

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL PARA PRODUÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Nicole Schwantes-Cezario (nicoleschwantes@hotmail.com), Maikon Rafael Goes da Silva, Gabriel Heckler-Piedade, Rafael Reina Souza, Geovana Souza Ferreira Nogueira, Maria Fernanda Porto, Berenice Martins Toralles

Resumo: A pré-fabricação de elementos estruturais assim como o emprego do concreto autoadensável (CAA) foi desenvolvida graças à necessidade de otimização de recursos e à crescente falta de mão de obra. Ademais, a aplicação deste material em elementos pré-moldados traz benefícios que vão desde a redução da mão de obra até a melhora no acabamento superficial da peça. Neste trabalho busca-se avaliar a viabilidade técnica e econômica do CAA em elementos pré-fabricados de concreto. Para tanto, foram executados três elementos estruturais com diferentes características geométricas, em concreto convencional (CC) e CAA, sendo medidos os tempos das etapas de fabricação (mistura, transporte, lançamento, adensamento, acabamento e reparos), o custo dos materiais com base no custo unitário dos mesmos e da mão-de-obra por minuto, tudo de acordo com a realidade da obra. Também foi realizada a simulação de quantidade de peças fabricadas durante 6 horas ininterruptas de trabalho, além dos ensaios no estado fresco e endurecido. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o emprego do CAA é vantajoso em relação ao custo, pois mesmo com o aumento provocado pelos materiais constituintes, houve uma compensação por seus ganhos em mão-de-obra e tempo de fabricação. Houve também grande vantagem em relação a produtividade já que a utilização do CAA diminui o tempo da produção em 4,4 vezes, em média, e aumentou a produção em 4,8 vezes, em média.

Palavras-chave: concreto autoadensável, pré-fabricação, viabilidade técnica, viabilidade econômica.

TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF THE APPLICATION OF SELF-COMPACTING CONCRETE TO PRODUCTION OF STRUCTURAL ELEMENTS

Abstract: The precast of structural elements as well as the use of self-compacting concrete (SCC) was developed thanks to the need of optimizing resources and the increasing lack of labor. Besides that, the application of this material in precast elements brings benefits ranging from the decrease of manpower to improvement in surface finish of the piece. This paper aims to evaluate the technical and economic viability of SCC in prefabricated elements of concrete. For this purpose, were executed three structural elements with different characteristics in normal concrete (CC) and SCC, being measured the times of each step of the manufacturing process, the materials cost based on the unit cost of the same and the per-minute labor cost, all by the reality of the factory. Also, was performed the simulation of the quantity of manufactured pieces during 6 hours of uninterrupted work. Assays were also performed on fresh and hardened state. From the results obtained, it was found that the use of SCC is advantageous in cost because even with the increase of cost by materials, there was a compensation in cost by the winning in labor and productivity. There were also the gain in productivity because the utilization of SCC decrease the production time in 4,4, average besides increase the production in 4,8 times, average.

Keywords: self-compacting concrete; precast; technical viability; economic viability.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento e desenvolvimento da construção civil no decorrer dos anos, surgiu um interesse cada vez maior no desenvolvimento e aprimoramento dos recursos utilizados, tanto pelo aumento das exigências e necessidades do mercado, como por questões sustentáveis ou até mesmo pela falta de mão de obra qualificada nesse setor. Para tanto, novas tecnologias foram desenvolvidas, como a pré-fabricação, que consiste em executar elementos em instalações

industriais ou instalações temporárias em canteiro de obra, sob rigorosas condições de controle de qualidade (ABNT NBR 9062:2017).

Não se sabe precisamente a data em que começou a pré-fabricação, mas esta técnica se desenvolveu mais rapidamente diante da necessidade da iniciativa privada em eliminar grande parte dos problemas causados por imprevistos e proporcionar uma maior integração entre os projetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidráulico (BARTH e VEFAGO, 2007; TEIXEIRA, 1986; VASCONCELOS, 2002).

De acordo com Doniak (2006) é possível observar que nos últimos 20 anos o setor de pré-moldados no país tem evoluído significativamente com a adoção e o investimento em novas tecnologias. Estas tecnologias vão desde aprimoramentos na execução de fôrmas, controle de qualidade e adoção de novas tecnologias de concreto.

Dentre as tecnologias que vêm sendo cada vez mais utilizadas nas obras da construção civil, destaca-se o concreto autoadensável (CAA), que apresenta diversos benefícios, como a capacidade de preencher espaços, a resistência a segregação, a facilidade em executar elementos densamente armados, além da melhora no acabamento superficial das peças, devido a maior presença de finos em sua composição (MANUEL, 2015; OKAMURA, 1997).

Segundo Grunewald (2004), o desenvolvimento do concreto autoadensável marca um avanço na eficiência e nas condições de trabalho nos canteiros de obra e na indústria de pré-moldados. Desta forma, aliar as tecnologias do concreto pré-fabricado e do CAA, segundo Walraven (2003), tem vantagens que vão da redução do consumo de energia elétrica até a diminuição das doenças ocupacionais nos trabalhadores. Além disso, a repetitividade dos processos observada na indústria de pré-moldados favorece a implementação da produção do CAA (SKARENDAHL, 2003).

Para tanto, o objetivo deste trabalho foi realizar um comparativo do ponto de vista técnico e econômico de elementos estruturais executados com concreto convencional e com CAA, desde o consumo de material até o tempo demandado durante a fabricação, juntamente com a comparação de custos dos insumos e da mão de obra.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os materiais utilizados para a produção do Concreto Convencional (CC) e do CAA foram: cimento CPV ARI, areia natural grossa, areia de britagem, pedrisco, brita ½, brita 1, sílica ativa, aditivo plastificante, aditivo superplastificante e água.

Para a execução do CC, adotou-se o traço utilizado por uma fábrica de pré-moldados da cidade de Londrina/PR, a qual formou uma parceria com a Universidade Estadual de Londrina para a realização do estudo em questão. Para a execução do CAA, foi adotada a dosagem desenvolvida por Klein (2008). Ambos os consumos por m³ de concreto estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo para fabricação de 1 m³ de concreto convencional e concreto auto adensável.

Composição	Quantidade (kg)	
	CC	CAA
Cimento CPV ARI	330	400
Areia natural grossa	942,5	682,5
Areia de britagem	-	285
Pedrisco	437,5	-
Brita ½	-	965
Brita 01	905	-
Sílica ativa	-	20,3
Aditivo plastificante	1,125	-
Aditivo superplastificante	-	4,131
Água	155	180

Com base nos consumos apresentados na Tabela 1, o traço em massa do CC foi de 1: 2,85: 1,32: 2,42 (cimento: areia: pedrisco: brita 1), em massa, com adição de 0,4% de aditivo plastificante, em relação à massa de cimento e com relação água/cimento de 0,47.

O CAA, por sua vez, foi adaptado de acordo com a realidade da fábrica, buscando o máximo de aproveitamento dos equipamentos e materiais disponíveis. O traço em massa foi de 1: 1,70: 0,71: 2,41 (cimento: areia natural: areia de britagem: brita ½), com relação a/c 0,45, sendo que neste concreto foram adicionados 0,4% de aditivo superplastificante e 5,1% de sílica ativa, ambos em relação à massa de cimento.

2.2. Ensaios no Estado Fresco e Endurecido

Após a dosagem dos concretos, os mesmos foram ensaiados no estado fresco e endurecido. Para o CC, no estado fresco, foi realizado o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone, *slump test*, de acordo com a NBR NM 67:1998. No estado endurecido os concretos foram ensaiados quanto a resistência à compressão, conforme a NBR 5739:2007, nas idades de 7 e 28 dias (n=6), com corpos de prova de 150x300mm, os quais foram submetidos a cura submersa em água saturada com cal até as idades de ensaio.

Para o CAA, os ensaios no estado endurecido seguiram o mesmo procedimento. Porém no estado fresco foram realizados os ensaios de *slump flow test*, caixa “L” e funil “V”, para determinar a fluidez, verificar a segregação e a capacidade de passagem por obstáculos do CAA. Destaca-se que foi seguido os procedimentos estabelecidos pelo EFNARC/2005 por ser uma referência internacional consolidada e amplamente testada na Europa.

Foram fabricados três elementos estruturais com características geométricas diferentes (Figura 1), os quais foram produzidos na linha de produção da fábrica de pré-fabricados. Os elementos produzidos foram:

- Viga L com área de seção transversal de 0,0752 m² e volume de 0,3523 m³, possibilitando a verificação do CAA em peças com baixa taxa de armadura, representada na Figura 1 (a);

- Terças com volume de $0,058 \text{ m}^3$, com estreitamento da seção transversal em suas extremidades, gerando um aumento da taxa de armadura nesta região, o que pode implicar em dificuldades no adensamento do concreto, conforme visualizado na Figura 1 (b);
- Lajes-calha com altura da seção transversal de 60 mm e volume de $0,4 \text{ m}^3$, conforme mostra a Figura 1 (c).



Figura 1 – (a) Formas e armaduras aguardando concretagem em vigas L; (b) Detalhe do estreitamento da seção transversal, conseqüentemente o aumento da taxa de armadura, nas extremidades das terças e (c) Concretagem de laje-calha.

Estes três elementos foram escolhidos pelo fato de que a indústria estava confeccionando-os durante o período do desenvolvimento deste trabalho.

Vale destacar que a escolha das terças foi solicitação dos funcionários da fábrica, que se queixavam de problemas durante a concretagem destas peças, devido à diminuição da seção transversal da peça nas extremidades formavam-se ninhos de concretagem, necessitando de um trabalho de reparo. Além disso, havia a necessidade do uso do vibrador de agulha diretamente na armadura para a realização do adensamento do concreto, procedimento que acarreta na diminuição de aderência entre a armadura e o concreto.

2.3. Comparativo Técnico e Econômico

Durante a fabricação, para que não houvesse influência na rotina da fábrica, todas as etapas de produção foram filmadas com o auxílio de duas câmeras fixas e uma câmera móvel. A primeira câmera fixa dava uma visão geral de todas as fases da concretagem. A segunda foi posicionada de modo a proporcionar uma visão da peça a ser concretada e de todos os funcionários que nela estiverem trabalhando. A câmera móvel acompanhou os detalhes da concretagem da peça, enfatizando problemas ocorridos durante a execução do concreto, moldagem dos corpos de prova e eventuais reparos e imprevistos.

As gravações foram utilizadas para a realização de parte da coleta de dados, relativo a equipamentos utilizados, número de funcionários e função de cada um durante a fabricação da peça. A outra etapa da coleta de dados referente aos custos dos materiais constituintes e mão de

obra do concreto, foi realizada com o apoio da indústria, que forneceu as informações sobre o custo dos materiais e mão de obra.

Para indexar os custos desde a data da coleta dos dados até o presente momento e possibilitar um comparativo condizente com a realidade de qualquer mês ou ano futuro, utilizou-se o Índice Nacional de Custo da Construção do Mercado (INCC-M). Este índice atende os custos dos materiais, equipamentos, serviços e mão-de-obra (Fundação Getúlio Vargas, 2014; Índice Nacional de Custo da Construção do Mercado – FGV, 2014).

Visando ressaltar a diferença de custo de fabricação e quantidade produzida no mesmo espaço de tempo, com o emprego dos dois concretos estudados, foi realizada uma simulação de seis horas ininterruptas de trabalho com o CC e o CAA. Neste estudo foram consideradas somente as etapas da concretagem (mistura, transporte, lançamento, adensamento, acabamento e reparos), desconsiderando o tempo gasto com a montagem das formas, confecção e colocação da armadura e também o tempo necessário para a retirada e disposição da peça já fabricada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e as devidas discussões referentes ao processo de fabricação e custo das peças pré-fabricadas estão apresentados a seguir, assim como os resultados dos ensaios no estado fresco e endurecido das peças pré-fabricadas para o CC e o CAA. Além disso, são expostas as características dos elementos a serem executados, seu processo de fabricação e, por fim, o comparativo técnico e econômico.

3.1. Fabricação das Peças

O processo de fabricação das peças utilizando o CC pode ser dividido em seis etapas: mistura dos materiais na betoneira, transporte do concreto até as formas, lançamento, adensamento, acabamento e reparos (correção de eventuais falhas). Cada etapa foi realizada por funcionários especializados da indústria, sendo: um responsável pela mistura, um pelo transporte e lançamento, dois pelo adensamento e dois para a execução dos reparos e acabamentos, necessitando no total de 6 funcionários.

Já para o CAA este processo seguiu apenas quatro etapas, as quais foram executadas por apenas um funcionário, sendo elas: mistura, transporte, lançamento e acabamento, eliminando as etapas de adensamento e reparos.

Na Tabela 2 estão descritos os tempos gastos na confecção de cada elemento, comparando os resultados obtidos com o CC e o CAA.

Tabela 2 – Tempo gasto para a confecção de vigas L, terças e lajes-calha (em minutos).

Etapa	VIGA L		TERÇAS		LAJE-CALHA	
	CC	CAA	CC	CAA	CC	CAA
Mistura	8,75	11,00	8,75	11,00	8,75	11,00
Transporte	10,00	4,00	5,00	2,00	15,00	6,00
Lançamento	15,88	2,67	10,68	1,36	13,08	1,26
Adensamento	23,75	-	10,63	-	15,88	-
Acabamento	40,25	2,32	5,88	1,56	11,25	2,53

Reparos	37,50	-	20,00	-	20,00	-
Total	136,13	19,99	60,94	15,92	104,75	20,79

Pode-se observar a partir da Tabela 2 que houve um acréscimo de tempo na etapa de mistura para o CAA em todos os elementos confeccionados, o qual foi decorrente da incorporação da sílica ativa, da areia de britagem e aditivo superplastificante. Cabe salientar que para o transporte de ambos os concretos foi utilizada uma caçamba com o auxílio de uma ponte rolante, possibilitando a movimentação do material sem solicitações bruscas que poderiam ocasionar choques à massa do concreto, resultando na sua segregação. Nota-se também que com a utilização do CAA o tempo total de mistura diminuiu, no pior dos casos 3,8 vezes.

Na sequência estão descritas as particularidades da fabricação de cada um dos elementos confeccionados.

3.2. Viga L

O lançamento do CC, para a Viga L, foi realizado em pequenas quantidades, sempre seguidas de adensamento, tornando o processo mais lento em relação ao CAA.

Após todas as etapas de concretagem das peças de CC, as mesmas foram armazenadas no pátio da indústria para a realização da etapa de reparos e acabamentos na superfície que antes estava em contato com as formas. Nesta etapa foram realizados os preenchimentos das bolhas e ninhos de concretagem com argamassa de cimento e areia, e o lixamento completo da peça, para uniformização e alisamento da superfície. Para esse elemento a produção do CAA foi 6,8 vezes mais rápida quando comparado a produção com o concreto convencional.

3.3. Terças e Lajes-Calha

As mesmas observações feitas para viga L se aplicam nos elementos terças e lajes-calha. Sendo que quando as terças foram moldadas em CC, devido ao estreitamento da seção transversal nas extremidades, se fez necessário a colocação do vibrador de agulha em contato direto com a armadura. Já para a mesma peça executada em CAA não houve a necessidade de utilização de adensamento nesta seção. A produção, neste caso, ocorreu 3,8 vezes mais rápida com a utilização do concreto autoadensável.

Quando as lajes-calha foram moldadas, foi necessário o emprego de adensamento, para qual utilizou-se uma régua vibratória de 25 kg, implicando no aumento do tempo de execução desta peça, haja visto o peso do equipamento a ser levantado pelos funcionários. Neste elemento, a diminuição no tempo da produção foi de cinco vezes.

3.4. Resultados no estado fresco e endurecido

Os resultados obtidos no estado fresco e endurecido para o CC e CAA estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise dos resultados obtidos durante os ensaios para concreto comum e concreto autoadensável nos estados fresco e endurecido.

Estado	Ensaio	Parâmetro	Unidade	CC	CAA	Limites (EFNARC, 2005) para CAA
Fresco	Slump test	-	cm	6	-	
	Slump flow test	T50	s	-	4	2 < T50 < 5 s
		df	cm	-	72,5	65 < df < 80 cm
	Funil em V	t	s	-	12	8 < t < 12 s
	Caixa em L	T20	s	-	2	0,80 < h2/h1 < 1.00
		T40	s	-	4	
		h1	cm	-	9	
		h2	cm	-	8	
		h2/h1	-	-	0,89	
Endurecido	fc 7 dias	-	MPa	29,76	44,02	-
	fc 28 dias	-	MPa	40,05	73,40	-

Legenda: T50: tempo para o concreto alcançar o diâmetro de 50 cm; df: diâmetro final do CAA fresco; t: tempo necessário para esvaziar o funil, em segundos (s); T20: tempo necessário para o concreto atingir a marca de 20 cm, em segundos (s); T40: tempo necessário para o concreto atingir a marca de 40 cm, em segundos (s); h1: altura inicial e h2: altura final.

A partir da análise dos resultados, observou-se que de acordo com a norma NBR NM 67:1998, o CC é caracterizado como plástico. Quanto aos resultados para o CAA no estado fresco, baseado nos limites estabelecidos pela EFNARC (2005), o concreto dosado na fábrica apresentou as propriedades características de um concreto autoadensável.

Quanto aos valores de resistência à compressão do CAA, neste estudo houve a preocupação em se obter um concreto superior aos 30 MPa exigidos em projeto e que apresentasse todas as propriedades auto adensáveis, o que foi verificado.

3.5. Comparativo Técnico e Econômico

Para viabilizar a comparação técnica e econômica da aplicação do CAA em substituição ao CC, foi analisado o custo de produção de cada tipo de concreto. Estes foram calculados com base no custo unitário dos materiais e da mão-de-obra por minuto (R\$/min) (TUTIKIAN, DAL MOLIN E CREMONINI, 2005) de acordo com a realidade da indústria.

Nas Tabelas 4, 5 e 6 se apresentam os custos de fabricação de cada tipo de concreto para a moldagem dos três elementos estruturais.

Tabela 4 – Comparativo de custos de fabricação do CC e CAA utilizados para a moldagem das vigas L, considerando insumos e mão-de-obra.

			CC		CAA				
MATERIAIS CONSTITUINTES	Composição	Preço Unit. (R\$)	Qtde (kg)	Total (R\$)	Qtde (kg)	Total (R\$)			
	Cimento CPV-ARI	0,540	116,259	62,77	140,800	76,02			
	Areia Grossa Natural	0,038	332,043	12,62	240,300	9,13			
	Areia de Britagem	0,038	-	-	100,400	3,82			
	Pedrisco	0,035	154,131	5,39	-	-			
	Brita ½	0,035	-	-	340,000	11,90			
	Brita 01	0,035	318,832	11,16	-	-			
	Sílica Ativa	1,400	-	-	7,200	10,08			
	Aditivo	8,791	0,396	3,48	-	-			
	Aditivo Superplastificante	14,676	-	-	1,500	22,01			
Água	0,004	54,607	0,23	63,400	0,26				
			Total (R\$)	95,66	Total (R\$)	133,23			
MÃO DE OBRA	Etapas de Produção	CC (R\$/min)	CAA (R\$/min)	Nº de funcionários	Tempo (min)	Total (R\$)	Nº de funcionários	Tempo (min)	Total (R\$)
	Mistura	0,208	0,208	1	8,75	1,82	1	11,00	2,28
	Transporte	0,581	0,581	1	10,00	5,81	1	4,00	2,33
	Lançamento	0,318	0,166	1	15,88	5,06	1	2,67	0,44
	Adensamento	0,498	-	2	23,75	23,67	0	-	-
	Acabamento	0,443	0,318	2	40,25	35,66	1	2,32	0,74
	Reparos	0,374	-	2	37,50	28,04	0	-	-
TOTAL				CC	R\$ 100,06		CAA	R\$ 5,79	
TOTAL FINAL					R\$195,72			R\$ 139,02	

Tabela 5 – Comparativo de custos de fabricação do CC e CAA utilizados para a moldagem das terças, considerando insumos e mão-de-obra.

			CC		CAA				
MATERIAIS CONSTITUINTES	Composição	Preço Unit. (R\$)	Qtde (kg)	Total (R\$)	Qtde (kg)	Total (R\$)			
	Cimento CPV-ARI	0,540	57,400	30,99	69,600	37,58			
	Areia Grossa Natural	0,038	164,000	6,23	118,700	4,51			
	Areia de Britagem	0,038	-	-	49,600	1,88			
	Pedrisco	0,035	76,100	2,66	-	-			
	Brita ½	0,035	-	-	167,900	5,88			
	Brita 01	0,035	157,500	5,51	-	-			
	Sílica Ativa	1,400	-	-	3,500	4,90			
	Aditivo	8,791	0,200	1,76	-	-			
	Aditivo Superplastificante	14,676	-	-	0,700	10,27			
Água	0,004	27,000	0,11	31,300	0,13				
			Total (R\$)	47,27	Total (R\$)	65,16			
MÃO DE OBRA	Etapas de Produção	CC (R\$/min)	CAA (R\$/min)	Nº de funcionários	Tempo (min)	Total (R\$)	Nº de funcionários	Tempo (min)	Total (R\$)
	Mistura	0,208	0,208	1	8,75	1,82	1	11,00	2,28
	Transporte	0,581	0,581	1	5,00	2,91	1	2,00	1,16
	Lançamento	0,318	0,166	1	10,68	3,40	1	1,36	0,23
	Adensamento	0,498	-	2	10,63	12,65	0	-	-
	Acabamento	0,443	0,318	2	5,88	5,21	1	1,56	0,50
	Reparos	0,374	-	2	20,00	14,95	0	-	-
TOTAL				CC	R\$ 40,93		CAA	R\$ 4,17	
TOTAL FINAL					R\$ 88,20			R\$ 69,33	

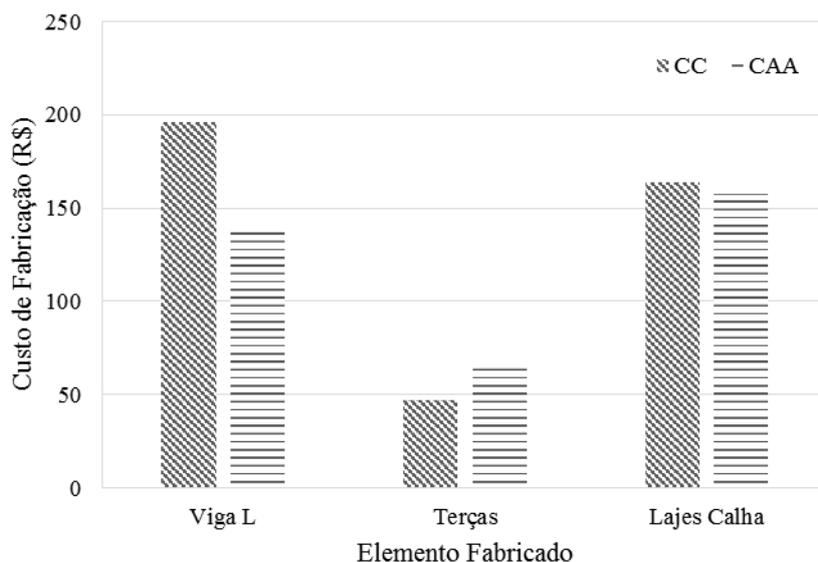
Tabela 6 – Comparativo de custos de fabricação do CC e CAA utilizados para a moldagem das lajes calha, considerando insumos e mão-de-obra.

			CC		CAA	
MATERIAIS CONSTITUINTES	Composição	Preço Unit. (R\$)	Qtde (kg)	Total (R\$)	Qtde (kg)	Total (R\$)
	Cimento CPV-ARI	0,540	132,000	71,27	160,000	86,39
	Areia Grossa Natural	0,038	377,000	14,33	272,800	10,37
	Areia de Britagem	0,038	-	-	114,000	4,33
	Pedrisco	0,035	175,000	6,13	-	-
	Brita ½	0,035	-	-	386,000	13,51
	Brita 01	0,035	362,000	12,67	-	-
	Silica Ativa	1,400	-	-	8,120	11,37
	Aditivo	8,791	0,450	3,96	-	-
	Aditivo Superplastificante	14,676	-	-	1,652	24,24
	Água	0,004	62,000	0,26	72,000	0,30
			TOTAL (R\$)	108,61	TOTAL (R\$)	150,51

MÃO DE OBRA	Etapas de Produção	CC (R\$/min)	CAA (R\$/min)	Nº de funcionários	Tempo (min)	Total (R\$)	Nº de funcionários	Tempo (min)	Total (R\$)
	Mistura	0,208	0,208	1	8,75	1,82	1	11,00	2,28
	Transporte	0,581	0,581	1	15,00	8,72	1	6,00	3,49
	Lançamento	0,318	0,166	1	13,08	4,16	1	1,26	0,21
	Adensamento	0,498	-	2	15,88	15,82	0	-	-
	Acabamento	0,443	0,318	2	11,25	9,97	1	2,53	0,81
	Reparos	0,374	-	2	20,00	14,95	0	-	-
		TOTAL		CC	R\$ 55,45		CAA	R\$ 6,79	
		TOTAL FINAL			R\$ 164,06			R\$ 157,30	

Para ilustrar os resultados apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6, os custos finais de cada elemento fabricado foram apresentados em um gráfico que pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Comparativo de custos entre os elementos confeccionados com concreto convencional CC e com concreto autoadensável CAA



Como se pode observar para todas as peças, os elementos produzidos com concreto autoadensável resultaram em um custo menor de fabricação. Observa-se, ainda, que houve um

aumento no custo dos materiais constituintes, que foi recompensado pela redução da mão-deobra e do tempo de realização das etapas.

Destaca-se que, enquanto o CC necessitou de 8 funcionários para a execução das seis etapas, no CAA somente um funcionário foi necessário durante todo o processo, desde a mistura até o acabamento.

A redução da mão-de-obra minimizou a probabilidade de acidentes de trabalho, a manutenção de equipamentos e o consumo de energia elétrica. Além disso, a utilização de CAA eliminou duas etapas durante o processo de fabricação (adensamento e reparos) e aumentou a vida útil das formas. Vale lembrar que estes valores não foram mensurados neste estudo.

Outra vantagem observada, porém não medida neste estudo, foi a redução da poluição sonora do ambiente quando empregado o CAA. Além de reduzir a exposição dos funcionários a ruídos e barulhos de equipamentos, como os vibradores utilizados para adensamento, reduziu-se também o ruído nos arredores da fábrica.

No caso das terças a utilização do CAA se demonstrou vantajosa devido à alta taxa de armadura e redução da seção transversal nas extremidades da mesma, evitando o aparecimento de vazios decorrentes da concretagem da peça. Para a laje-calha, a exclusão das duas etapas do processo produtivo (adensamento e reparos) não foi significativa quando comparado aos outros elementos, porém o custo de fabricação é menor comparado ao CC. A vantagem do CAA para este elemento foi a eliminação da utilização da régua vibratória, devido ao seu peso e alto ruído emitido.

Foi realizada uma comparação simulando a fabricação das peças durante seis horas ininterruptas, como consta na Tabela 7.

Tabela 7 – Simulação da produção dos três elementos estruturais em estudo em concreto comum e concreto autoadensável durante seis horas ininterruptas.

	VIGA L		TERÇAS		LAJE-CALHA	
	CC	CAA	CC	CAA	CC	CAA
Tempo Total (s)	8167,8	1259,4	3521,4	955,2	5412,6	1247,4
6 horas ininterruptas	2,64	17,2	6,13	22,61	3,99	17,32
Fator	6,49		3,69		4,34	

Com a análise da Tabela 7, observou-se que os resultados são expressivos para todos os elementos, apresentando maior eficiência na viga L, na qual a produção empregando o CAA é aproximadamente 6,5 vezes maior do que a obtida com a utilização de CC, neste mesmo intervalo de tempo. Analisadas as demais peças, observou-se um ganho de produção de aproximadamente 4 peças em CAA comparado aos elementos executados em CC. Por esse motivo, verificou-se que é vantajoso o emprego do CAA, tanto em custo como em produtividade.

4. CONCLUSÃO

- A aplicação do CAA nos elementos pré-moldados da fábrica em estudo foi viável técnica e economicamente, já que o custo global deste foi inferior ao CC;

- O aumento de custo provocado pelos materiais constituintes do CAA foi compensado pelo ganho em mão-de-obra e tempo de fabricação;
- A utilização do CAA também proporcionou uma série de vantagens que não foram mensuradas neste trabalho, como a diminuição do ruído e a possibilidade de utilização de resíduos industriais em substituição ao cimento, além do aumento da vida útil das formas;
- A eliminação da etapa de adensamento implicou na redução do número de trabalhadores, o que resultou na diminuição da ocorrência de acidentes de trabalho. Além disso, os gastos com manutenção de equipamentos e consumo de energia elétrica também reduziram;
- O tempo dispensado para se fabricar as peças estudadas em concreto autoadensável se mostrou menor que o tempo gasto para executar as mesmas no concreto convencional, o que reflete a maior eficiência do autoadensável. Considerando seis horas ininterruptas de trabalho, o CAA apresentou produção superior, em média, 4,8 peças comparadas ao CC.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa RP-SUL por ter autorizado a realização dos levantamentos presentes neste trabalho em sua empresa e por ter dado todo o apoio e atenção para que o trabalho fosse o mais completo e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante o estudo.

REFERÊNCIAS ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67 - Concreto –

Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 - Concreto –
Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

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

BARTH , F.; VERFAGO, L. H. M. *Tecnologia de Fachadas Pré-Fabricadas. Letras Contemporâneas.* Florianópolis, p. 259. 2007.

DA SILVA, W. R. L. et al. *Evaluation of the effect of concrete compositional changes and the use of ethyl-alcohol and biodegradable-oil-based release agents on the final surface appearance of self-compacting concrete precast elements. Construction and Building Materials* , v. 52, p. 202-208, Fevereiro 2014. ISSN 0950-0618.

EFNARC. *Specification and guidelines for self-compacting concrete. THE EUROPEAN FEDERATION OF SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS.* Reino Unido. 2005.

GRÜNEWALD, STEFFEN & WALRAVEN, JOOST C. *Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete. Delft University of Technology, The Netherlands. Delft, p. 232. 2001.*

INCC. *FGV IBRE - Instituto Brasileiro de Economia. Disponível em: <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E34B9011D92B7684C11DF>>. Acesso em: 07 jan 2014.*

INCC-M. *Portal Brasil. Disponível em: <<http://www.portalbrasil.net/incc.htm>>. Acesso em: 2014 jan 2014.*

KLEIN, N. S. *Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável. Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2008.*

MANUEL, P. J. M. *Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos auto-adensáveis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 178. 2015. (CDU-691.32(043)).*

OKAMURA, H. *Self-compacting high-performance concrete, Julho 1997. 50-54.*

OKAMURA, H. *Self-compacting high-performance concrete, n. 1, p. 50-54, Março 2000.*

SKARENDAHL, A. *The present - The future. Edição: O Wallvik; I. Nielsson. International Rilem Symposium on self-compacting concrete, Reykjavik, n. 3rd, p. 6-14, 2003.*

TEIXEIRA, E. H. S. *Manual Técnico de Pré-Fabricados de Concreto. São Paulo: ABCI - Associação Brasileira de Construção Industrializada, 1986.*

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D.; CREMONINI, R. *Viabilização econômica do concreto auto-adensável. 12º Concurso Falcão Bauer. 2005.*

VASCONCELOS, A. C. O. *O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações. São Paulo: Studio Nobel, v. 3, 2002.*

WALRAVEN, J. *Structural aspects of self-compacting concrete. International Rilem Symposium on self-compacting concrete Edição: O. Wallevik; I. Nielsson, Reykjavik, n. 3rd, p. 15-22, 2003.*