

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG
ANA PAULA DE OLIVEIRA ALMEIDA

USO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL PARA FÔRMAS DESLIZANTES

CASCABEL – PR
2016

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG

ANA PAULA DE OLIVEIRA ALMEIDA

USO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL PARA FÔRMAS DESLIZANTES

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Esp. Andréa Resende Souza

**CASCADEL – PR
2016**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

ANA PAULA DE OLIVEIRA ALMEIDA

USO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL PARA FÔRMAS DESLIZANTES

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor (a) Especialista em Engenharia Civil Andréa Resende Souza.

BANCA EXAMINADORA



Orientador (a) Profª. Esp. Andréa Resende Souza
Centro Universitário FAG
Especialista em Engenharia Civil



Professor (a) Msc. Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres
Centro Universitário FAG
Mestre em Engenharia Civil



Professor (a) Esp. Jefferson Teixeira Olea Homrich
Centro Universitário FAG
Especialista em Engenharia Civil

Cascavel, 29 de outubro de 2016.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, pelo apoio, amor e compreensão, fontes da minha motivação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que permitiu que superasse minhas dificuldades e alcançasse meus objetivos.

À professora e orientadora Andréa Resende Souza, pela dedicação, compreensão, críticas e elogios, os quais foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, pelo amor e compreensão, além do incentivo à minha formação acadêmica e profissional.

Ao meu namorado que teve paciência, e soube compreender meus momentos de estresse, estando ao meu lado me acalmando e me incentivado.

Ao Eng. Humberto e Eng. Salete da Construtora Triunfo S/A, que não mediram esforços para que os ensaios fossem realizados.

Aos Laboratoristas de Ensaios de Materiais de Construção e também a toda equipe técnica da obra Usina Hidrelétrica Sinop, pela colaboração durante a realização da parte experimental.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

OBRIGADO.

RESUMO

O concreto autoadensável (CAA) vem conquistando espaço no mercado e fornecendo componentes que podem sanar as necessidades e os problemas encontrados nas concretagens. Um concreto que não necessite adensamento é essencial em estruturas complexas que possuem uma grande quantidade de armadura. As estruturas que se utiliza fôrmas do sistema deslizantes geralmente possuem grandes dimensões, tornando o processo de concretagem demorado, sendo necessário um maior número de funcionários. A partir disso, o presente trabalho visou verificar o uso de um concreto autoadensável em fôrmas deslizantes. Assim a realização desse estudo contou com a confecção de modelos reduzidos de fôrmas deslizantes realizando concretagens com concreto convencional e autoadensável para uma devida comparação e verificação da possibilidade do uso de um CAA. Realizou-se ensaio de resistência à compressão nas idades de 3, 7 e 28 dias e foi verificado que a resistência do concreto autoadensável foi superior à do convencional em todas as idades, sendo que com 3 dias a diferença foi de 13%, com 7 dias 16% e com 28 dias 4%. Percebeu-se que a concretagem com concreto autoadensável foi mais lenta devido uso de aditivos plastificantes que agem como retardadores de pega e que o custo de produção de um concreto autoadensável é maior. Sendo assim confirma-se que o uso de um concreto autoadensável em fôrmas deslizantes é possível e indispensável em estruturas muito armadas, diminuindo a quantidade de mão de obra dispensando a necessidade de vibradores, tornando a concretagem mais segura e diminuindo os riscos de doenças provocadas pelo ruído excessivo.

Palavras-chaves: concreto autoadensável, fôrmas deslizantes, aditivos plastificantes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de fôrmas, estruturado em subsistema, elementos e componentes.	15
Figura 2 - Sistema de forma deslizante.	17
Figura 3 - Curva granulométrica de agregados miúdos consideradas na literatura para serem utilizadas no CAA.	23
Figura 4 - Curva granulométrica de agregados graúdos consideradas na literatura para serem utilizadas no CAA.	23
Figura 5 - Caminhão betoneira sendo carregado.	29
Figura 6 - Ensaio de abatimento do tronco de cone.	30
Figura 7 - Ensaio Slump Flow.	31
Figura 8 - Ensaio caixa L.	31
Figura 9 - Ensaio funil-V.	32
Figura 10 - Moldagem de corpos de prova.	33
Figura 11 - Corpos de provas de concreto autoadensável.	33
Figura 12 - Capeamento dos corpos de provas.	34
Figura 13 – Ensaio de resistência a compressão.	35
Figura 14 - Modelo reduzido de forma deslizante.	36
Figura 15 - Primeiro deslizamento da forma.	37
Figura 16 - Resistência média à compressão.	40
Figura 17 - Pilar concreto autoadensável.	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Traços concreto convencional (CCV) e concreto autoadensável (CAA).....	27
Quadro 2 - Traço concreto convencional com o resultado do <i>Slump Test</i>	38
Quadro 3 - Resultados dos ensaios do concreto autoadensável.....	39
Quadro 4 - Classificação do concreto autoadensável de acordo com o espalhamento, viscosidade plástica e habilidade passante.	39
Quadro 5 - Duração de concretagem com concreto convencional e autoadensável.....	41
Quadro 6 - Velocidade de deslizamento em cm/h.	41
Quadro 7 - Custos para fabricação de 1 m ³ de concreto autoadensável e convencional.	43

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

API	Aditivos predominantes inertes;
APR	Aditivos predominantes reativos;
CAA	Concreto autoadensável;
CCV	Concreto convencional;
Cm	Centímetros;
cm/h	Centímetros por hora;
CP IV-32 RS	Cimento Portland resistente a sulfatos;
Fck	Resistência característica à compressão;
H	Horas;
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico;
mm	Milímetros;
min	Minutos;
m ³	Metro cúbico;
MPa	Mega pascal;
MT	Mato grosso;
NBR	Norma brasileira;
S	Segundos;
S/A	Sociedade anônima;
°C	Graus Celsius.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	12
1.1 INTRODUÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	14
CAPÍTULO 2.....	15
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1.1 Sistema de fôrmas	15
2.1.1.1 Método construtivo das fôrmas deslizantes	16
2.1.1.2 Vantagens e desvantagens das fôrmas deslizantes.....	17
2.1.2 Concreto convencional e concreto autoadensável.....	18
2.1.2.1 Vantagens e desvantagens do CAA	19
2.1.3 Materiais constituintes do CAA	21
2.1.3.1 Cimento	21
2.1.3.2 Agregados.....	22
2.1.3.3 Aditivos	24
2.1.3.4 Adições Minerais.....	24
2.1.3.5 Água	25
2.1.4 Propriedades mecânicas do CAA.....	25
CAPÍTULO 3.....	27
3.1 METODOLOGIA	27
3.1.1 Caracterização dos materiais.....	27
3.1.1.1 Cimento	27
3.1.1.2 Agregados.....	27
3.1.1.3 Aditivos	28
3.1.1.4 Água	28
3.1.2 Processo de produção do concreto	28
3.1.3 Ensaio concreto convencional	29
3.1.3.1 Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone.....	29

3.1.4 Ensaio concreto autoadensável	30
3.1.5 Moldagem e cura dos corpos de provas	32
3.1.6 Determinação da resistência à compressão	34
3.1.7 Análise de um modelo reduzido de fôrma deslizante	35
3.1.8 Estudos de custo do concreto autoadensável e convencional	37
CAPÍTULO 4.....	38
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1.1 Resultados Ensaio dos concretos no Estado Fresco	38
4.1.2 Resultados Ensaio de Resistência à Compressão.....	39
4.1.3 Concretagem dos modelos reduzidos de fôrmas deslizante.....	40
4.1.4 Comparativo de custos	42
CAPÍTULO 5.....	44
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
CAPÍTULO 6.....	45
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL (NBR 15823, 2010).....	50
APÊNDICE A – RESULTADOS DE ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	51
APÊNDICE B – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DAS CONCRETAGENS COM CONCRETO AUTOADENSÁVEL E CONVENCIONAL.....	53

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA) foi desenvolvido inicialmente em 1986, na Universidade de Tóquio, no Japão. O intuito principal era resolver os problemas da baixa durabilidade do concreto estrutural devido aos abalos sísmicos da região (OKAMURA, 1997).

De acordo com Neville e Brooks (2013), o concreto autoadensável é uma mistura que expelle os vazios do concreto sem vibração e passa por obstáculos, como armaduras, para preencher as fôrmas. Para ser classificado como CAA, existem três requisitos: fluidez, capacidade de passar entre as armaduras de pequeno espaçamento e resistência a segregação.

O CAA é considerado um avanço tecnológico no processo de construção das estruturas de concreto, além de aumentar a produtividade, reduz a quantidade de mão-de-obra na hora da concretagem e melhora a qualidade do concreto. Desta forma, está ganhando uma rápida aceitação na construção civil, sendo visto como um potencial para substituir em muitos casos o concreto convencional (BARROS, 2008).

Para obtenção deste tipo de concreto, podem ser utilizados os mesmos materiais da fabricação de um concreto convencional, fazendo o uso de materiais finos e superplastificantes; viscosidade obtida por agentes controladores; relação água/cimento aproximada de 0,4; menos agregado graúdo que o usual (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Apesar do CAA ser uma invenção tecnológica, ainda é muito restrito o uso no Brasil. A falta de conhecimento deste concreto cria um certo receio na sua utilização, principalmente em relação à dosagem. Para Helene (2009), há benefícios diretos e indiretos que sustentam o uso do CAA, como o fato de ele ser ecológico, sustentável, rápido, além de oferecer melhor adensamento e acabamento.

Segundo a revista PINI (2011), as fôrmas deslizantes consistem em painéis que deslizam verticalmente impulsionados por macacos hidráulicos. Geralmente fabricadas em material metálico ou misto, sendo utilizadas em estruturas de grandes dimensões.

Este trabalho visa realizar concretagens em modelos reduzidos de fôrmas deslizantes, verificando se é possível a utilização de um concreto autoadensável neste sistema, sendo realizada uma comparação com o concreto convencional.

A substituição do concreto convencional pelo autoadensável tende a trazer benefícios ao setor de construção civil, basta haver um maior conhecimento e uma maior aceitação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar a utilização de um concreto autoadensável para o uso em fôrmas deslizantes em relação ao uso do concreto convencional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar a resistência do concreto autoadensável em relação ao concreto convencional;
- Verificar a trabalhabilidade dos concretos para aplicação em fôrmas deslizantes;
- Verificar o custo de fabricação de 1,0 m³ de concreto autoadensável e concreto convencional.

1.3 JUSTIFICATIVA

O CAA é um tipo de concreto pouco utilizado no Brasil, são vários os fatores que deixam as indústrias da construção civil com dúvidas se devem ou não optar pelo uso. A dosagem do concreto é um destes fatores, sendo que a sua dosagem deve ser muito precisa, além de que os aditivos superplastificantes devem ser misturados um pouco antes do seu lançamento.

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), a principal causa da falta de uso do CAA, é a falta de conhecimento sobre o assunto por parte de alguns profissionais. Como a grande variedade de estudos experimentais de dosagens que faz com que o concreto autoadensável não seja utilizado.

Segundo Daros (2009), a utilização do concreto autoadensável no Brasil vem aumentando, mas ainda de forma restrita. A tecnologia e o conceito do concreto autoadensável ainda são novidades para grande maioria dos profissionais que atuam na construção civil.

As fôrmas deslizantes são utilizadas na concretagem de estruturas de grandes dimensões, geralmente essas estruturas possuem uma grande quantidade de armaduras dificultando a vibração do concreto.

Este estudo tem a importância de apresentar o concreto autoadensável como inovação para utilização em fôrmas deslizantes, substituindo o concreto convencional que por sua vez necessita de adensamento, beneficiando as obras em que utilizam este tipo de fôrma.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

É possível a utilização de um concreto autoadensável em fôrmas deslizantes?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Os ensaios foram realizados na cidade de Sinop – MT, onde o autor realizou estágio de férias no mês de julho de 2016. Foi confeccionado dois traços de concreto com resistência de 20 MPa na idade de controle de noventa dias. Um traço para o concreto convencional e o outro para o autoadensável.

Para verificação da trabalhabilidade, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump test*) para o concreto convencional e os ensaios de *Slump Flow*, caixa L e funil V para o concreto autoadensável.

Na análise da resistência à compressão, foram moldados 30 corpos de provas de (10x20) cm, 15 para cada traço, sendo rompidos nas idades de três, sete e vinte e oito dias.

Para verificação de deslizamento de fôrmas com concreto autoadensável, foi fabricado modelos reduzidos de fôrmas em madeira revestidas por uma chapa de alumínio.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

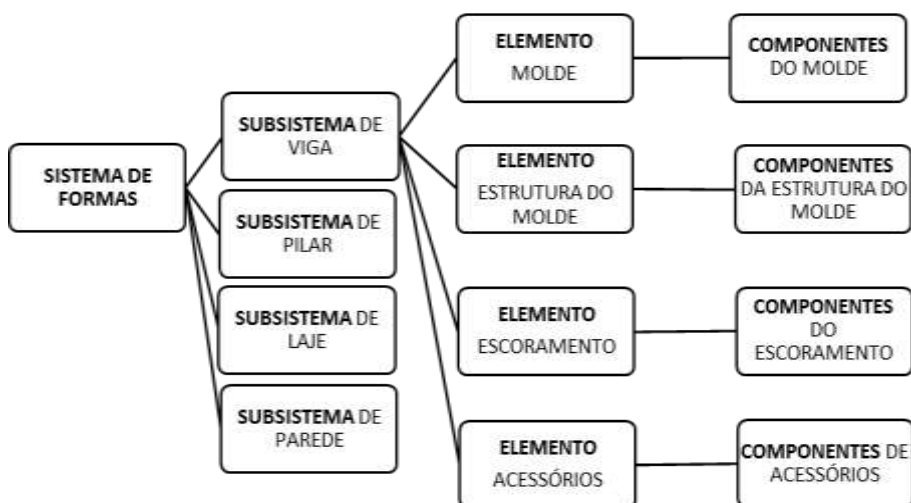
2.1.1 Sistema de fôrmas

Segundo Assahi (s. d.) as fôrmas são moldes provisórios que servem para dar ao concreto fresco a geometria e textura desejada. E que um sistema de fôrma é o conjunto dos elementos compostos pela própria fôrma, escoramento, equipamentos de transporte, de apoio e de manutenção.

A tecnologia de fôrma, atualmente utilizada pela maioria das construtoras, teve início nos canteiros de obra nos fins da década de 60. O desenvolvimento se deu embasado nos conhecimentos da engenharia civil, completando com as observações e experiências do dia a dia dos canteiros, tendo como precursor o Eng. Toshio Ueno (ASSAHI, s. d.).

Segundo Fajersztajn (1987), em todo sistema de fôrmas há um subsistema, sendo esses para lajes, vigas, pilares e paredes, conforme a função que cada uma desempenha na estrutura. Dentro de cada subsistema tem-se elementos que são os moldes, as estruturas dos moldes, os escoramentos e os acessórios. E, dentre cada elemento, existem componentes que são peças as quais variam de acordo com o tipo de fôrmas escolhido, conforme Figura 1.

Figura 1 - Sistema de fôrmas, estruturado em subsistema, elementos e componentes.



Fonte: Autor (2016).

De acordo com Milito (2004), as fôrmas podem variar cerca de 40% do custo total das estruturas de concreto armado. Considerando que a estrutura representa em média 20% do custo total de um edifício, conclui-se que racionalizar ou otimizar a fôrma corresponde a 8% do custo de construção.

Os materiais utilizados na fabricação de fôrmas são: madeira (tábua ou compensado), metal (aço e alumínio), fibra de vidro, plástico, papelão e concreto. São classificadas em função do tipo, como: convencionais, moduladas, especiais, trepantes, deslizantes e mesa voadora (LACERDA, s. d.).

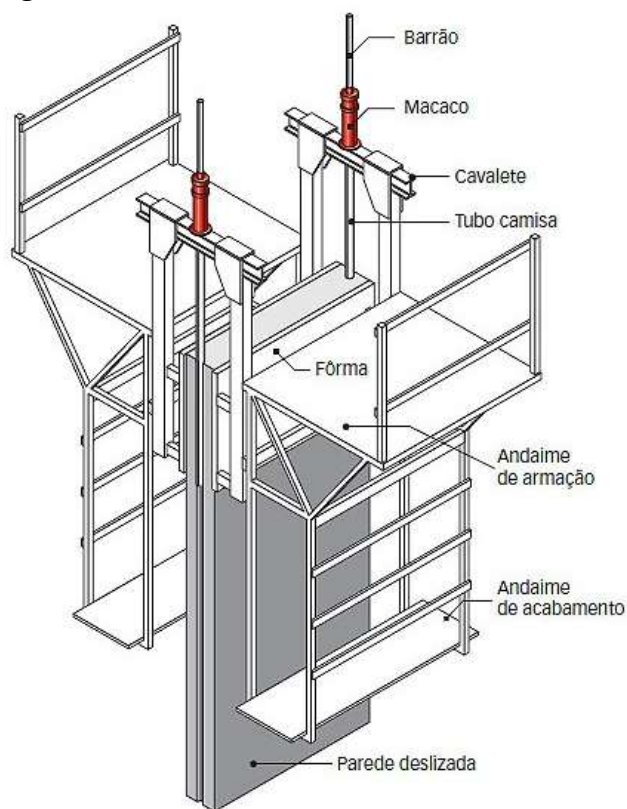
2.1.1.1 Método construtivo das fôrmas deslizantes

De acordo com a revista PINI (2011) e Thoser (s. d), o processo construtivo das fôrmas deslizantes é indicado para a execução de estruturas de concreto armado de grandes dimensões verticais, com seção contínua ou variável. O sistema de deslizantes é composto, basicamente, por quatro elementos: painéis, produzidos em madeira e revestidos de chapa galvanizada ou serem totalmente metálicos; cavaletes metálicos, que fixam as fôrmas internas e externas, garantindo assim a geometria da peça; equipamento hidráulico para içamento; andaimes de armador e pedreiro fixados aos cavaletes metálicos e elevados junto com a fôrma.

Ainda segundo a revista PINI (2011) e Thoser (s. d), após feita a armação da estrutura, é posicionada a fôrma interna e suas partes são unidas. Assim que fixados os cavaletes, que têm função de garantir a posição entres fôrmas internas e externas, os macacos hidráulicos são fixados nas travessas superiores dos cavaletes. Pelos macacos hidráulicos passam os barrões que são apoiados normalmente ao bloco de fundação. A fôrma externa então é posicionada e fixada aos cavaletes, conforme Figura 2.

Segundo Azevedo (2008), os barrões que atravessam os macacos hidráulicos são seguros por duas mordanças de esferas que têm funções alternadas, subir a fôrma quando acionada a bomba hidráulica, e manter a fôrma no seu posicionamento quando efetuado o retorno do óleo dos macacos. Quando a central hidráulica é acionada, a pressão do óleo que chega a todos os macacos faz movimentar o êmbolo e este deslizamento aciona a mordança superior que fica presa ao barrão.

Figura 2 - Sistema de fôrma deslizante.



Fonte: infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas (2011).

A dinâmica de concretagem das fôrmas deslizantes é rápida, a espera pelo tempo de pega do concreto é menor. Passado este período, que é de aproximadamente três horas da primeira concretagem, são acionados os macacos hidráulicos, sendo possível a elevação da fôrma de 15 a 20 centímetros a cada hora (PINI, 2011).

O deslizamento das fôrmas em uma concretagem não pode ser interrompido, podendo chegar a dois ou três turnos de trabalho, chegando a uma elevação de até 6 metros por dia, velocidade esta que não pode ser alcançado por nenhum outro método construtivo (SILVA, 2013).

2.1.1.2 Vantagens e desvantagens das fôrmas deslizantes

De acordo com Silva (2013), todo método de industrialização da construção civil, devido a suas características, derivam vantagens e desvantagens. Sendo as desvantagens a falta de mão de obra especializada, que a torna mais cara, não sendo comum este tipo de empregados; alto custo na locação do equipamento deslizante; não viável para construção de pequeno porte; não é aconselhada a utilização de concretos com o F_{ck} acima de 30 MPa; não recomendada

para grandes centros urbanos, pois como funciona 24 horas, pode causar perturbação aos vizinhos no período noturno.

Ainda de acordo com Silva (2013), as vantagens são: economia na mão de obra, inúmeras operações realizadas simultaneamente, gerando redução no prazo de execução, mecanizando grande parte das operações; reduz a quantidade de acabamento a uma fina camada, devido à regularidade do processo obtido com as fôrmas deslizantes, economizando em materiais e mão de obra; não necessita de andaimes de escoramento, economizando em equipamento; grande velocidade na execução; possibilita a construção de obras em alturas elevadas; reutilização de fôrmas.

2.1.2 Concreto convencional e concreto autoadensável

Segundo Petrucci (1968), concreto é o resultado da mistura de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água, sendo o cimento hidratado pela água, formando uma pasta que adere os agregados, podendo dar diversas fôrmas, sendo fundamental na construção civil.

Para Tutikian e Dal Molin (2008), não se pode mais considerar apenas o estudo de concretos convencionais (CCV), sendo o concreto o material de construção mais utilizado no mundo. O mercado e as técnicas construtivas exigem concretos que apresentem características especiais, como o autoadensável (CAA). O CAA é uma das áreas de tecnologia do concreto que tem maior potencial de desenvolvimento.

Segundo Guetti (2012), o emprego do CAA na construção civil encaixa-se no contexto da industrialização. Se utilizado de forma racional e planejada, pode levar à redução dos custos devido ao aumento de eficiência do processo de concretagem.

As propriedades mais importantes do CAA são a trabalhabilidade e a estabilidade. Determinando e mantendo as características deste concreto, as propriedades dos materiais passam a ser os fatores mais importante para otimização da mistura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Para Campos (2013), o CAA é caracterizado pela necessidade de uma quantidade maior de finos que o CCV, garantindo uma viscosidade adequada. A quantidade de agregado graúdo empregado deve garantir a estabilidade do concreto, evitando-se a ocorrência de bloqueio. O uso de aditivos é algo indispensável, sendo utilizados para obter as características reológicas desejadas. As misturas de concreto autoadensáveis são geralmente adquiridas utilizando altos volumes de pasta quando comparadas com os concretos convencionais.

O CAA pode ser moldado tanto *in loco*, na indústria de pré-moldados, no canteiro de obras ou em centrais de concreto e depois transportado de caminhão betoneira até o local da obra. Pode ser lançado com bombas de concreto, guias ou simplesmente espalhado. Sendo assim, o concreto autoadensável é tão versátil quanto o concreto convencional (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Segundo Gomes e Barros (2009), o comportamento do CAA exige misturas com alta fluidez e suficiente viscosidade e coesão entre os componentes, garantindo um fluxo contínuo e uniforme de toda a mistura, preenchendo as fôrmas sem que produza bloqueio entre as armaduras ou ao passar por algum obstáculo. Essas características definem as principais propriedades de auto adensabilidade do concreto autoadensável, são elas: habilidade de preenchimento, habilidade de passar entre obstáculos e resistência à segregação. Sendo estes parâmetros diferentes dos utilizados na caracterização do CCV.

Com os avanços tecnológicos de novas composições do concreto e o número cada vez mais crescente de pesquisas sobre o concreto autoadensável, além da popularização dos aditivos, com os benefícios do uso do CAA, a utilização de concreto com necessidade de vibração será pouco usual em um futuro bem próximo (GOMES e BARROS, 2009).

2.1.2.1 Vantagens e desvantagens do CAA

De acordo com Campos (2013), é crescente o interesse sobre o CAA, visto que há um aumento contínuo dos estudos e aplicações do material, pelos inúmeros benefícios apresentados na aplicação deste concreto em obras. Algumas das vantagens da aplicação do CAA são apresentadas a seguir.

Dentre as vantagens, deve-se dar destaque que o uso do CAA garante excelente compactação do material no estado fresco, mesmo em áreas com grande quantidade de armaduras. Assim, a presença de nichos no interior da estrutura é evitada, garantindo um excelente acabamento ao concreto, tornando a estrutura mais durável (OKAMURA *et al.*, 2000, GETTU e AGULLÓ, 2003, EFNARC, 2005 *apud* CAMPOS, 2013).

O CAA é uma das grandes revoluções na tecnologia do concreto ocorridas nas últimas décadas, é possível obter vários ganhos diretos e indiretos por meio de sua utilização, entre os quais: acelera a construção, sendo o lançamento muito rápido; reduz a mão de obra no canteiro, eliminando a vibração e facilitando no espalhamento e nivelamento de concreto; melhora o acabamento final da superfície; tem habilidade de preencher fôrmas curvas, com grande

quantidade de armaduras e de difícil acesso; elimina o barulho de vibração, que é muito importante em grandes centros urbanos; torna o local de trabalho mais seguro devido à diminuição do número de trabalhadores; pode reduzir os gastos finais da estrutura, caso sejam computados economicamente todos os ganhos citados acima (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Outra importante vantagem que deve ser destacada é que a eliminação de ruído causada por vibradores, também melhora a qualidade no ambiente de trabalho, além do que os trabalhadores deixam de estar expostos a taxas de ruídos elevados (CAMPOS, 2013).

Para Tutikian e Dal Molin (2008), a adição de finos no CAA melhora diversas propriedades, tanto no estado fresco como no endurecido. Os finos quebram a inércia do sistema, fazendo com que as partículas de cimento reajam rapidamente com a água, tendo assim ganho de resistência nas primeiras idades.

Gomes e Barros (2009), destacam que todas as vantagens citadas se devem ao alcance de um alto desempenho do concreto no estado fresco, que atendem as propriedades características: capacidade de preenchimento, habilidade de passagem por obstáculos e resistência a segregação.

Porém, a produção de CAA exige uma diminuição na quantidade de agregado gráudo presente no concreto, e aumento da quantidade de finos, podendo ser estes cimentos ou adições minerais. Com isso, faz-se necessário cuidado extra durante a cura do CAA, para se evitar ocorrência de fissuras por retração do concreto no momento da pega e endurecimento (OKAMURA et. al., 2000 *apud* KLEIN, 2008).

Segundo Watanabe (2008), há várias pesquisas sendo desenvolvidas com novos materiais para obter um concreto autoadensável, tornando-o cada vez mais viável. Ainda há desvantagens possíveis de serem contornadas, sendo as seguintes: controle tecnológico e aplicação; não é fácil de ser obtido, precisando de mão de obra qualificada para sua fabricação; maior necessidade de controle, durante a sua aplicação, do que o concreto convencional; apresenta menor tempo de aplicação que o concreto convencional; necessita cuidados especiais com o transporte para evitar segregação.

De acordo com Campos (2013), outra desvantagem do CAA é que a pressão de lançamento nas fôrmas é maior quando comparado com o CCV. Essa situação se deve pela alta fluidez, pois quando lançado nas fôrmas, se comporta como um líquido, gerando uma maior pressão. Necessariamente, devem ser tomados maiores cuidados da escolha de escoramento para as fôrmas, obrigando, muitas vezes, as construtoras a utilizarem equipamentos mais caros que garantam o travamento de todas as peças estruturais.

Conforme Klein, “uma outra desvantagem do CAA é o custo elevado do material quando considerado o metro cúbico do concreto, tanto devido ao aumento na quantidade de cimento para se obter auto adensabilidade, quanto à necessidade de uso de aditivos químicos” (KLEIN, 2008).

2.1.3 Materiais constituintes do CAA

O concreto autoadensável é composto pelos mesmo materiais utilizados na produção de um concreto convencional, apenas sendo modificada sua dosagem, acrescentando, em alguns casos, aditivos. Apresenta menor teor de agregados graúdos e maior teor de finos, agregados miúdos, aditivos superplastificantes e em alguns casos aditivos modificadores de viscosidade (CAMPOS, 2013).

2.1.3.1 Cimento

Na confecção do concreto autoadensável podem ser utilizados os mesmos cimentos usados na produção de concretos convencionais. Não existem estudos ou critérios que especifiquem o cimento adequado para o CAA. Sendo o melhor cimento o que apresenta menor variabilidade em termos de resistência à compressão (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Para a produção do CAA, é necessário que haja um elevado teor de finos para que o concreto apresente viscosidade adequada. O aumento do consumo de cimento pode causar ao concreto fresco e endurecido liberação de calor de hidratação e retração plástica. Para evitar ou minimizar os efeitos negativos causados pelo cimento ao concreto, é necessário o uso de cimentos com algum tipo de adição em sua composição (CAMPOS, 2013).

Em cimentos que possuem silicato tricálcico (C_3S) e aluminato tricálcico (C_3A) em suas composições, o calor de hidratação é liberado mais rapidamente. Por outro lado, a necessidade de uma mistura coesa gera uma demanda elevada por material fino no CAA. Uma maior quantidade de finos e, como consequência, um consumo de água mais elevado diminui a tensão de escoamento e aumenta a coesão da mistura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Segundo Ferneda (2014), o cimento mais indicado ao CAA é o CPV ARI por apresentar partículas mais finas e maior resistência inicial ao concreto.

De acordo como levantamento realizado por Gettu e Agulló (2003, *apud* LEITE, 2007), “o consumo de cimento na produção de CAA está numa faixa entre 200 a 450 Kg/m³ para concretos de resistência normal e 400 a 515 Kg/m³ para alta resistência. ”

2.1.3.2 Agregados

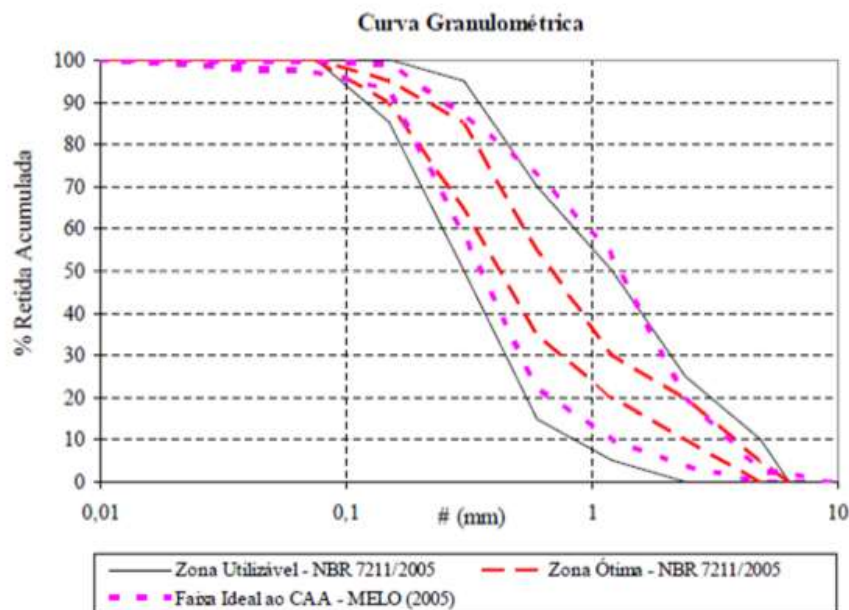
Para garantir uma adensabilidade correta ao concreto autoadensável, é necessário diminuir a quantidade de agregados graúdos em função de um aumento do teor de finos na composição. O volume de agregados e a relação entre agregados graúdos e miúdos são os principais fatores que podem influenciar na reologia do concreto (MELO, 2005).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), o termo agregado graúdo é utilizado para definir partículas maiores que 4,8 milímetros, e agregado miúdo para partículas menores que 4,8 milímetros.

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), a escolha do agregado miúdo está ligada diretamente à demanda de água, fator este que influencia sobre a coesão e fluidez do concreto. Os agregados miúdos com partículas arredondas e lisas são os recomendados para a produção de concreto autoadensável porque aumentam a fluidez da mistura para uma mesma quantidade de água.

A Figura 3 apresenta a faixa granulométrica, ótima e utilizável, estabelecidas pela NBR 7211/2005 e as faixas ideais propostas por Repette-Melo para o agregado miúdo.

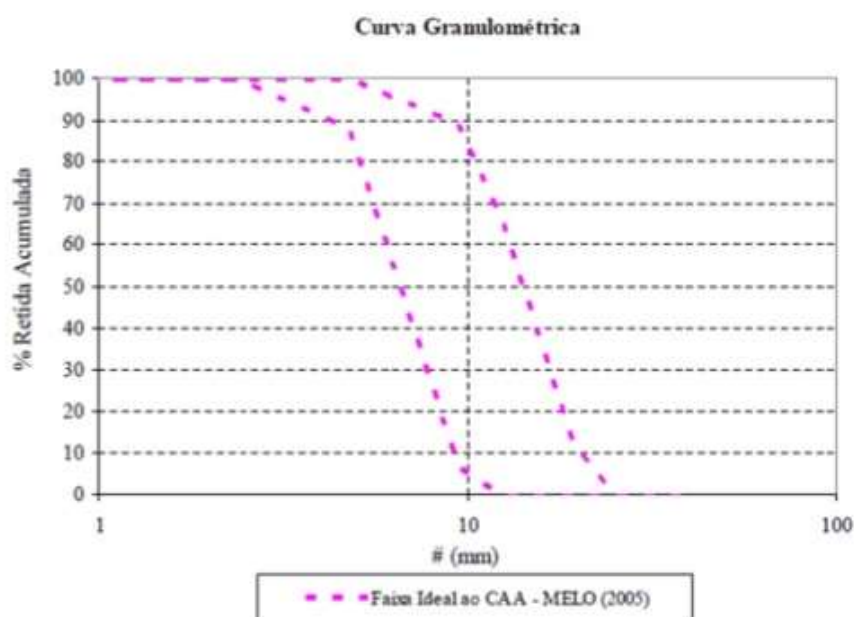
Figura 3 - Curva granulométrica de agregados miúdos consideradas na literatura para serem utilizadas no CAA.



Fonte: Melo (2005).

Segundo Okamura (1997), o diâmetro máximo característico dos agregados graúdos, normalmente utilizados no concreto autoadensável, é de 20 milímetros, porém diâmetros máximos de 40 mm já foram utilizados em aplicações de CAA. A faixa granulométrica do agregado graúdo de acordo com literaturas está apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Curva granulométrica de agregados graúdos consideradas na literatura para serem utilizadas no CAA.



Fonte: Melo (2005).

Geralmente o tipo de agregados escolhidos na confecção do CAA, são escolhidos de acordo com a rocha disponível na região. Quanto à influência dos agregados nas propriedades no estado endurecido do concreto autoadensável, tende a seguir o comportamento do concreto convencional (LEITE, 2007).

2.1.3.3 Aditivos

Os aditivos superplastificantes são os mais empregados na confecção do CAA, geralmente são adicionados para a obtenção da fluidez e viscosidade necessárias ao concreto. Sendo os superplastificantes redutores de água de alta eficiência, por reduzirem o teor de água em maiores proporções que os aditivos plastificantes (CAMPOS, 2013).

Outro aditivo utilizado são os modificadores de viscosidade que aumentam a coesão, prevenindo a exsudação e a segregação do concreto (TUTIKIAN E DAL MOLIN, 2008).

Segundo Campos (2013), estes aditivos podem ser classificados como de 2º geração, que são compostos de polímeros sintéticos sulfonados, e os de 3ª geração, que são os policarboxilatos, elementos capazes de promover um efeito bastante eficiente na repulsão dos grãos de cimento.

2.1.3.4 Adições Minerais

Aditivos minerais são materiais moídos finamente, adicionados em quantidades relativamente grande ao concreto. Sendo incorporados com a finalidade de reduzir os custos, melhorar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, ataques químicos por água sulfatada e expansão álcali-agregado (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A adição de minerais na produção do concreto autoadensável é de grande importância, a viscosidade requerida neste tipo de concreto é obtida pela presença de grande quantidade de materiais finos (KLEIN, 2008).

As adições podem ser classificadas como inertes (A.P.I.) ou reativas (A.P.R.), de acordo como agem no concreto. As A.P.I. provocam uma ação física, proporcionando uma estrutura com maior compacidade. Alguns exemplos são os filler de calcário, quartzo, e o resíduo de serragem de mármore e granito. Já as A.P.R. contribuem para a formação dos

hidratos, como: pozolanas, cinza volante, cinza de casca de arroz, sílica ativa e metacaulin (CAVALCANTI, 2006).

Para Esping (2003, *apud* CAMPOS, 2013), “uma alta superfície específica, elevada quantidade de filler e agregados de pequena granulometria, são parâmetros essenciais para uma maior trabalhabilidade e um maior controle das propriedades do CAA.”

2.1.3.5 Água

A água a ser utilizada para a produção do CAA segue as mesmas recomendações da água utilizada na produção do concreto convencional. A quantidade de água é definida pelas propriedades requeridas no estado fresco e está relacionada com a quantidade de finos que a proporção de material seco disponibiliza à mistura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

2.1.4 Propriedades mecânicas do CAA

Segundo a EFNARC (2005, *apud* MARQUES, 2011), “o CAA é um concreto que apresenta grande fluidez e que, em seu estado endurecido, é denso e homogêneo.”

A diferença entre o concreto convencional e o autoadensável, é que o CCV está envolvido durante o processo de concretagem por fatores que podem comprometer o produto final, entre os quais se destaca o adensamento. Devido à melhor qualidade de lançamento do CAA, normalmente as propriedades no estado endurecido são similares ou superiores às dos CCV (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Apesar do CAA apresentar os mesmos componentes dos concretos convencionais, além de aditivos minerais e químicos, as diferenças no seu estado fresco são notáveis, sendo necessário verificar os efeitos que estas modificações provocam nas propriedades do estado endurecido (WATANABE, 2008).

O estudo das propriedades mecânicas do CAA, é um assunto sobre o qual ainda não existe uma padronização dos resultados, visto que estes dependem de fatores, como: microestrutura dos materiais, composição da mistura, procedimento de moldagem dos corpos de provas. As variações de resistência à compressão, tração e módulo de deformação são notadas, tanto no concreto convencional como no autoadensável. Mas é preciso conhecer tais propriedades em idades mais avançadas do concreto, verificando assim se as propriedades

mecânicas do concreto utilizado se encaixam nos resultados apresentados em normas desenvolvidas por vários países e trabalhos técnicos da literatura (CAVALCANTI, 2006).

Segundo Mendes, “algumas propriedades importantes do concreto no estado endurecido são bastante analisadas e utilizadas como referência de qualidade do concreto, tais como: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade” (MENDES, 2015).

A resistência à compressão é, geralmente, a característica mais relevante do concreto endurecido, sendo determinada através de um ensaio padrão de compressão uniaxial, e aceita universalmente, na idade de 28 dias, como um índice geral da resistência do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Ainda segundo Mehta e Monteiro (1994), a relação água/cimento de um concreto é a responsável pela porosidade da matriz de cimento e da zona de transição entre a matriz e agregado graúdo, tendo influência direta na resistência do concreto, de maneira que, quanto maior a porosidade do material, menor será sua resistência a compressão.

Quanto à resistência à tração, o comportamento do concreto autoadensável segue o mesmo constatado no concreto convencional vibrado (LEITE, 2007).

A definição para o módulo de deformação é dada pela relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea sofrida pelo concreto, sendo dependente das características dos materiais constituintes, assim como na dosagem da mistura (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Proske e Graubner (2005, *apud* KLEIN, 2008), relatam que, quanto maior a quantidade de agregado presente no concreto, maior será o módulo de elasticidade. Sendo assim, a diminuição do volume de agregado e aumento do volume da pasta da mistura, proporciona uma diminuição do módulo de deformação.

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), deve-se levar em consideração que o concreto autoadensável é igual ao convencional no estado endurecido, sendo que as propriedades dependerão da forma como foi dosado. Por isso, deve-se evitar misturas com altos teores de argamassa ou aditivo superplastificante.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Foram confeccionados dois traços diferentes de concreto, uma para o convencional e outro para o autoadensável, com resistência característica à compressão de 20 MPa. Sendo ambos utilizados na Usina Hidrelétrica Sinop, o Quadro 1 apresenta estes traços.

Quadro 1 - Traços concreto convencional (CCV) e concreto autoadensável (CAA).

Traço	Cimento	Areia natural	Areia artificial	Brita 1	Água	Gelo	Aditivo Superplastificante	Aditivos Plastificante
CCV	1	1,41	2,13	4,84	0,43	0,25	0,011	0,006
Traço	Cimento	Areia natural	Areia artificial	Brita 0	Água	Gelo	Aditivo Superplastificante	Aditivos Plastificante
CAA	1	1,14	1,71	2,89	0,34	0,34	0,014	0,008

Fonte: Autor (2016).

Verificou-se que o consumo de cimento para o traço do concreto autoadensável foi de 302 kg/m³ e do convencional 230 kg/m³.

3.1.1 Caracterização dos materiais

3.1.1.1 Cimento

O cimento utilizado para fabricação dos dois traços foi o CP IV-32 RS, cimento pozolânico resistente a sulfatos, utilizado na Usina Hidrelétrica Sinop.

3.1.1.2 Agregados

Como agregados miúdos para os dois traços, foi empregada a areia natural dragada do Rio Teles Pires, que fica às margens da construção da Usina Hidrelétrica Sinop, e a areia artificial proveniente da britagem da rocha Arenito Silicificado.

O agregado graúdo utilizado no CCV foi a brita 1 que apresenta dimensão característica entre 9,5 a 19 milímetros. Já para o autoadensável, foi utilizada brita 0 de

dimensão entre 4,5 a 9,5 milímetros. Ambas também retiradas no processo de britagem da rocha Arenito Silicificado.

3.1.1.3 Aditivos

Os aditivos adotados para o concreto convencional e autoadensável foi o superplastificante ViscoCrete 5700, composto de policarboxilato. O ViscoCrete 5700 permite uma alta taxa de redução de água, mantendo uma excelente fluidez e uma ótima coesão de massa (SIKA, 2014). E o Sikament PR, aditivo plastificante retardador que reduz a quantidade de água para o concreto.

3.1.1.4 Água

A água utilizada na mistura do concreto foi proveniente do canteiro de obras da Usina Hidrelétrica Sinop.

3.1.1.5 Gelo

O gelo utilizado nos dois traços foi fabricado pela central de gelo da Usina Hidrelétrica Sinop. A adição de gelo reduz as tensões térmicas diminuindo o calor de hidratação nas primeiras idades (PORTAL DO CONCRETO, s.d.).

3.1.2 Processo de produção do concreto

Os traços foram dosados na central de concreto da Usina Hidrelétrica Sinop, de acordo com os procedimentos descritos na NBR 7212 (2012). Este concreto foi transportado por um caminhão betoneira até o laboratório, local onde estavam sendo realizados os respectivos ensaios. A Figura 5 mostra o caminhão betoneira sendo carregado na central de concreto.

Figura 5 - Caminhão betoneira sendo carregado.



Fonte: Autor (2016).

3.1.3 Ensaios concreto convencional

3.1.3.1 Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone

Para o concreto convencional, foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump test*) de acordo com NBR NM 67 (1998), que tem a finalidade de avaliar a consistência do concreto fresco através da medida do seu assentamento. Este ensaio consistiu em preencher o tronco cônico em 3 camadas, sendo o concreto adensado com 25 golpes distribuídos uniformemente em cada camada. Após isso, retira-se o molde lentamente, levantando-o verticalmente, medindo o abatimento do concreto, que é a diferença entre a altura do molde e o eixo do corpo de prova já desmoldado, conforme Figura 6.

Figura 6 - Ensaio de abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autor (2016).

3.1.4 Ensaios concreto autoadensável

O concreto autoadensável necessitou passar por um controle para avaliar sua trabalhabilidade. Sendo assim, foram executados os ensaios de *Slump flow*, ensaio da caixa L e o ensaio do funil-V.

O ensaio de *Slump flow* que verifica a fluidez do concreto autoadensável mediante a ação do seu peso próprio foi realizado conforme NBR 15823-2 (2010), utilizando o Cone de Abrams e uma placa de base, com marcações circulares centradas de 200, 500 e 600 milímetros.

Foi seguido o mesmo procedimento para início de ensaio do *Slump test*, diferenciando apenas que foi preenchido o molde em uma única camada, sendo retirado o excesso de material do topo. Após isso, foi feito o levantamento do cone verticalmente, deixando que o concreto fluísse livremente. Assim que cessou o espalhamento, foi feita a leitura conforme Figura 7.

Para definir a classificação do concreto autoadensável quanto o espalhamento conforme NBR 15823-1 (2010) foi feita leitura do espalhamento em duas direções sendo a média utilizado para classifica-lo.

Figura 7 - Ensaio Slump Flow.



Fonte: Autor (2016).

O ensaio de caixa L analisa a fluidez do concreto e a capacidade de passar por obstáculos foi realizado de acordo com a NBR 15823-4 (2010).

Após umedecida a caixa L, o depósito vertical foi preenchido com concreto autoadensável, retirando os excessos com o auxílio de uma colher de pedreiro. A comporta foi aberta após o preenchimento do depósito vertical permitindo o escoamento do concreto para a depósito horizontal, conforme Figura 8. Cessado o escoamento, foi calculada a habilidade passante. Após calculado a habilidade passante foi classificado de acordo com a NBR 15823-1 (2010) a classe de habilidade passante sob fluxo confinado.

Figura 8 - Ensaio caixa L.



Fonte: Autor (2016).

O ensaio de funil V determina a viscosidade do concreto, pelo tempo que ele leva para escoar pelo funil. Conforme a NBR 15823-5 (2010), o funil-V foi limpo e umedecido e apoiado em superfície plana e preenchido de concreto. A comporta foi aberta cronometrando quanto tempo o concreto demorou para escoar, registrando o intervalo de tempo, Figura 9. Com o tempo cronometrado foi possível determinar a sua classe de viscosidade plástica de acordo com NBR 15823-1 (2010).

Figura 9 - Ensaio funil-V.



Fonte: Autor (2016).

3.1.5 Moldagem e cura dos corpos de provas

Para análise da resistência à compressão, foram moldados 15 corpos de provas de (10x20) cm para cada traço.

Na moldagem dos corpos de prova, conforme NBR 5738 (2015), para o concreto convencional, foi feito o adensamento manual, preenchendo o molde em duas camadas, aplicando 12 golpes por camada com o auxílio de uma haste metálica conforme Figura 10.

Figura 10 - Moldagem de corpos de prova.



Fonte: Autor (2016).

Para o concreto autoadensável foi realizado o preenchimento da fôrma em camada única, Figura 11.

Figura 11 - Corpos de provas de concreto autoadensável.



Fonte: Autor (2016).

Após a moldagem dos corpos de provas eles foram colocados na câmara úmida com temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, sendo retirados após 24 horas para desmolde das fôrmas cilíndricas e em seguida colocados novamente até a idade de ruptura.

3.1.6 Determinação da resistência à compressão

Após período de cura, para cada traço foram realizados ensaios de resistência à compressão nas idades de três, sete e vinte e oito dias, sendo rompidos 5 corpos de provas de cada traço.

Conforme NBR 5739 (2007), antes de serem rompidos as bases dos corpos de provas foram capeados com enxofre a quente, a fim de tornar as superfícies planas (Figura 12).

Figura 12 - Capeamento dos corpos de provas.



Fonte: Autor (2016)

Após realizados o capeamento os corpos de provas foram rompidos em prensa hidráulica para verificação de resistência a compressão (Figura 13).

Figura 13 – Ensaio de resistência a compressão.



Fonte: Autor (2016)

Após a realização dos ensaios, foi analisada a resistência à compressão dos concretos, a fim de comparar a evolução de resistência entre o concreto convencional e o concreto autoadensável.

3.1.7 Análise de um modelo reduzido de fôrma deslizante

Na verificação se é possível a utilização de concreto autoadensável em fôrmas deslizantes foi fabricada um modelo reduzido de fôrma, composto por um molde quadrado de dimensão (50x50x30) cm que simulavam os painéis das fôrmas, uma estrutura que simulava as guias, e uma talha para o deslizamento da fôrma, conforme Figura 14. Foi realizado concretagens com concreto autoadensável e convencional para uma possível comparação.

Figura 14 - Modelo reduzido de fôrma deslizante.



Fonte: Autor (2016).

Foi realizada primeiramente a concretagem com concreto convencional, onde preencheu-se a fôrma os 30 centímetros, e aguardou o início de pega para então iniciar o deslizamento, deste modo foi concretado até a altura de 1 metro. Após a concretagem com concreto convencional realizou-se a concretagem com concreto autoadensável do mesmo modo. A Figura 15 apresenta o primeiro deslizamento da fôrma.

Figura 15 - Primeiro deslizamento da fôrma.



Fonte: Autor (2016).

3.1.8 Estudos de custo do concreto autoadensável e convencional

Foi realizado uma análise de custo da fabricação de $1,0 \text{ m}^3$ de concreto autoadensável e convencional a fim de obter uma comparação de preços. Os valores referentes a fabricação foram alcançados através dos custos atuais utilizados pela Construtora Triunfo S/A.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões apresentados são a partir da análise realizada entre o concreto convencional e o concreto autoadensável. Procurou-se relacionar os resultados obtidos com as informações existentes na literatura consultada, normas e os conhecimentos adquiridos ao decorrer do trabalho.

4.1.1 Resultados Ensaio dos concretos no Estado Fresco

O Quadro 2 apresenta o resultado do abatimento encontrado para o traço do concreto convencional.

Quadro 2 - Traço concreto convencional com o resultado do *Slump Test*.

Traço	Cimento	Areia natural	Areia artificial	Brita 1	Água	Gelo	Aditivo Superplastificante	Aditivos Plastificante	Slump (cm)
CCV	1	1,41	2,13	4,84	0,43	0,25	0,011	0,006	13,5

Fonte: Autor (2016).

Este traço de concreto é utilizado pela Construtora Triunfo S/A, em concretagens onde o sistema de fôrmas é do tipo deslizante, é um concreto que necessita de vibração, pois sua composição apresenta um agregado maior do que o utilizado para o concreto autoadensável. Este concreto é bombeado e foi utilizado nas concretagens dos pilares das estruturas da casa de força.

Como descrito na metodologia o concreto autoadensável necessitou passar por ensaios para avaliar sua trabalhabilidade, os resultados estão dispostos no Quadro 3.

Quadro 3 - Resultados dos ensaios do concreto autoadensável.

Ensaio	CAA produzido	Classes NBR 15823 (2010)	
Slump Flow	590 mm	SF 1	550 a 650 mm
		SF 2	660 a 750 mm
		SF 3	760 a 850 mm
Caixa L	0,86	PL 1	$\geq 0,80$, com duas barras de aço
		PL 2	$\geq 0,80$, com três barras de aço
Funil V	4 segundos	VF 1	< 9 segundos
		VF 2	9 a 25 segundos

Fonte: Autor (2016).

O concreto autoadensável confeccionando atendeu os parâmetros estabelecidos pela NBR 15823 (2010), sendo assim conforme o Anexo A, foi classificado em função de sua aplicação. O Quadro 4 apresenta a classificação.

Quadro 4 - Classificação do concreto autoadensável de acordo com o espalhamento, viscosidade plástica e habilidade passante.

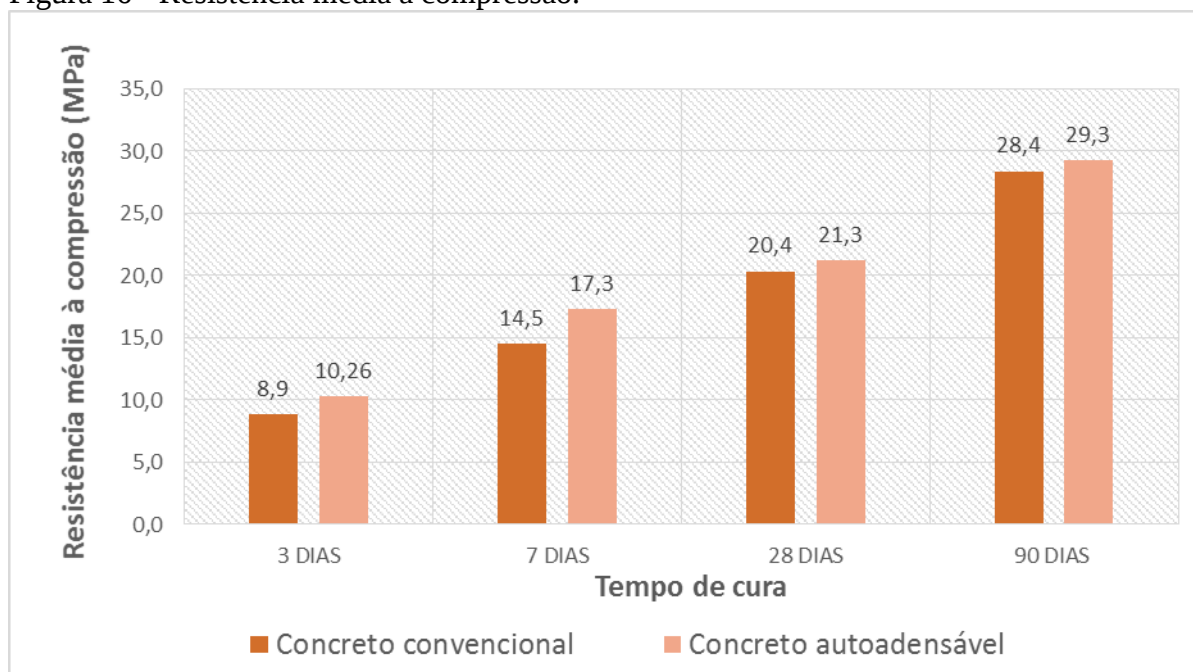
Ensaio	Classificação	Aplicação
Slump Flow	SF 1	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre; Concreto auto adensável bombeado; Estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto auto adensável.
Funil V	VF 1	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos; Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.
Caixa L	PL 2	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamento de armadura de 60 mm a 80 mm.

Fonte: Autor (2016).

4.1.2 Resultados Ensaio de Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados conforme orientações da metodologia, rompidos em três idades de cura para cada traço, sendo estas, três, sete e vinte e oito dias. Os resultados obtidos constam no Apêndice A, sendo os resultados das idades de 90 dias retirados do controle estatístico da Construtora Triunfo S/A, pois devido ao tempo não seria possível a sua ruptura até a entrega deste trabalho. As resistências médias estão dispostas na Figura 16.

Figura 16 - Resistência média à compressão.



Fonte: Autor (2016).

De acordo com a Figura 16 as resistências do concreto convencional e do autoadensável estão coerentes pois os dois traços deviam alcançar resistência de 20 MPa na idade de controle de 90 dias, sendo os 20 MPa já alcançados na idade de 28 dias.

É notável que devido ao maior consumo de cimento o concreto autoadensável apresentou uma maior resistência em todas as idades.

A baixa resistência nas idades de três e sete dias se deu devido ao cimento CP IV-32 RS utilizado na confecção do concreto retardar a resistência até a idade de 21 dias.

4.1.3 Concretagem dos modelos reduzidos de fôrmas deslizante

Conforme descrito na metodologia para efeito de comparação do concreto autoadensável e convencional realizou-se concretagens de dois pilares de mesmo volume, sendo feita a devidas anotações, conforme disposto no Quadro 5.

Quadro 5 - Duração de concretagem com concreto convencional e autoadensável.

CONCRETO CONVENCIONAL	DATA	HORA DE PREENCHIMENTO DA FORMA	HORA EM QUE A FORMA DESLIZOU	TEMP. AMBIENTE (C°)	TEMP. CONCRETO (C°)
	03/ago	14:42	16:38	34	21
	03/ago	16:50	18:36	33	18
	03/ago	18:40	21:10	25	19
	03/ago	21:20	23:05	20	20
Duração da concretagem (h)					08:23
CONCRETO AUTOADENSÁVEL	DATA	HORA DE PREENCHIMENTO DA FORMA	HORA EM QUE A FORMA SUBIU	TEMP. AMBIENTE (C°)	TEMP. CONCRETO (C°)
	04/ago	09:15	13:55	24	19
	04/ago	14:00	16:00	31	25
	04/ago	16:10	20:26	35	20
	04/ago	20:36	23:41	20	24
Duração da concretagem (h)					14:26

Fonte: Autor (2016).

Pode-se observar que o concreto convencional obteve um melhor desempenho, sendo que com 01h e 56min houve o primeiro deslizamento da fôrma, pois já estava em início de pega. No concreto autoadensável com 2h houve a tentativa de deslizamento mais com 3 centímetros foi verificado o deslocamento do concreto. Assim a subida só pôde ser efetuada após 04h e 40min.

O motivo da demora em uma concretagem com concreto autoadensável é que, devido à presença de aditivos plastificantes, eles retardam a pega do concreto. Outro motivo que deve ser levado em consideração são os horários em que foram começadas as concretagens, tendo uma diferença significativa na temperatura, pois na parte da tarde, pelo fato de a temperatura ser maior, a pega do concreto foi mais rápida.

Foi possível também determinar a velocidade em que a fôrma deslizou pela divisão dos 100 cm concretados pela duração da concretagem. A velocidade está contida no Quadro 6.

Quadro 6 - Velocidade de deslizamento em cm/h.

Tipo de concreto	Velocidade de deslizamento (cm/h)
Convencional	11,9
Autoadensável	6,93

Fonte: Autor (2016).

De acordo com a literatura consultada as fôrmas deslizantes tem velocidade de deslizamento de 15 a 20 cm/h.

Foi analisado que a velocidade da fôrma deslizante é mais lenta na concretagem com concreto autoadensável, mas pode-se afirmar que não há problemas no processo de concretagem. A Figura 17 mostra o pilar que foi concretado com concreto autoadensável.

Figura 17 - Pilar concreto autoadensável.



Fonte: Autor (2016).

Apesar de ser mais lenta a concretagem com esse tipo de concreto, em estruturas com uma grande quantidade de armadura, se faz necessário o uso, devido a dificuldade de adensamento, além do que, estruturas muito armadas podem gerar acidentes pela falta de espaço para movimentação dos funcionários e problemas de saúde devido ao ruído excessivo causado pelos vibradores.

No Apêndice B encontra-se um relatório fotográfico das etapas das concretagens realizadas.

4.1.4 Comparativo de custos

Como descrito na metodologia, foi realizado o estudo comparativo do custo da fabricação de um 1,0 m³ de concreto autoadensável e convencional, conforme exposto no Quadro 7.

Quadro 7 - Custos para fabricação de 1 m³ de concreto autoadensável e convencional.

	unid.	CONCRETO AUTOADENSÁVEL			Quant.	CONCRETO CONVENCIONAL	
		Quant.	Custo unitário	Custo Total		Custo unitário	Custo Total
Material							
Cimento	Kg	302	R\$ 0,45	R\$ 135,90	230	R\$ 0,45	R\$ 103,50
Brita 0	Kg	875	R\$ 0,0264	R\$ 23,10	-	-	-
Brita 1	Kg	-	-	-	1118	0,0256	R\$ 28,62
Areia Natural	Kg	342	R\$ 0,0103	R\$ 3,52	326	0,0103	R\$ 3,36
Areia Artificial	Kg	513	R\$ 0,0227	R\$ 11,65	491	0,0227	R\$ 11,15
Água	Kg	205	R\$ 0,0073	R\$ 1,50	157	0,0073	R\$ 1,15
Superplastificante	Kg	4,23	R\$ 1,52	R\$ 6,43	2,53	1,52	R\$ 3,85
Plastificante	Kg	2,42	R\$ 5,68	R\$ 13,75	1,38	5,68	R\$ 7,84
Gelo	Kg	102	R\$ 0,0564	R\$ 5,75	100	0,0564	R\$ 5,64
Equipamento							
Usina misturadora de concreto	H	0,5	R\$ 3,56	R\$ 1,78	0,5	R\$ 3,56	R\$ 1,78
Mão de obra							
Feitor Central de concreto	H	0,5	30,61	R\$ 15,31	0,5	R\$ 30,61	R\$ 15,31
Oper. da central de concreto	H	0,5	17,48	R\$ 8,74	0,5	R\$ 17,48	R\$ 8,74
CUSTO TOTAL				R\$ 227,42			R\$ 190,92

Fonte: Autor (2016).

De acordo com o Quadro 7, o concreto autoadensável apresentou um custo de fabricação maior que o convencional, devido à diferença de consumo de cimento e aditivos. Sendo assim, ressalta-se que, apesar de o custo ser maior na fabricação do concreto, esse custo é reduzido na aplicação, devido à redução de mão de obra, pois não há necessidade de vibração do concreto.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria da construção civil está em constante crescimento, impulsionando o desenvolvimento de tecnologias que atendem as demandas de eficiência construtiva. Desta forma, o estudo do concreto autoadensável torna-se relevante na busca de melhores condições de trabalho, devido as propriedades apresentada por este. O conceito de usar um concreto autoadensável em fôrmas deslizantes, está aliado a dificuldade de adensar estruturas com grandes quantidades de armadura.

De acordo com os ensaios realizados é evidente que é possível a utilização de um concreto autoadensável em fôrmas deslizantes, pois em estruturas com grande quantidade de armadura o uso de um concreto que não necessite de adensamento é indispensável.

A aplicação de um concreto autoadensável em fôrmas deslizantes tende a ser vantajoso, mesmo que a velocidade de concretagem seja menor do que com o concreto convencional. Além do diminuir consideravelmente a mão de obra, torna o ambiente de trabalho mais agradável, aumentando a segurança dos funcionários e eliminando os ruídos causados pelos vibradores, diminuindo também doenças de trabalho causada por ruídos excessivos.

O custo da produção do concreto autoadensável é maior, mas é reduzido na sua aplicação onde gasta-se menos com a mão de obra que seria utilizada para vibração e acabamento superficial.

O concreto autoadensável apresenta uma vida útil superior que o concreto convencional, além do que sua estrutura é mais densa que o concreto vibrado. Por conter mais finos que os demais concretos, se torna mais fechado, impedindo a entrada de agentes agressivos.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para que o uso do concreto autoadensável seja cada vez mais aceito na indústria da construção civil, faz-se a sugestão que seja aprofundado os estudos deste tipo de concreto, identificando em quais sistemas de fôrmas o seu uso traria vantagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAHI, P. N. **Sistema de Fôrma para Estruturas de Concreto**. Boletim Técnico. São Paulo, s. d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15832-1 - **Concreto autoadensável: Classificação, controle e aceitação no estado fresco**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15832-4 - **Concreto autoadensável: Determinação da habilidade passante – Método do caixa L**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15832-5 - **Concreto autoadensável: Determinação da viscosidade– Método do funil V**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15832-2 - **Concreto autoadensável: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 5739 – **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 5738 – **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR NM 67 – **Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. – NBR 7212 - **Execução de concreto dosado em central – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2012.

AZEVEDO, G. A. T. **Avaliação técnica para definição de fôrmas na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção de graduação em Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2008.

BARROS, P. G. S. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto autoadensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito.** Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2008.

CAMPOS, C. A. **Aplicação de concreto autoadensável em lajes moldadas in loco – Estudo de caso no setor de edificações.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Maceió, 2006.

CONCRETO RESFRIADO. Disponível em: www.portaldoconcreto.com.br/cimento. Acesso: 04 de Novembro de 2016.

DAROS, B. **Estudo e desenvolvimento de concreto autoadensável com metacaulinita.** Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de bacharel em Engenharia Civil da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. Criciúma, 2009.

FERNEDA, M. C. **Estudo do desenvolvimento de concreto autoadensável com areia artificial em pré-fabricados.** Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

FÔRMAS DESLIZANTES. Disponível em: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/8/formas-deslizantes-muito-utilizada-quando-o-cronograma-da-obra-239367-1.aspx>. Acesso em: 28 de março de 2016.

FÔRMAS DESLIZANTES. Disponível em: <http://www.thoser.com.br/osistema.htm>. Acesso em: 04 de junho de 2016.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável.** 1.ed. São Paulo: Pini, 2009.

GUETTI, P. C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas do concreto autoadensável e do concreto autoadensável reforçado com fibras de aço.** Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

JR FREITAS, J. A. **Materiais de construção.** Disponível em: <http://docplayer.com.br/5348976-Materiais-de-construcao-tc-031.html>. Acesso em: 16 de maio de 2016.

KLEIN, N. S. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto autoadensável.** Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2008.

LACERDA, I. G. **Subsistema de fôrmas.** Notas de aula. Cascavel, s.d.

LEITE, F. C. M. **Influência do tipo de adição mineral e da dimensão máxima do agregado graúdo no comportamento do concreto autoadensável.** Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.

MARQUES, A. C. **Concreto autoadensável: Caracterização da evolução das propriedades mecânicas e estudo de sua deformabilidade por solicitação mecânica, retração e fluência.** Tese de doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção Doutor em Ciências. São Paulo, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 4.ed. São Paulo: Pini, 1994.

MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto autoadensável com adição de fíler de calcário.** Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Florianópolis, 2005.

MENDES, C. J. **Concreto autoadensável utilizando cinza de casca de arroz: estudo das propriedades mecânicas**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia- UNESP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Ilha Solteira, 2015.

MILITO, J. A. **Técnicas de construção civil e construção de edifícios**. Notas de aula. São Paulo, 2004.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OKAMURA, H. **Self-compacting high performance concrete**. In: Concreto International, v.19, n. 7, p.50-54, July,1997.

O USO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL NO BRASIL. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br>. Acesso em: 25 de março de 2016.

PAUMGARTTEN, M. D. V. **Concreto autoadensável com materiais encontrados na região de Belém**. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de bacharel em Engenharia Civil da Universidade da Amazônia. Belém, 2010.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1968.

SILVA, J. M. **Utilização de fôrmas deslizantes na Passarela Estaiada do Rio Camboriú – SC**. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de bacharel em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Joinville, 2013.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto Autoadensável**. 1.ed. São Paulo: Pini, 2008.

WATANABE, P. S. **Concretos Especiais – Propriedades, Materiais e Aplicações**. Relatório final de pesquisa apresentado a Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru, 2008.

ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL (NBR 15823, 2010)

Tabela A.1 — Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação

Classe de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre Concreto auto-adensável bombeado Estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto auto-adensável	Lajes Revestimento de túneis Estacas e certas fundações profundas
SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outras
SF 3	760 a 850	Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado grão de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm)	Pilares-parede Paredes-diafragma Pilares

Tabela A.2 — Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação

Classe de viscosidade plástica aparente	t_{500} s	Funil V s	Aplicação	Exemplo
VS 1/ VF 1	≤ 2	≤ 8	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre	Lajes, paredes-diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente
VS 2/VF 2	> 2	9 a 25	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as formas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outras

Tabela A.3 — Classes de habilidade passante do CAA em função de sua aplicação

Classe de viscosidade plástica aparente	Anel J mm	Caixa L (H2/H1)	Aplicação	Exemplo
PL 1/PJ 1	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	$\geq 0,80$, com duas barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm	Lajes, painéis, elementos de fundação
PL 2/PJ 2	0 a 25 mm com 16 barras de aço	$\geq 0,80$, com três barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm	Vigas, pilares, tirantes, indústria de pré-moldados

APÊNDICE A – RESULTADOS DE ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Resistência à compressão do concreto convencional aos 3 dias.

CORPO DE PROVA	CARGA (Kgf)	RESISTÊNCIA (MPa)
1	6990	8,9
2	6700	8,5
3	7560	9,6
4	6770	8,6
5	6860	8,7
RESISTÊNCIA MÉDIA		8,9

Fonte: Autor (2016).

Resistência à compressão do concreto convencional aos 7 dias.

CORPO DE PROVA	CARGA (Kgf)	RESISTÊNCIA (MPa)
6	11970	15,2
7	11520	14,7
8	11290	14,4
9	10820	13,8
10	11450	14,6
RESISTÊNCIA MÉDIA		14,5

Fonte: Autor (2016).

Resistência à compressão do concreto convencional aos 28 dias.

CORPO DE PROVA	CARGA (Kgf)	RESISTÊNCIA (MPa)
11	15720	20,0
12	15320	19,5
13	16630	21,2
14	16720	21,3
15	15530	19,8
RESISTÊNCIA MÉDIA		20,4

Fonte: Autor (2016).

Resistência à compressão do concreto convencional aos 90 dias.

CORPO DE PROVA	CARGA (Kgf)	RESISTÊNCIA (MPa)
16	21970	27,9
17	22190	28,2
18	22540	28,7
19	24780	31,5
20	20100	25,6
RESISTÊNCIA MÉDIA		28,4

Fonte: Autor (2016).

Resistência à compressão do concreto autoadensável aos 3 dias.

CORPO DE PROVA	CARGA (Kgf)	RESISTÊNCIA (MPa)
1	7870	10,0
2	8240	10,5
3	7690	9,8
4	8190	10,4
5	8260	10,5
RESISTÊNCIA MÉDIA		10,2

Fonte: Autor (2016).

Resistência à compressão do concreto autoadensável aos 7 dias.

CORPO DE PROVA	CARGA (Kgf)	RESISTÊNCIA (MPa)
6	10120	16,3
7	9610	17,5
8	10390	17,2
9	9340	17,1
10	10210	18,4
RESISTÊNCIA MÉDIA		17,3

Fonte: Autor (2016).

Resistência à compressão do concreto autoadensável aos 28 dias.

CORPO DE PROVA	CARGA (Kgf)	RESISTÊNCIA (MPa)
11	17990	22,9
12	16100	20,5
13	16190	20,6
14	16390	20,9
15	16780	21,4
RESISTÊNCIA MÉDIA		21,3

Fonte: Autor (2016).

Resistência à compressão do concreto autoadensável aos 90 dias.

CORPO DE PROVA	CARGA (Kgf)	RESISTÊNCIA (MPa)
16	21920	27,9
17	24662	31,4
18	23580	30,0
19	24112	30,7
20	20750	26,4
RESISTÊNCIA MÉDIA		29,3

Fonte: Autor (2016).

APÊNDICE B – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DAS CONCRETAGENS COM CONCRETO AUTOADENSÁVEL E CONVENCIONAL.

Adensamento da primeira camada de concreto convencional.



Fonte: Autor (2016).

Primeira camada já adensada.



Fonte: Autor (2016).

Fôrma sendo deslizada.



Fonte: Autor (2016).

Após subir a fôrma aguardando para ser preenchida novamente.



Fonte: Autor (2016).

Última camada concretada com concreto convencional.



Fonte: Autor (2016).

Após fôrma retirada.



Fonte: Autor (2016).

Primeira concretagem com concreto autoadensável.



Fonte: Autor (2016).

Preenchimento da segunda camada com concreto autoadensável.



Fonte: Autor (2016).

Fôrma preenchida em uma das camadas.



Fonte: Autor (2016).

Finalização da concretagem com concreto autoadensável.



Fonte: Autor (2016).