

Monografia

“Aplicação de Concreto Auto adensável na Fabricação de Estacas Pré-fabricadas de Concreto Armado e ou Protendido”

Autor: Geraldo Magela Silva

Orientador: Prof. Roberto B. Figueiredo

Abril / 2013

Geraldo Magela Silva

**Aplicação de Concreto Auto adensável na Fabricação de Estacas
Pré-fabricadas de Concreto Armado e ou Protendido.**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

Ênfase: Utilização do concreto auto adensável

Orientador: Prof. Roberto B. Figueiredo

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

Abril / 2013

Dedico este trabalho a todos os amigos e professores que a cada dia de aula, dividiram comigo seus conhecimentos e experiências e aos meus familiares que soube entender minha ausência, dando um apoio incondicional a este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade de concluir mais esta etapa que me proporcionou crescimento profissional e pessoal.

À INCOPRE INDÚSTRIA E COMÉRCIO S.A. que deu condições de executarmos esta experiência, bem como a implantação deste trabalho em linha de produção.

Ao Engº. Fabrício Carlos França da HOLCIM BRASIL S.A, que de forma parceira me auxiliou em cada passo deste experimento.

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	1
3. Justificativa.....	2
4. Revisão Bibliográfica.....	2
4.1. Concreto Auto Adensável (CAA).....	2
4.2. Materiais Constituintes do Concreto.....	3
4.3. Ensaio Utilizados no Concreto Auto Adensável.....	8
4.4. Requisitos para Classificação do Concreto Auto Adensável.....	15
4.5. Método de Dosagem do Traço Concreto Auto Adensável.....	17
4.6. Estaca Armada e Protendida.....	18
5. Estudo de caso (Estratégia adotada).....	21
5.1. Caracterização Agregados.....	21
5.2. Cimento Portland.....	22
5.3. Definição de Aditivos.....	22
5.4. Especificação, Avaliação do CCV e Estudo de CAA.....	22
5.5. Avaliação da Produtividade.....	23
6. Estudo de Caso (Resultados alcançados).....	24
6.1. Caracterização dos Agregados.....	24
6.2. Análise Cimento Portland.....	25
6.3. Análises dos Aditivos.....	26
6.4. Avaliação e Estudo de Concretos.....	27
6.4.1. Concreto Convencional (CCV).....	27
6.4.2. Concreto Auto-Adensável (CAA).....	27
6.5. Produtividade CCV x CAA.....	30
7. Conclusão.....	31
8. Referências Bibliográficas.....	32

Lista de Tabelas

Tabela 1: Principais tipos de cimento Portland no Brasil e composições	4
Tabela 2: Classificação geral de agregados	5
Tabela 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo pela NBR 7211 (ABNT, 2009)	6
Tabela 4: Limites da composição granulométrica do agregado graúdo pela	6
Tabela 5: Classes de espalhamento (Slump Flow).....	9
Tabela 6: Viscosidade plástica aparente t500 (sob fluxo livre)	9
Tabela 7: Viscosidade plástica aparente pelo funil V (sob fluxo confinado)	10
Tabela 8: Habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado)	11
Tabela 9: Habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre)	12
Tabela 10: Classe de resistência à segregação pela coluna de segregação.....	14
Tabela 11: Classe de espalhamento em função da aplicação do CAA conforme NBR 15823-1:2010	15
Tabela 12: Classe de viscosidade plástica aparente conforme NBR 15823-1:2010.....	16
Tabela 13: Classe de habilidade passante do CAA conforme NBR 15823-1:2010.....	16
Tabela 14: Classe de resistência a segregação do CAA em função de sua aplicação conforme NBR 15823-1:2010	17
Tabela 15: Resultados de características físicas dos agregados.....	24
Tabela 16: Resultados de granulometria dos agregados	25
Tabela 17: Características físicas e químicas do cimento CP V ARI PLUS da Holcim	26
Tabela 18: Especificação e resultados da análise do aditivo TecMult 428 LF	26
Tabela 19: Especificação e resultados da análise do aditivo TecFlow 35 N	27
Tabela 20: Traços de concreto convencional, auto adensável (CAA Inicial e CAA Final)	28
Tabela 21: Resultados de caracterização do concreto auto adensável (CAA Inicial e CAA Final)	28
Tabela 22: Estudo resistência à compressão do CC, auto adensável inicial e final de produção	28
Tabela 23: Produtividade Média de Estacas com CCV e CAA.....	30

Lista de Figuras

Figura 1: Ensaio de espalhamento (Slump Flow)	9
Figura 2: Ensaio de viscosidade plástica aparente t500	10
Figura 3: Equipamento e ensaio do funil V	11
Figura 4: Ensaio da caixa L	12
Figura 5: Equipamentos e ensaio pelo anel J	13
Figura 6: Equipamento para ensaio de coluna de segregação	14
Figura 7: Estaca pré-moldada de concreto	19
Figura 8: Local de armazenamento dos agregados	21
Figura 9: Concreto Convencional	23
Figura 10: Concreto Auto-Adensável	23
Figura 11: Preparação das Formas e Mistura do Concreto	29
Figura 12: Lançamento do Concreto sem vibração e Acabamento Superficial	29
Figura 13: Estacas concretadas	29
Figura 14: Estacas prontas para serem sacadas da fôrma	29
Figura 15: Estacas em estoque	30

1. Introdução

A utilização do concreto auto adensável (CAA) tem ganhado espaço no mercado, dado a grande variedade de aplicações obtidas através da ação de aditivos superplastificantes, que trazem ao concreto maior facilidade de bombeamento, excelente homogeneidade, resistência e durabilidade. A principal característica do auto adensável é a facilidade com que flui dentro das formas, passando pelas armaduras e preenchendo os espaços sob o efeito de seu próprio peso. Essa melhoria possibilita às empresas diminuir o custo com o uso de equipamento de vibração e conseqüentemente, diminuindo o número de funcionários envolvidos na concretagem. Ele tem sido indicado nas concretagens de peças densamente armadas, estruturas pré-moldadas, fôrmas em alto relevo, fachadas em concreto aparente, painéis arquitetônicos, lajes, vigas, etc.

2. Objetivo

Após análise do processo produtivo/aplicação das estacas, foi possível evidenciar quatro variáveis importantes:

- Processo de Fabricação
- Transporte/Manuseio
- Interação solo x estaca
- Aplicação do produto (Cravação)

Este trabalho tem como objetivo apresentar com a utilização de concreto auto adensável (CAA) em substituição do concreto convencional (CCV) pode contribuir na melhoria da resistência e otimizar a produtividade na fabricação de estacas pré-fabricadas em concreto armado e protendido, através de comparativos de resultados de ensaios e testes realizados na produção de estacas.

Foi percebido que com o concreto convencional (CCV) utilizado, essas variáveis não estavam sendo atendidas plenamente, gerando dificuldades como menor resistência e menor produtividade.

3. Justificativa

No mercado atual, as empresas de pré-fabricados têm se deparado com algumas dificuldades que têm impactado diretamente na qualidade/custo do produto. Dentre elas estão a dificuldade na contratação da mão de obra, produtividade, transporte e aplicação do produto, variáveis estas, que nem sempre são vencidas pelo concreto convencional (CCV). No entanto, este trabalho propõe a utilização do concreto auto adensável (CAA) para melhorar a produtividade e assegurar que as garantias técnicas sejam plenamente atendidas.

4. Revisão Bibliográfica

4.1. Concreto Auto Adensável (CAA)

Segundo Okamura (Japão), nos anos 80, devido à reduzida mão-de-obra qualificada e a falta de equipamentos sofisticados para a realização do adensamento mecânico do concreto, em formas complexas e/ou com alta densidade de armaduras, geralmente necessárias para resistir aos abalos sísmicos locais existentes, problemas de durabilidade começaram a surgir nas estruturas de concreto. Durante vários anos os estudos de durabilidade foram os principais tópicos de pesquisas em vários centros de investigação desse país.

A partir de 1983, na Universidade de Tóquio, o Prof. Okamura, com o objetivo de minimizar tal problema, iniciou estudos buscando obter um concreto especial capaz de se adensar sem a necessidade de nenhum tipo de vibração mecânica, originando um concreto denominado auto adensável, onde seu primeiro protótipo foi realizado em 1988.

Segundo Okamura e Ouchi (1999), após uma década de utilização no Japão, o Concreto Auto Adensável surge na Europa em meados dos anos 90, mais precisamente na Suécia e na Holanda, onde foi empregado em aplicações de concreto “in loco”. Este concreto especial teve rápida aceitação no mercado europeu.

A entidade europeia EFNARC (European Federation of National Trade Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building products), foi fundada em março de 1989 e descreve o Concreto Auto Adensável como o maior desenvolvimento da construção em estruturas de concreto nas últimas décadas.

“Um concreto será considerado auto-adensável, se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: fluidez, coesão necessária para que a mistura escoie intacta entre as barras de aço (ou habilidade passante) e resistência à segregação”. (EFNARC, 2002)

4.2. Materiais Constituintes do Concreto

4.2.1. Cimento Portland

“O Cimento Portland é a denominação convencionalmente mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento. O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais. O cimento Portland é composto de clínquer e de adições. O clínquer é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento Portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento” (GUIA BÁSICO DO CIMENTO PORTLAND - ABCP, 2002).

Na Tabela 1 são apresentados os principais tipos de cimentos Portland empregados no Brasil nas diversas obras de construção civil. Sendo que uma das principais diferenças entre eles é a sua composição.

Tabela 1: Principais tipos de cimento Portland no Brasil e composições

Tipo de Cimento	Sigla	Clínquer + Gesso (%)	Escória (%)	Pozolana (%)	Filer (%)	Norma Brasileira
COMUM	CPI	100	-			NBR 5732:1991
	CPI S	99 - 95	1 - 5			
COMPOSTO	CPII E	94 - 56	6 - 34	-	0 - 10	NBR 11578:1997
	CPII Z	94 - 76	-	6 - 14	0 - 10	
	CPII F	94 - 90	-	-	6 - 10	
ALTO FORNO	CPIII	65 - 25	35 - 70	-	0 - 5	NBR 5735:1991
POZOLÂNICO	CPIV	85 - 45	85 - 45	15 - 50	0 - 5	NBR 5736:1999
ARI	CPV	100 - 95	100 - 95	-	0 - 5	NBR 5733:1991

Normalmente as indústrias de pré-fabricados de concreto têm alta produtividade e para isto uma das necessidades é a liberação rápida de fôrmas para que novo concreto seja lançado. Para isto normalmente o tipo de cimento Portland utilizado é o CPV ARI, pois ele desenvolve altas resistências iniciais já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade.

4.2.2. Agregado

“A definição de agregado mais aceita é: material granular, sem forma ou volume definido, com dimensões e propriedades adequadas às obras de engenharia, em particular à fabricação de concretos e argamassas de cimento Portland” (NETO, 2011).

A partir de dados da ABCP (2002) construíram-se a Tabela 2 que apresenta a classificação geral de agregados e as Tabelas 3 e 4 que apresentam os limites de distribuição granulométrica para os agregados miúdos e graúdos. Segundo

a NBR 7211:2009, estabelecem-se as classificações dos agregados miúdos em função dos módulos de finura (MF) e zonas de utilização:

- zona ótima: $2,20 < MF < 2,90$ → areia média;
- zona utilizável inferior: $1,5 < MF < 2,20$ → areia fina;
- zona utilizável superior: $2,9 < MF < 3,5$ → areia grossa.

Analogamente, segundo a mesma NBR, para os agregados graúdos, pode-se estabelecer:

- brita 0: de 2,36mm a 12,5mm;
- brita 01: de 4,75 a 25mm;
- brita 02: de 9,5mm a 31,5mm;
- brita 03: de 19 a 50mm;
- e diversos para demais agregados (pó-de-brita, pedra de mão, etc.).

Tabela 2: Classificação geral de agregados

Item	Classificação	Observação
Quanto à origem	Naturais	São utilizados da forma em que se encontram na natureza (areia de rio, seixo rolado, pedregulho).
	Artificiais	Necessitam de tratamento (britagem) para uso (areia artificial, pedra britada, argila expandida)
Quanto à dimensão	Filler	Partículas < 0,075 mm
	Miúdo	Partículas de 0,075 a 4,8mm
	Graúdo	Partículas de 4,8 a 152 mm
Quanto à massa unitária (d)	Leves	$d < 1000$ kg/m ³ (vermiculita, argila expandida)
	Normais	$1000 < d < 2000$ kg/m ³ (seixo rolado, pedra britada, areia de rio)
	Pesados	$d > 2000$ kg/m ³ (barita, hematita, etc.)

Tabela 3: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo pela NBR 7211:2009

Peneira com abertura da malha (NBR NM ISO 3310-1:2010)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5mm	0	0	0	0
6,3mm	0	0	0	7
4,75mm	0	0	5	10
2,36mm	0	10	20	25
1,18mm	5	20	30	50
600µm	15	35	55	70
300µm	50	65	85	95
150µm	85	90	95	100

Tabela 4: Limites da composição granulométrica do agregado graúdo pela NBR 7211:2009

Peneira com abertura da malha (NBR NM ISO 3310-1:2010)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona Granulométrica d/D				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75mm	-	-	-	-	0 – 5
63mm	-	-	-	-	5 – 30
50mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25mm		0 – 5	5 – 25	87 – 100	-
19mm	-	2 – 15	65 – 95	95 – 100	-
12,5mm	0 – 5	40 – 65	92 – 100	-	-
9,5mm	2 – 15	80 – 100	95 – 100	-	-
6,3mm	40 – 65	92 – 100	-	-	-
4,75mm	80 – 100	95 – 100	-	-	-
2,36	95 – 100	-	-	-	-

Segundo Tutikian (2008), de forma geral, todas as areias são adequadas para a produção do CAA, e podem-se utilizar tanto areias naturais (depósitos eólicos e beira de rio) quanto areias obtidos de processos industriais. As areias de forma mais arredondadas e textura mais lisa são mais recomendadas para a

produção do CAA e quanto menor o módulo de finura do agregado melhor para se produzir concretos de elevada coesão.

Segundo Gomes e Barros (2009), o CAA deve possuir um baixo volume de agregados graúdos, entre 28% e 35% do volume de concreto, e uma relação de peso agregado graúdo/concreto de 32% a 40%, com proporções aproximadas de 750 Kg/m³ a 920 Kg/m³.

4.2.3. Aditivo

“Aditivos são produtos químicos adicionados ao cimento, à argamassa ou ao concreto, para modificar uma ou mais propriedades das misturas cimentícias. As doses de aditivos químicos normalmente variam entre 0,05% e 5% da massa de materiais cimentícios. Os aditivos químicos podem ser classificados de acordo com a função que exercem, como: incorporadores de ar, redutores de água, retardadores de pega, modificadores de reologia, inibidores de reação álcali-sílica, pigmentos e outros de funções variadas, tais como agentes de adesão, agentes de formação de gás, agentes de coesão, agentes para bombeamento e agentes espumantes, dentre outros” (HARTMANN, JEKNAVORIAN e et. Al., 211).

No Brasil, o aditivo químico deve atender aos requisitos da NBR 11768:2011 e seu uso deve estar de acordo com as orientações do fabricante.

Os aditivos redutores de água também são conhecidos como plastificantes ou superplastificantes, dependendo da redução da quantidade de água de amassamento para uma determinada consistência (trabalhabilidade). Os superplastificantes são conhecidos também como redutores de água de alta eficiência. Enquanto os aditivos plastificantes (ou redutores de água de eficiência normal) permitem uma redução de água de pelo menos 5%, os aditivos superplastificantes podem reduzir a água da mistura em até 40%. Os aditivos plastificantes e superplastificantes, além de permitirem a redução da relação água/cimento para uma dada consistência da mistura, podem também conferir aumento de fluidez se a quantidade original de água da mistura for mantida constante. Atualmente os aditivos mais utilizados em concretos auto

adensáveis são os plastificantes em conjunto com o superplastificantes ou apenas o superplastificante.

Outro tipo de aditivo cujo uso é comum no concreto auto adensável é o modificador de viscosidade. O seu uso promove ao concreto uma redução na tendência a segregação e exsudação. Também são aditivos que podem ser indicados para melhorar a aplicação e o bombeamento do concreto, pois aumentam a viscosidade e a coesão da mistura.

4.3. Ensaios Utilizados no Concreto Auto Adensável

As propriedades do concreto auto adensável são avaliadas a partir de ensaios específicos de acordo com NBR 15823:2010, como segue:

- Slump flow test
- Ensaio do Funil- V
- Ensaio da Caixa- L
- Ensaio do Anel – J
- Ensaio da Caixa- U

4.3.1. Ensaio de Espalhamento (slump flow test) e do Tempo de escoamento

O ensaio consiste em determinar a fluidez do Concreto auto adensável verificando-se o concreto, através da ação de seu peso próprio e sua capacidade de se espalhar sem segregar em um prazo e dimensão limite conforme as tabelas 5 e 6.

De acordo com a ABNT NBR 15823-2:2010 o ensaio consiste em se fazer a limpeza e umedecimento da placa de vidro ou chapa metálica de 900 mm, que deverá ter marcação circular centrada de diâmetro de 500mm. Posiciona-se o Cone de Abrams na placa centrada e com a amostra de CAA preenche-se o cone sem adensamento. Após esta operação retira-se o cone, e levantando e medindo o tempo do início até atingir o diâmetro de 500 mm marcado na placa. Este resultado é o T500 (tempo de escoamento) que deve ser comparado com a tabela 6 e o espalhamento (Slump Flow) e obtido pela media aritmética de

duas medidas. As Figuras 1 e 2 ilustram respectivamente o ensaio de espalhamento (Slump Flow) e T500.

Tabela 5: Classes de espalhamento (Slump Flow)

Classificação	Classe	Espalhamento (mm)	Método de ensaio
Espalhamento (Slump Flow)	SF1	550 a 650	NBR 15823-2:2010
	SF2	660 a 750	
	SF3	760 a 850	

Tabela 6: Viscosidade plástica aparente t500 (sob fluxo livre)

Classificação	Classe	T500 (s)	Método de ensaio
Viscosidade plástica aparente T500 (sob fluxo livre)	VS1	≤ 2	NBR 15823-2:2010
	VS2	> 2	



Figura 1: Ensaio de espalhamento (Slump Flow)



Figura 2: Ensaio de viscosidade plástica aparente t500

4.3.2. Ensaio do Funil- V

O ensaio consiste em simular a passagem do concreto auto adensável através de seu peso próprio, determinando-se a viscosidade do CAA, pela medida do tempo de escoamento de uma massa de concreto através do funil V, além de se verificar a presença de segregação. O resultado deve estar de acordo com a tabela 7.

Segundo a NBR 15823-5:2010, o ensaio consiste em se fazer a limpeza e umedecer internamente o funil, fechando a comporta, logo após preenchendo-o com CAA, sem adensamento. Coloca-se o recipiente metálico sob o funil V para coletar o concreto. Aciona-se o cronometro simultaneamente a abertura da comporta e após a completa coleta do mesmo, lê o T30seg. Repete-se novamente o ensaio sem a necessidade de limpeza do funil V, abre-se a comporta após 5min e anota-se o novo resultado do T30 seg. A Figura 3 ilustra o equipamento e ensaio com funil V.

Tabela 7: Viscosidade plástica aparente pelo funil V (sob fluxo confinado)

Classificação	Classe	Funil V (s)	Método de ensaio
Viscosidade plástica aparente pelo funil V (sob fluxo confinado)	VF1	< 9	NBR 15823-5:2010

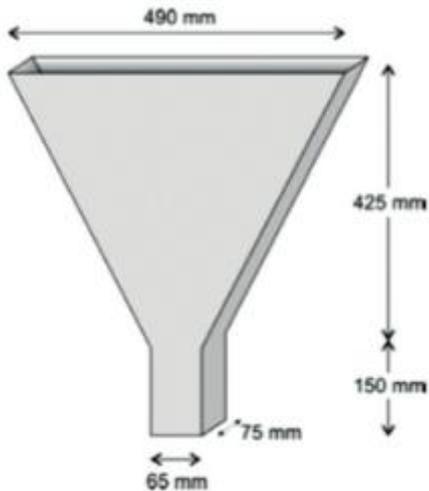


Figura 3: Equipamento e ensaio do funil V

4.3.3. Ensaio da Caixa- L

O ensaio consiste em avaliar a capacidade da passagem do concreto auto adensável através de seu peso próprio pelas armaduras para determinação da habilidade passante em fluxo confinado do CAA usando a caixa L. O resultado deve ser de acordo com a tabela 8.

Segundo a NBR 15823-4:2010, o ensaio consiste em se fazer a limpeza e umedecer internamente a, caixa L fechando a comporta, logo após preenchendo-a com CAA, na parte vertical sem adensamento. Abre-se a comporta para que o CAA se esco para a parte horizontal, medindo-se o tempo e a altura H1 e H2. A Figura 4 ilustra o equipamento e ensaio da caixa L.

Tabela 8: Habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado)

Classificação	Classe	Caixa L (H2/H1)	Método de ensaio
Habilidade passante caixa L (sob fluxo confinado)	PL1	$\geq 0,80$ com duas barras de aço	NBR 15823-4:2010
	PL2	$\geq 0,80$ com três barras de aço	

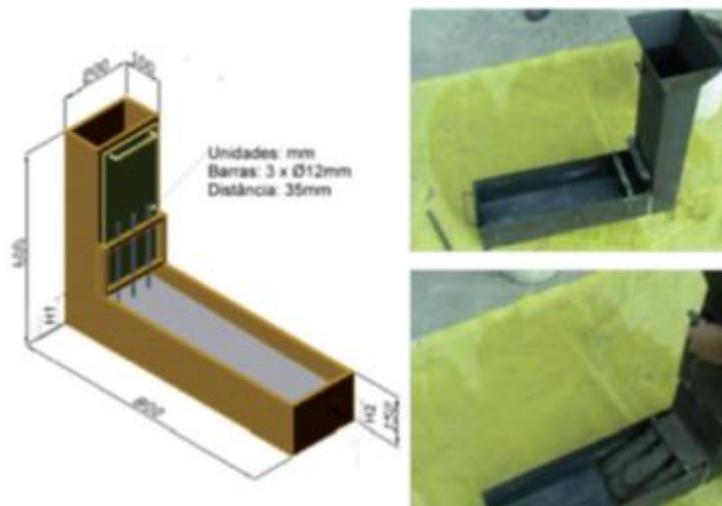


Figura 4: Ensaio da caixa L

4.3.4. Ensaio do Anel- J

O ensaio consiste em analisar o risco de bloqueio do concreto e também para verificação da resistência a segregação ao passar pelo anel pelas armaduras. O resultado deve ser de acordo com a tabela 9.

Segundo a NBR 15823-5:2010, o ensaio consiste em se fazer a limpeza e umedecer internamente o molde e placa da base. Posiciona-se o anel J no centro da base. Após deve-se preencher o molde e levantá-lo com velocidade constante. A Figura 5 ilustra os equipamentos e ensaio pelo anel J.

Tabela 9: Habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre)

Classificação	Classe	Anel J (mm)	Método de ensaio
Habilidade passante pelo anel J (sob fluxo livre)	PJ1	0 a 25 com 16 barras de aço	NBR 15823-3:2010
	PJ2	25 a 50 com 16 barras de aço	



Figura 5: Equipamentos e ensaio pelo anel J

4.3.5. Ensaio da Coluna de Segregação

O ensaio consiste na determinação da resistência à segregação do concreto auto adensável, pela diferença das massas de agregado gráúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação. O equipamento pode ser constituído de um tubo de PVC, de diâmetro nominal de 200 mm de diâmetro e 660 mm de altura total, seccionado em três partes. O topo e a base devem ter altura de 165 mm e a parte central do tubo deve ter altura de 330 mm. Estas seções são unidas por grampos, presilhas de fixação ou fita adesiva. O conjunto deve ser adequadamente apoiado em uma base que garanta um perfeito nivelamento. O resultado deve ser de acordo com a tabela 10.

Segundo a NBR 15823-6:2012, o ensaio consiste em se fazer a limpeza e umedecer internamente a coluna de segregação com água, esta deve ser apoiada em superfície rígida e plana, de forma a permitir a colocação do concreto. Preencher a coluna de segregação com a amostra de concreto de forma uniforme e sem interrupção, em tempo não superior a 5min após sua coleta. O excesso de concreto da superfície deve ser retirado com o auxílio da colher de pedreiro, que deve respaldar a superfície do concreto, deslizando sobre as bordas da coluna. Aproximadamente 20min após a moldagem devem ser retiradas porções de concreto do topo e da base da coluna. Esse procedimento deve ser realizado com o auxílio de uma chapa metálica que deve ser colocada entre a união das seções do tubo, para facilitar a extração.

Cada amostra deve ser lavada individualmente sobre uma peneira com abertura de malha de 5 mm, de forma a remover totalmente a argamassa, limpando os agregados graúdos. Os agregados graúdos devem ser submetidos a uma secagem superficial, com utilização de pano ou papel absorvente (condição saturado superfície seca, SSS) e em seguida devem ser pesados, obtendo-se as massas m_b e m_t para cada amostra, sendo $SR = 100 \times 2(m_b - m_t) / (m_b + m_t)$. A Figura 6 ilustra o equipamento de coluna de segregação.

Tabela 10: Classe de resistência à segregação pela coluna de segregação

Classificação	Coluna de Segregação %	Método de ensaio
SR1	≤ 20	NBR 15823-6:2012
SR2	≤ 15	



Figura 6: Equipamento para ensaio de coluna de segregação

4.4. Requisitos para Classificação do Concreto Auto Adensável

A NBR 15823-1:2010 prescreve os seguintes requisitos para se classificar o CAA.

- **Espalhamento do Concreto:** As classes de espalhamento do concreto auto adensável estão divididas de acordo com a função de sua aplicação, conforme a tabela 11.

Tabela 11: Classe de espalhamento em função da aplicação do CAA conforme NBR 15823-1:2010

Classe	Espalhamento (mm)	Aplicação	Exemplos
SF1	550 a 650	Estruturas não armada	Lajes
		Estruturas com baixa taxa de armadura	
		CAA bombeado	Túneis
		Pequena distância de espalhamento do CAA	Estacas e fundações profundas
SF2	660 a 750	Maioria das aplicações correntes	Paredes, vigas, pilares e outros
SF3	760 a 850	Estruturas com baixa taxa de armadura	Pilares – Paredes
		Forma arquitetônica complexa	Parede diafragma
		CAA utilizando agregado graúdo de dimensão menor que 12,5 mm	Pilares

- **Viscosidade Plástica Aparente:** A determinação da viscosidade plástica aparente é importante quando se quer obter um bom acabamento superficial. As classes de viscosidade plástica aparente do concreto auto adensável estão divididas de acordo com a função de sua aplicação, conforme a tabela 12.

Tabela 12: Classe de viscosidade plástica aparente conforme NBR 15823-1:2010

Classe	T500 (s)	Funil V (s)	Aplicação	Exemplos
VS1/VF1	≤2	≤2	Estruturais com alta densidade de armadura.	Lajes, paredes diafragma, pré-moldados, etc.
			Concretagens realizadas do ponto mais alto com deslocamento livre	
VS2/VF2	>2	9 a 25	Maioria das aplicações correntes	Vigas, pilares

- **Habilidade Passante:** As classes de habilidade passante do concreto auto adensável estão divididas de acordo com a função de sua aplicação, conforme a tabela 13.

Tabela 13: Classe de habilidade passante do CAA conforme NBR 15823-1:2010

Classe	Anel J (mm)	Caixa L (h1/h2)	Aplicação	Exemplos
PL1/PJ1	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	≥2	Estruturas com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.	Lajes, painéis, fundação
PL2/PJ2	0 a 25 mm com 16 barras de aço	>0,80 com três barras de aço	Maioria das aplicações correntes que possuam espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm	Vigas, pilares, tirantes, pré-moldados

- **Resistência à Segregação:** As classes de resistência à segregação do concreto auto adensável estão divididas de acordo com a função de sua aplicação, conforme a tabela 14.

Tabela 14: Classe de resistência a segregação do CAA em função de sua aplicação conforme NBR 15823-1:2010

Classe	Coluna de segregação (%)	Distância a percorrer (m)	Espaçamento em armaduras (mm)	Exemplos
SR1	≤ 20	< 5	>80	Lajes de espessura pequena
SR2	≤ 1	>5	>80	Fundações profundas
		<5	<80	Pilares, paredes e estruturas complexas, pré moldados

4.5. Método de Dosagem do Traço Concreto Auto Adensável

“Para o desenvolvimento do traço de concreto devem ser especificados os parâmetros, tais como, resistência, características da exposição das estruturas, dimensões das estruturas, densidade das armaduras, características arquitetônicas, e também ter os dados das características dos materiais a serem empregados” (BAUER, 2000).

Em 2004 foi proposto um método prático do CAA que é o Método de Tutikian (2004). Em 2007 foi aprimorado por outro método, conhecido como Tutikian e Dal Molin, que ajudam a obter CAA econômicos e propriedades satisfatórias. No entanto, verifica-se que caso as características dos materiais existentes para dosagens do concreto auto adensável sejam muito diferentes, haverá alterações no método de dosagem para adequar aos critérios da NBR 15823-1:2010.

Na literatura são apresentados vários métodos de dosagens para o concreto auto adensável conforme seguem alguns deles:

- Método de OKAMURA (1997)
- Método de dosagem de Gomes (2002)
- Método de dosagem proposto pelo Tutikian (2004)
- Método de dosagem de REPETTE-MELO (Melo, 2005)
- Método de Alencar e Helene (2006)
- Método de dosagem proposto pelo Tutikian& Dal Molin (2007)

4.6. Estaca Armada e Protendida

“As estacas podem ser de concreto armado ou protendido e são utilizadas no processo de fundação de edifícios, residências e demais construções que sejam classificadas para a utilização de fundação indireta, onde ocorre a transferência de carga por efeito de atrito lateral do elemento com o solo e por efeito de ponta. As fundações indiretas são todas profundas, devido às dimensões das peças estruturais” (BRITO, 1987).

O comprimento de cravação real às vezes difere do previsto pela sondagem, levando a duas situações: a necessidade de emendas ou de corte. No caso de emendas, geralmente constitui-se num ponto crítico, dependendo do tipo de emenda: luvas de simples encaixe, luvas soldadas, ou emenda com cola epóxi através de cinta metálica e pinos para encaixe, este último tipo mais eficiente (Figura 7).

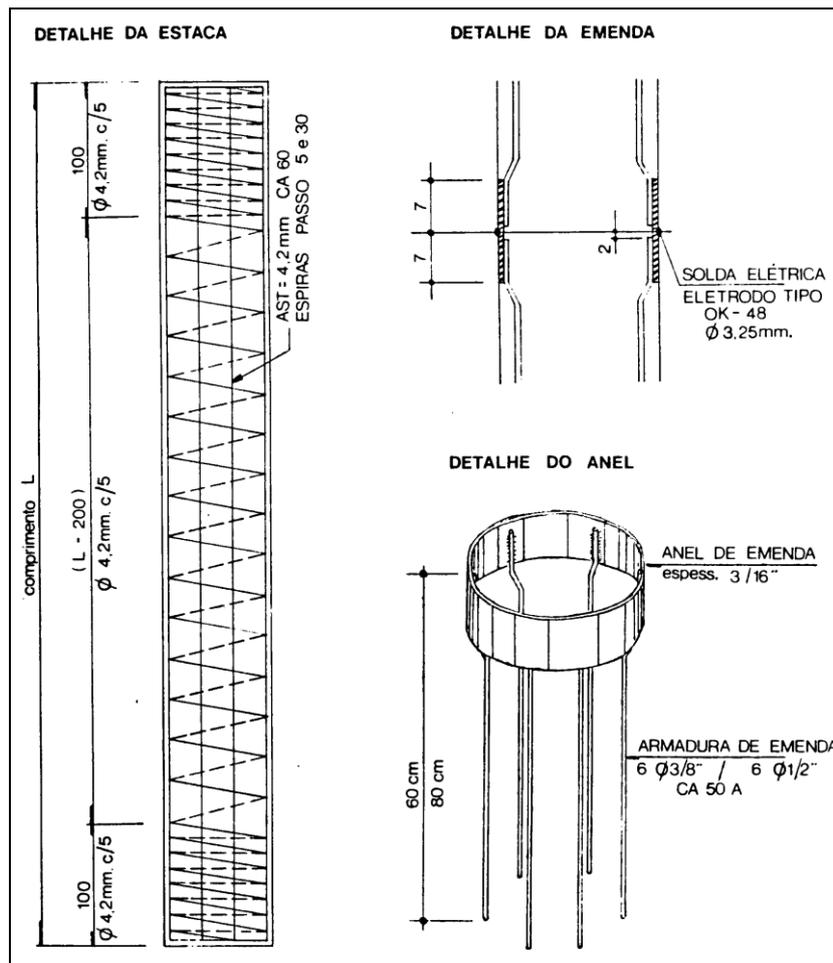


Figura 7: Estaca pré-moldada de concreto

Quando o comprimento torna-se muito grande, há um limite para o qual não há comprometimento da linearidade da estaca, o que exige certo controle. Por outro lado, quando há sobra, o corte ou arrasamento deve ser feito de maneira adequada no sentido de evitar danos à estaca.

Apresentam-se em várias seções (versatilidade): quadradas, circulares, circulares centrifugadas, duplo "T", etc. As vazadas podem permitir inspeção após a cravação.

“O processo de cravação mais utilizado é o de cravação dinâmica, onde o bate-estaca utilizado é o de gravidade. Este tipo de cravação promove um elevado nível de vibração, que pode causar problemas a edificações próximas do local. O processo prossegue até que a estaca que esteja sendo cravada penetre no

terreno, sob a ação de um certo número de golpes, um comprimento pré-fixado em projeto: a “nega”, uma medida dinâmica e indireta da capacidade de carga da estaca. Em campo, “tira-se” a “nega” da estaca através da média de comprimentos cravados nos últimos 10 golpes do martelo. O objetivo de verificação da nega para as diferentes estacas é a uniformidade de comportamento das mesmas” (LICHTENSTEIN, N.B.; GLAZER, N., s.d.).

Deve-se ter cuidado com a altura de queda do martelo: a altura ideal está entre 1,5 a 2,0 m, para não causar danos à cabeça da estaca e fissuração da mesma, não se esquecendo de usar também o coxim de madeira e o capacete metálico para proteger a cabeça da estaca contra o impacto do martelo, mesmo assim, estas estacas apresentam índice de quebra às vezes alto. Se a altura for inferior à ideal, poderá dar uma “falsa nega”. Estas estacas não resistem a esforços de tração e de flexão e não atravessam camadas resistentes. Outra vantagem destas estacas é que podem ser cravadas abaixo do nível d’água. Sua aplicação de rotina é em obras de pequeno a médio porte.

De acordo com Brito (1987), o processo executivo de cravação emprega como equipamentos um dos três tipos de bate-estacas:

- bate-estacas por gravidade: consta, basicamente, de um peso que é levantado através de um guincho e que cai orientado por guias laterais. A frequência das pancadas é da ordem de 10 por minuto e o peso do martelo varia entre 1,0 a 3,5 ton.
- bate-estacas a vapor: o levantamento do peso é feito através da pressão de vapor obtido por uma caldeira e a queda é por gravidade. São muito mais rápidos que os de gravidade, com cerca de 40 pancadas por minuto e o peso do martelo de 4,0 ton. Como variante deste tipo, tem-se o chamado bate-estacas de duplo efeito, onde a pressão do vapor acelera a descida do macaco, aumentando assim o número de pancadas para cerca de 250 por minuto.
- bate-estacas a explosão: o levantamento do peso é feito através da explosão de gases (tipo diesel). Este tipo de bate-estacas está hoje sofrendo grande evolução.

5. Estudo de caso (Estratégia Adotada)

Este estudo foi realizado na fábrica de pré-fabricados. O concreto auto-adensável estudado foi aplicado em estacas substituindo o concreto convencional. O desenvolvimento do trabalho foi dividido conforme segue.

5.1. Caracterização Agregados

A caracterização dos agregados utilizados foi realizado na fábrica, através dos ensaios de granulometria/módulo de finura/dimensão máxima (NBR NM 248:2003), massa unitária seca (NBR NM 45:2006), massa específica (NBR NM53:2009), material pulverulento (NBR 7211:2009). A forma de armazenamento dos agregados é apresentada na Figura 8.

- Areia natural - proveniente do Rio das Velhas/MG
- A areia artificial, brita 0, brita 1 - provenientes da Mineração dos Borges.

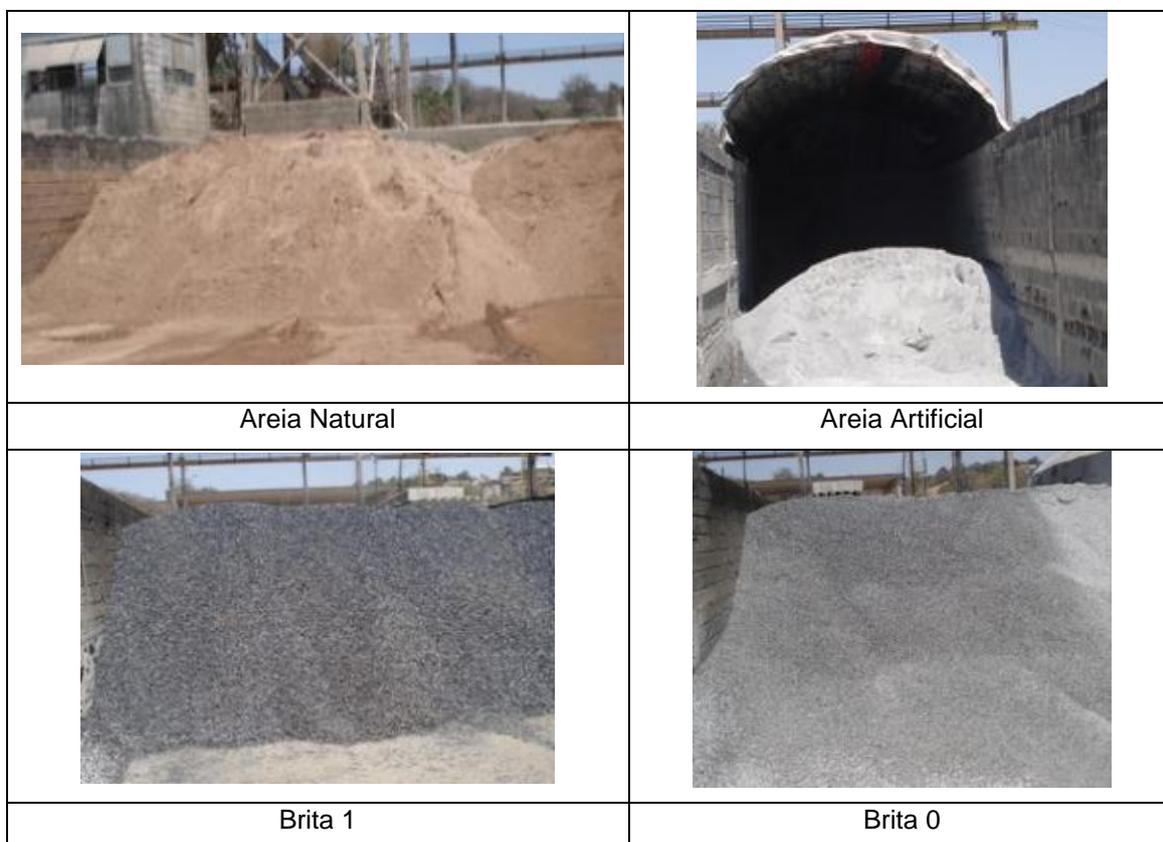


Figura 8: Local de armazenamento dos agregados

5.2. Cimento Portland

Análises das principais características químicas e físicas do cimento Portland de alta resistência inicial - CPV ARI PLUS da marca Holcim através dos ensaios de blaine (NBR NM 76:1996), tempo de pega (NBR NM 65:2002), resistência à compressão (NBR 7215:1997), CO₂ (NBR NM 20:2012), PF 1000°C (NBR NM 18:2012), resíduo insolúveis (NBR NM 15:2012), SO₃ (NBR 14656:2001).

5.3. Definição de Aditivos

Para o concreto convencional o aditivo plastificante Tec Mult 428 LF já estava sendo usado na produção de estacas, entretanto, para o concreto auto-adensável o estudo foi realizado com superplastificantes Tec Flow 35 N em função de estar sendo utilizados em outras unidades com sucesso, ambos são da marca Rheoset.

5.4. Especificação, Avaliação do CCV e Estudo de CAA.

Especificação - A especificação do concreto para aplicação em estacas pré-fabricadas deve atender a resistência inicial com 16 horas de 21Mpa e fck 40Mpa.

Avaliação do CCV – Foi realizada uma avaliação do concreto convencional através da verificação do traço, slump, resistência à compressão de ruptura de corpos de prova 10x20cm nas idades 16 horas, 3, 7 e 28 dias.

Estudo do CAA - Para o desenvolvimento do concreto auto-adensável foi necessário utilizar o aditivo superplastificante Tec Flow 35 N para atender as características necessárias deste tipo de concreto.

Em laboratório verificou-se o comportamento reológico através dos ensaios de slump flow, caixa L, funil V, anel J e mecânicos pela resistência à compressão

nas idades de 16 horas, 3, 7, e 28 dias. Nos estudos práticos na fábrica apenas o slump flow foi realizado.

Após alguns estudos preliminares foi definido um o traço denominado CAA Inicial em laboratório e realizados alguns testes experimentais na fábrica, posteriormente este estudo avançou no intuito de otimizar o traço para redução do custo. Varias otimizações foram realizadas através de alterações no traço e adequações nos procedimentos de mistura do concreto, transporte e lançamento. Isto propiciou obter um traço com custo/benefício interessante denominado CCA Final que foi aprovado para execução das estacas. As Figuras 9 e 10 ilustram o concreto convencional e auto-adensável.



Figura 9: Concreto Convencional



Figura 10: Concreto Auto-Adensável

5.5. Avaliação da Produtividade

Avaliação da produtividade para a concretagem entre o sistema com concreto convencional x auto-adensável.

6. Estudo de Caso (Resultados Alcançados)

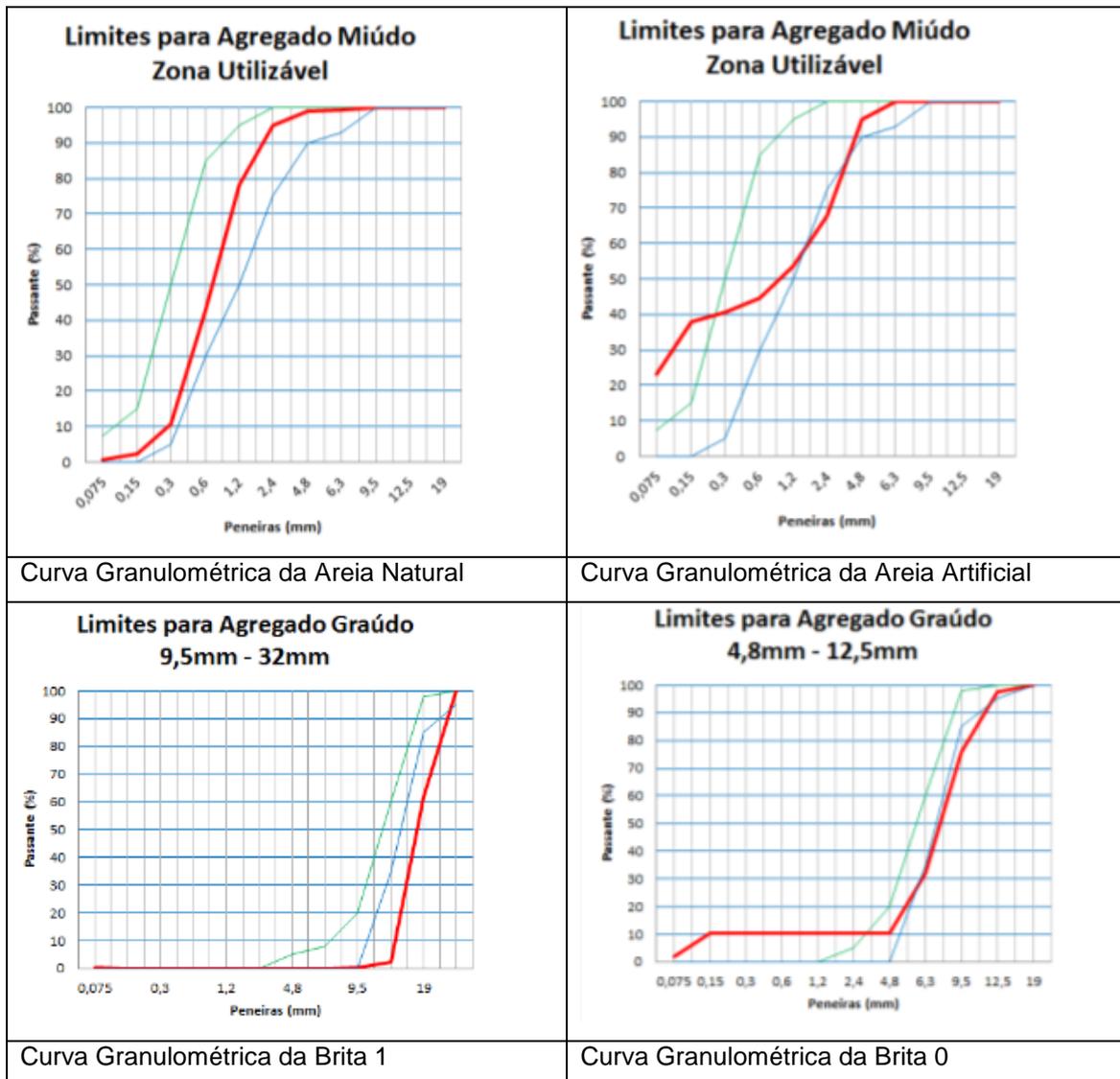
6.1. Caracterização dos Agregados

Os agregados caracterizados são extraídos de rio (areia natural) e provenientes de britagem de rocha calcária (areia artificial, brita 0 e 1), conforme resultados apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15: Resultados de características físicas dos agregados

Agregados	Massa Específica (kg/dm³)	Massa Unitária Seca (kg/dm³)	Dimensão Máx. Característica (mm)	Módulo de Finura	Material Pulverulento (%)
Areia Natural	2,641	1,479	4,8	2,178	0,88
Areia Artificial	2,716	1,785	6,3	2,603	23,48
Brita 1	2,726	1,446	25	7,376	0,21
Brita 0	2,728	1,465	12,5	5,608	1,90

Tabela 16: Resultados de granulometria dos agregados



6.2. Análise Cimento Portland

Foi realizado no Laboratório de Assessoria Técnica da Holcim ensaios físicos e químicos das principais características do cimento CPV ARI PLUS da Holcim utilizado no estudo conforme apresenta a Tabela 17.

Tabela 17: Características físicas e químicas do cimento CP V ARI PLUS da Holcim

TIPO DE ENSAIO		CARACTERÍSTICAS	
Físicos	Blaine (cm ² /g)		4758
	Tempos de pega (min)	Início	123
		Fim	181
	Resistência à compressão (Mpa)	1 dia	28,5
		3 dias	40,3
		7 dias	44,8
		28 dias	53,4
Químicos	CO ₂ (%)		2,48
	SO ₃ (%)		2,77
	PF 1000°C (%)		3,57
	Resíduos Insolúveis (%)		0,84

6.3. Análises dos Aditivos

Na Tabela 18 e 19 são apresentados as especificações dos aditivos e os resultados encontrados pelas análises realizadas no laboratório do fornecedor comprovando que estes aditivos atendem a norma NBR 11768:2011.

Tabela 18: Especificação e resultados da análise do aditivo Tec Mult 428 LF

Tipo de Análise	Especificação	Resultados	Normas
Cor/Visual	Castanho Escuro	OK	Padrão Rheoset
Aspecto/Visual	Líquido	OK	Padrão Rheoset
Não Volátil/Peso %	37,05 – 40,95	37,90	Padrão Rheoset
Massa Específica g/cm ³	1,180 – 1,220	1,193	ABNT 10908:2008
pH	07,50 – 09,50	09,50	ABNT 10908:2008

Tabela 19: Especificação e resultados da análise do aditivo Tec Flow 35 N

Tipo de Análise	Especificação	Resultados	Normas
Cor/Visual	Castanho Claro	OK	Padrão Rheoset
Aspecto/Visual	Líquido	OK	Padrão Rheoset
Não Volátil/Peso %	33,25 – 36,75	33,79	Padrão Rheoset
Massa Específica g/cm ³	1,050 – 1,090	1,066	ABNT 10908:2008
pH	04,50 – 06,50	05,09	ABNT 10908:2008

6.4. Avaliação e Estudo de Concretos

6.4.1. Concreto Convencional (CCV)

Através de análises verificou-se que o traço do concreto convencional (CCV) com slump 4 ± 1 cm, apresentado na Tabela 20, já estava sendo utilizado na fabricação de estacas armadas e protendidas na fábrica a 3 anos sem alterações significativas com o aditivo plastificante Tec Mult 428 LF. Os resultados de resistência à compressão atendem a especificação conforme Tabela 22.

6.4.2. Concreto Auto-Adensável (CAA)

A Tabela 20 apresenta os traços do concreto auto-adensável estudado inicialmente e denominado CAA Inicial e o traço aprovado para execução das estacas denominado de CAA Final. No entanto, a Tabela 21 informa os resultados de caracterização encontrados através dos ensaios realizados em laboratório do concreto auto adensável (CAA Inicial e CAA Final).

Tabela 20: Traços de concreto convencional, auto adensável (CAA Inicial e CAA Final)

Traço	Cimento (kg/m³)	A/C	Areia Natural (kg/m³)	Areia Artificial (kg/m³)	Brita 1 (kg/m³)	Brita 0 (kg/m³)	Água (l/m³)	Aditivo (%)
CCV	425	0,44	765	-	479	540	187	0,6
CAA Inicial	493	0,40	752	258	277	415	197	0,9
CAA Final	404	0,49	684	469	-	627	198	0,8

Tabela 21: Resultados de caracterização do concreto auto adensável

(CAA Inicial e CAA Final)

Traço	Flow (cm)	T500 (s)	Funil V		Caixa L (H2/H1)
			T1 (seg.)	T 2 (seg.) após 5'	
CAA Inicial	72,5	1"57"	4"02"	7"58"	0,78
CAA Final	68,5	1"65"	4"55"	8"10"	0,79

A Tabela 22 apresenta os resultados de resistência à compressão do concreto auto adensável.

Tabela 22: Estudo resistência à compressão do CC, auto adensável inicial e final de produção

Traço	Resistência à Compressão Média (Mpa)				Desvio Padrão (Mpa)
	16 horas	3 dias	7 dias	28 dias	
CCV	23,3	35,6	40,6	46,6	0,3
CAA Inicial	29,3	46,3	51,3	59,8	-
CAA Final	26,3	38,4	44,9	52,1	1,7

¹CAA Inicial foi testado apenas em laboratório, não entrou em produção.



Figura 11: Preparação das Formas e Mistura do Concreto



Figura 12: Lançamento do Concreto sem vibração e Acabamento Superficial



Figura 13: Estacas concretadas



Figura 14: Estacas prontas para serem sacadas da fôrma



Figura 15: Estacas em estoque

6.5. Produtividade CCV x CAA

Foi realizada uma análise de produtividade de metros cúbicos por homem no período de 3 meses para cada tipo de concreto (CCV e CAA), verificando que houve um aumento de cerca de 42%, na produtividade de estacas após a utilização do CAA conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23: Produtividade Média de Estacas com CCV e CAA

Tipo de Concreto	Produtividade Média Estacas (m³/homem)
Concreto Convencional (CCV)	2,58
Concreto Auto-Adensável (CCA Final)	3,67

7. Conclusão

O aumento médio verificado na resistência de 13% na resistência inicial de 16 horas que libera a transferência de protensão/desforma e 12% aos 28 dias de cura possibilitou uma melhora significativa em todo o processo, desde a fabricação até a aplicação final do produto nas obras. Tornando a estaca mais resistente diminuindo a quebra em todo o processo, principalmente durante o transporte e cravação.

Com relação ao aumento da produtividade em 42% na utilização do CAA na produção de estacas armadas e protendidas, possibilitou em um período de alta dificuldade de contratação de mão de obra especializada que possibilitou relocar em outros setores da fábrica melhorando significativamente a performance da empresa.

8. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106) Dezembro de 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 1: Classificação, Controle e Aceitação no Estado Fresco**. NBR 15823-1: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 2: Determinação do espalhamento e do escoamento – Método do cone de Abrams**. NBR 15823-2: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 3: Determinação da Habilidade Passante – Método do anel J**. NBR 15823-3: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 4: Determinação da Habilidade Passante. Método da caixa L**. NBR 15823-4: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto Auto Adensável. Parte 5: Determinação da Viscosidade**. Método do Funil V. NBR 15823-5: 2010.

BILLBERG, P. **Self-Compacting Concrete for Civil Engineering Structures – The Swedish Experience**. In: S. C. C. R. I. 1-77. Stockholm, 1999.

HARTMANN, Carine; JEKNAVORIAN, Ara; SILVA, Denise; BENINI, Humberto. **CONCRETO: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011.1v.

____ NBR NM 26:2009 – Agregados – Amostragem.

____ NBR NM 27:2000 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.

____ NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.

____ NBR 5738:2003 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

____ NBR 5739:2007 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Métodos de Ensaio. Referências 141

____ NBR 7211:2009 – Agregados para concreto – Especificação.

____ NBR 7215:1997 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.

____ NBR NM 248:2003 (NBR NM 248:2003) – Agregados – Determinação da composição granulométrica.

NETO, Claudio Sbrighi. **CONCRETO: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011.1v.

OKAMURA, H. **Self-Compacting High-Performance Concrete**. International Concrete, v. 19, n. 7, 1997, p. 50-54.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. **Self-compacting concrete. Development, present use and future**. Edição: A. Skarendhal; Petersson. In: INTERNATIONAL RILEM **Proceedings**... France: RILEM Publications, 1999, p.3-14.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Método de Dosagem de Concretos de Auto-Adensável**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca e Dal Molim, Denise Carpena **Concreto Auto-Adensável**. 1ed. São Paulo: Pini, 2008. 140p.

WATANABE, PAULA SUMIE **Concretos especiais – Propriedades, Materiais e Aplicações**. Campinas, SP, 2008.