

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA UTILIZAÇÃO DE CONCRETO FRESCO APÓS 150 MINUTOS, ADICIONANDO ADITIVO PARA CORREÇÃO DO ABATIMENTO

Bruno Frigo Pasini (1), Alexandre Vargas (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) brunopasini@hotmail.com (2) avargas@unesc.net

RESUMO

Este trabalho tem caráter continuativo ao de MILANEZ⁶ (2014), que avalia experimentalmente, o comportamento do concreto aplicado em diferentes idades superiores ao limite estabelecido na NBR 7212:2012⁴, de no máximo 150 minutos. Para isso, foram moldados 5 grupos, cada qual contendo 3 vigas com dimensões de 12 x 20 x 205 cm e 3 corpos de prova cilíndricos para cada grupo, totalizando assim 15 vigas e 15 corpos de prova. A partir do ensaio de compressão axial nos corpos de prova obteve-se a resistência à compressão do concreto endurecido para cada idade e através do ensaio de flexão a quatro pontos nas vigas, verificou-se a carga necessária para atingir-se a flecha máxima estabelecida pela NBR 6118:2014⁸ ($l/250$) e a carga necessária para levar as vigas à ruptura. O principal critério foi a manutenção do abatimento inicial estabelecido de 10 ± 2 cm, em todas as etapas, corrigido, à partir do tempo de 150 min, com a utilização somente de aditivo plastificante, sem alteração da relação água/cimento. Os resultados obtidos à partir dos ensaios de compressão simples nos corpos de prova cilíndricos, tendo como referência o Grupo 1, apresentou redução da resistência de 17,80% no Grupo 2, onde realizou-se a moldagem sem adição de aditivo aos 150 min. Já para os grupos onde foram realizadas as correções do abatimento com aditivo, observou-se um aumento de resistência de 6,12% para o Grupo 3, 16,43% para o Grupo 4 e 26,03% para o Grupo 5. O ensaio de flexão a 4 pontos nas vigas apresentou para o grupo 2 um aumento na carga para a flecha limite ($l/250$) de 4,07% e para o Grupo 3 um aumento 1,36%. Para os demais grupos a cada adição de aditivo ocorreu um acréscimo na carga: para o Grupo 4 de 5,24% e para o Grupo 5 de 7,53%. Para a carga de ruptura das vigas, foram obtidos os seguintes valores em relação ao grupo 1: O Grupo 2 mostrou um decréscimo da carga de 0,11 %. Já os demais grupos, todos corrigidos com aditivo, apresentaram um acréscimo de carga de 5,19% para o Grupo 3, 4,76% para o Grupo 4 e 6,27% para o Grupo 5.

Palavras-chave: Concreto armado, abatimento, tempo de aplicação do concreto.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados para construção no mundo. Sua satisfatória resistência à compressão aliada à facilidade de se adaptar as mais diversas formas o faz estar presente nos mais diferentes tipos de obra. Porém, o concreto sozinho não é o suficiente para combater os esforços a que as estruturas

são submetidas. Daí a grande utilização do concreto armado. Segundo Chust e Figueiredo¹ (2007, p. 19) “Por meio da associação entre concreto simples e armadura convenientemente colocada (armadura passiva), de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes.”

Uma das principais dificuldades de se trabalhar com o concreto, é que nas primeiras horas, a mistura composta de água, cimento e agregados, encontra-se em um estágio denominado concreto fresco. “As principais propriedades do concreto fresco são a consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade” (CHUST, de FIGUEIREDO¹, 2007, p. 26), e define:

A Consistência corresponde a maior ou menor capacidade que o concreto fresco tem de se deformar; está relacionada ao processo de transporte, lançamento e adensamento do concreto e varia, em geral, com a qualidade de água empregada, granulometria dos agregados e pela presença de produtos químicos específicos. (CHUST, DE FIGUEIREDO¹, 2007, p. 26).

“A trabalhabilidade de um concreto, assim como sua consistência, depende da granulometria dos materiais sólidos, da incorporação de aditivos e, principalmente, do fator água/cimento” (CHUST, de FIGUEIREDO¹ (2007, p. 27).

Já a homogeneidade está relacionada à correta distribuição dos agregados graúdos dentro da massa do concreto, implicando diretamente na sua qualidade.

As propriedades do concreto sofrem mudança com as condições climáticas do local, e devem ser levadas em consideração nas etapas de produção da mistura, pois dependendo do tipo de uso, podem afetar a aplicação do mesmo.

O prazo para aplicação do concreto fresco implica diretamente na qualidade da peça que se quer moldar. Algumas consequências podem ser observadas com o passar do tempo à partir da adição de água na mistura de cimento e agregados. Uma dessa consequências é a perda de abatimento. Para Mehta e Monteiro² (2008, p. 365), perda do abatimento é:

[...] definida como perda de consistência do concreto fresco com o passar do tempo. Esse é um fenômeno normal para todas as misturas de concreto, porque resulta do enrijecimento gradual e pega de uma pasta de cimento Portland hidratada, que está associada à formação de produtos de hidratação, como a etringita e o silicato de cálcio hidratado.

A consistência do concreto pode ser medida seguindo a norma NBR NM 67³ (1998), através do ensaio do abatimento do tronco de cone (*slump test*), que consiste em compactar três camadas de concreto com 25 golpes uniformemente distribuídos por camada em um molde cônico, onde, após a retirada do molde há um deslocamento na massa por meio da ação da gravidade, então é feita a medida do abatimento, que

é a distância entre a altura inicial da massa que se iguala a altura do molde e a altura que a massa se encontra após o deslocamento. Para Chust e Figueiredo¹ (2007, p.27) “um concreto com *slump* alto é, em geral, fácil de ser lançado e adensado e, portanto considerado de boa “trabalhabilidade””. Então com o passar do tempo tem-se uma redução do abatimento, e conseqüentemente perda da trabalhabilidade.

O prazo para utilização do concreto fresco está condicionado ao início de pega. “O termo pega se refere à solidificação da pasta de cimento” (MEHTA e MONTEIRO², 2008, p. 226).

O período de tempo para operação de lançamento e adensamento do concreto é determinada pela norma NBR 7212:2012⁴ (pg. 8, item 4.5.3):

- a) iniciados em até 30 min após a chegada do caminhão betoneira na obra. Em situações onde este tempo de início de descarga não possa ser cumprido, o contratante deve avaliar previamente a melhor solução técnica junto a empresa prestadora dos serviços de concretagem. Não se admite adição suplementar de água, conforme 4.4.4;
- b) realizados em tempo inferior a 150 min, contando a partir da primeira adição de água, no caso do emprego de caminhão betoneira, observado o disposto em 4.5.1. Decorridos 150 min contados a partir da primeira adição de água, fica a empresa prestadora de serviços de concretagem eximida da responsabilidade do concreto aplicado;
- c) realizados em tempo inferior a 60 min, contados a partir da primeira adição de água, no caso de veículo não dotado de equipamento de agitação, observando o disposto em 4.5.1.

Imprevistos como quebra de equipamento, atrasos decorridos do transito, dentre outros que acontecem no cotidiano, e podem fazer com que o concreto ultrapasse o limite de tempo de aplicação. Quanto mais próximo do limite dos 150 minutos previstos por norma para sua aplicação, maior a redução do abatimento e conseqüente redução da trabalhabilidade, podendo implicar no descarte de todo concreto. Para tentar amenizar o prejuízo que um acontecimento desse pode gerar, uma opção é a aplicação de aditivos plastificantes à massa de concreto aumentando seu tempo de aplicação.

A NBR 11768⁵ (pg. 2, item 3.6), define aditivo redutor de água ou plastificante como aquele que:

[...] sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, permite reduzir o conteúdo de água de um concreto; ou que, sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do concreto, aumentando o abatimento e a fluidez; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. Nesta classificação o aditivo não apresenta função secundária sobre pega.

Esse trabalho tem como principal objetivo dar continuidade ao trabalho iniciado por MILANEZ⁶ (2014), e também comprovado por outros autores como ROHDEN, DAL MOLIN e VIEIRA⁷ (2011), que demonstraram que a correção do abatimento com a adição de aditivo plastificante e superplastificante em amostras de concreto que já ultrapassaram os 150 minutos previstos pela norma NBR 7212:2012⁴ para sua aplicação, mantiveram sua resistência com o passar do tempo. Para complementar os estudos já existentes, testaremos um número maior de amostras, tentando assim identificar qual o tempo limite para se corrigir uma amostra de concreto mantendo seu abatimento em 10 ± 2 cm, sem alteração da relação água/cimento e sem que ocorra a redução da resistência à compressão do concreto.

2 . MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos utilizados nesse estudo, foram baseados no trabalho realizado por MILANEZ⁶ (2014), com algumas alterações para aprimoramento da técnica desenvolvida. São moldados cinco grupos de amostras, compostas por três vigas e três corpos de prova. Cada grupo é moldado em intervalos de tempo diferentes. Os dois primeiros grupos, sem qualquer adição de aditivo e os demais, que vão ultrapassar os 150 min previstos pela norma 7212:2012⁴, são moldados após correções do abatimento utilizando aditivo plastificante de pega normal. A Tabela 1, apresenta a nomenclatura de cada grupo, o percentual de aditivo utilizado para alcançar o abatimento final de 10 ± 2 cm e tempos para moldagem das vigas e corpos de prova de cada grupo.

Tabela 1: Variáveis em estudo.

Nomenclatura	Quantidade de Aditivo Acumulado (%)	Tempo de Concretagem (min – h:min)
Grupo 1 (G1)	s/ aditivo	0 - 0:00
Grupo 2 (G2)	s/ aditivo	150 - 2:30
Grupo 3 (G3)	0,48%	225 - 3:45
Grupo 4 (G4)	0,84%	330 - 5:30
Grupo 5 (G5)	1,68%	400 - 6:40

Fonte: Do Autor, 2015.

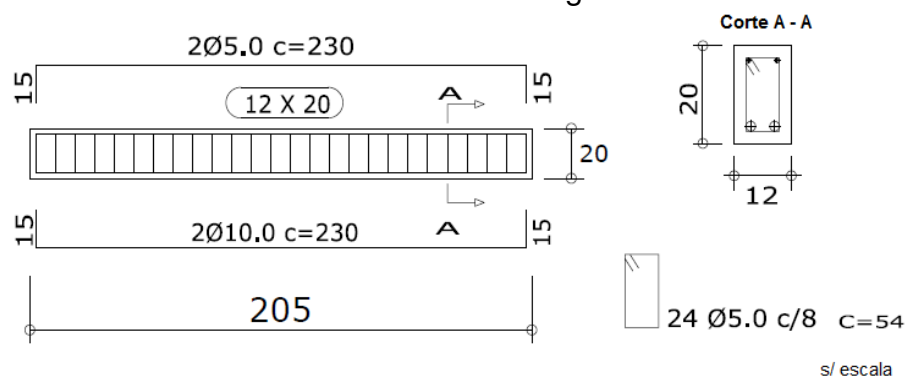
2.1 FÔRMAS

As fôrmas utilizadas para moldagem das vigas foram produzidas com madeira compensada plastificada e montadas com as dimensões (12 x 20 x 205) cm.

2.2 ARMADURA DAS VIGAS

Seguindo os mesmos critérios de dimensionamento feito por MILANEZ⁶ (2014), armadura de combate à flexão foi calculada de acordo com as recomendações da NBR 6118:2014⁸. A resistência característica do concreto utilizado foi de 25 MPa e o aço foi o CA-50. Com base em resultados de outras experiências realizadas no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC, o critério de dimensionamento adotado foi o de que a viga trabalhe no domínio 3 de deformação, adotando-se a relação $x/d = 0,2893$. Utilizou-se para armadura longitudinal principal inferior $2\text{Ø}10.0$ mm, e como armadura superior $2\text{Ø}5.0$ mm, atuando como porta estribos, ambas atendendo ao cobrimento de 2,5 cm, garantido com a utilização de espaçadores plásticos. A armadura de combate ao esforço cortante foi detalhada adotando-se o critério de diâmetro e espaçamento mínimos, chegando-se a um diâmetro 5.0 mm, espaçados a cada 8 cm. O detalhamento da viga está representado no Figura 1.

Figura 1: Detalhamento das armaduras de cada viga.



Fonte: Do Autor, 2015.

2.3 CONCRETO FRESCO

As amostras utilizaram concreto produzido em obra seguindo o traço, com as seguintes proporções 1: 2,3: 2,7 (cimento, areia e brita) e água adicionada em

pequenas quantidades até atingir-se o abatimento de 10 ± 2 cm. Os materiais utilizados na produção do concreto são especificados na Tabela 2.

Tabela 2: Especificação dos materiais utilizados na produção do concreto.

Material	Tipo
Cimento	CP II-Z-32
Areia	Média
Brita	19 mm

Fonte: Do Autor, 2015.

2.4 ADITIVO

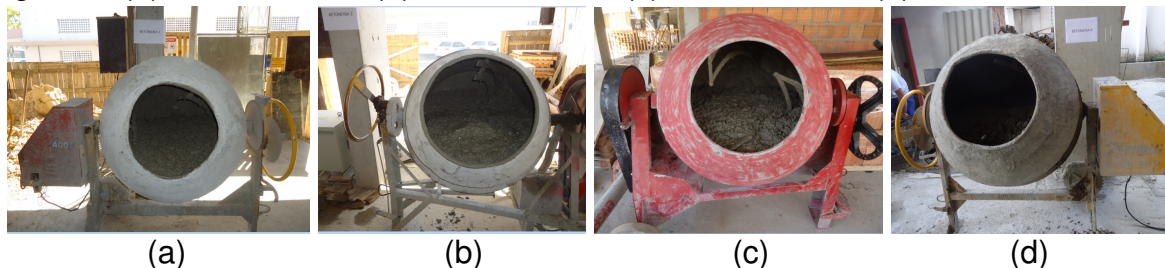
Para manter o abatimento 10 ± 2 cm, em todos os tempos de concretagem, após o tempo limite de início de pega, utiliza-se o aditivo MIRA SET - 48, plastificante multifuncional de pega normal de densidade $1,20 \text{ g/cm}^3$. As especificações do fabricante, recomendam uma dosagem de 0,6 a 1,0 %, sobre o material cimentício.

2.5 CONCRETAGEM DAS VIGAS

A concretagem das vigas foi realizada no canteiro de obras de uma construtora local, que disponibilizou os materiais e equipamentos para produção das mesmas. A temperatura ambiente era de aproximadamente 26° graus e todo procedimento foi executado em lugar coberto, evitando mudanças bruscas de temperatura. Foram moldados 5 grupos de 3 vigas com dimensões $12 \times 20 \times 205$ cm, e 3 corpos de prova de 10×20 cm para cada grupo. Foram utilizadas quatro betoneiras de 400L e todas tiveram dosagens idênticas, recebendo materiais da mesma pilha e em quantidades iguais. Cada abastecimento foi executado com uma pequena diferença de tempo, necessário para adição de água, mistura e conferência do abatimento, através do *slump test*. A adição de água inicial no concreto, foi feita em pequenas quantidades até que o mesmo alcançasse o *slump* 10 ± 2 cm. A medição do tempo de mistura foi iniciado logo após a primeira adição de água a betoneira, podendo-se assim fazer um controle do tempo, para medição do abatimento, correção com aditivo e moldagem das amostras, nos tempos previstos. A Figura 2 mostra as betoneiras B1, B2, B3 e B4 utilizadas no ensaio. Cada betoneira fornece volume de concreto para moldagem de 1 grupo completo de amostras, então a cada concretagem seria utilizado concreto de apenas uma betoneira. A Betoneira 4 (B4)

foi utilizada para moldagem do Grupo 1 aos 0 minutos, e logo abastecida novamente para gerar o Grupo 5.

Figura 2: (a) Betoneira B1, (b) Betoneira B2, (c) Betoneira B3, (d) Betoneira B4.



Fonte: Do Autor, 2015.

A concretagem do primeiro grupo de vigas foi realizado, com *slump* previsto de 10 ± 2 cm. Durante o procedimento de concretagem usou-se um vibrador de imersão, sem nenhum tipo de correção com aditivo e seu tempo entre mistura e concretagem é curto, considerado como $t = 0$ (zero) minutos. Assim como nas seguintes, nessa primeira etapa foram concretadas as três vigas do grupo, juntamente com os respectivos corpos de prova (Figura 3).

Figura 3:(a) Grupo de Vigas G1, (b) Corpos de prova grupo G1.



Fonte: Do Autor, 2015.

Transcorridos 135 minutos após adição de água à primeira mistura, iniciou-se os teste de abatimento no concreto da betoneira B1, para que antes dos 150 minutos estipulados pela NBR 7212:2012⁴, fossem concretadas as amostras do grupo G2, seguiu-se os mesmos passos de concretagem do grupo G1, também sem nenhum tipo de correção com aditivo. Foi possível perceber a perda parcial de trabalhabilidade do concreto dificultando a concretagem das vigas e corpos de prova. Aos 190 minutos, realizou-se o *Slump test* para identificar como encontrava-se a trabalhabilidade do concreto, e então foi realizada a primeira adição de aditivo

plastificante. Primeiramente identificou-se o abatimento do concreto e adicionou-se uma quantidade de aditivo de aproximadamente 200 ml equivalente a 0,48% da massa de cimento contida em cada amostra, refazendo o ensaio na sequência, confirmou-se que o mesmo estava dentro do abatimento previsto de 10 ± 2 cm. Essa correção foi realizada nas demais betoneiras (B2, B3 e B4), fazendo com que todas as amostras ficassem no abatimento previsto. Seguindo-se os mesmos passos de concretagem utilizou-se o concreto da betoneira B2, no grupo G3, encerrando-se a moldagem do grupo aos 225 minutos. Transcorridos 300 minutos iniciou-se novamente o processo de identificação do abatimento através do *Slump test*, seguindo-se os passos do grupo anterior foram adicionados à betoneira B3, 150 ml de aditivo e à betoneira B4 200 ml de aditivo, valores diferentes de correção devido a variação do abatimento de uma betoneira para outra. Feita a correção de aditivo e conferência do abatimento, moldou-se o grupo G4, utilizando concreto da Betoneira B3, seguindo-se os mesmos procedimentos de concretagem dos demais grupos, encerrando a moldagem aos 330 minutos. Foram ainda concretadas as amostras do grupo G5 iniciando-se o procedimento aos 365 minutos, realizando o *slump test*, verificou-se a perda do abatimento e adicionou-se 200 ml de aditivo, que não foi suficiente para atingir o abatimento esperado. Então foram feitas mais duas adições de 50 ml, onde foi possível observar o ganho gradativo do abatimento a cada adição, o concreto encontrava-se no *slump* 10 ± 2 cm, então iniciou-se a concretagem do Grupo de amostras G5, seguindo os mesmos passos dos demais grupos. Encerrou-se a concretagem do grupo aos 400 minutos. No total foram concretadas 15 vigas conforme Figura 4 (a) e 15 corpos de prova. Após 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e submetidos ao processo de cura por imersão conforme NBR 5738⁹ como mostra a Figura 4 (b).

Figura 4:(a) Grupos de Vigas para ensaio a flexão, (b) Corpos de prova.



Fonte: Do Autor, 2015.

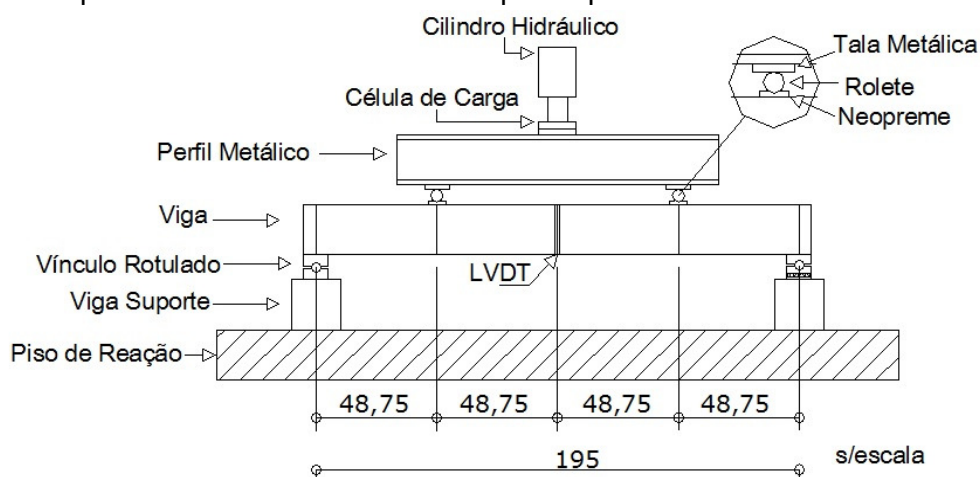
2.6 ENSAIO DE COMPRESSÃO NOS CORPOS DE PROVA

Para verificação da resistência à compressão do concreto endurecido, todos os corpos de prova foram ensaiados à compressão axial aos 56 dias de idade utilizando-se a prensa hidráulica EMIC PC 200, no LMCC - Laboratório de Materiais de Construção da UNESC, seguindo os procedimentos da NBR 5739¹⁰.

2.7 ENSAIO DE FLEXÃO A QUATRO PONTOS NAS VIGAS

Todas as vigas foram submetidas ao ensaio de flexão a quatro pontos, realizados após 56 dias de concretagem. O experimento foi desenvolvido no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC, utilizando-se um pórtico metálico e um cilindro hidráulico com capacidade de 500 kN. Instalou-se um transdutor de deslocamento (LVDT) de 100 mm no meio do vão teórico de cada uma das vigas. A carga aplicada pelo cilindro hidráulico é transmitida por meio de um perfil metálico para 2 pontos e os dados da célula de carga são armazenados utilizando um sistema de aquisição de dados quantum x que utiliza o software Catman Easy, ambos da marca HBM. A Figura 5 apresenta o esquema utilizado para o ensaio de flexão.

Figura 5: Esquema do ensaio de flexão a quatro pontos.



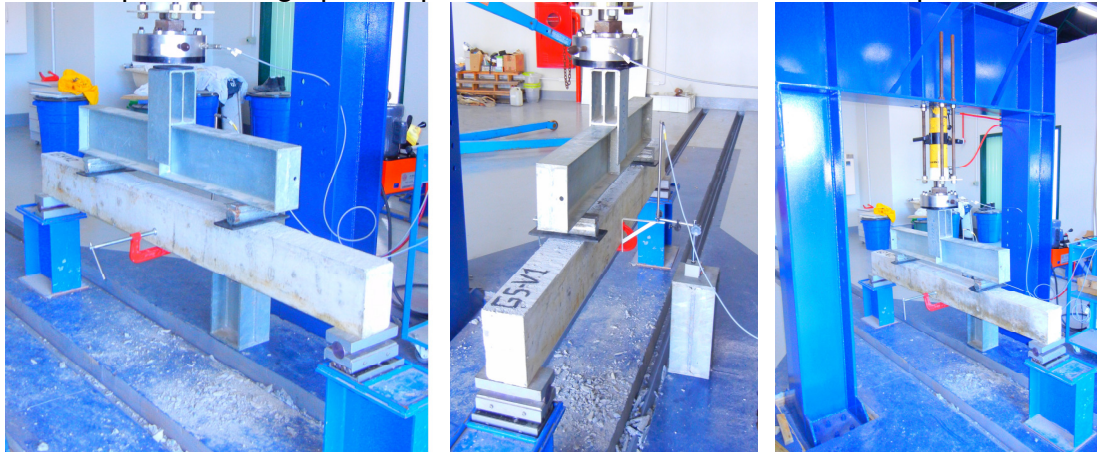
Fonte: Do Autor, 2015.

A aplicação da carga é de forma contínua, objetivando avaliar primeiramente a carga que leve a viga a alcançar o deslocamento máximo previsto na NBR 6118:2014⁸

($l/250$) de 7,8mm e na sequência, verifica-se o valor de carga necessário para a ruptura da viga, bem como o deslocamento vertical nesse instante.

A Figura 6 apresenta o aspecto da viga pronta para iniciar o ensaio de flexão a 4 pontos.

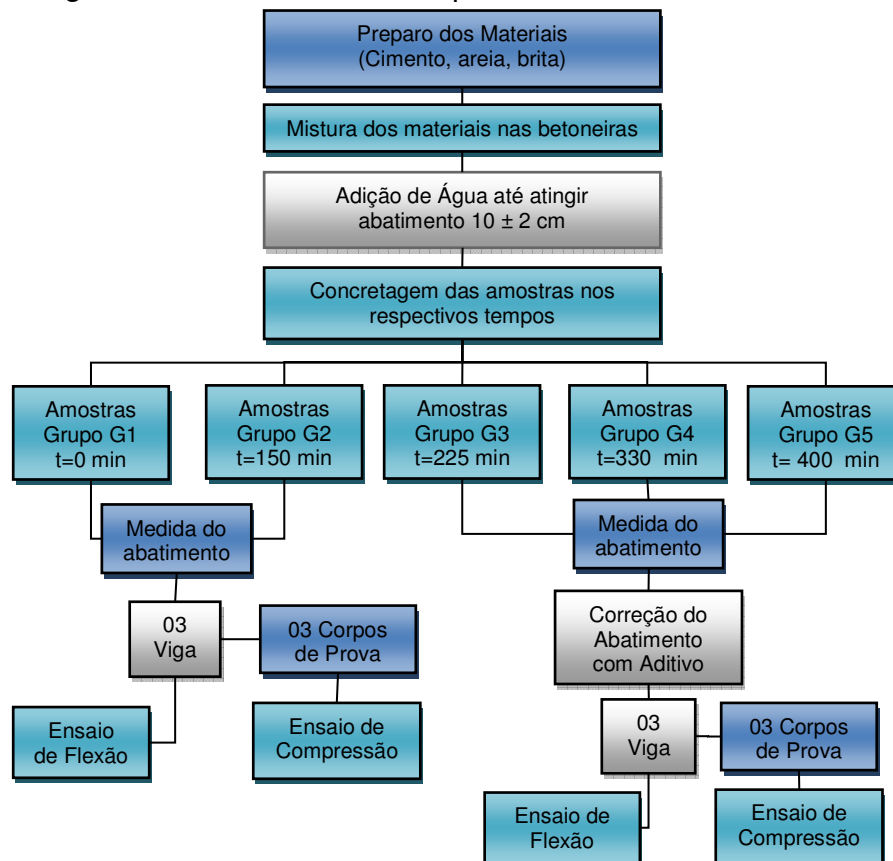
Figura 6: Aspecto da viga pronta para início do ensaio de flexão a 4 pontos



Fonte: Do Autor, 2015.

A Figura 7 mostra o fluxograma de todas as etapas do procedimento experimental.

Figura 7: Fluxograma do Procedimento Experimental



Fonte: Do Autor, 2015.

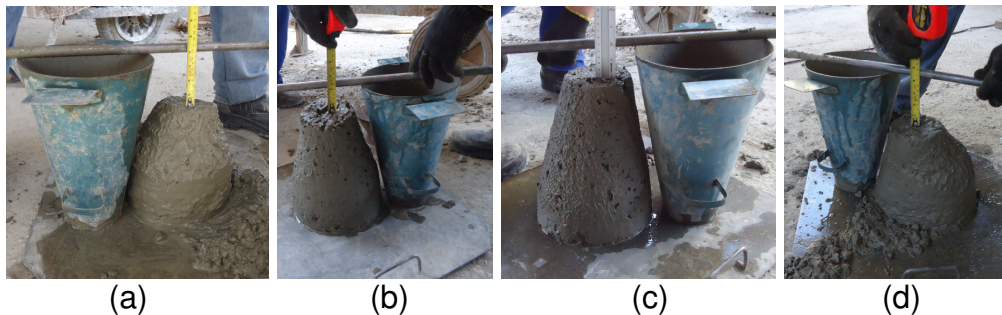
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos item a seguir, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios.

3.1 ABATIMENTO – *SLUMP-TEST*

O *Slump-Test* foi executado objetivando-se atingir o abatimento estabelecido para o estudo de 10 ± 2 cm. A Figura 8 ilustra os ensaios realizados desde o tempo zero Figura 8 (a), até o tempo 190min, sendo que aos 185 minutos Figura 8 (c), verificou-se o abatimento e realizou-se a primeira correção com aditivo, o resultado dessa correção pode ser observado na Figura 8 (d).

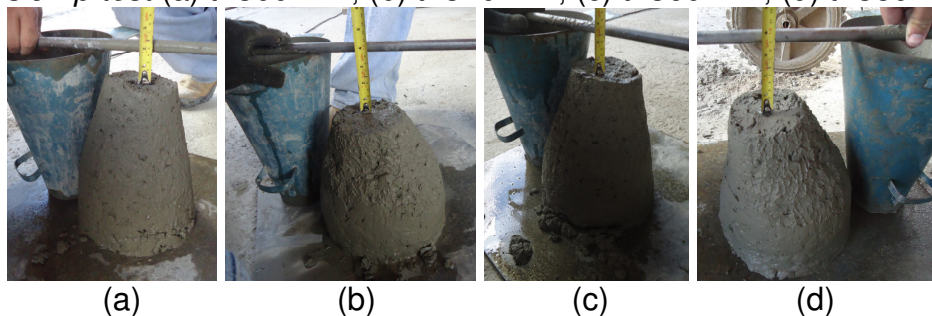
Figura 8: *slump test* (a) t=0 min, (b) t=150 min, (c) t=185 min, (d) t=190.



Fonte: Do Autor, 2015

A Figura 9 traz a continuação dos ensaios realizados no Grupo 5, mostrando o comportamento do concreto a cada correção realizada, respectivamente nos tempos de 300 e 360 minutos. A Figura 9 (a) e (c) mostra os abatimentos antes das correções, enquanto as imagens (b) e (d) mostram após a adições do aditivo para correção.

Figura 9: *slump test* (a) t=300 min, (b) t=310 min, (c) t=360 min, (d) t=380.



Fonte: Do Autor, 2015

A Tabela 3 mostra o controle do abatimento por meio do ensaio de *slump test* que foi realizado em todo o volume de concreto utilizado no estudo, além das quantidades de aditivo utilizados.

Tabela 3: Tempo de Mistura, Medida do Abatimento e adição de aditivo.

Grupo		Tempo (h:min)												
		00:00	02:30	03:05	03:10	04:05	05:00	05:10	06:00	06:05	06:10	06:20		
		(min)	0	150	185	190	245	300	310	360	365	370	380	
1	Sem aditivo	Abatimento(cm)	11,0											
		Correção (ml)												
2	Sem aditivo	Abatimento(cm)	11,0	6,0										
		Correção (ml)												
3	Com aditivo	Abatimento(cm)	11,0	8,0	6,5	11,0								
		Correção (ml)					200							
4	Com aditivo	Abatimento(cm)	11,0	7,5	6,0	12,0	10,5	7,0	12,0					
		Correção (ml)					200	150						
5	Com aditivo	Abatimento(cm)	10,0	5,5	4,0	10,5	8,0	4,5	9,5	5,5	8,0	8,5	9,0	
		Correção (ml)					200	200		200	50	50		

Fonte: Do Autor, 2015.

3.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Após 56 dias de moldagem, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão, sendo os resultados dispostos na Tabela 4.

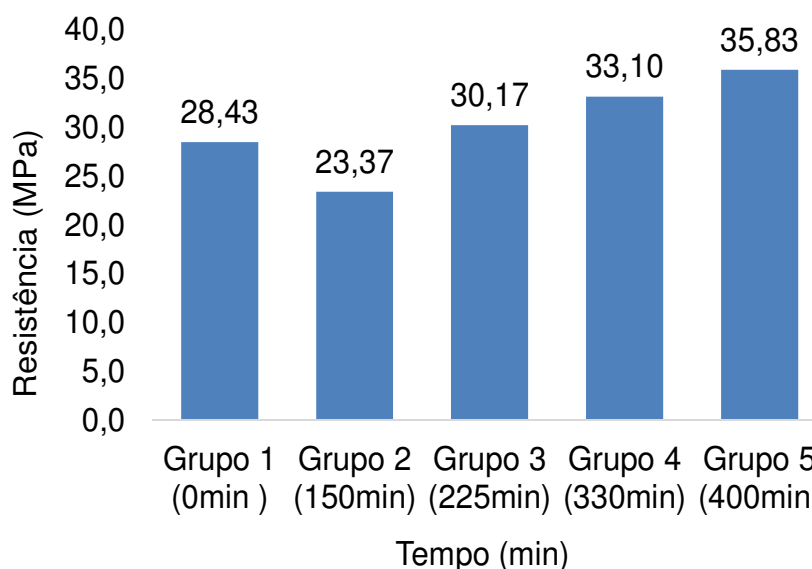
Tabela 4: Resultados de resistência a compressão aos 56 dias.

GRUPO	Tempo (min)	Abatimento antes da correção (cm)	Aditivo acumulado (% - ml)	Abatimento pós correção (cm)	Nº CP	Tensão (MPa)	Média ± D.P. (MPa)	Índices comparativos entre os grupos
1	0	11,0	s/ aditivo	-	CP 1	28,3	28,43 ± 0,32	1,0000
					CP 2	28,2		
					CP 3	28,8		
2	150	6,0	s/ aditivo	-	CP 4	24,2	23,37 ± 1,12	-0,8220
					CP 5	22,1		
					CP 6	23,8		
3	225	6,5	0,48% 200 ml	11,0	CP 7	30,2	30,17 ± 0,35	+1,0612
					CP 8	29,8		
					CP 9	30,5		
4	330	7,0	0,84% 350 ml	12,0	CP 10	32,3	33,10 ± 0,75	+1,1643
					CP 11	33,2		
					CP 12	33,8		
5	400	5,5	1,68% 700 ml	9,0	CP 13	35,5	35,83 ± 1,63	+1,2603
					CP 14	34,4		
					CP 15	37,6		

Fonte: Do Autor, 2015.

Analisando os dados, tendo como referência o Grupo 1, foi possível observar-se uma redução da resistência de 17,80% no Grupo 2, onde realizou-se a moldagem sem adição de aditivo no tempo de 2 horas e 30 minutos (150min). Já para os grupos onde foram realizadas as devidas correções do abatimento com aditivo, foi possível observar um aumento de resistência de 6,12% para o Grupo 3, 16,43% para o Grupo 4 e 26,03% para o Grupo 5. Como foi observado mesmo com o decorrer do tempo, fazendo-se a correção com aditivo pode-se obter um ganho de resistência a compressão. Na Figura 10 é possível visualizar os resultados das médias das resistências à compressão para cada grupo.

Figura 10: Resultado de resistência a compressão média de cada grupo aos 56 dias.



Fonte: Do Autor, 2015.

3.3 RESISTÊNCIA A FLEXÃO

Os dados obtidos para resistência à flexão foram divididos em duas partes carga aplicada até o deslocamento de $l/250$ e carregamento até a ruptura das vigas.

3.3.1 Carregamento até $l/250$

Foi aplicada uma carga até atingir-se o flecha máxima de 7,8 mm ($l/250$), permitida pela norma NBR 6118:2014⁸. A Tabela 5 apresenta os resultados das cargas obtidos para cada uma das vigas, além de índices comparativos entre os grupos.

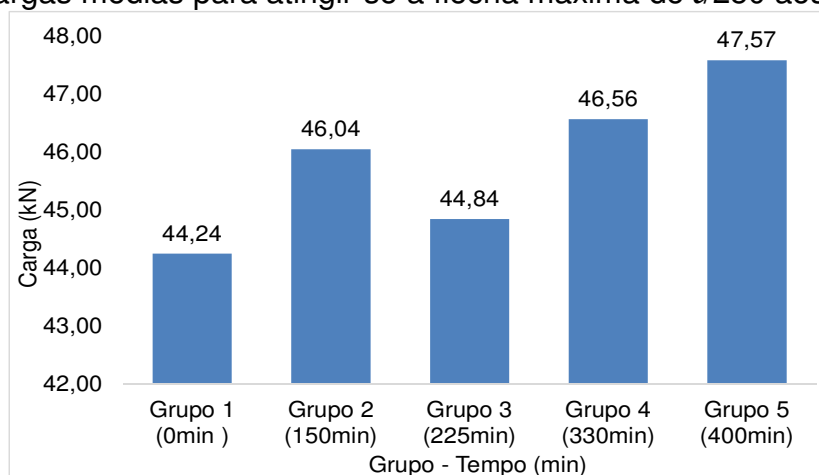
Tabela 5: Resultados da carga para atingir deslocamento de $\ell/250$ (7,8mm).

Grupo	Tempo após concretagem (min) (h:min)	Abatimento antes da correção (cm)	Aditivo acumulado (% - ml)	Abatimento pós correção (cm)	Viga	Carga (kN) L/250 (7,8mm)	Média ± D.P. (kN)	Índices comparativos entre os grupos
1	0 - min 0:00 - h:min	11,0	s/ aditivo	-	1	44,66	44,24 ± 2,87	1,0000
					2	46,88		
					3	41,19		
2	150 - min 2:30 - h:min	6,0	s/ aditivo	-	1	45,75	46,04 ± 1,65	+1,0407
					2	44,55		
					3	47,82		
3	225 - min 3:45 - h:min	6,5	0,48% 200 ml	11,0	1	44,96	44,84 ± 3,58	+1,0136
					2	41,20		
					3	48,35		
4	330 - min 5:30 - h:min	7,0	0,84% 350 ml	12,0	1	44,52	46,56 ± 2,24	+1,0524
					2	48,96		
					3	46,21		
5	400 - min 6:40 - h:min	5,5	1,68% 700 ml	9,0	1	49,86	47,57 ± 2,10	+1,0753
					2	45,72		
					3	47,14		

Fonte: Do Autor, 2015.

Comparando-se os dados dos demais grupos com o Grupo 1 (referência), pode-se observar que a carga para obtenção da flecha máxima no Grupo 2 apresentou um aumento de 4,07%, já para o Grupo 3 apresentou-se um aumento de apenas 1,36%, mostrando que após a primeira correção com aditivo a resistência ainda se manteve acima da referência. Para os demais grupos a cada adição de aditivo ocorreu um aumento na carga: para o Grupo 4 de 5,24% e para o Grupo 5 de 7,53%. Esse ganho de resistência pode ser atribuído a diminuição da relação água/cimento da mistura e incorporação de aditivo a mesma. Na Figura 11 pode-se analisar graficamente a evolução da carga média necessária para alcançar-se a flecha máxima ($\ell/250$).

Figura 11: Cargas médias para atingir-se a flecha máxima de $\ell/250$ aos 56 dias.



Fonte: Do Autor, 2015.

3.3.2 Carregamento até a Ruptura

A Tabela 6 expressa os valores referentes ao carregamento necessário para atingir a ruptura, bem como os respectivos deslocamentos de cada viga no momento do colapso.

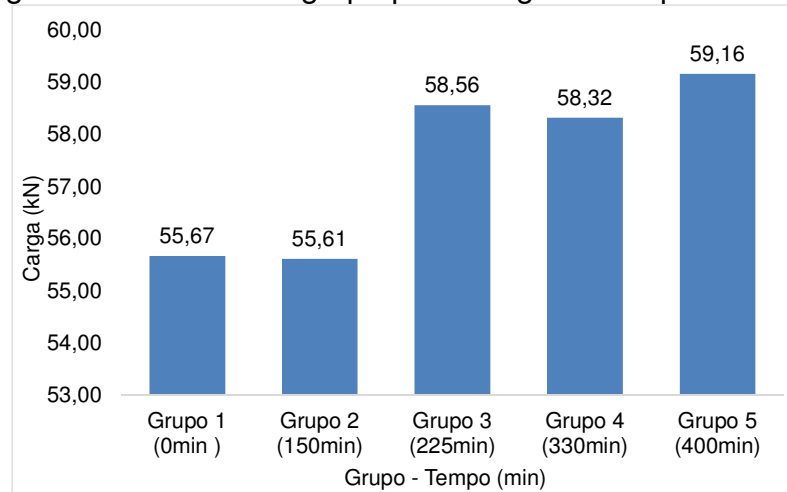
Tabela 6: Resultados da carga necessárias para atingir-se a ruptura.

Grupo	Tempo após concretagem (min) (h:min)	Viga	Carga Para Ruptura (kN)	Média ± D.P. (kN)	Flecha (mm)	Média ± D.P. (mm)	Índices comparativos entre os grupos (carga)
1	0 - min 0:00 - h:min	1	56,79		14,39		
		2	56,66	55,67 ± 1,83	22,93	16,73 ± 5,42	1,0000
		3	53,56		12,87		
2	150 - min 2:30 - h:min	1	55,89		11,94		
		2	55,19	55,61 ± 0,37	11,82	12,24 ± 0,63	-0,9900
		3	55,75		12,97		
3	225 - min 3:45 - h:min	1	57,76		18,53		
		2	60,09	58,56 ± 1,32	21,92	17,81 ± 4,52	+1,0519
		3	57,84		12,96		
4	330 - min 5:30 - h:min	1	53,65		13,11		
		2	62,05	58,32 ± 4,28	15,45	14,37 ± 1,18	+1,0476
		3	59,26		14,57		
5	400 - min 6:40 - h:min	1	57,96		17,83		
		2	58,01	59,16 ± 2,03	15,93	17,01 ± 0,97	+1,0627
		3	61,50		17,26		

Fonte: Do Autor, 2015.

O Grupo 2 mostrou um decréscimo da carga de 0,11 %, quando comparado ao Grupo 1. Já os demais grupos, todos corrigidos com aditivo, apresentaram um acréscimo de carga de 5,19% para o Grupo 3, 4,76% para o Grupo 4 e 6,27% para o Grupo 5, quando comparados ao Grupo 1. Esses resultados mostraram que as amostras sem correção com aditivo mantiveram as cargas praticamente constantes, enquanto que, nas amostras corrigidas com aditivo pode-se observar um aumento na carga de ruptura. A Figura 12 mostra graficamente os resultados obtidos para as cargas médias de ruptura.

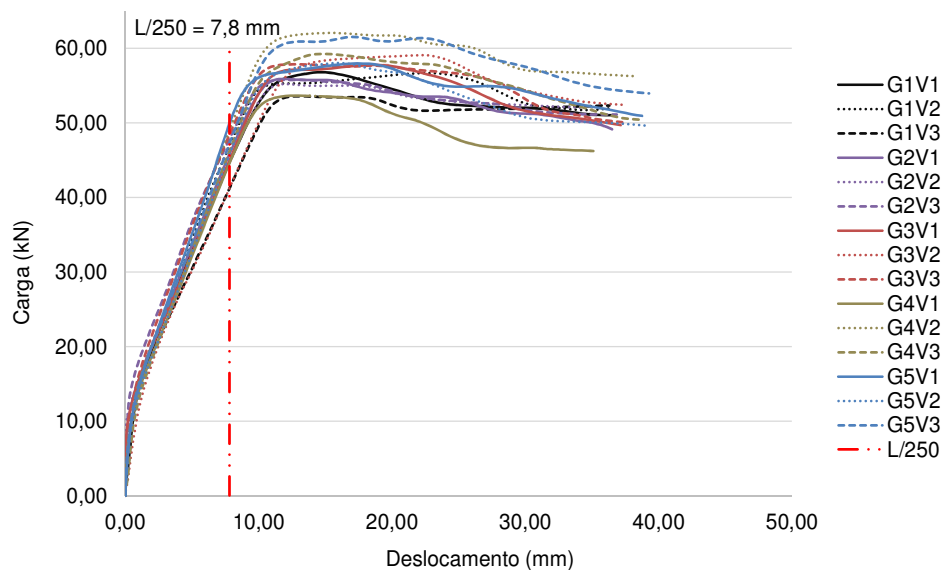
Figura 12: Cargas médias de cada grupo para atingir-se a ruptura aos 56 dias.



Fonte: Do Autor, 2015.

Por fim a Figura 13 apresenta o comportamento de todas as amostras quando submetidas ao ensaio de flexão, levando-as até a ruptura.

Figura 13: Evolução dos deslocamento com a aplicação das cargas até a ruptura.



Fonte: Do Autor, 2015.

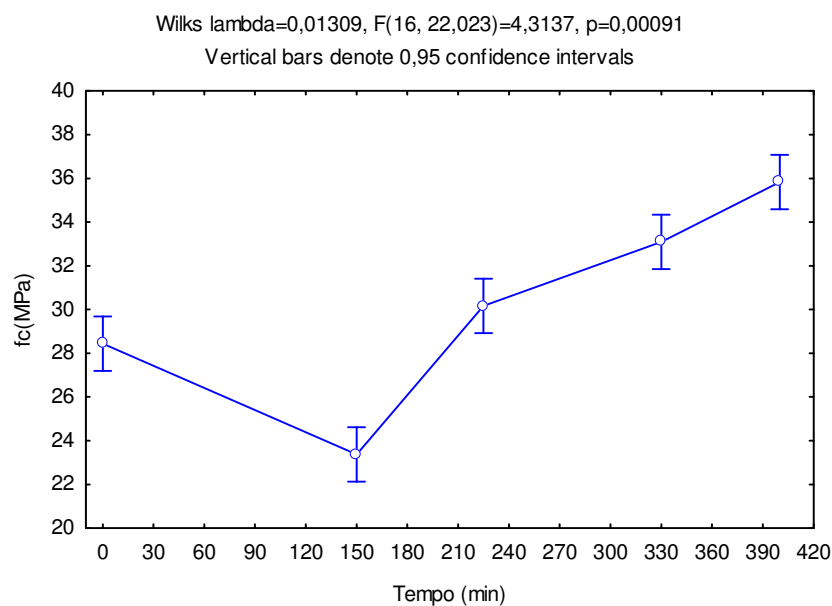
Analisando o comportamento das vigas pode-se ver que no regime de trabalho ($l/250$) todas as vigas tiveram comportamento similar.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Realizou-se uma análise estatística com auxílio do software statistica 7.0, através da metodologia análise de variância (ANOVA) a fim de se verificar a influência do tempo de mistura na variável resposta resistência à compressão em corpos de prova,

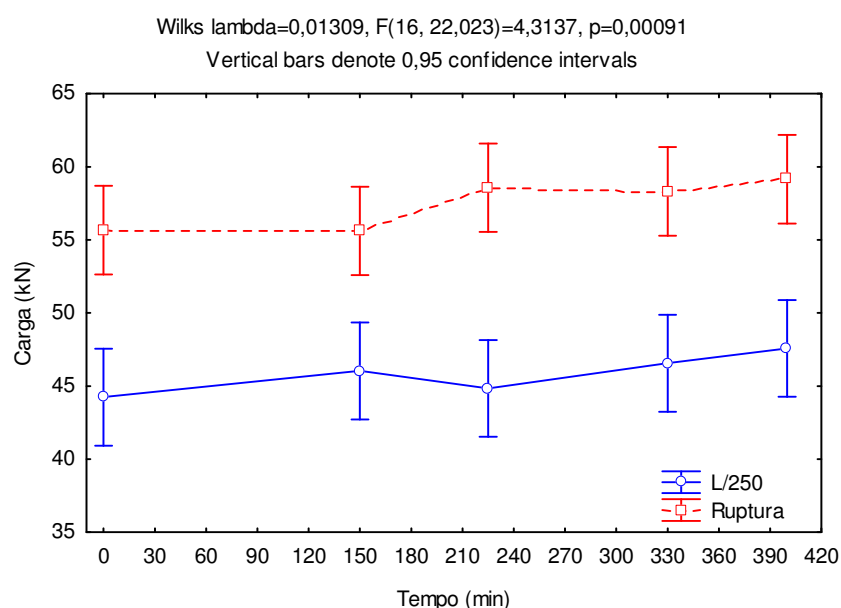
resistência à flexão para o deslocamento máximo ($l/250$), e resistência para ruptura em vigas. Essa análise mostrou que os valores de resistência à compressão sofreram um acréscimo com o aumento do tempo de mistura a partir de 150 min (Figura 14). Com relação a carga para o deslocamento máximo e para ruptura, os resultados foram estatisticamente iguais em relação a referência, com um nível de confiança de 95% como mostram a Figura 15.

Figura 14: Influência do tempo de mistura na variável resposta resistência à compressão.



Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 15: Influência do tempo de mistura na variável resposta carga máxima de flexão.



Fonte: Do Autor, 2015.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho, para as condições estabelecidas, mostraram que o uso de aditivo plastificante de pega normal, na correção do abatimento para ganho de trabalhabilidade em amostras de concreto, possibilitou o uso de uma amostra com tempo de mistura de 6,7 horas (400 min), aproximadamente 2,7 vezes maior que o tempo limite estipulado pela NBR 7212:2012⁴ de 2,5 horas (150 min).

Além de possibilitar a utilização do concreto em tempos superiores aos 150 min, a correção do abatimento, propiciou ganhos na resistência à compressão em corpos de prova, e para as vigas sujeitas à flexão tanto em situação de serviço (flecha limite de $l/250$) como na ruptura, as cargas se mantiveram constantes.

Os resultados obtidos nessa pesquisa convergem com os resultados alcançados por ROHDEN, DAL MOLIN e VIEIRA⁷ (2011) e MILANEZ⁶ (2014), onde a correção do abatimento com adição de superplastificante e plastificante mostraram resultados de ganho na trabalhabilidade e aumento de resistência, quando aplicados em amostras que já ultrapassarão o tempo limite de 150 min.

É importante ressaltar que os resultados deste trabalho são válidos para o grupo específico de amostras, materiais utilizados, tipo de aditivo, condições do local e procedimentos adotados. Não deve-se adotar esse procedimento de correção em obras correntes. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a avaliação experimental da resistência à compressão, flexão e aderência utilizando concreto por tempo superior ao testado no presente trabalho, ultrapassando as 6 horas e 40 minutos, para tentar assim analisar até quando é possível corrigir uma amostras de concreto com aditivo, sem que a mesma perda trabalhabilidade e resistência.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

³ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

⁴ _____. **NBR 7212: Execução de concreto dosado em central**. Rio de Janeiro, 2012.

⁵ ____ NBR 11768: **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 2011.

⁸ ____ NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

⁹ ____ NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

¹⁰ ____ NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

¹CHUST, A. C.; FIGUEIREDO F^o, J. R. **Concreto armado: cálculo e detalhamento de estrutura**. 2. ed. São Carlos: Edusfcar, 2005.

²MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

⁶MILANEZ, Mariana Ortolan. **Avaliação experimental do comportamento na compressão e flexão utilizando concreto fresco em diferentes tempos de aplicação**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense.

⁷ROHDEN, A.B.; DAL MOLIN, D.C.C.; VIEIRA, G.L. **Tempo de lançamento do concreto: um novo paradigma**. IBRACON, 2012.