodos de ensaios conforme ABNT, NBR 15823/2010, os componentes básicos do concreto CAA e CCV, e o comparativo demonstrando as vantagens do CAA em relação ao CCV, tecnologia que veio para auxiliar no aumento da qualidade e durabilidade das estruturas armadas, aumentando sua vida útil e evitando futuras manifestações patológicas.

Palavras -chave: Concreto Auto-Adensável. Concreto Convencional. Coesão.

Segregação

## **ABSTRACT**

This study seeks to compare the self-compacting concrete (SCC) with conventional concrete simple (CCV), bibliographic searches through books, dissertations and monographs on the subject, as well as research in the field of the most common problems in concretagens conventional (CCV).

The paper starts with a brief history of the emergence of concrete is considered one of the most amazing discovery of humanity at the end of the nineteenth century, with its intensive use in the twentieth century, and is also addressed the emergence of self-compacting concrete, with his great milestone in the history can be as great considered proposer this new technology professor Okamura University of Tokyo in 1986 by introducing the concept of self-made adensável .São reviews the properties of self-compacting concrete in the fresh state, test methods ABNT, NBR 15823/2010, the basic components of concrete CAA and CCV, and demonstrating the comparative advantages of the CAA regarding the CCV technology that came to auxiliar on increasing the quality and durability of the armed structures, increasing its life and avoiding manifestações future pathological.

**Keywords: self-compacting concrete. Conventional concrete. Cohesion . segregation**

## 1 INTRODUÇÃO

Os egípcios foram os grandes construtores da antiguidade e dominaram a arte de construir estruturas com blocos de rocha, sendo os pioneiros no uso da rocha como material de construção, mas uma das mais fantásticas descobertas da humanidade foi no fim do século XIX com descoberta do concreto, tendo seu intenso uso no século XX, que pode ser considerado o segundo material mais usado pelo homem, perdendo apenas para a água, pois o concreto possibilita ao homem construir estruturas que alavancam o desenvolvimento da civilização.

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida (Helene, 2007).

Duas das mais desenvolvidas e poderosas sociedades atuais, os Estados Unidos e o Canadá, consideram o investimento no estudo das estruturas de concreto, como um dos mais importantes investimentos na ciência e tecnologia para obter e manter a qualidade de vida de seu povo e a liderança de seu parque industrial. Essas sociedades entendem que o profundo conhecimento sobre o concreto posiciona e mantém a sua indústria na fronteira do conhecimento assegurando sua alta competitividade segundo Andrade (2007).

E hoje mais do que nunca podemos comprovar que esta é uma realidade mundial, por isso todos os países investem pesado nas universidades para que pesquisadores possam descobrir novos conceitos de concretos, tanto para aumentar sua resistência, quanto para o acréscimo materiais que possam melhorar sua qualidade e desempenho nas edificações.

Em 1700 e 1800, em Paris, o concreto era chamado de “pedra artificial”, uma vez que as pedras eram executas primeiro e depois armadas. Num segundo momento a armadura era feita primeiro e depois a pedra era trabalhada. Por volta de 1824, veio a descoberta de um processo industrial para fabricação da “pedra artificial”, que passou a ser chamada de “cimento Portland endurecido”. Na Alemanha, em 1855, foi apresentado oficialmente ao mundo um novo material, o “cimento armado”. A novidade foi publicada pelo engenheiro Joseph Louis Lambot, que efetuou sua primeira experiência construindo o barco de concreto armado. O fato de Lambot ter construído um barco, mostrou que se ele tivesse feito qualquer outra peça em vez de um barco, teria mudando o destino do concreto armado por apresentar cobrimento insuficiente, prejudicando a durabilidade (VASCONCELOS, 1992).

Numa feira de demonstrações, em 1868, Lambot apresentou seu barco para mostrar que o cimento armado poderia se utilizado em construções, mas ninguém confiou, com exceção de um horticultor, Joseph Monier. Pois bem, esse bem-sucedido comerciante se interessou pelo cimento armado porque vislumbrou a possibilidade de utilizar aquele método para fazer caixas e colocar terra, uma vez que ele usava caixa de madeira, que como a umidade acabava

apodrecendo. Na verdade ele apenas via aquele material uma maneira de fazer qualquer formato de caixa, pois era um material mais impermeável. A despeito de não ser engenheiro e não ter conhecimento nenhum sobre o assunto, acabou na época, sendo chamado de o descobridor do concreto armado (VASCONCELOS, 1992).

A partir desta grande descoberta a sua evolução e tecnologia avançaram de forma surpreendente e segundo Tutikian (2008) cada dia o mercado e as técnicas construtivas exigem concretos que apresentem características especiais, como os concretos de alta resistência, de alto desempenho, auto-adensáveis, com fibras, com altos teores de adições pozolânicas, aparentes, coloridos, brancos e sustentáveis entre outros.

Para suprir essa demanda, um avanço na área da tecnologia de concreto tem ocorrido nas últimas décadas. Dentro desse contexto, foi desenvolvido no Japão, em 1988, o concreto auto-adensável (CAA), que é capaz de se moldar nas fôrmas por conta própria e preencher, sem necessidade nenhuma de vibração ou compactação externa de qualquer natureza, os espaços destinados a ele (Tutikian 2008).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A literatura a respeito do concreto auto-adensável não é muito vasta, pois é um material que vem sendo usado e estudado a um bom tempo em outros países, más para o Brasil é um novidade, tanto que muito da literatura disponível no mercado não faz relato da NBR 15823 (2010) da ABNT, que entrou em vigor no ano de 2010.

### **2.1 Concreto auto-adensável**

O concreto auto-adensável segundo COLLEPARDI (2003), tem relatos de seu surgimento no final da década de 70 e início dos anos 80, a partir de pesquisas iniciadas no Japão, Itália e Alemanha que levaram ao desenvolvimento de misturas de concreto que possuíssem tanto alta fluidez quanto alta coesão, proporcionando um concreto com características diferente do que se usava habitualmente.

Más o grande marco da história podemos considerar que foi proporcionado pelo professor Okamura da Universidade de Tóquio introduzindo em 1986 o conceito de auto-adensável, com o objetivo de aumentar a durabilidade e a confiabilidade das estruturas de concreto, bem como reduzir o ruído durante o lançamento e adensamento do concreto em obras (ISAIA, 2005).

O concreto auto-adensável foi desenvolvido no Japão devido a necessidade de se obter estruturas com melhor qualidade e um processo construtivo mais seguro, que causasse menor impacto ao meio ambiente e á saúde dos trabalhadores. A indústria da construção japonesa identificou que as principais deficiências das estruturas de concreto eram decorrentes de falhas de concretagem causadas pela dificuldade de adensar o concreto em zonas densamente armadas e pela escassez de mão-de-obra qualificada (NUNES, 2001)

Para Metha e Monteiro (2008), o concreto auto-adensável tem algumas aplicações na construção civil, tais como:

- utilização para concretagem submersa;
- utilização para concretagem de estruturas densamente armadas;
- aplicado em peças de difícil acesso para vibração;
- aplicado em peças de grande volume de concreto;
- usado na fabricação de concreto pré-moldado, que exigem alto grau de controle de qualidade.

## **2.2 Definição**

O concreto auto-adensável apresenta grande fluidez e alta trabalhabilidade e resistência a segregação, caracterizado pelo uso de aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, agregados com alto teor de finos.

A propriedade do concreto de auto-adensar no estado fresco, é denominada uma habilidade do material de ocupar espaços e envolver barras de aço, que estão a sua frente ou ainda qualquer outro material apenas com o seu peso próprio. Esse processo deve acontecer sem a ocorrência de segregação o que descaracterizaria o concreto como auto-adensável segundo Tutikian (2007).

### **2.3 Propriedades do concreto auto-adensável no estado fresco**

O CAA se difere do CVV de forma mais considerável é no estado fresco, pois podemos perceber as suas três características mais relevantes como: a fluidez pela facilidade de preencher espaços; a coesão pela facilidade de passar por restrições e sua capacidade de resistir á segregação.

Para que os requisitos mínimos para que obtenha um CAA a ABNT NBR 15823 (2010), estabelece alguns parâmetros que o concreto deve apresentar como: fluidez ou habilidade de preenchimento, viscosidade plástica aparente em fluxo livre ou confinado, habilidade passante em fluxo livre ou confinado, além de outras propriedades devem ser conferidas em caso de estruturas de grande complexidade estrutural, como a alta densidade de armaduras e outros fatores.

### **2.3.1 Fluidez ou habilidade de preenchimento**

Segundo a ABNT NBR 15823 (2010, p.2), define a fluidez ou habilidade de preenchimento como “capacidade do concreto auto-adensável de fluir dentro da forma e preencher todos os espaços”.

Para a ABNT NBR 15823/2010 o método de Abrams, é que avalia as suas propriedades com o espalhamento do concreto em fluxo livre.

### **2.3.2 Coesão ou habilidade passante em fluxo livre ou confinado**

Habilidade passante é a propriedade que permite o concreto escoar pela fôrma, passar pelas armaduras e obstáculos sem obstrução do fluxo ou segregação. Os métodos do anel J com fluxo livre do concreto ou método da caixa L com fluxo confinado do concreto avaliam esta propriedade segundo a ABNT NBR 15823 (2010).

### **2.3.3 Resistência a segregação**

Segundo a ABNT NBR 15823 (2010), a habilidade do concreto em permanecer com sua mistura homogênea durante as fases de transporte ,lançamento e acabamento é denominada resistência a segregação, esta propriedade é de fundamental importância para a homogeneidade e a qualidade do CAA, sendo mais relevante para o CAA que tem maior fluidez e uma viscosidade baixa.

Para que a mistura tenha uma boa resistência a segregação é adicionado uma quantidade maior de materiais finos para dar coesão e se preciso é adicionado um modificador de viscosidade.

A propriedade de resistência a segregação pode ser observada nos ensaios de abatimento de tronco de cone e no ensaio de espalhamento segundo Repette (2005).

#### **2.3.4 Viscosidade Plástica aparente em fluxo livre ou confinado**

Segundo a ABNT NBR 15823 (2010), a consistência da mistura (coesão) interfere na resistência do concreto ao escoamento, isto está diretamente relacionada com as propriedades de viscosidade plástica aparente do concreto. Quando há o aumento de viscosidade, a resistência ao escoamento também aumenta.

O cone Abrams ou método do funil V com fluxo confinado do concreto avaliam esta propriedade do concreto auto-adensável (ABNT NBR 15823, 2010).

### **2.4 Reologia**

Reologia é uma parte da física que investiga as propriedades e o comportamento mecânico dos corpos deformáveis que não são nem sólidos nem líquidos, estudando a deformação e o fluxo.

Do ponto de vista reológico, o comportamento do CAA pode ser entendido pelo modelo de Bingham (ROUSSEL, ET AL., 2005), que é a classificação aceita pela maioria dos autores. Tal fluido é caracterizado por dois parâmetros: a viscosidade plástica e a tensão de cisalhamento. O primeiro é a medida da taxa de fluxo do material, enquanto a tensão de cisalhamento é a medida da taxa de força, necessária para o movimento do concreto. O CAA apresenta alta fluidez sem segregação graças à baixa tensão de cisalhamento e à alta viscosidade quando comparado ao CCV (OH ET AL., s/d). A viscosidade plástica é conferida pelo aditivo super plastificante e pela água, e a tensão de cisalhamento é resultado da ação dos materiais finos, incluindo o cimento. Porém, a água aumenta a fluidez do concreto diminui consideravelmente sua viscosidade, ao contrário do aditivo super plastificante que tem por característica aumentar a fluidez com desprezível diminuição da viscosidade (OKAMURA, 1997).

## **2.5 Parâmetros para a classificação do CAA**

Segundo a ABNT NBR 15823 (2010), os parâmetros para a classificação do concreto auto-adensável, em função das propriedades do concreto no estado fresco, estão conforme as tabelas 2.1; 2.2; 2.3; 2.4 .

<b>Tabela 2.1 Classes de espalhamento do CAA</b>		
Classe	Espalhamento (mm)	Aplicação
SF1	550 a 650	Estruturas não armada ou com baixa taxa de armadura, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com o deslocamento livre. Concreto auto-adensável bombeado. Estruturas que exigem uma curta distancia de espalhamento horizontal do concreto auto-adensável.
SF2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes
SF3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menos que 12,5mm)

Fonte: ABNT NBR 15823 (2010)

<b>Tabela 2.2 Classes de resistência á segregação pela coluna de segregação do CAA</b>			
Classe	Coluna de segregação (%)	Distancia Percorrida (m)	Espaçamento entre armaduras (mm)
SR1	≤ 20	<5	>80
SR2	≤ 15	>5	>80
		<5	<80

Fonte: ABNT NBR 15823 (2010)

<b>Tabela 2.3 Classe de viscosidade plástica aparente do CAA</b>				
Classe t500	Classe funil V	t 500 (s)	Funil V(s)	Aplicação
VS1	VF1	≤ 2	< 9	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle de exsudação e da segregação. Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.
VS2	VF2	>2	9 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as formas e melhor resistência á segregação. Efeitos negativos podem se obtidos com relação á superfície de acabamento( ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.

Fonte: ABNT NBR 15823 (2010)

<b>Tabela 2.4 Classes de habilidade passante do CAA</b>				
Classe anel J	Classe caixa L	Anel J (mm)	Caixa L	Aplicação
PJ1	PL1	25 a 50	$\geq 0,80$ (c/2 barras)	Adequado para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.
PJ2	PL2	0 a 25	$\geq 0,80$ (c/3 barras)	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60mm a 80mm

Fonte: ABNT NBR 15823 (2010)

## 2.6 Métodos de ensaios do CAA conforme ABNT NBR 15823/2010

Antes da ABNT colocar em vigor a NBR 15823/2010 não havia uma normatização para que os ensaios fossem feitos de forma mais segura, eficaz, confiável e principalmente padronizado, pois havia muita divergência no meio técnico quanto as especificações e medidas dos equipamentos, mesmo sendo estes equipamentos desenvolvidos para avaliar a trabalhabilidade do CAA, não havia um padrão confiável que poderia ser seguido, mas a NBR 15823/2010 veio para que houvesse um balizador, para que os ensaios possam ser feitos padronizados para que não haja diferença nos resultados para o uso do CAA. É do conhecimento de todos os especialistas da área que além dos ensaios normatizados pela NBR 15823/10, também a outros que não estão na incluídos na norma, mas foram utilizados por um bom tempo por profissionais qualificados e renomeados na área de CAA, como é caso de Peterssem (1999) que elaborou uma tabela com métodos mais utilizados antes da NBR 15823 (2010), adaptada por Tutikian e Molin (2008), que media as três propriedades principais do CAA, que são a fluidez, a capacidade de fluir coeso e íntegro entre

obstáculos e a resistência á segregação, sendo que para cada uma dessas propriedades há um grupo de equipamentos uns mais aptos e uns mais práticos que os outros conforme tabela 2.5:

<b>Tabela 2.5 Ensaio Para a Avaliação da Trabalhabilidade do CAA</b>					
Ensaio	Utilização		Propriedades Avaliadas		
	Laboratório	Canteiro	Fluidez	Habilidade Pas.	Coesão
slump flow	XXX	XXX	XXX	N	X
slump flow T 50	XXX	XX	XXX	N	X
V-Funnel	XX	X	XX	N	X
V-Funnel 5 min	XX	X	X	N	XXX
L-Box	XX	X	N	XXX	XX
U-Box	XX	X	N	XXX	XX
Fill-Box	X	N	N	XX	XX
U-Pipe	X	N	X	N	XXX
Oriment	XX	X	XX	XXX	X
J-Ring	XXX	XXX	X	XXX	XX

XXX- altamente recomendável; XX- recomendável; N- não relevante

Fonte: PETERSSEM, 1999 adaptado por Tutikian e Molin (2008)

### **2.6.1 Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento-Método de cone de Abrams (ABNT NBR 15823-2 2010)**

Prescreve o método de ensaio para determinação da fluidez do concreto auto-adsensável, em fluxo livre, sob a ação de seu próprio peso, empregando-se o cone de Abrams (ABNT NBR 15823-2 2010), conforme figura 2.1.

O ensaio pode ser realizado com o cone na posição invertida conforme figura 2.3 ou normal conforme figura 2.2, pois o estudo feito pela Comissão de Estudo de CAA, verificou que os dois procedimentos tem diferenças insignificativas entre eles.

Por conveniência pode ser mais interessante realizar o ensaio (Slump Flow) com o cone invertido para depois fazer o ensaio do anel J com mais facilidade.

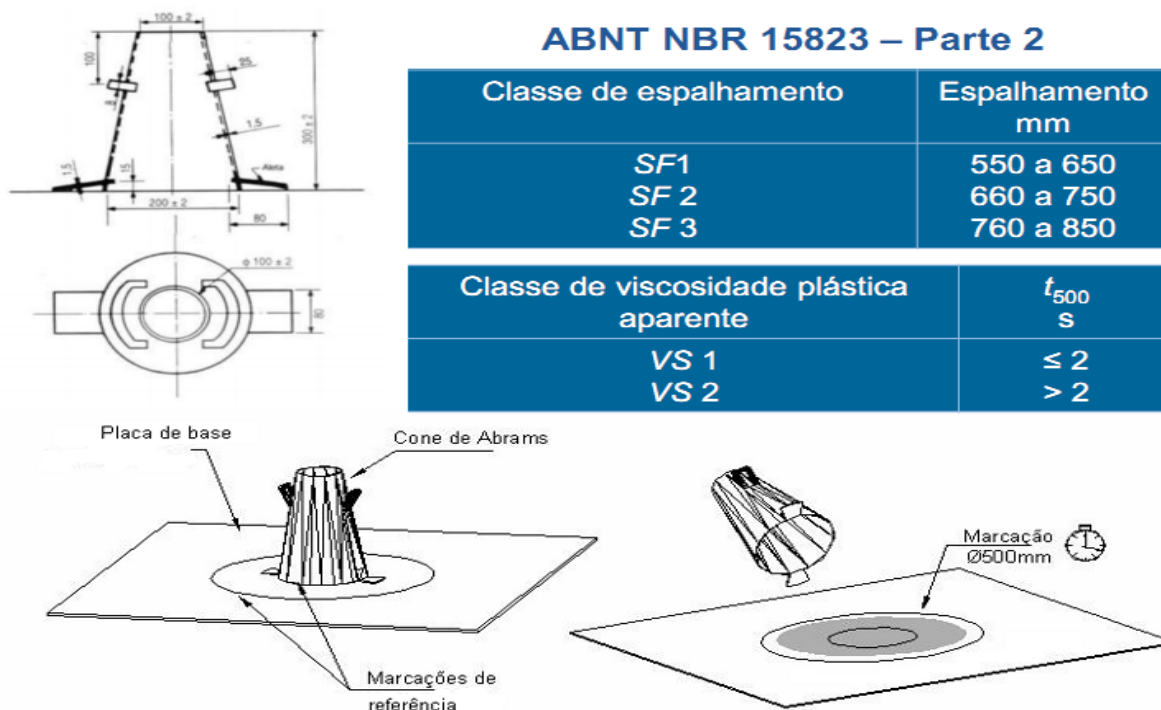


Figura 2.1: Esquema do método de ensaio para determinação da fluidez do concreto auto-adensável, em fluxo livre, sob a ação de seu próprio peso, empregando-se o cone de Abrams .  
 Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)

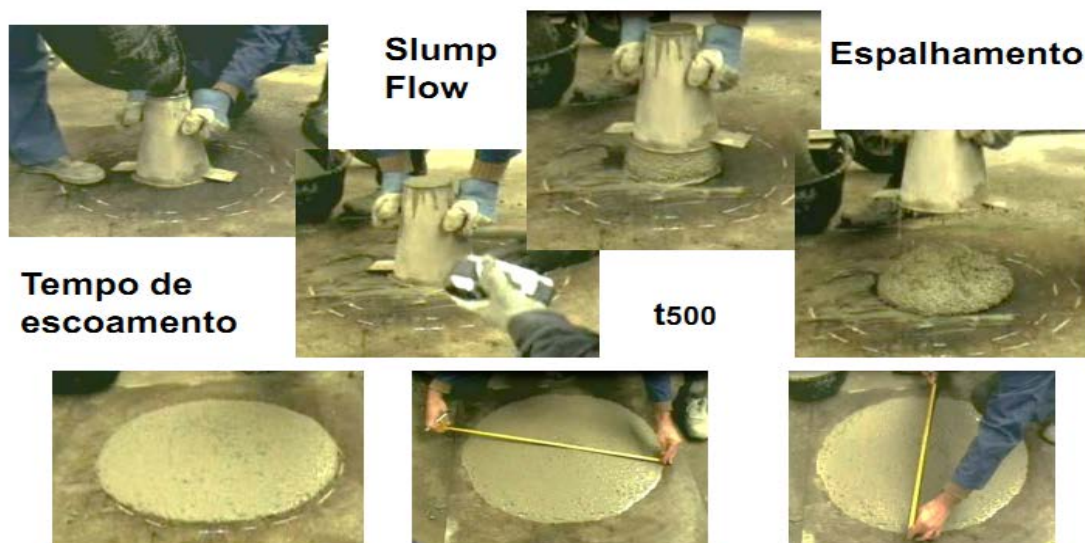


Figura 2.2: Prescreve o método de ensaio para determinação da fluidez do concreto auto-adensável, em fluxo livre, sob a ação de seu próprio peso, empregando-se o cone de Abrams.  
Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)



Figura 2.3: Ensaio realizado com o cone de Abrams na posição invertida.  
Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)

### **2.6.2 Determinação da habilidade passante Método do anel J (ABNT NBR 15823-3 2010)**

Prescreve o método de ensaio para determinação da habilidade passante do concreto auto-adensável, em fluxo livre, pelo anel J (ABNT NBR 15823-3 2010), conforme figura 2.4.

Este ensaio tenta simular as armaduras de uma estrutura real, para verificação da fluidez e da habilidade do concreto passar por obstáculos, uma vez que passando pelo anel, a argamassa não deve se separar do agregado graúdo, conforme figura 2.5.

### ABNT NBR 15823 – Parte 3

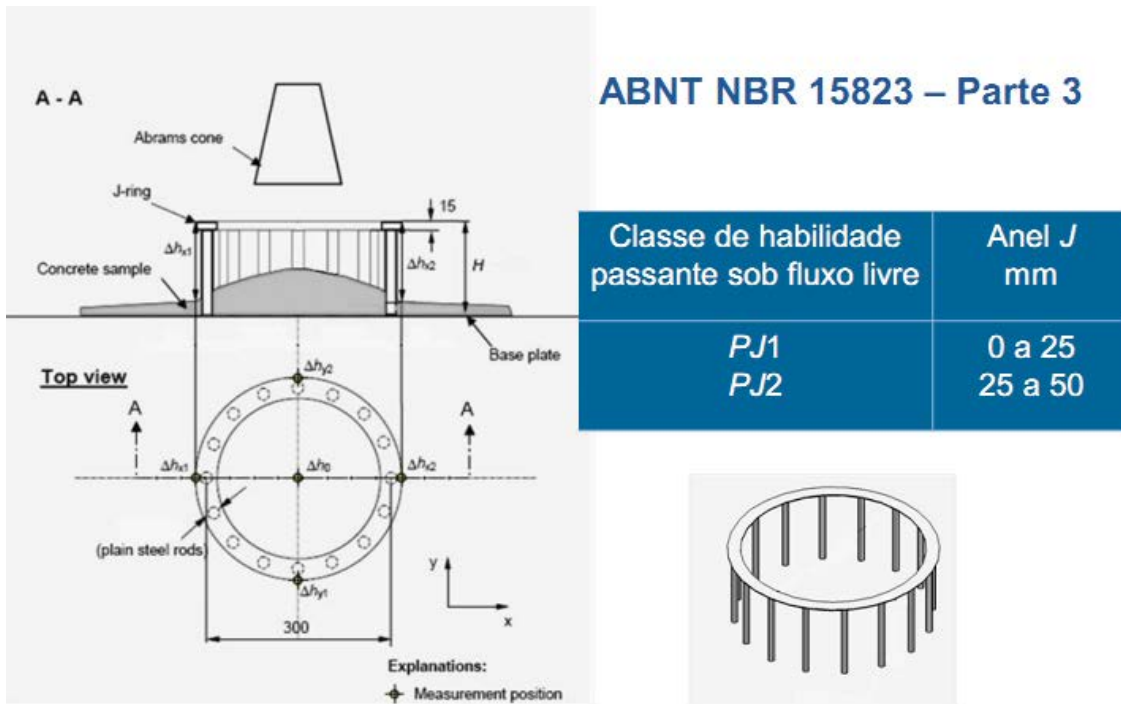


Figura 2.4 – Esquema do método de ensaio para determinação da habilidade passante do concreto auto-adensável, em fluxo livre, pelo anel J  
 Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)



Curso do Dr. Fernando Almeida Filho, do NETPRÉ, 22.11.2008,

Figura 2.5: O ensaio tenta simular as armaduras de uma estrutura real, para verificação da fluidez e da habilidade do concreto passar por obstáculos.  
 Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)

### 2.7.3 Determinação da habilidade passante Método da caixa L

(ABNT NBR 15823-4 2010)

Prescreve o ensaio para a determinação da habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L (ABNT NBR 15823-4 2010), conforme figura 2.7.

O ensaio da caixa L mede justamente a fluidez do concreto ao mesmo tempo em que se verifica sua capacidade de passar por obstáculos e permanecer coeso, conforme figura 2.6. O equipamento consiste em uma caixa em forma de “L” com uma porta móvel separando a parte vertical da horizontal e, junto com uma divisória, barras de aço que simulam a armadura real da estrutura, criando um obstáculo á passagem do concreto (Tutikian e Molin, 2008), conforme figuras 2.8 e 2.9.



Figura 2.6: Prescreve o ensaio para a determinação da habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)

## ABNT NBR 15823 – Parte 4

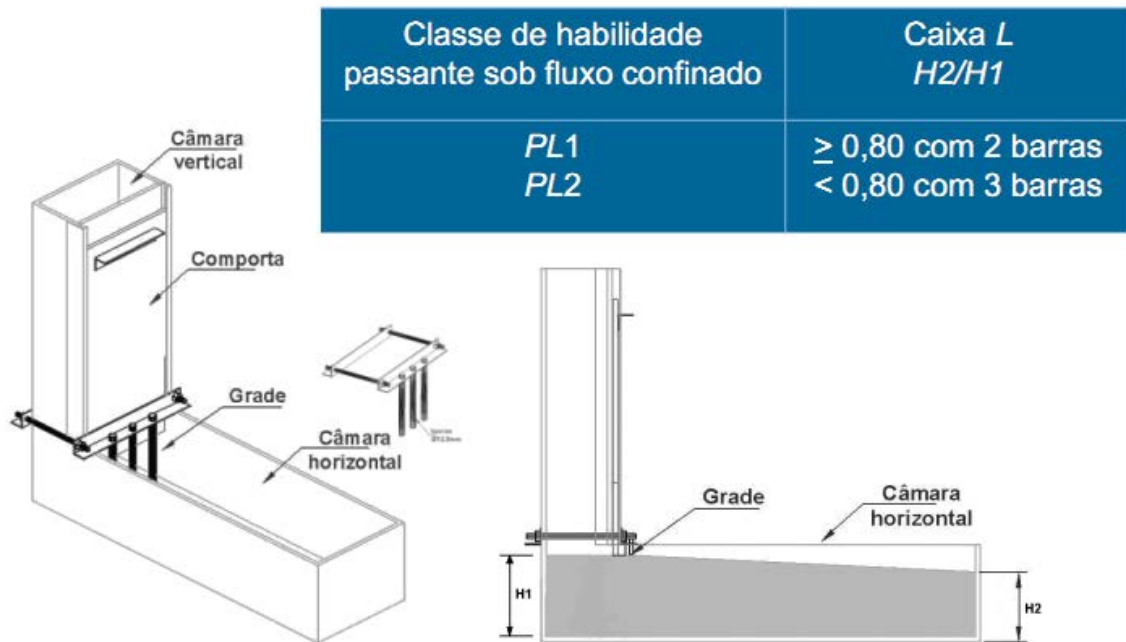


Figura 2.7: Esquema habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)



Figura 2.8: Esquema habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)



Figura 2.9: Esquema habilidade passante em fluxo confinado do concreto auto-adensável usando a caixa L.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)

#### **2.7.4 Determinação da viscosidade-Método do funil V (ABNT NBR 15823-4 2010)**

Prescreve o ensaio para determinação da viscosidade do concreto auto-adensável, pela medida do tempo de escoamento de uma massa de concreto através do funil V. Se aplica a concreto auto-adensável preparado com agregado graúdo de dimensão máxima característica menor ou igual a 20 mm (ABNT NBR 15823-4 2010), conforme figura 2.11.

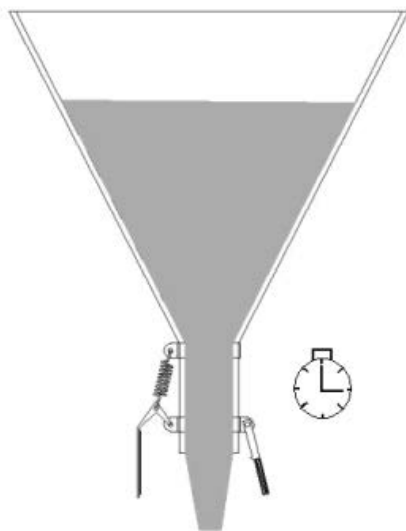
Este ensaio mede a fluidez do CAA, sendo que a medida é o tempo que o material leva para escoar do funil, conforme figura 2.10. Para a realização deste ensaio são necessários um funil, uma espátula, uma concha côncava e um cronômetro, sendo acionado no exato momento em que a porta do aparelho é aberta, conforme figura 2.12.



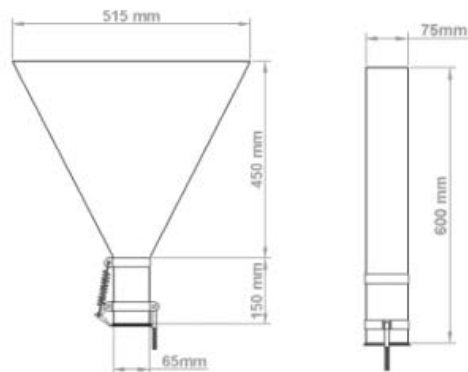
2.10: O ensaio mede a fluidez do CAA, sendo que a medida é o tempo que o material leva para escoar do funil.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012).

### ABNT NBR 15823 – Parte 5



Classe de viscosidade plástica aparente sob fluxo confinado	Funil V s
VF1	< 9
VF2	9 a 25



2.11: Esquema do ensaio mede a fluidez do CAA, sendo que a medida é o tempo que o material leva para escoar do funil.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)



Curso do Dr. Fernando Almeida Filho ,  
do NETPRÉ, 22.11.2008,

2.12: O ensaio mede a fluidez do CAA, sendo que a medida é o tempo que o material leva para escoar do funil.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)

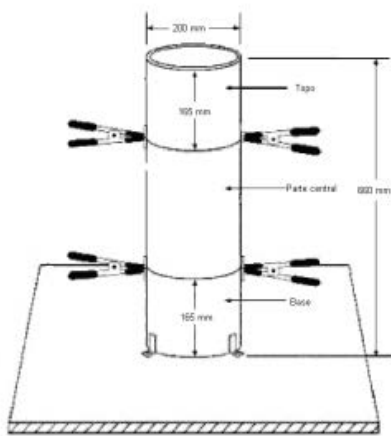
### **2.6.5 Determinação da resistência á segregação- Método da coluna de segregação (ABNT NBR 58523-5 2010)**

Prescreve o ensaio para determinação da resistência á segregação do concreto, pela diferença das massas de agregado gráudo existentes no topo e na base da coluna de segregação. Não é aplicável a CAA contendo agregado leve ou fibras (ABNT NBR 58523-5 2010), conforme figuras 2.14; 2.15 e 2.16.



Figura 2.13: Prescreve o ensaio para determinação da resistência á segregação do concreto, pela diferença das massas de agregado graúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012).



### ABNT NBR 15823 – Parte 6

Classe de resistência à segregação	Coluna de segregação %
VF1	$\leq 20$
VF2	$\leq 15$

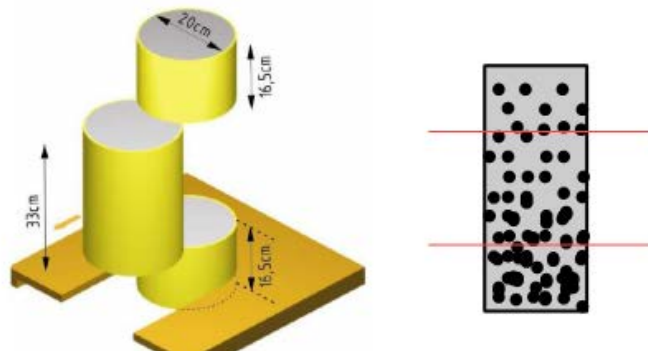


Figura 2.14: Esquema do ensaio para determinação da resistência á segregação do concreto, pela diferença das massas de agregado graúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin ,2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)



Dissertação de Mestrado de Tobias Azevedo da Costa Pereira, apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos/USP

Figura 2.15: Massas de agregado graúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação.

Fonte: Inês Laranjeira da Silva Battagin, 2º Fórum Mineiro de Estruturas de Concreto (11/2012)

## **2.7 Componentes básicos do concreto auto-adensável**

Os materiais utilizados para a elaboração do CAA, na prática, são os mesmos utilizados para o CCV, porém com maior quantidade de finos (adições minerais quimicamente ativas ou fílers) e de aditivos plastificantes, super plastificantes e/ou modificadores de viscosidade (Tutikian e Molin, 2008).

A seleção destes materiais não é muito fácil, pois segundo Tutikian e Molin (2008) existem cimentos e agregados com grande variações nas suas composições e propriedades, onde a situação é agravada quando verificamos que inúmeros aditivos químicos e adições minerais são utilizados simultaneamente na mistura do CAA.

Porém alguns materiais tem características e propriedades que beneficiam as propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade do concreto.

### **2.7.1 Cimento**

Não há uma especificação técnica especial para o cimento na mistura do CAA, pois o mesmo cimento que é utilizado para o concreto CCV pode ser utilizado para o CAA, sendo que o melhor cimento é aquele que apresenta a menor variabilidade em termos de resistência a compressão, porém especialistas afirmam que quanto mais finura, melhor para as propriedades do CAA.

Para um controle reológico adequado, quanto menor for a quantidade de alumiato tri cálcico ( $C_3A$ ) mais fácil será o seu controle, pois teores de  $C_3A$  maior que 10% podem resultar em rápida fluidez, dificultando a aplicação do CAA em obras.

Segundo Tutikian e Molin (2008) quando se trata de finura de cimento, maior a quantidade de 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 apesar de aumentarem os cuidados necessários com relação ao calor de hidratação e retração do concreto.

### 2.7.2 Adições Minerais

Para que o CAA tenha sua fluidez e elevada resistência a segregação, para aumentar a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo, são utilizados aditivos modificadores de viscosidade e/ ou adições minerais.

Segundo Tutikian e Molin (2008) além de responsáveis pela resistência a segregação da mistura, as adições minerais podem desempenhar um papel importante para a resistência e durabilidade do concreto, tanto física como quimicamente.

Segundo Tutikian e Molin (2008) o efeito físico ocorre através do desdobramento de três ações principais: o efeito fíler, que é o aumento da densidade da mistura resultante do preenchimento dos vazios pelas minúsculas partículas das adições; o refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento, causado pelas pequenas partículas das adições que podem agir como pontos de nucleação para os produtos de hidratação; e alteração da microestrutura da zona de transição, reduzindo ou eliminando o acúmulo de água livre que, normalmente, fica retido sob os agregados, já o efeito químico provem das adições minerais que ocorre a partir da reação do hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$ - composto frágil e solúvel que se forma durante a hidratação do cimento.

As adições minerais, de acordo com a sua classificação físico-química, podem ser classificadas em dois grandes grupos, adições minerais quimicamente ativas e adições minerais sem atividade química.

### **2.7.2.1 Adições Minerais Quimicamente Ativas**

Podem ser tanto de material pozolânico como material cimentante.

Segundo Tutikian e Molin (2008) o material pozolânico é definido pela NBR 12653 (1992) como um material que reage quimicamente como o  $\text{Ca(OH)}_2$ , produto de hidratação do cimento Portland á temperatura ambiente para formar compostos resistentes. Ou seja, depende da presença de cimento Portland para atuar. Como exemplo, pode-se citar a cinza volante com baixo teor de cálcio, a pozolana natural, a sílica ativa, a cinza de casca de arroz e o metacaulim. Por outro lado o material cimentante possui, na sua composição, hidróxido de cálcio e não necessita do  $\text{Ca(OH)}_2$  formado durante a hidratação do cimento Portland para gerar o C-S-H. No entanto, sua auto-hidratação é normalmente lenta e a quantidade de produtos cimentantes formados é insuficiente para aplicação do material para fins estruturais. Quando usado como adição ou substituição em concretos de cimento Portland, a presença de  $\text{Ca(OH)}_2$  e gipsita acelera sua hidratação, como é o caso da escória granulada de alto-forno.

### **2.7.2.2 Adições Minerais Sem Atividades Químicas**

O fíler é um agregado mineral ultra fino sem qualquer atividade química, onde sua ação se a um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para hidratação dos grãos de cimento.

Os fílers são utilizados para substituir os agregados miúdos por serem mais finos e incorporarem trabalhabilidade ao CAA, sendo que os mais usuais são o

calcário e areia fina, além de outras adições minerais experimentais como o pó granítico e outros.

### **2.7.3 Agregados**

Pode-se entender que agregado é um material granular, sem forma e volume definidos, geralmente em obras de engenharia.

Podem ser considerados agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de alterações de rochas.

#### **2.7.3.1 Agregados Miúdos**

Para a produção de CAA os vários tipo de areias disponíveis no mercado são utilizadas na mistura, porém as areias naturais são mais adequadas pelo seu formato mais arredondado e textura mais lisa, mas as areias industrializadas também são utilizadas mesmo apresentando uma composição granulométrica com descontinuidades, sendo corrigida com o acréscimo de areia natural para preencher as lacunas das frações intermediárias para uma melhor adequação granulométrica.

Deve-se ter um cuidado especial na dosagem de água, já que com o aumento de finos na mistura a demanda por água cresce, porém Otavio (2007) adverte

que tem de se tomar uma atenção no controle de água do agregado miúdo, pois pode influenciar diretamente na fluidez da mistura.

Na prática para a produção de CAA, para que tenha uma boa passagem entre as armaduras os tamanhos dos agregados graúdos estão compreendidos entre 12,5 e 19 mm.

Segundo METHA e MONTEIRO (2006) a distribuição granulométrica do agregado influencia o empacotamento dos grãos e, com resultado, pode alterar a fração volumétrica das britas que serão incorporadas em um mistura de concreto. A fração volumétrica está relacionada, principalmente, ao módulo de elasticidade do concreto e á retração por secagem, sendo menos deformáveis e com menores possibilidades de fissurarem por retração na secagem os concretos com mais agregados e, conseqüentemente, com menor teor de argamassa.

#### **2.7.4 Aditivos**

Os aditivos usados no CAA são os super plastificantes e os modificadores de viscosidade, sendo este um dos diferenciais em relação ao CCV. Os aditivos super plastificantes permitem que se alcance lata fluidez nas misturas, enquanto os aditivos modificadores de viscosidade oferecem um aumento da coesão, prevenindo a exsudação e segregação do concreto (Tutikian e Molin, 2008).

### **2.7.5 Água**

A água potável que vem do abastecimento público, sem dúvida é a mais recomendada para a produção de qualquer tipo de concreto, pois não precisa de ensaios, pois já esta dentro dos padrões exigidos pelas normas e pode ser utilizada sem restrição para a preparação do concreto. Qualquer outro tipo de água tem de passar por ensaios rigorosos para serem utilizadas na mistura de concreto.

### **3 CONCRETO CONVENCIONAL**

O concreto convencional simples caracteriza-se pela mistura de cimento com água formando a pasta de cimento. Adicionando o agregado miúdo, com areia, obtém-se a argamassa de cimento. Juntado o agregado graúdo, com a pedra britada tem-se o concreto simples (FUSCO, 2008).

#### **3.1 Componentes básicos do concreto convencional**

##### **3.1.1 Cimento**

O cimento é dos principais componentes do concreto, pois fará a ligação dos agregados graúdo e miúdos, sendo que os diversos tipos de cimento existentes no mercado são fabricados para o atendimento de necessidade usuais ou específicas de aplicação, ou decorrentes do aproveitamento de subprodutos de outras indústrias, como é o caso da escória de alto-forno (FUSCO, 2008).

Os componentes básicos do cimento são a cal ( $\text{CaO}$ ), a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e o óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Esses são o componente são aglutinados por sinterização, isto é, por aquecimento da mistura até a fusão incipiente, sendo posteriormente moídos com uma finura adequada (FUSCO, 2008).

Para a construção das estruturas de concreto as normas brasileiras consideram os seguintes cimentos para aplicação:

- **Cimentos de endurecimento lento:**

Cimento de alto-forno AF-25, AF-32 (NBR 5735)

Cimento pozolânico POZ-25, POZ-32 (NBR 5736)

Cimento de moderada resistência a sulfatos MRS (NBR 5737)

Cimento de alta resistência a sulfatos ARS (NBR5737)

- **Cimentos de endurecimento normal (cimento Portland comum)**

Cimento Portland CP-25, CP-32, CP-40( NBR 5732)

- **Cimento de endurecimento rápido**

Cimentos de alta resistência inicial ARI (NBR 5733)

### **3.1.3 Agregados**

Conforme a sua composição granulométrica os agregados podem ser divididos em agregados graúdos e agregados miúdos.

O agregado graúdo é o pedregulho natural, ou a pedra britada proveniente do britamento de rochas estáveis, de diâmetro característico superior a 4,8mm de acordo com a Especificação Brasileira EB-4, conforme tabela 3.1.

Conforme esta mesma especificação, o agregado miúdo é a areia natural quartzosa, ou artificial, resultante do britamento de rochas estáveis, de diâmetro máximo, igual ou inferior a 4,8mm.

**Tabela 3.1: Ensaio de peneiramento normal das areias (EB-4)**

Peneiras de aberturas nominais em mm (série normal ABNT)	Percentagens Acumuladas	
	Zona ótima	Zona utilizável
9,5	0	0
4,8	3-5	0-3
2,4	29-43	13-29
1,2	49-64	23-49
0,6	68-83	42-68
0,3	83-94	73-83
0,15	93-98	88-93

Para se definir a composição granulométrica da areia, define-se o módulo de finura MF, pela soma das freqüências relativas acumuladas, obtidas no ensaio de peneiramento normal, isto é, pela soma das porcentagens acumuladas divididas por 100.

As areias podem ser classificadas conforme tabela 3.2.

Tabela 3.2: Classificação das areias

	<b>Módulo de Finura</b>
areia grossa	MF > 3,9
areia média	2,4 < MF < 3,9
areia fina	MF < 2,4

Para os agregados graúdos, as exigências referentes á composição granulométrica são muito menos exigentes do que para os agregados miúdos.

No comércio são consideradas as seguintes categorias de brita em função da faixa de tamanhos predominantes de seus grãos e os seus diâmetros característicos (máximos) de cada categoria conforme tabela 3.3.

Tabela 3.3: Categorias dos grãos de brita

<b>Categoria</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Máximo Diâmetro característico (mm)</b>
Brita 0	4,8-9,5	9,5
Brita 1	9,5-19	19
Brita 2	19-25	25
Brita 3	25-50	50
Brita 4	50-76	76
Brita 5	76-100	100

A especificação Brasileira EB-4 fornece alguns valores para as percentagens acumuladas, em peso, retidas no peneiramento com peneiras de aberturas nominais de 4,8 – 9,5 – 19 – 25 – 38 – 50 milímetros.

Observa-se que o diâmetro do agregado graúdo condiciona o espaçamento das barras da armadura e é condicionado pelas espessuras das peças estruturais a serem construídas.

Como nota-se na NBR 6118, nas vigas , o espaço livre entre as barras da armadura,nas camadas horizontais deve se maior que 1,2 vezes o diâmetro máximo do agregado e, no plano vertical maior 0,5 vezes aquele valor.

#### **3.1.4 Água e aditivos**

A água potável presume-se satisfatória destinada ao amassamento de concreto de acordo com a NBR 6118. Quando não é garantida esta potabilidade, deve-se garantir que seja isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas.

È preciso notar que os agentes agressivos contidos na água de amassamento,quando mantidos abaixo de certos limites, têm ação muito

menos prejudicial do que a mesma água agindo sobre o concreto endurecido. De fato, a maioria dos agentes agressivos contidos na água de amassamento é neutralizada pelas próprias reações de hidratação do cimento e, com isso, termina o seu efeito destruidor. Todavia, essa neutralização pode não ocorrer com os íons Cl<sup>-</sup> da água de emassamento, quando os teores estiverem acima de certos limites. Por outro lado, a neutralização dos agentes agressivos não acontece com a renovação da água que age sobre o concreto endurecido (FUSCO, 2008).

Quanto aos aditivos, deve-se tomar um cuidado muito especial para que na sua composição química não tenha substâncias que possam ocasionar reações químicas que possam atacar as armaduras, por isso deve-se terminantemente proibir a aplicação de no concreto de aditivos que tenham cloretos em sua composição.

### **3.2 Fatores que influenciam na durabilidade e na qualidade do concreto armado**

São vários os fatores que influenciam na durabilidade do concreto, entre eles podemos destacar a porosidade que deixa vazios que permitem a passagem de agentes que podem corroer a armadura da estrutura e outro fator que influência é o adensamento do concreto que pode causar brocas nas estruturas e causar futuras manifestações patológicas que põem levar até ao colapso as estruturas armadas.

### **3.2.1 Porosidade do concreto**

A porosidade do concreto pode comprometer a durabilidade da estrutura, apesar de ser um material essencialmente poroso os ataques por vários fatores podem acarretar riscos as armaduras. Entre os diversos tipos de ataques das estruturas de concreto podemos citar os ataques por CO<sub>2</sub> que produz o efeito de carbonatação; os produtos da poluição ambiental que muitas vezes são ataques ácidos a estrutura de concreto; produtos a base de clorados e ácidos clorídricos aplicados na limpeza das fachadas, sendo muitas das vezes agressivos ao concreto. A penetração desses materiais nos poros dos concretos, vão diretamente nas armaduras, causando uma oxidação e colapso da estrutura.

### **3.2.1 Adensamento do concreto**

A vibração do concreto na concretagem da estrutura armada é simplesmente o adensamento do concreto para que se retire o ar incorporado no concreto, evitando poros de passagens de água e outros produtos que poderão atacar as armaduras do concreto, e para este trabalho a mão de obra qualificada é essencial para que este processo seja feito da melhor forma possível.

Segundo Fusco (2008) os poros existentes na massa de concreto são decorrentes de diversas causas, conforme tabela 3.4.

**Tabela 3.4: Porosidade do concreto**

<b>Tipos de poros</b>	<b>Dimensões (mm)</b>
a) Poros de compactação	0,5 a 5
b) Poros devidos á incorporação de ar	0,05 a 0,5
c) Poros capilares	$0,5 \times 10^{-4}$ a 0,05
d) Poros do gel do cimento	$0,5 \times 10^{-6}$ a $0,5 \times 10^{-4}$

Fonte: Fusco (2008)

Pode-se observar que os poros provocados pela compactação podem provocar poros com dimensões superiores, comparado com os outros poros provocados por motivos diversos.

Os poros da má compactação do concreto são decorrentes do atrito existente entre os grãos dos agregados e entre as formas de concretagem conforme mostra figura 3.1. Esse atrito pode provocar falhas de compactação (FUSCO, 2008). Essas falhas podem gerar manifestações patológicas de diversos tipos, como brocas e nichos de concretagem conforme figura 3.2, sendo este resultado de um processo falho no processo de vibração.



Foto 3.1: Vibração e compactação de pilar / Fonte: Autor



Figura 3.2: Brocas e nichos de falhas na vibração e adensamento do concreto.

Fonte: Autor

## 4 VANTAGENS DO CAA COMPARADO AO CCV

São varias as vantagens que o CAA tem frente ao CCV, as que serão citadas são apenas algumas, muitas outras podem ser relacionadas tão importante quanto as listadas abaixo.

### 4.1 Diminuição da mão de obra

Para o lançamento do CAA a equipe para executar o serviço é a mínima possível, com riscos menores de acidentes por haver um número menor de pessoas trabalhando especialmente em alturas maiores, segundo o Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS) Acidente de Trabalho, de acordo com o Art. 19 da Lei 8213(1991) , conforme o que se refere ao seu conceito legal, “*ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause morte ou perda/redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho*” podemos concluir quando é usado o CAA, diminui-se os riscos de acidentes pois uma quantidade menor de pessoas são envolvidas na atividade de concretagem, sendo que os acidentes em alturas geralmente provocam lesões sérias, sendo uma dos principais causas de morte na construção civil.

Para exemplificar o quantitativo de mão de obra foi feito um acompanhamento de uma concretagem de uma empresa X que executa suas obras na região da Savassi, foram usadas para a concretagem de uma laje de aproximadamente 120 m<sup>2</sup> e 32 m<sup>3</sup> de concreto, sendo concretados pilares e vigas simultaneamente com a laje do 7º pavimento, foram necessárias 18 pessoas sendo:

- Um carpinteiro ;
- Um armador;
- Dois operadores do mangote da bomba;
- Dois serventes auxiliares( umedecendo a laje);
- Quatro operários da equipe de sarrafeamento ;
- Seis operários para vibração do concreto(2 no vibradores adensando,2 carregando o equipamento,2 soltando os cabos de alimentação dos vibradores);
- Dois serventes auxiliando no espalhamento do concreto.

Para a concretagem com CAA o número de trabalhadores diminui significativamente, tornando o local mais seguro, pelo fato de haver um número menor de trabalhadores, chegando ao máximo de 8 pessoas, para as mesmas dimensões de área e volume de concretagem do CCV, diminuindo o risco de acidentes, como o risco de quedas e dos cabos que alimentam os vibradores serem partidos.



Foto 4.1: Espaço reduzido com um número de trabalhadores grande.

Fonte: Autor

## 4.2 Tempo menor de descarga

Um dos problemas encontrados hoje nos grandes centros urbanos, para o recebimento de materiais na construção civil, é o horário de carga e descarga, que cada vez mais estão sendo reduzidos pelos órgãos responsáveis por este setor, que alegam que dependendo do local de descarga que se encontra a obra, pode acarretar em retenções dos fluxos dos veículos nos corredores de circulação de veículos dos grandes centros urbanos, com isso tanto o horário de tráfego de caminhões com capacidades maiores são diminuídos, como o seu horário de descarga na porta das obras, além das bombas passarem seus tubos de passagem de pedestre nos passeios causando transtorno para quem passa nestes locais.

O CAA tem a vantagem de agilizar a descarga, pois o tempo na porta da obra é apenas para o bombeamento do concreto, não tendo paradas para aguardar vibrar pilares e vigas, que geralmente são mais lentas, pela dificuldade de adensar os fundos de pilares e ferragens com densidades maiores de vigas, onde que para o CAA não existe esta dificuldade, pois ele adensa apenas com o seu peso impulsionado pela gravidade, com isso as concretagens são mais rápidas liberando as vias de circulação e os passeios de forma mais ágil e trazendo menos transtorno a todos.

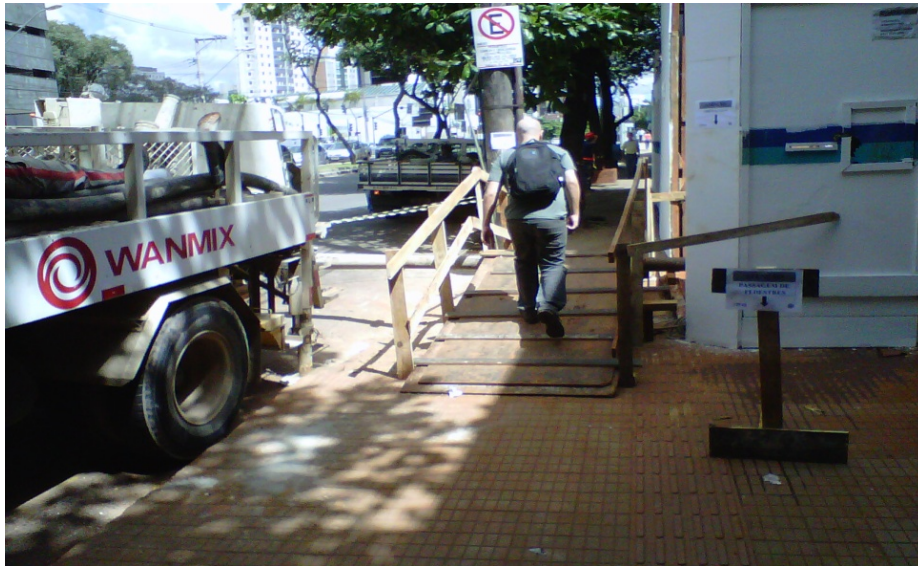


Foto 4.2: Caminhão em via movimentada com horário reduzido de carga e descarga e causando transtorno para a passagem de pedestre./Fonte: Autor

### **4.3 Diminuição do ruído dos vibradores**

Hoje uma das grandes preocupações das autoridades é diminuir a poluição sonora das grandes capitais e dos centros urbanos, a construção civil contribui bastante para que se agrave essa situação, utilizando equipamentos que geram ruídos, que incomodem a vizinhança e ainda podem ocasionar riscos a saúde do trabalhador que manuseiam estes equipamentos, como é o caso dos vibradores e das régua vibratórias de regularização para adensamento do concreto, que são equipamentos que produzem ruídos altos.

Como o CAA não necessita destes tipos de equipamentos e nenhum outro para adensar e nivelar, não provoca nenhum tipo de ruído na obra, sendo uma vantagem para diminuir a poluição sonora no ambiente e ajuda na saúde do trabalhador.



Foto 4.3: Régua vibratória de adensamento e regularização

Fonte: Autor



Foto 4.4: Vibrador para adensar CCV

Fonte: Autor

#### **4.4 Vantagem do CAA na porosidade do concreto**

Os poros decorrentes da má compactação do concreto são propícios para a penetração de substâncias que podem atacar as armaduras do concreto armado, segundo Tutikian e Molin, (2008) o CAA pode aumentar a

durabilidade das estruturas por ser mais fácil de adensar e evita, assim, que ocorram falhas na concretagem e grandes vazios resultantes da má vibração possam acontecer durante a execução do serviço.

As falhas mais comuns nas concretagens são conhecidas como nichos de concretagem, que acarretarão alto custo para a solução desta falha, que tem de ser tomadas medidas imediatas para a recuperação da estrutura, que dependendo da dimensão pode levar a estrutura ao colapso como podemos observar na figura, que mostra bem clara as dimensões dos estragos deixados pela ineficácia do adensamento do CCV.



Foto 4.6: Recuperação da estrutura com forma e grauteamento para os nichos deixados pela vibração e adensamento ineficientes.



Foto4.7:Estrutura recuperada.

A vantagem do CCA é que como o seu adensamento ocorre por gravidade, os nichos de concretagem são praticamente inexistentes, pois o concreto vai ocupar todos os espaços dentro da forma.

#### **4.5 Ecologicamente correto**

CAA tem a vantagem de colaborar na preservação do meio ambiente, pois como na sua composição a quantidade de finos é muito alta, sendo utilizado altos teores de resíduos industriais como cinza volante, escória de alto forno e cinza de casca de arroz, sendo estes os mais resíduos mais usuais, más pesquisas estão sendo feitas pelos grandes centros universitários para o aproveitamento de outros resíduos para compor a mistura do CAA, como pó de ardósia e granito e muitos outros que podem ser incorporados para melhor a trabalhabilidade e qualidade do concreto, podemos afirmar que o CCA é

ecologicamente correto, por utilizar um percentual considerável de matérias que serviriam de descarte para a indústria.

#### **4.6 Viabilidade econômica**

Segundo Tutikian & Dal Molin (2008), para implantar o CAA nas edificações não é necessário qualquer tipo de investimento inicial, já que esse concreto pode ser moldado nas mesmas formas que o CCV, utilizar os mesmo equipamentos (ou até menos, por não precisar de vibradores) e com os mesmos materiais. Para que o CAA se torne uma opção corriqueira, basta que as empresas comecem a optar por ele – e que as empresas de serviço de concretagem também o forneçam. É importante salientar que nenhum tipo de investimento inicial é necessário para as concreteiras.

Observa-se, também, que esse concreto possui tecnologia e qualidade superiores às do CCV, ou seja, ao utilizá-lo, a empresa aumentará a qualidade de sua estrutura. Como já visto, o CAA aumenta a durabilidade e estética, elimina reparos posteriores e falhas de concretagem e, conseqüentemente, diminui o custo final da obra ( Tutikian & Dal Molin, 2008).

Tutikian et al. apud Tutikian & Dal Molin (2008), descrevem uma utilização com CAA em uma indústria de pré-moldados. Foram comparados os custos globais entre o CCV e o CAA, abrangendo todas as etapas do processo, desde a composição unitária dos insumos até a etapa de reparos. A tabela 4.1 mostra o resultado para a empresa, que utilizava um concreto de  $f_{ck}$  25 MPa. O custo global do CAA foi 3% inferior ao do CCV, apesar

dos materiais terem apresentado um custo de 24% superior.

**Tabela 4.1:** Comparação de custos globais entre CVV e CAA  
 Fonte: (TUTIKIAN & DAL MOLIN,2008).

<b>EMPRESA "S"</b>				
<b>ETAPA</b>	<b>CCV</b>		<b>CAA</b>	
	<b>Nº DE PESSOAS</b>	<b>CUSTO (R\$/m³)</b>	<b>Nº DE PESSOAS</b>	<b>CUSTO (R\$/m³)</b>
<b>COMPOSIÇÃO DO CONCRETO</b>	0	142,46	0	177,29
<b>MISTURA DO CONCRETO</b>	1	3,43	1	3,43
<b>TRANSPORTE</b>	1	15,49	1	15,49
<b>APLICAÇÃO DO DESMOLDANTE</b>	3	10,66	3	10,66
<b>ADENSAMENTO</b>	5	26,70	2	5,34
<b>ACABAMENTO</b>	4	7,03	2	1,41
<b>REPAROS</b>	2	14,55	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>216,89</b>		<b>210,19</b>

As vantagens frente ao CCV são muitas como: a redução de prazo na execução das obras; economia e otimização da mão de obra; maior reaproveitamento de formas;

maior flexibilidade nos projetos não sendo empecilho elementos esbeltos; aumento na qualidade e durabilidade das estruturas; redução dos níveis de ruídos muitas outras vantagens que fazem com que seja um material de ponta.

E a tendência futura é que mais empresas comecem a utilizar o CAA em suas obras como foi visto e discutido no II Fórum Mineiro de estrutura de Concreto realizado no dia 27 de novembro de 2012, no auditório da FIEMG em Belo Horizonte com quatro palestrantes especialistas da área, falaram sobre este

tipo de concreto e tiraram dúvidas a respeito do tema.

Hoje o CAA é um material que tem sua norma em vigor desde 2010, fator que traz mais segurança para os usuários e as concreteiras que tem padrões a serem seguidos que balizam a qualidade e resistência do mesmo, além do fato que as concreteiras têm investido nesta tecnologia do CAA, pois já perceberam que é uma tendência futura a substituição do CCV, e são fazendo as suas adaptações para usinar de forma mais eficiente e a logística de entrega nas obras, ficaram para trás, enquanto outras empresas já saíram na frente.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto auto-adensável mesmo inicialmente sendo um material com um custo maior, torna-se viável do ponto de vista econômico e executivo, pois dispensa uma boa parte da mão de obra qualificada necessária para as concretagens, diminuindo o custo com empreiteiros de sarrafeamento de concreto e treinamento com pessoal para vibração do concreto, além de diminuir a possibilidade de acidentes, por haver um número menor de pessoas envolvidas no processo de concretagem, diminui a logística de tempo de concretagem, fator importante nos grandes centros urbanos que tem os seus horários de carga e descarga limitado, evitando que concretagens sejam interrompidas por vencerem os horários de descarga do concreto, ocasionando futuras manifestações patológicas a iniciar com as juntas frias de concretagem, pela interrupção do processo. Evita a emissão de ruídos provenientes dos vibradores, que prejudicam a audição dos que manuseiam os vibradores e dos vizinhos que estão ao redor causando danos a saúde do trabalhador, além evitar futuros problemas com prefeitura e meio ambiente.

Aumenta a durabilidade do concreto, pois diminui a porosidade do concreto, fator que pode ocasionar ataque as armaduras que podem levar a estrutura ao colapso, além de economizar na mão de obra e material para as manutenções de provenientes das falhas das concretagens, ocasionadas pela más vibrações, pode-se observar na pesquisa de campo feita com o acompanhamento do processo de concretagem de CCV, as varias falhas que podem ocorrer com o uso do concreto CVV, mesmo tomando cuidados

especiais como: o uso de brita zero, dosagem do concreto com um slump maior, treinamento da equipe de vibração do concreto e acompanhamento pelos carpinteiros de modo intenso e direto, para se verificar o enchimento completo dos pilares e vigas, pode-se observar várias falhas na desforma dos pilares, vigas e lajes, com brocas e nichos de concretagem de tamanho consideráveis, que foram tratados e tiveram um custo alto de mão de obra e material para a manutenção das patologias ocasionadas pelas falhas de concretagem.

O concreto auto-adensável é uma nova tecnologia que está chegando no mercado e aos poucos vem transpondo as barreiras que impendem o seu uso mais rotineiro, a falta de informação de muitos profissionais, pode se considerada uma das principais causa do seu uso não ser maior, para tentar reverter este quadro e levar ao conhecimento desta nova tecnologia, aos que ainda tem duvidas ou não conhecem este matérias, são os investimentos que as associações e indústrias cimenteiras e as concreteiras vem fazendo para se adequar a está nova realidade, além dos fóruns para debater, para tirar dúvidas e levar ao conhecimento dos que ainda não conhecem as vantagens desta tecnologia inovadora, estão promovendo Fóruns, como foi o 2º Fórum Mineiro de Concreto realizado em Minas Gerais, que trouxe vários profissionais especialistas neste tipo de concreto, que explicaram e tiraram varias duvidas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Ricardo Dos Santos Arnaldo de. Dosagem de Concreto Auto-adensável: **Produção de Pré-Fabricados**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15823-1: Concreto auto-adensável. **Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15823-2: Concreto auto-adensável. Parte 2: **Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15823-3: Concreto auto-adensável. Parte 3: **Determinação da habilidade passante – Método do anel J**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15823-4: Concreto auto-adensável. Parte 4: **Determinação da habilidade passante – Método da caixa L**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15823-5: Concreto auto-adensável. Parte 5: **Determinação da viscosidade – Método do funil V**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15823-6: Concreto auto-adensável. Parte 6: **Determinação da resistência à segregação – Método da coluna de segregação**. Rio de Janeiro, 2010.

CASTRO, Alexandre Lorenzetti de. **Aplicação de Conceitos Reológicos na Tecnologia dos Concretos de Alto Desempenho**. 2007. 302 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos/instituto de Física de São Carlos/instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2007.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. **Contribuição ao Estudo de Propriedades do Concreto Auto-Adensável Visando Sua Aplicação Em Elementos Estruturais**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Civil: Estruturas) - Centro de Tecnologia / Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

COLLEPARDI, MARIO. **Self-Compacting Concrete: what is new?** Berlin: s.n., 2003.

FUSCO, Péricles Brasileiro, **Tecnologia do Concreto Estrutural**. São Paulo: Pini 2008

ISAIA, Geraldo Cechella et al. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005. 2 v.

ISAIA, Geraldo Cechella et al. (Ed.). **Materiais de Construção Civil: e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. 2 v.

HELENE, Paulo; Terzian, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1992

**LEI Nº 8.213, DE 24 DE JULHO DE 1991**. Art. 19

MEHTA, P. Kumer; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto: Micro estrutura, Propriedades, Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2008

NEVILLE, Adam Matthew; tradução Salvador E. Giammusso. **Propriedades do concreto**. 2ªed. São Paulo: Pini, 1997.

NUNES, SANDARA CONCEIÇÃO BARBOSA. **Betão auto-compactável : tecnologia e propriedades**. Dissertação (Mestrado). Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2001

REPETTE, Wellington Longuini; ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis**. 162 f. Tese (Doutorado) - PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, 2007.

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