

DIANA DARLEN SOARES CANGUSSÚ

PROPOSTA DE MELHORIAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-
MOLDADOS COM BLOCOS CERÂMICOS EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.

FORTALEZA

2014

DIANA DARLEN SOARES CANGUSSÚ

PROPOSTA DE MELHORIAS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-
MOLDADOS COM BLOCOS CERÂMICOS EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em: 29/08/2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre Bertini Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Prof. Dr. Francisco Carvalho de Arruda Coelho
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

A Deus e a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pela força a mim doada nos momentos felizes e, sobretudo, nos difíceis que passei.

A minha família, em especial a minha mãe, pelo apoio, incentivo, credibilidade e presença em todos os momentos, mostrando-se companheira, mesmo à distância.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Aos amigos Horacio Aguirre e Fátima Siqueira, pelo apoio.

Aos diretores da Olé Casas, André Montenegro de Holanda e Filipe Holanda de Carvalho, pela confiança, apoio e receptividade; a todos que comigo estiveram na central de pré-moldados, sem distinção; ao colega José Graciano Dias Júnior, pelo incentivo e apoio.

A Fujita Engenharia Ltda., pela oportunidade em conhecer a construção do empreendimento Residencial Cidade Jardim, em Fortaleza/CE, com a colaboração de Thiago Borba, Coordenador de Central da SUPERMIX.

Aos técnicos do LMCC-DEECC, Maurício, Helano, Francio e Manoel, e da NUTEC, Nonato, pela transmissão de conhecimentos e experiências, e ao estagiário Silas Abud.

À BASF, Matriz de São Paulo, através de Fernando Souza Cândido, Coordenador de Negócios, pelo profissionalismo; à Solução Produtos para Construção, de Fortaleza/CE.

Aos operários das equipes de pista, aos betoneiros e ao encarregado de obra, Cleber Macedo, e de produção, Amisterdan, pela receptividade e troca de experiências.

Aos bolsistas Giovanni Gondim e Arthur, pela disponibilidade em estar na central de pré-moldados.

Aos colegas de turma PEC 2012-1, Elvis Soares, Enza Arruda, Juliana Marinho, Kelma Pinheiro Leite, Mylene Vieira e Viviane Agostinho, pelo convívio e pela troca de experiências.

A todos os professores do PEC e do DEECC, que direta e indiretamente colaboraram com conhecimentos sobre a área de Construção Civil. Aos funcionários do PEC e do DEECC, pela receptividade e prontidão nos atendimentos.

Em especial, ao Prof. Orientador Dr. Alexandre Araújo Bertini, que depositou credibilidade nesta pesquisa, confiança no seu andamento, apoio, incentivo, força e paciência. Agradeço-lhe pela oportunidade em ter vivenciado esta experiência importante na minha carreira acadêmica e profissional.

“As dificuldades são o aço estrutural que entra na construção do caráter.” (Carlos Drummond de Andrade)

RESUMO

Uma empresa detentora de um sistema construtivo tem se destacado, a partir do estado do Ceará, com a produção de habitação de interesse social, utilizando painéis estruturais pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado. Este trabalho tem por objetivo inserir nesse processo construtivo a tecnologia do concreto autoadensável (CAA), inovação que tem sido usada nas empresas de pré-moldados de concreto no Brasil. A aplicação do CAA como material de revestimento nesses painéis parte da necessidade de colaborar em pesquisas relacionadas às alternativas tecnológicas inovadoras disponíveis para a produção habitacional, cujo subsetor de Edificação da Construção Civil, em busca de novos produtos utilizados nos processos construtivos, percebe a necessidade de adaptação que permita maiores índices de produtividade. Assim, pressupõe-se que o potencial do CAA possa contribuir para melhor comportamento desses painéis. Trata-se de uma pesquisa experimental aplicada, em que se buscou analisar o processo de produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado, em pesquisa de campo, mediante a aplicação do CAA. A pesquisa foi dividida em quatro fases: a Fase A referiu-se à pesquisa bibliográfica; a Fase B, à pesquisa experimental em laboratório, em que se obteve a dosagem do CAA com 25MPa; a Fase C abordou a pesquisa de campo, que tratou das formas de coleta de dados, descrição e análise do objeto de estudo; e, na Fase D, fez-se a produção do objeto de estudo com a aplicação do CAA e as propostas de melhorias no processo de produção. Foram avaliados os aspectos de implantação do CAA na produção de painéis na central de pré-moldados e verificada a existência ou não de efeitos benéficos no processo, comparando-o com o já utilizado pela empresa. Nessas avaliações constataram-se vantagens do uso do CAA como: redução da mão de obra, com possibilidade de evitar acidentes e aumento de produção, diminuição do consumo de equipamentos e energia elétrica, melhoria na qualidade de acabamento das superfícies, diminuição do barulho de ruídos e aumento da vida útil dos painéis pré-moldados, devido à homogeneidade e qualidade final dos mesmos. Concluiu-se que o CAA pode ser uma opção vantajosa, sobretudo se fizer uso de adições minerais na sua composição, mas é necessário que, para essa implantação, haja também alguns investimentos iniciais como: um adequado controle de qualidade do CAA, treinamento de mão de obra e a implantação do uso da autobetoneira para concretagem.

Palavras-chave: concreto autoadensável. Painel pré-moldado. Processo de produção.

ABSTRACT

The programs of the federal government to stimulate the construction of social housing has led searches for innovation and constructive solutions to the construction companies to increase productivity, quality and durability of buildings. In this sense, a patent holder of a construction system has excelled in all of Brazil, from the state of Ceará, with the production of houses using precast structural panels with ceramic bricks and concrete company. This work aims to enter into the production process, the technology of self-compacting concrete (SCC), innovation is beginning to be used in companies of precast concrete in Brazil, achieving improvements throughout the production process. It is an experimental research with applied explanatory goal combined nature, which seeks to analyze the process of production of precast panels with ceramic bricks and reinforced concrete in field research on the application of SCC. The survey was divided into four phases. Phase A consisted of literature research, Phase B approached the experimental procedure in the laboratory, which was obtained with the dose of SCC 25MPa, Phase C was treated forms of data collection, description and analysis of the object of study and Phase D was made the production of the object of study with the application of SCC and the proposed improvements in the production process. Aspects of implementation of the SCC and the production of panels in the central precast have been assessed, we verified the existence of beneficial effects in the process, compared to the already used by the company. It was concluded that the SCC may be an advantageous option, use is made especially mineral additions in the composition of SCC, but there must be some modifications and procedures in the manufacturing process.

Keywords: self-compacting concrete. Precast panel. Production process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Painéis sanduíche na fábrica	34
Figura 2 – A – Painel do sistema Costamagna. B – Disposição dos blocos.....	35
Figura 3 – A – Detalhe do painel Technove. B – Moldagem do painel em forma basculante.	36
Figura 4 – Painel pronto para transporte	36
Figura 5 – Painel desmoldado em 24 horas	37
Figura 6 – Componentes pré-moldados do IPT. A – Painel-parede. B – Pilarete de junção....	38
Figura 7 – Primeira casa experimental, utilizando o painel cerâmico na UNICAMP	40
Figura 8 – Processo de colocação dos blocos cerâmicos.....	41
Figura 9 – Lançamento da segunda camada de CC, com preenchimento prévio das nervuras	42
Figura 10 – Nervuras concretadas	43
Figura 11 – A – Pistas de fabricação dos painéis. B – Aplicação de desmoldante	44
Figura 12 – Posicionamento da tela sobre espaçadores e mestras.....	45
Figura 13 – A – Lançamento do CC. B – Adensamento do CC com régua vibratória	46
Figura 14 – Distribuição dos blocos cerâmicos.....	47
Figura 15 – A – Distribuição da argamassa. B – Adensamento da argamassa.....	47
Figura 16 – A – Proteção dos painéis com lona plástica. B – Identificação e desmoldagem dos painéis	48
Figura 17 – Içamento para transporte do painel	48
Figura 18 – Evolução da edificação em duas datas. A – Março/2003. B – Fevereiro/2004	53
Figura 19 – Aplicação do CAA em obra de edifício	54
Figura 20 – Construção com sistema de parede de concreto com uso do CAA.....	56
Figura 21 – Concretagem de laje em CAA. A – Lançamento. B – Espalhamento e nivelamento. C – Acabamento. D – Concretagem finalizada.....	57
Figura 22 – A – Uso do vibrador em região com maior densidade de armadura. B – Desempenho e acabamento do CAA	58
Figura 23 – Diagrama de execução de elementos pré-moldados	68
Figura 24 – Atividades da produção do CC	72
Figura 25 – Atividades de produção do CAA	75
Figura 26 – Passos da coleta de dados.....	81
Figura 27 – Fase B – Pesquisa de laboratório	84
Figura 28 – Betoneira utilizada para a produção da mistura	91

Figura 29 – A – Moldagem dos corpos de prova. B – Acondicionamento em tanque de cura	92
Figura 30 – Ensaio do cone de Marsh	94
Figura 31 – Determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante para composição de pasta (a/c 0,45).....	95
Figura 32 – Determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante para composição de pasta (a/c 0,55).....	95
Figura 33 – Comportamento dos vazios da mistura brita e areia	96
Figura 34 – Ensaio do espalhamento para sp/c = 0,3%	97
Figura 35 – Ensaio do espalhamento para sp/c = 0,6%	98
Figura 36 – CAA, com classe de resistência de 25MPa, produzido com teor de pasta de 40% e sp/c de 0,5%	98
Figura 37 – A – Ensaio da caixa L. B – Ensaio do funil V. C – Ensaio da coluna de segregação.....	99
Figura 38 – Limpeza da pista, montagem da forma e aplicação de desmoldante	105
Figura 39 – A – Malha de aço. B – Ferro para içamento	106
Figura 40 – A – Espalhamento do CC. B – Adensamento do CC.....	106
Figura 41 – A – Colocação de blocos cerâmicos. B – Adensamento do CC.....	107
Figura 42 – Lançamento de argamassa. A – Pá carregadeira. B – Autobetoneira	107
Figura 43 – Argamassa. A – Espalhamento. B – Adensamento. C – Acabamento.....	108
Figura 44 – Cobrimento do painel com lona	108
Figura 45 – Içamento e transporte de painel	108
Figura 46 – Etapas do controle tecnológico	109
Figura 47 – Ensaio do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman.....	110
Figura 48 – A – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. B – Moldagem dos corpos de prova.....	111
Figura 49 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	112
Figura 50 – Forma em perfil metálico e sua medida	115
Figura 51 – A – Aplicação de desmoldante. B – Colocação dos espaçadores plásticos. C – Armadura em tela. D - Inseto metálico	115
Figura 52 – A – Lançamento do CAA. B – Espalhamento do CAA.....	116
Figura 53 – Assentamento dos blocos cerâmicos sobre a camada de CAA	117
Figura 54 – Camada de argamassa. A – Espalhamento. B – Adensamento por régua vibratória. C – Regularização e acabamento. D – Limpeza.	118

Figura 55 – Cobrimento com lona.....	118
Figura 56 – A – Painel acabado. B – Içamento do painel com caminhão munck.....	119
Figura 57 – Lançamento de CC. A – Pá carregadeira. B – Autobetoneira.....	120
Figura 58 – Mal posicionamento da pá carregadeira no lançamento da argamassa.....	121
Figura 59 – Mistura de materiais na betoneira na central de pré-moldados.....	123
Figura 60 – Ensaio do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman.....	124
Figura 61 – A – Ensaio de espalhamento. B – Ensaio do anel J.....	124
Figura 62 – Capacidade de aplicação de concreto (min/m^3).....	126
Figura 63 – Painel moldado.....	127
Figura 64 – Custo/ m^3 dos concretos de $f_{ck} = 25\text{MPa}$ aos 28 dias.....	128
Figura 65 – Espaçador plástico sob dois pontos da armadura.....	134
Figura 66 – Painel pré-moldado com 108 blocos cerâmicos.....	134
Figura 67 – Faixa de CC.....	135
Figura 68 – A – Posicionamento dos blocos cerâmicos com uso de CC. B – C – Entrada de CAA nos septos.....	136
Figura 69 – Colocação dos blocos cerâmicos com uso do CAA.....	136
Figura 70 – Transporte de CAA na pá carregadeira.....	137
Figura 71 – Desconformidade na geometria do painel.....	138
Figura 72 – Cabo de energia do vibrador sobre a pista.....	139
Figura 73 – A – Bicheiras nas superfícies verticais. B – Recuperação das bicheiras. C – Aparecimento de bolhas. D – Superfície mal adensada.....	140
Figura 74 – A – Bolhas na superfície do painel com CC. B – Adensamento com vibrador na direção horizontal.....	140
Figura 75 – Superfícies verticais e horizontais em painéis executados com CAA.....	141
Figura 76 – Vazamento de CC. A – Durante o espalhamento. B – Durante o adensamento.....	142
Figura 77 – A – B – Entrada de CAA nos septos dos blocos. C – D – Vazamento de CAA nas frestas da forma.....	142
Figura 78 – Delimitador de CAA.....	144
Figura 79 – A – B – Superfície de painel moldado com CC e CAA. C – Resíduos da superfície de painel.....	144
Figura 80 – Superfícies dos corpos de prova moldados com CAA.....	145
Figura 81 – Superfícies de painéis moldados com CAA.....	146
Figura 82 – CAA lançado por autobetoneira.....	146

Figura 83 – Içamento de painel moldado com CAA	147
Figura 84 – Desmoldante à base de água aplicado	148
Figura 85 – A – Emenda de pedaços de tela. B – Resistência ao içamento do painel. C - Ruptura do painel. D – Descarte do painel	149
Figura 86 – A – Situação de boa aderência. B – Corte do painel pré-moldado	150
Figura 87 – Desmoldagem de painéis: dois içadores na borda superior e diagramas de momentos solicitantes.....	150
Figura 88 – A – Dosagem da água. B – Dosagem do aditivo superplastificante	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de custos globais entre o CC e o CAA.....	54
Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos no estudo comparativo	55
Tabela 3 – % de ganhos (+) e perdas (-) com a substituição do CC pelo CAA, em relação aos indicadores de produção	56
Tabela 4 – Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação	63
Tabela 5 – Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação.....	64
Tabela 6 – Classes de habilidade passante do CAA em função de sua aplicação.....	64
Tabela 7 – Classes de resistência à segregação do CAA em função de sua aplicação.....	65
Tabela 8 – Caracterização dos aditivos químicos.....	86
Tabela 9 – Composição granulométrica e classificação dos agregados graúdo e miúdo	93
Tabela 10 – Caracterização dos agregados graúdo e miúdo.....	93
Tabela 11 – Resultados dos ensaios realizados no CAA no estado fresco.....	99
Tabela 12 – Consumo de materiais, em kg/m ³ , de CAA.....	100
Tabela 13 – Resultados de ensaios físico-mecânicos	101
Tabela 14 – Total de painéis produzidos na obra	104
Tabela 15 – Caracterização dos agregados graúdo e miúdo.....	110
Tabela 16 – Dimensão dos painéis	114
Tabela 17 – Lançamento e distribuição do CC.....	120
Tabela 18 – Lançamento e distribuição de argamassa	121
Tabela 19 – Valores de resistência à compressão.....	122
Tabela 20 – Resultados dos ensaios realizados no CAA no estado fresco.....	125
Tabela 21 – Valores de resistência à compressão.....	125
Tabela 22 – Consumo e custo do CC e do CAA	128
Tabela 23 – Custo de insumo e mão de obra/painel (3650 x 1800) mm	130
Tabela 24 – Crescimento da produção em número de painéis	130
Tabela 25 – Custo de insumos e mão de obra para produção de painel pré-moldado com CC	131
Tabela 26 – Custo de insumos e mão de obra para produção de painel pré-moldado com CAA	131
Tabela 27 – Quantidade de CC e CAA passante nas frestas da forma, em gramas	143
Tabela 28 – Quantidade de CC e CAA, em gramas	143

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades do CAA e parâmetros de ensaios.....	62
Quadro 2 – Representação gráfica dos métodos de pesquisa.....	79
Quadro 3 – Problemas levantados e proposta de melhorias.....	132

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
ACI	American Concrete Institute
BASF	Badische Anilin und Soda-Fabrik
BNH	Banco Nacional de Habitação
CA	Concreto armado
CAA	Concreto autoadensável
CBC	Congresso Brasileiro do Concreto
CEVE	Centro Experimental de la Vivienda Económica
CP II-Z 32 RS	Cimento Portland composto com pozolana resistente a sulfatos
CP V-ARI RS	Cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos
DATec	Documento de Avaliação Técnica
DEECC	Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil
DMC	Dimensão máxima característica
EFNARC	European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
EUA	Estados Unidos da América
GDA	Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Lab/Hab	Laboratório da Habitação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Belas Artes de São Paulo
LABSICO	Laboratório de Sistemas Construtivos
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
NBR	Norma brasileira
NM	Norma Mercosul
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
PIBIC	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PCI	Precast/Prestressed Concrete Institute
PMCMV	Programa Minha Casa, Minha Vida

PoliUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
SCC	Self-compacting concrete
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Tecnológica
SINCO	Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará
SF	Slump-flow
SFH	Sistema Financeiro da Habitação
SR	Segregation resistance
TR	Treliça
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
VF	Viscosity funnel
VMA	Viscosity modifying admixture
VS	Viscosity slump

LISTA DE SÍMBOLOS

C25	Classe de resistência de 25MPa
$c_{\text{mín}}$	Cobrimento mínimo
MPa	Mega Pascal
f_b	Resistência à compressão
f_{ck}	Resistência característica à compressão
a/c	Relação da água em função da massa de cimento
c_{nom}	Cobrimento nominal
Δc	Tolerância de execução
C_3A	Aluminato tricálcico
t_{500}	Tempo de escoamento
sp/c	Dosagem do aditivo superplastificante em relação à massa de cimento
VMA/c	Dosagem do aditivo modificador de viscosidade em relação à massa de cimento
rpm	Rotação por minuto
Hz	Hertz
A	Abatimento
dB	Decibel

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
1.1	Considerações iniciais	23
1.2	Justificativa.....	26
1.3	Problema de pesquisa	28
1.4	Objetivos	29
1.5	Estrutura da dissertação.....	29
2	PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS COM BLOCOS CERÂMICOS	31
2.1	Contextualização	31
2.2	Painéis pré-fabricados com alvenaria cerâmica produzidos em outros países.....	34
2.2.1	<i>Painel pré-fabricado com alvenaria cerâmica da empresa Sterk Bouw Elementen..</i>	34
2.2.2	<i>Painel pré-fabricado com blocos cerâmicos Costamagna.....</i>	35
2.2.3	<i>Painel pré-fabricado com blocos cerâmicos Technove</i>	36
2.2.4	<i>Painel pré-fabricado com alvenaria cerâmica da empresa Vet-O-Vitz Masonry Systems Inc.</i>	36
2.2.5	<i>Painel pré-moldado com alvenaria cerâmica Beno.....</i>	37
2.3	Painéis pré-moldados com blocos cerâmicos produzidos no Brasil.....	38
2.3.1	<i>Painéis pré-moldados com blocos cerâmicos IPT</i>	38
2.3.2	<i>Painéis pré-moldados com blocos cerâmicos Lab/Hab</i>	39
2.3.3	<i>Painéis pré-moldados com blocos cerâmicos GDA/LABSISCO/UFSC.....</i>	40
2.3.4	<i>Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes – Casa Express</i>	41
2.3.5	<i>Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos - DHARMA.</i>	42
2.3.6	<i>Painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado – Casas Olé</i>	43
2.3.6.1	Descrição do processo construtivo	44
2.3.6.2	Produção do processo produtivo	44
2.3.6.3	Durabilidade e manutenibilidade.....	49
2.3.6.4	Condições e limitações de uso.....	49
3	CONCRETO AUTOADENSÁVEL	51
3.1	Histórico do CAA.....	51
3.2	Viabilidade da aplicação do CAA	52

3.2.1	<i>Algumas aplicações do CAA em edificações e análise de custos.....</i>	53
3.3	Materiais.....	58
3.3.1	<i>Cimento</i>	58
3.3.2	<i>Agregados.....</i>	59
3.3.3	<i>Aditivos.....</i>	60
3.3.4	<i>Adições minerais</i>	60
3.3.5	<i>Água.....</i>	61
3.4	Vantagens do uso do CAA	61
3.5	Propriedades no estado fresco	62
3.6	Método de dosagem do CAA	65
4	PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS	67
4.1	Aspectos de produção.....	67
4.2	Etapas de produção.....	67
4.2.1	<i>Produção e preparação das formas</i>	69
4.2.2	<i>Preparação das armaduras.....</i>	71
4.2.3	<i>Produção do concreto convencional.....</i>	72
4.2.3.1	Mistura.....	72
4.2.3.2	Transporte.....	72
4.2.3.3	Lançamento	73
4.2.3.4	Adensamento	73
4.2.3.5	Desempeno e acabamento	73
4.2.3.6	Cura	74
4.2.4	<i>Produção do CAA.....</i>	74
4.2.4.1	Mistura.....	75
4.2.4.2	Transporte.....	76
4.2.4.3	Lançamento	76
4.2.4.4	Acabamento.....	77
4.2.4.5	Cura	77
4.2.5	<i>Desmoldagem.....</i>	77
5	METODOLOGIA	79
5.1.1	<i>Fase A – Definição da unidade de análise e pesquisa bibliográfica</i>	80
5.1.2	<i>Fase B – Pesquisa de laboratório</i>	80
5.1.3	<i>Fase C - Pesquisa de campo exploratória</i>	81

5.1.4	<i>Fase D – Pesquisa de campo experimental</i>	82
5.1.5	<i>Proposta de melhorias</i>	83
6	PRODUÇÃO DO CAA.....	84
6.1	Materiais.....	84
6.1.1	<i>Cimento</i>	84
6.1.2	<i>Agregados</i>	85
6.1.3	<i>Aditivos químicos</i>	86
6.1.4	<i>Água</i>	86
6.2	Requisitos de qualidade do CAA	86
6.3	Metodologia de dosagem do CAA	87
6.3.1	<i>Determinação da composição da pasta</i>	87
6.3.2	<i>Determinação da composição do esqueleto granular</i>	88
6.3.3	<i>Determinação do volume de pasta do CAA</i>	89
6.4	Produção do CAA	90
6.4.1	<i>Determinação das propriedades do CAA no estado fresco</i>	91
6.5	Determinação das propriedades físico-mecânicas do CAA	91
6.6	Resultados e discussões.....	92
6.6.1	<i>Caracterização dos materiais</i>	92
6.6.1.1	Cimento	92
6.6.1.2	Agregados.....	93
6.6.2	<i>Dosagem do CAA</i>	94
6.6.2.1	Determinação da composição da pasta.....	94
6.6.2.2	Determinação do esqueleto granular	96
6.6.2.3	Determinação do volume de pasta do CAA	97
6.6.3	<i>Produção do CAA e determinação das propriedades no estado fresco</i>	97
6.6.4	<i>Determinação das propriedades físico-mecânicas do CAA</i>	101
7	PESQUISA DE CAMPO	103
7.1	Coleta de dados	103
7.1.1	<i>Produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e CC</i>	105
7.1.1.1	Controle tecnológico do concreto convencional	109
7.2	Produção e controle tecnológico do CAA	113
7.3	Produção de painel pré-moldado com blocos cerâmicos e CAA	114
7.3.1	<i>Geometria do painel</i>	114

7.3.2	<i>Moldagem do painel.....</i>	114
7.4	Resultados e discussões.....	119
7.4.1	<i>Produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e CC.....</i>	119
7.4.1.1	Controle tecnológico do concreto convencional	122
7.4.2	<i>Transferência da tecnologia do laboratório para a central de pré-moldados</i>	122
7.4.3	<i>Produção e controle tecnológico do CAA.....</i>	124
7.4.4	<i>Produção de painel pré-moldado com blocos cerâmicos e CAA.....</i>	126
7.4.5	<i>Consumo e custo para produção do CAA</i>	128
7.4.6	<i>Produtividade e viabilidade de produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos produzidos com o uso de CAA</i>	130
7.4.6.1	Redução do número de operários/produção de painéis	130
7.4.6.2	Custo da produção	131
7.5	Principais problemas levantados e melhorias propostas no processo de produção..	132
7.5.1	<i>Consumo de espaçadores plásticos.....</i>	133
7.5.1.1	Problema levantado	133
7.5.1.2	Melhoria proposta.....	133
7.5.2	<i>Posicionamento de blocos cerâmicos.....</i>	134
7.5.2.1	Problema levantado	134
7.5.2.2	Melhoria proposta.....	135
7.5.3	<i>Uso de martelo na colocação de blocos cerâmicos</i>	136
7.5.3.1	Problema levantado	136
7.5.3.2	Melhoria proposta.....	136
7.5.4	<i>Transporte do CAA.....</i>	137
7.5.4.1	Problema levantado	137
7.5.4.2	Melhoria proposta.....	137
7.5.5	<i>Formas dos painéis pré-moldados</i>	137
7.5.5.1	Problema levantado	137
7.5.5.2	Melhoria proposta.....	138
7.5.6	<i>Adensamento do CC com vibrador por imersão</i>	138
7.5.6.1	Problemas levantados	139
7.5.6.2	Melhorias propostas	141
7.5.7	<i>Vazamento de CAA nas frestas das formas de painéis pré-moldados</i>	142
7.5.7.1	Problema levantado	142

7.5.7.2	Melhoria proposta.....	144
7.5.8	<i>Desmoldagem</i>	144
7.5.8.1	Problema levantado	144
7.5.8.2	Melhoria proposta.....	145
7.5.9	<i>Implantação de concretagem com a autobetoneira</i>	146
7.5.9.1	Problema levantado	146
7.5.9.2	Melhorias propostas	147
7.5.10	<i>Içamento de painel pré-moldado</i>	147
7.5.10.1	Problemas levantados	147
7.5.10.2	Melhorias propostas	149
7.5.11	<i>Controle tecnológico da produção de painéis</i>	150
7.5.11.1	Problemas levantados	151
7.5.11.2	Melhorias propostas	151
7.5.12	<i>Produtividade diária de painéis</i>	153
7.5.12.1	Problema levantado	153
7.5.12.2	Melhoria proposta.....	153
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	154
8.1	Conclusões.....	154
8.2	Sugestões para trabalhos futuros	156
	REFERÊNCIAS	157
	APÊNDICE A – ATIVIDADES DE PRODUÇÃO	169
	APÊNDICE B – ATIVIDADES DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS COM CC (6000 x 1800) mm.....	170
	APÊNDICE C – ATIVIDADES DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS COM CC (3650 x 1800) mm.....	171
	APÊNDICE D – ATIVIDADES DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS COM CAA (3650 x 1800) mm	172
	APÊNDICE E – LAYOUT DA CENTRAL DE PRÉ-MOLDADOS.....	173
	APÊNDICE F – LAYOUT DO FLUXO DE TRANSPORTE DA PÁ CARREGADEIRA .	174
	APÊNDICE G – LAYOUT DO FLUXO DE TRANSPORTE DA AUTOBETONEIRA	175
	APÊNDICE H – PAINEL PRÉ-MOLDADO COM BLOCOS CERÂMICOS E CC	176
	APÊNDICE I – PAINEL PRÉ-MOLDADO COM BLOCOS CERÂMICOS E CAA.....	177
	APÊNDICE J – CONTROLE TECNOLÓGICO DO CC	178

APÊNDICE K – CONTROLE TECNOLÓGICO DO CAA	179
ANEXO A – PAINEL PRÉ-MOLDADO EM ALVENARIA COM BLOCOS CERÂMICOS E CONCRETO ARMADO.....	180
ANEXO B – RESULTADOS DOS ENSAIOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO CIMENTO CP V-ARI RS.....	181

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta as razões que alavancaram esta pesquisa, a justificativa para seu desenvolvimento e o problema que a motivou, bem como os objetivos a que visa alcançar através de seus resultados e as contribuições advindas de sua realização. Para finalizar, é apresentada a estrutura da dissertação.

1.1 Considerações iniciais

A indústria da construção civil vem buscando assimilar conceitos, métodos e técnicas que promovam a melhoria da gestão de produção. Nas últimas décadas, muitas empresas construtoras têm buscado essas inovações no processo de produção que lhes permitam maior produtividade¹, uma vez que o setor da Construção Civil encontra-se abaixo de seu potencial produtivo em cerca de 30 %. Para obter produtividade na construção, é preciso esforço contínuo e ser criativo em processos e produtos (MARKO, 2013).

Na Europa, após a Segunda Guerra Mundial, aliada à urgência da reconstrução de edificações em grande escala, a industrialização da construção² civil impulsionou a utilização da pré-fabricação de concreto (DONIAK; GUTSTEIN, 2011), promovendo, no Brasil e no mundo, um salto de qualidade nas construções, tornando as obras mais ágeis e organizadas. Para isso, houve a busca por componentes industrializados com alto controle de produção, materiais e fornecedores selecionados e mão de obra treinada e qualificada (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005). Esses fatores contribuíram para o surgimento da racionalização³ dos métodos de construção que usam os princípios da industrialização no processo de construção (POLAT, 2010).

Para construções seriadas, como em habitações de interesse social, a velocidade de construção e a racionalização passam a ser essenciais para o adequado cumprimento de prazos, dentro dos custos definidos para as obras (ANDRADE FILHO; SILVA; ANDRADE, 2010).

¹ Ubiraci Espinelli Lemes de Souza da Poli-USP, define produtividade como a eficiência que se tem em transformar recursos em produtos (MARKO, 2013).

² “Processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva.” (SABATTINI, 1989, p. 52).

³ “Processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases.” (SABATTINI, 1989, p. 54).

Para atender a mudanças que sejam possíveis de serem empregadas, as empresas construtoras começaram a investir em implantação de novas tecnologias construtivas⁴, como os sistemas pré-moldados (EL DEBS, 2000).

Como características desejáveis para a industrialização, El Debs (2000) considera que os componentes utilizados na construção civil devem possuir: facilidade de execução por meios mecânicos, possibilitarem ligações de forma fácil e simples e desempenharem, simultaneamente, as funções de estrutura e de fechamento. As técnicas de pré-moldagem geralmente estão vinculadas ao emprego de concreto armado na fabricação de elementos. O concreto armado não apresenta algumas das características apropriadas para a industrialização, porém, ele apresenta partes das qualidades desejáveis para os materiais de construção e estas, combinadas com o custo, tornam-no um material viável para a industrialização.

O concreto pré-moldado é um dos métodos construtivos que usa os princípios de industrialização no processo de construção, consagrado em países desenvolvidos, usados extensivamente em muitos países do leste e do norte europeu (POLAT, 2010), sendo necessário, no seu processo de desenvolvimento da construção implantar a padronização do processo produtivo, através da racionalização construtiva (BRUNA, 1976). Os conceitos de racionalização e de industrialização, portanto, apresentam interface com a estrutura pré-moldada (DONIAK; GUTSTEIN, 2011).

O constante crescimento da adoção das estruturas de concreto pré-fabricado no Brasil, tendo atingido 15% em 2012, mesmo diante as condições adversas na economia, é uma evidência clara da necessidade de industrializar (DONIAK, 2013).

O uso de painéis pré-fabricados começa com a Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, com os painéis metálicos. Mas pesquisas buscando o desenvolvimento de painéis de vedação e viabilizando a sua utilização ocorreram principalmente a partir dos anos 50 do século XX (ZANONI; SÁNCHEZ, 2012).

O processo contínuo de construção em países em desenvolvimento acontece devido a uma colaboração entre os diferentes intervenientes, tais como administração, organizações cooperativas e construtores (DAVID, 2010).

No Brasil, em 1964, com a função de orientar, disciplinar e controlar o Sistema Financeiro da Habitação (SFH) foi criado o Banco Nacional da Habitação (BNH) e que

⁴ "Conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos, pertinentes a um modo específico de se construir um edifício (ou uma sua parte) e empregados na criação, produção e difusão desse modo de construir." (SABBATTINI, 1989, p. 43).

mesmo existindo demanda, nesta época o mercado habitacional estava paralisado, influenciado pelo fracasso das políticas governamentais habitacionais. Buscando tentar suprir essa demanda por habitações, o BNH buscou a produção em massa de unidades habitacionais, propiciando condições para a expansão do Subsetor Edificações (VILLAR, 2005).

Conforme pesquisa realizada em 49 empresas associadas à Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC), o tipo de obra habitacional aparece em última posição quanto à distribuição de produção e vendas (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2013). Mas, ao mesmo tempo, com o objetivo de diminuir o déficit habitacional⁵ brasileiro, que atinge 5,792 milhões de unidades habitacionais (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2014), pode-se considerar que esse segmento tornou-se uma oportunidade atrativa de negócio no Brasil.

Nos Estados Unidos da América (EUA), os programas de subsídios habitacionais são bem antigos (OLSEN, 2003). No Brasil, a partir de 2009, as empresas construtoras passaram a investir no mercado de habitação, impulsionadas pelos incentivos governamentais, destacando-se o Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV), criado pelo Governo Federal em julho de 2009. O segmento denominado habitação de interesse social, tem como enfoque principal o limite de até três salários mínimos de renda para o ingresso em grande número de programas habitacionais de caráter assistencial e concentra 93% do déficit habitacional (SENRA, 2010).

Com base nessas perspectivas de crescimento, o Subsetor de Edificações da construção civil sentiu necessidade de apresentar alternativas para acelerar o processo construtivo⁶ de habitação de interesse social no Brasil, sem que fosse necessário para isso, um forte choque cultural como é o causado quando da utilização de materiais diferentes daqueles que são normalmente aceitos pelos usuários dessas unidades.

As características do segmento de habitação de interesse social, como, produção em larga escala, necessidade de alta produtividade e controle da produção, são incompatíveis com a construção tradicional, a qual exhibe baixos níveis de produtividade e uso intensivo de mão de obra (SILVA, 2012), em que a escassez de mão de obra qualificada apresenta 34,4% de limitação à melhoria dos negócios da construção civil (FUNDAÇÃO GETÚLIO

⁵ Noção mais imediata e intuitiva de necessidade de construção de novas moradias para a solução de problemas sociais e específicos de habitação detectados em certo momento. O déficit habitacional é composto por famílias que ocupam habitações precárias, que são oneradas com aluguel, que apresentam adensamento de moradores em domicílios alugados e habitações que abrigam mais de um núcleo familiar com intenção de cada núcleo obter moradia própria (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2014).

⁶ “Bem definido modo de se construir a estrutura e as vedações de um edifício.” (SABATTINI, 1989, p. 26).

VARGAS, 2013). Em 2013, o uso de pré-fabricados e pré-moldados de concreto no segmento habitacional representou participação de 7,2% no mercado da industrialização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO, 2013). A estratégia do Setor não configura apenas em passar a maior grau de industrialização, mas de focar na elevação da produtividade e a melhoria das condições de trabalho (SILVA, 2014).

Os métodos de alvenaria pré-moldada podem ser classificados em [...] sistemas de painéis de alvenarias de fachada para estruturas de concreto armado e painéis sanduíches para paredes internas de estruturas de concreto armado (CESAR; ROMAN, 2006).

No Brasil, considera-se como uma das experiências pioneiras, em 1985, o painel pré-moldado cerâmico concebido pelo arquiteto Joan Villà, no Laboratório da Habitação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Belas Artes de São Paulo (Lab/Hab), sendo utilizados blocos cerâmicos com furos.

Outras razões, como o crescimento populacional e o desenvolvimento de países emergentes, trazem novamente a industrialização às discussões (DONIAK, 2011).

1.2 Justificativa

O processo construtivo de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado vem ganhando gradativamente o mercado nacional da construção civil, fato confirmado através das cinco empresas que detém o Documento de Avaliação Técnica (DATec), concedido através do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT)⁷.

O processo consiste basicamente na pré-moldagem de painéis estruturais de parede, constituídos por blocos cerâmicos vazados, argamassa de revestimento, concreto e elementos de fixação.

Com cerca de 5.500 unidades habitacionais produzidas, demonstrou-se a necessidade de se pesquisar e buscar novas tecnologias. Apresenta-se como desafio promover a adoção de tecnologias e soluções inovadoras para a qualificação da habitação de interesse social (MARKO, 2014) e extrair o máximo potencial, sobretudo através da incorporação de novos materiais (VILLAR, 2005).

Ordóñez e Doniak (2010) consideram que, o concreto é um material que apresenta vantagens para as construções habitacionais, tais como, maior durabilidade que implica menor

⁷ Vinculado ao Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

custo de manutenção, bom desempenho térmico que pode ser associado à sua função estrutural e o bom acabamento possibilitado pela tecnologia.

Atendendo a estes requisitos, destaca-se o concreto autoadensável⁸, sendo seu uso um dos métodos mais disseminados nas empresas construtoras (TAMAKI, 2010), que pode ser compactado em todo canto de uma forma, por meio de seu próprio peso e oferece trabalhabilidade suficiente a eliminar o adensamento mecânico (OKAMURA, 1997 *apud* GOMES; BARROS, 2009).

Com o propósito de difundir o seu uso, várias pesquisas tem sido desenvolvidas em diferentes países (ALENCAR, 2008).

Para consolidar maior disseminação e aplicabilidade desta tecnologia se faz necessário haver um aumento de pesquisas e documentos técnicos. Levantamento realizado acerca do cenário nacional das pesquisas sobre o assunto mostra que até então o enfoque principal é a aplicação do CAA em estruturas reticulares de concreto armado.

Particularmente, na pré-moldagem e pré-fabricação, o CAA é considerado uma alternativa promissora, por apresentar benefícios ao processo de produção. Considerando os aspectos relativos ao custo, para Melo (2005), uma avaliação econômica centrada apenas na produção unitária do material pode apresentar altos custos iniciais e que pode haver compensação pela redução de mão de obra utilizada na concretagem.

Considerando o momento de desenvolvimento que o Brasil está vivendo, demonstra a necessidade de se utilizar o CAA no mercado habitacional, com tendência futura de se tornar material de linha convencional.

Constata-se que no Brasil o CAA não é ainda muito utilizado, isto se deve ao fato de grande parte das empresas ainda considerar o CAA como uma tecnologia viável apenas para situações extremas onde o concreto convencional⁹ não pode ser usado como solução e por apresentar maiores custos em relação ao CC. O mercado brasileiro ainda não está usufruindo de todo o potencial que este material pode oferecer (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2012) e também há o desconhecimento dos profissionais da construção civil a respeito deste material (CASTRO; SANTOS, ARAÚJO, 2012).

Mesmo assim, em 2013, 54,2% das empresas de pré-fabricados produziram peças com CAA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2014) e apresenta como alternativa de uso no concreto pré-moldado. Alguns artigos foram publicados em

⁸ Neste trabalho o termo concreto autoadensável será designado doravante pelas letras CAA.

⁹ Neste trabalho o termo concreto convencional será designado doravante pelas letras CC.

congressos nacionais, destacando-se o Congresso Brasileiro do Concreto (CBC), promovido anualmente pelo Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e o Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais (SINCO). Além do mais, em 2010 a ABNT publicou a NBR 15823 Partes 1 a 6 (ABNT, 2010) que ampara a produção e utilização do CAA.

Assim, pode-se afirmar que o estudo e a pesquisa da utilização do CAA em empresas de pré-moldados enquadram-se em um contexto bastante atual no cenário nacional e internacional, sendo de extrema relevância para o mercado nacional, com diversas instituições de ensino realizando pesquisas sobre o tema.

Diante deste contexto, justifica o estudo da aplicação do CAA nos painéis pré-moldados com blocos cerâmicos. Ressalta-se que a proposta de desenvolvimento deste trabalho é de aperfeiçoar um processo construtivo e não o estudo dos materiais a serem utilizados.

1.3 Problema de pesquisa

Depois de realizado um primeiro levantamento bibliográfico, constatou-se, em sua maioria, a existência de pesquisas relacionadas à aplicação do CAA em estruturas pré-moldadas, como, laje, pilar, viga, viga-calha, painel arquitetônico e dormente. Confirmou-se então, a escassez da existência de pesquisas com a aplicação do CAA em painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado com função estrutural. Percebeu-se que, as principais possibilidades de melhorias com a aplicação do CAA nestes painéis, provêm da necessidade em adquirir condições de produção com maior sistematização.

Diante disso, a presente pesquisa procura responder o seguinte problema: **quais devem ser os procedimentos adotados para melhorar a produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos, empregados para construção de habitações de interesse social com boa qualidade, menor custo, com o uso da tecnologia do CAA?**

Delimitou-se a pesquisa em aplicações do CAA em um processo construtivo de uma empresa construtora detentora de um sistema construtivo que usa a tecnologia inovadora de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado. Os painéis foram produzidos em uma obra de produção de vedação vertical da área de um futuro empreendimento habitacional, em Fortaleza/CE.

Pesquisas direcionadas para habitação de interesse social passam a ser de interesse de empresas construtoras que atuam com processos e sistemas construtivos inovadores¹⁰, sobretudo depois da implantação do PMCMV. Isso resulta em competição entre as empresas e, conseqüentemente, em uma crescente necessidade de atualizações de inovações. A disseminação das inovações tecnológicas tende a ampliar a oferta de tecnologias para a produção, principalmente no âmbito da habitação, visando à redução de custos e o aumento de produtividade (FARIA, 2009).

Por isso a importância de pesquisas que os tenham como objetos de estudo.

1.4 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é propor melhorias no processo de produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado na construção de habitação de interesse social, utilizando a aplicação do CAA como material de revestimento.

Para atender ao objetivo geral proposto nesta pesquisa, estabelecem-se os objetivos específicos:

- a) identificar os problemas na produção dos painéis, analisando e avaliando os aspectos construtivos, compositivos e estruturais dos referidos painéis;
- b) elaborar um traço de CAA a ser aplicado em protótipos de painéis;
- c) avaliar os cuidados específicos para a produção dos painéis pré-moldados com o uso de CAA, analisando os aspectos de viabilidade de implantação dessa tecnologia;
- d) avaliar os custos envolvidos na produção dos painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado;
- e) propor modificações no processo de produção dos painéis, no intuito de aplicar o CAA na sua produção.

1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em 8 capítulos, que detalham a sequência da pesquisa realizada.

¹⁰ São aqueles que, não possuindo normas técnicas prescritivas específicas ou não sendo identificados como sistemas tradicionais consagrados pelo seu uso, precisam ser balizados para adquirirem credibilidade e reconhecimento perante os consumidores e os agentes financiadores (FARIA, 2009).

Neste **Capítulo 1** é apresentada uma visão geral da pesquisa, através de uma introdução, a justificativa para seu desenvolvimento, o problema que a motivou e os objetivos a serem alcançados.

O **Capítulo 2** aborda a revisão bibliográfica dos principais aspectos relacionados aos painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e algumas experiências internacionais e nacionais sobre painéis pré-fabricados e pré-moldados com blocos cerâmicos.

O **Capítulo 3** é formado pela revisão bibliográfica do tema CAA. Apresentam-se um breve histórico com algumas aplicações e análises de custo do CAA, os materiais constituintes, vantagens e desvantagens do seu uso, as propriedades no estado fresco e o método de dosagem de Gomes *et al.*

Finalizando a revisão bibliográfica, o **Capítulo 4** apresenta os aspectos de produção de elementos pré-moldados, com ênfase à produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos em CC e CAA.

O **Capítulo 5** descreve a metodologia seguida para o alcance dos objetivos da pesquisa e obtenção de seus resultados.

O **Capítulo 6** descreve como procedeu a pesquisa de laboratório, através da dosagem do CAA. Serão apresentados os resultados obtidos e as devidas discussões.

No **Capítulo 7** é descrita a pesquisa de campo que consta todos os procedimentos de coleta de dados, a produção dos painéis com uso do CC e do CAA e as propostas de melhorias e modificações no processo de produção dos painéis pré-moldados com blocos cerâmicos. Serão apresentados os resultados obtidos e as devidas discussões.

As conclusões da pesquisa, bem como as sugestões para futuras pesquisas são apresentadas no **Capítulo 8**.

As referências das bibliografias consultadas para o desenvolvimento desta pesquisa são listadas e apresentadas posterior ao Capítulo 8.

Na sequência são apresentados os dados complementares para a elaboração da pesquisa, como apêndices e anexos.

2 PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS COM BLOCOS CERÂMICOS

Atualmente, o processo construtivo painel pré-moldado com blocos cerâmicos e concreto armado está sendo introduzido gradativamente no mercado nacional e pode-se constatar que empresas construtoras estão se utilizando desta tecnologia em seus novos empreendimentos de habitação de interesse social.

O objetivo deste capítulo é apresentar a evolução histórica, enfatizando o estágio de desenvolvimento tecnológico e as características dos painéis pré-moldados com blocos cerâmicos, através de algumas experiências internacionais até as experiências nacionais mais atuais.

2.1 Contextualização

Ao despertar das primeiras civilizações da humanidade, por volta do quarto milênio antes de Cristo, alguns povos já começavam a demonstrar práticas diferenciadas nas construções, com resultados equivalentes. Entre elas, no intertravamento dos tijolos ou das pedras lavradas, no assentamento de paredes e muros e no planejamento dos cantos dessas paredes. Todo o conhecimento sobre essas técnicas independia de localização geográfica, cada povo, usando a sua habilidade. No limiar dos povos da região que hoje constitui o Irã, as populações aprendiam e ensinavam técnicas desenvolvidas para a fabricação e o uso de tijolos de barro nas construções (CUNHA, 2009).

Desde então, observa-se a evolução tecnológica na produção dos produtos cerâmicos e a diversificação dos modelos de tijolos, acompanhando as exigências das edificações e das novas técnicas construtivas (ZANONI; SÁNCHEZ, 2012).

O fato de utilizar um elemento construtivo tradicional, como o bloco cerâmico, gera uma aceitação social por parte dos usuários.

A construção com estruturas cerâmicas, que forma parte da tradição da maioria das civilizações e manteve sua hegemonia durante séculos, foi sendo substituída progressivamente desde meados do século XIX, por sistemas mais industrializados e de maior capacidade resistente (ZANONI; SÁNCHEZ, 2012). Com a introdução de armaduras nestas estruturas no século XVIII, foi possível dotá-las de resistência aos esforços de tração e flexão, melhorar sua resistência à compressão e superar muitas das limitações que as relegavam a mera função de vedação (PARIZOTTO FILHO, 2004).

A NBR 9062 (ABNT, 2006) apresenta as definições:

- a) elemento pré-moldado: elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura;
- b) elemento pré-fabricado: elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim.

Um dos principais componentes do concreto pré-fabricado constitui nos painéis de parede, considerados versáteis, podendo ser usados como elementos estruturais (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1992), que teve como precursor o princípio sanduíche.

Os painéis tipo sanduíche são elementos com peso reduzido, compostos basicamente de duas placas de um material resistente, separadas por uma camada de outro material, em geral de menor densidade e de resistência inferior à das placas, que pode ou não ser uma camada de isolamento (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1989). A resistência desse conjunto a flexão, em certas condições, pode ser muito maior que a de uma placa maciça, constituída do mesmo material e de mesma densidade que as duas faces do sanduíche (GAGLIARDO; MASCIA, 2010).

Não sendo possível determinar o primeiro uso de painéis sanduíche nos EUA, considera-se que foram produzidos há mais de 50 anos (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 2011).

Os painéis pré-fabricados são classificados quanto à sua sustentação, podendo ser (SCHMITT; HEENE, 2002):

- a) de vedação ou não estrutural: sujeito apenas ao seu peso próprio e necessita de uma estrutura reticular de suporte;
- b) portante ou estrutural: funciona estruturalmente, recebendo as cargas da edificação.

Numa edificação constituída de painéis estruturais, cada painel, de forma interdependente, resiste aos esforços oriundos de ações externas e transferem a outros painéis da estrutura carregamentos verticais e horizontais.

Os painéis pré-moldados estruturais com blocos cerâmicos, objeto de estudo deste trabalho, consistem de componentes de painéis verticais, moldados fora do seu local definitivo, em unidade de produção externa, a central de pré-moldados, usados para construção de habitações. Podem atuar como envoltória externa, compartimentação interna ou separação entre unidades, apresentando boas propriedades acústicas e térmicas, além de

possuir uma resistência ao fogo razoável de até 6 horas (VAN ACKER, 2002). Oferecem superfície lisa nos dois lados, sendo que o lado da forma é geralmente o lado que será exposto à vista (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1992).

A espessura dos painéis depende dos requisitos de desempenho de estabilidade estrutural, de isolamento acústico e de resistência ao fogo. O comprimento dos painéis é variável de acordo com o projeto (VAN ACKER, 2002).

As construções com elementos de concreto pré-moldado são mais eficientes cerca de 4 a 5 vezes do que se comparado às construções com CC (FÁBRICA DE CONCRETO INTERNACIONAL, 2013). No Brasil, esse processo tenta ser competitivo, ao mesmo tempo em que mantém suas características tradicionais de composição com blocos cerâmicos (ZANONI; SÁNCHEZ, 2012).

O uso da tecnologia na produção do concreto pré-moldado em obra oferece várias vantagens para todo o processo construtivo (POLAT, 2010). As principais vantagens são (CESAR, 2007; CESAR E ROMAN, 2006):

- a) redução substancial no tempo de construção;
- b) redução dos custos preliminares;
- c) benefícios financeiros pela antecipação da construção, ocupação e vendas;
- d) aumento do controle de qualidade associado a maior velocidade de construção e produção efetiva de painéis simultaneamente;
- e) padrões de assentamento;
- f) diminuição de custo e de desperdício pela replicação e transparência do processo, dando maior efetividade na monitoração do produto;
- g) envolvimento de fornecedores, que pode melhorar o fluxo de entregas e levar à redução de custos dos insumos;
- h) eliminação da dificuldade de implementação de métodos de estocagem de materiais;
- i) possibilidade de grande reutilização das formas;
- j) possibilidade de uso de sistemas de fixação padronizados;
- k) possibilidade de fabricação de painéis com os acabamentos todos incorporados;
- l) menor congestionamento de pessoal no canteiro de obras;
- m) possibilidade de criar mão de obra multitreinada, capaz de realizar todas as etapas do processo.

Pode-se considerar como aspectos negativos os custos de equipamentos de transporte e montagem, dificuldade de possível alteração de projeto e necessidade de mão de obra mais qualificada que a do processo convencional. Esses fatores são os grandes desafios para adequar à utilização no mercado nacional (TOMO, 2013).

2.2 Painéis pré-fabricados com alvenaria cerâmica produzidos em outros países

O movimento pela industrialização da construção civil, iniciado logo após a Segunda Guerra Mundial, colaborou para que a pré-fabricação em concreto fosse a solução destinada a obras habitacionais que adotavam o uso de painéis estruturais (DONIAK, 2011).

Inúmeros sistemas foram desenvolvidos nos anos 1950, mas é nos anos 1980 e 1990 que os painéis pré-fabricados para paredes para edificações térreas e prédios de apartamentos, ganharam maior notoriedade nos EUA e na Europa, com o emprego de tijolos maciços ou blocos vazados (PARIZOTTO FILHO, 2004). Tentativas bem sucedidas para uso de painéis pré-fabricados em habitação de interesse social tem sido muito populares na Europa Oriental (MENEGOTTO, 2012).

Entre alguns processos desenvolvidos com painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos em outros países, podem-se citar os descritos a seguir.

2.2.1 Painel pré-fabricado com alvenaria cerâmica da empresa Sterk Bouw Elementen

A empresa holandesa Sterk Bouw Elementen produz painéis pré-fabricados de alvenaria cerâmica para habitações de interesse social na Holanda. Os painéis do tipo sanduíche são produzidos com as aberturas e todos os acabamentos incorporados (Figura 1).

Figura 1 – Painéis sanduíche na fábrica

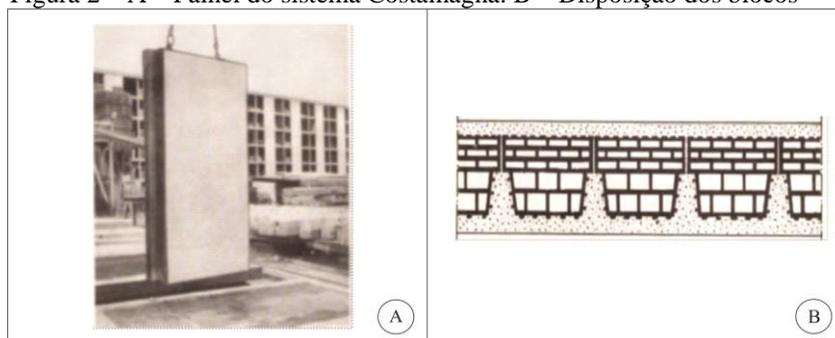


Fonte: Hobbs; Dawood (2000 *apud* Parizotto Filho, 2004).

2.2.2 Painel pré-fabricado com blocos cerâmicos Costamagna

O processo construtivo Costamagna de pré-fabricados foi um dos primeiros a utilizar blocos cerâmicos vazados na França, em substituição aos painéis que utilizavam concreto em sua conformação (REVEL, 1973). Considerado uma evolução devido às exigências de conforto térmico, pois não utilizavam espessas camadas de isolantes térmicos em sua composição, diferentemente dos painéis de concreto (Figura 2-A). Neste processo eram utilizados blocos cerâmicos vazados com os furos posicionados na vertical, explorando ao máximo as potencialidades de sua resistência mecânica e também permitindo a convecção térmica no interior dos elementos. Os blocos eram assentados em amarrações contrafiadas e após eram moldados com uma camada de argamassa (Figura 2-B). As juntas horizontais eram moldadas de cimento plastificado e as verticais de um tipo de selante plástico-betuminoso. Para o selamento das juntas, utilizava-se um tipo de cilindro de “goma esponjosa” a qual era aplicada sob pressão nas faces internas dos painéis.

Figura 2 – A – Painel do sistema Costamagna. B – Disposição dos blocos



Fonte: Revel (1973).

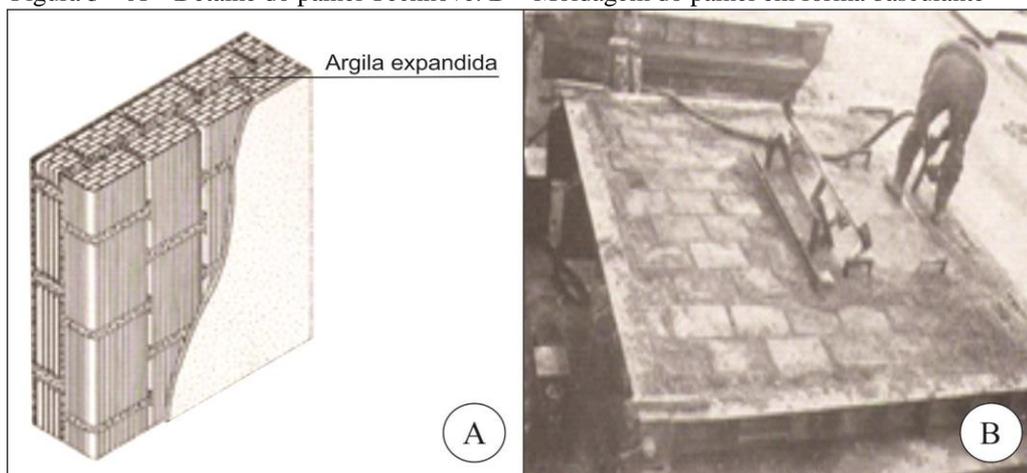
2.2.3 Painel pré-fabricado com blocos cerâmicos Technove

O painel do processo construtivo Technove também é considerado uma das iniciativas pioneiras na França, a partir de 1963.

Conforme Revel (1973), este processo se constituía em uma camada dupla de blocos cerâmicos interligados por uma camada de argamassa com argila expandida (Figura 3-A). Os blocos eram assentados com juntas de amarração e esse processo construtivo se caracterizava por não possuir armaduras, apenas as ancoragens de içamento.

Para a moldagem eram utilizadas formas metálicas basculantes que se ajustavam de acordo com as dimensões (Figura 3-B) e permitiam a incorporação de tubulações e acessórios para instalações hidráulicas e elétricas quando necessário.

Figura 3 – A – Detalhe do painel Technove. B – Moldagem do painel em forma basculante



Fonte: Revel (1973).

2.2.4 Painel pré-fabricado com alvenaria cerâmica da empresa Vet-O-Vitz Masonry Systems Inc.

A Vet-O-Vitz Masonry Systems Inc. é uma empresa dos EUA que se especializou em painéis pré-fabricados de alvenaria com produção por aproximadamente 30 anos (CESAR, 2007). Perfis de aço são inseridos no interior do painel e servem para melhorar a sua resistência mecânica, fixação do painel na estrutura do edifício e também são auxiliares no transporte (Figura 4). O processo explora a modulação do bloco, com aparência de um tijolo maciço cerâmico, podendo ser aplicado na obra sem o revestimento externo.

Figura 4 – Painel pronto para transporte



Fonte: Hobbs; Dawood (2000 *apud* César, 2007).

2.2.5 Painel pré-moldado com alvenaria cerâmica Beno

O processo construtivo do sistema Beno faz parte de uma das tecnologias desenvolvidas pelo Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE), em Córdoba, na Argentina.

Para a moldagem são utilizadas formas de madeira que se ajustam ao tamanho padrão do painel, com dimensões de (2270 a 2500) mm x 430 mm, com instalação elétrica embutida. O painel é composto por duas placas pré-moldadas de tijolo maciço cerâmico de tamanho (260x120x35) mm. As armaduras longitudinais e transversais são colocadas nas nervuras após ser assentada a primeira camada de tijolos e, a seguir faz-se o preenchimento destas nervuras e os entornos transversais com argamassa.

Os painéis são desmoldados 24 horas depois e após 48 horas podem ser içados e montados (Figura 5). A amarração entre as placas e os encaixes que as interligam aproximam o painel de uma peça estrutural única (FERRERO *et al.*, 2006).

Figura 5 – Painel desmoldado em 24 horas



Fonte: CEVE (2014).

2.3 Painéis pré-moldados com blocos cerâmicos produzidos no Brasil

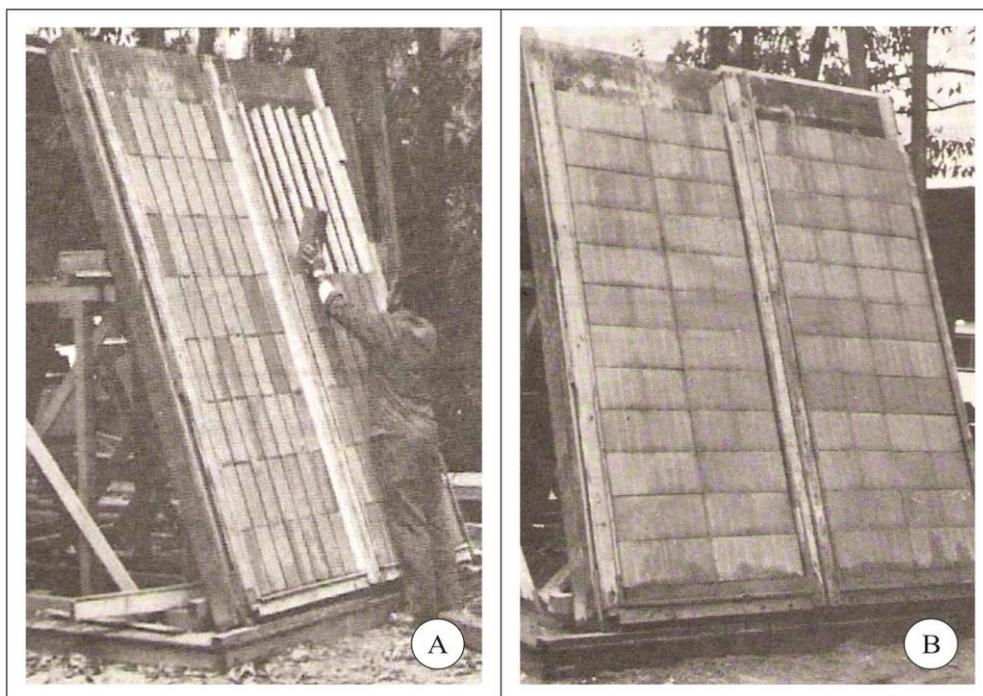
Serão descritos a seguir alguns processos construtivos de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos que fizeram parte de pesquisas em institutos de pesquisas e universidades e também os que formam sistemas construtivos utilizados atualmente em construções de habitação de interesse social, avaliados pelos DATec's.

2.3.1 Painéis pré-moldados com blocos cerâmicos IPT

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) desenvolveu uma pesquisa, em 1980, de um processo construtivo constituído pelos componentes pré-moldados: painel-parede e pilarete de junção (Figura 6). Esses componentes associados a outros materiais cumpriam as funções de vedação, estrutural e de compartimentação da edificação, comportamento térmico e acústico e resistência à ação do fogo (CESAR, 2007).

Em 1983, o IPT concluiu a existência de deficiências relacionadas ao uso de material inadequado na confecção dos painéis, à execução extremamente deficiente das peças estruturais dos edifícios e à corrosão generalizada das armaduras dos elementos estruturais (pilaretes de junção e tirantes nas janelas). No Brasil, os pré-moldados praticamente deixaram de existir, tendo seu retorno apenas nos anos 1990 (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005).

Figura 6 – Componentes pré-moldados do IPT. A – Painel-parede. B – Pilarete de junção



Fonte: Mitidieri Filho e Cavalheiro (1988 *apud* Cesar, 2007).

2.3.2 Painéis pré-moldados com blocos cerâmicos Lab/Hab

Em 1984, o arquiteto Joan Villà, em viagem ao Uruguai, em uma obra de produção de moradia popular que visitou, encontrou um painel pré-moldado em tijolo de barro, pequeno, para peitoril e que suscitou a partir daí, uma possibilidade nova na busca de soluções para a questão habitacional brasileira.

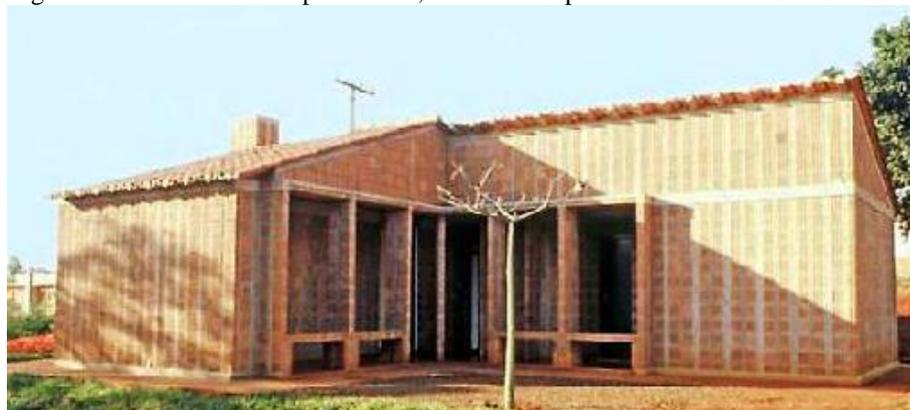
Considerado como uma das experiências pioneiras começou a ser desenvolvido em 1985, concebido por Villà, no Laboratório da Habitação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Belas Artes de São Paulo (Lab/Hab), o painel pré-moldado com blocos cerâmicos de dimensões (45xvariávelx9) cm.

Tendo como uma das vantagens a leveza e de rápida execução, esses painéis foram produzidos sobre superfícies horizontais montados sobre gabaritos de madeira ou metal que recebiam uma camada de areia na qual eram posicionados os blocos cerâmicos. Os blocos cerâmicos eram acomodados junto aos lados da moldura, de maneira a resultarem vãos de 4 cm de espessura, que eram preenchidos com armadura e concreto (VILLAR, 2006).

Os painéis podiam ser manuseados para empilhamento cerca de dois dias após a confecção e prontos para montagem depois de uma semana e eram dimensionados para permitir ampla flexibilidade na aplicação e manuseio sem ajuda de equipamentos e montagem manual por mão de obra não especializada (VILLAR, 2006).

Em 1986, no Laboratório da Habitação na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Villà executou protótipos de edificações utilizando o sistema já desenvolvido e em 1987, construiu um primeiro protótipo de casa com 40 m² utilizando o sistema (Figura 7). Devido a grande divulgação destes protótipos, Villà e sua equipe elaboraram uma série de projetos e prestaram assessoria técnica e arquitetônica a diversos órgãos públicos, fazendo uso dos painéis cerâmicos, tratando de melhorar a qualidade das habitações de interesse social, com técnicas simples de pré-fabricação (DUALIBI, 2011).

Figura 7 – Primeira casa experimental, utilizando o painel cerâmico na UNICAMP



Fonte: Dualibi (2011).

2.3.3 Painéis pré-moldados com blocos cerâmicos GDA/LABSISCO/UFSC

Pesquisadores do Grupo de Desenvolvimento de Sistemas em Alvenaria (GDA) e do Laboratório de Sistemas Construtivos (LABSISCO) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com a Universidade de Teeside, Inglaterra, desenvolveram a partir de 2001, o processo construtivo constituído por painéis estruturais pré-moldados com blocos cerâmicos, fazendo parte do projeto Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Construtivos Industrializados em Cerâmica Estrutural (CESAR, 2007; CESAR e ROMAN, 2006; CESAR *et al.*, 2004; PARIZOTTO FILHO, 2004).

Utilizaram-se formas de madeira para a moldagem dos painéis, posicionadas sobre uma mesa com auxílio de equipamentos de fixação. Paralelamente a aplicação de desmoldante nas superfícies da mesa e da forma foi montada a armadura perimetral, composta por tela soldada, barra de aço de 4,2 mm, insertes e parabolts metálicos, os quais servem para fixação dos ganchos de içamento, e posteriormente para amarração da tela perfurada, que servirá de elemento de ligação entre painéis.

Iniciou-se a colocação dos blocos, dispostos em contrafiada vertical, unidos com argamassa polimérica (Figura 8), para permitir rápida secagem e alta aderência da junta. Os blocos das extremidades inferior e superior foram capeados para evitar a penetração de argamassa em seus septos. Durante a colocação dos blocos resguarda-se com o auxílio de espaçadores o espaço do reforço perimetral. Após, para melhorar o enrijecimento do painel, visando aumentar a sua capacidade portante (CESAR, 2007), iniciou-se o preenchimento do espaço perimetral com a argamassa de reforço, composta de areia média, cimento do tipo Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) e aditivo plastificante, para que a desmoldagem pudesse se efetivar em até 18 horas. Após aplicou-se a camada de revestimento.

Figura 8 – Processo de colocação dos blocos cerâmicos



Fonte: Cesar (2007).

2.3.4 Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos para paredes – Casa Express

A empresa Casa Express Construções e Empreendimentos Imobiliários Ltda. desde 1997, em Itapira/SP, vem trabalhando com pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias construtivas. Assim, foi criado e validado o processo construtivo inovador que se destina à construção de paredes de casas térreas isoladas ou geminadas, sobrados isolados ou geminados, casas sobrepostas¹¹ e edifícios habitacionais de dois pavimentos. O processo é composto por paredes estruturais constituídas de painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos (Figura 9), das ligações entre os painéis, as interfaces entre painéis de parede e esquadrias e entre painéis de parede e instalações.

¹¹ Edificações habitacionais multifamiliares, com entradas independentes, limitadas a dois pavimentos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012).

A espessura total do painel é de 115 mm com duas camadas externas de concreto comum de classe de resistência C25, conforme a NBR 8953 (ABNT, 2011), sendo uma de 30 mm (face da forma) e a outra com 20 mm de espessura acima do bloco cerâmico (face superior), e uma camada de argamassa de 5 mm de espessura na face superior do painel; o núcleo é formado pelo próprio bloco cerâmico com 60 mm de espessura. O comprimento máximo dos painéis é de 7000 mm e a altura dos painéis é equivalente ao pé-direito.

A produção dos painéis pode ser realizada em fábrica ou no canteiro de obras e a moldagem é feita na posição horizontal. As formas são constituídas por pista de concreto (base) e perfis metálicos (perímetro dos painéis e vãos dos caixilhos), parafusos e ganchos de travamento. Para a movimentação dos painéis na unidade de produção podem ser utilizados: caminhão com guindaste, ponte rolante ou guincho motorizado e para o transporte dos painéis em obra utiliza-se caminhão e guindaste (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2014).

Figura 9 – Lançamento da segunda camada de CC, com preenchimento prévio das nervuras



Fonte: Ministério das Cidades (2014).

2.3.5 Painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos - DHARMA

Os painéis pré-moldados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos fazem parte do sistema construtivo pertencente à Construtora DHARMA Ltda., em Ijací/MG. Os painéis estruturais pré-moldados mistos utilizam blocos cerâmicos com oito furos prismáticos distribuídos justapostos e delimitados por nervuras na envoltória do painel e nervuras internas de concreto armado de classe de resistência C25, conforme a NBR 8953 (ABNT, 2011), formando paredes de casas térreas isoladas (Figura 10). Os blocos cerâmicos tem espessura de 9 cm e são revestidos com argamassa nas duas faces com 1 cm de espessura, resultando paredes com 11cm de espessura, e comprimento máximo de até 6,10 m.

A produção dos painéis é realizada no canteiro de obras e a moldagem sobre uma pista de concreto (base), sendo montados até quatro painéis sobrepostos em pilha intermediados por uma chapa metálica galvanizada. Os painéis e os vãos das esquadrias são delimitados por formas de madeira.

Figura 10 – Nervuras concretadas



Fonte: Ministério das Cidades (2012).

2.3.6 Painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado – Casas Olé

O sistema construtivo Casas Olé iniciou suas atividades em 2005, em Fortaleza/CE, diante a identificação dos seus empreendedores a uma tendência para maiores investimentos no mercado imobiliário, com o objetivo de combater o déficit habitacional.

Esse sistema construtivo inovador apresentava-se, diante do sistema construtivo tradicional, como uma opção de construção eficiente, processo linear de produção, processo sustentável por não gerar resíduos, viabilidade econômica e aceitação cultural.

Atualmente o sistema construtivo Casas Olé – Painéis pré-moldados em alvenaria com blocos cerâmicos e concreto armado é avaliado através do DATec n.º 021¹², destinando-se à produção de unidades habitacionais térreas, isoladas ou geminadas.

A tecnologia Casas Olé é concedida para seus clientes, através da empresa Olé Construções Industriais e Serviços de Engenharia Ltda., contemplando implantação, acompanhamento e controle das fábricas existentes nos canteiros, entrega de projetos, manuais e fichas técnicas.

¹² Documento de Avaliação Técnica (DATec), através do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) de produtos inovadores, vinculado ao Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2014).

2.3.6.1 Descrição do processo construtivo

O processo é constituído de painéis pré-moldados, compostos por camada de CC, blocos cerâmicos e argamassa, sendo produzidos sobre pista de moldagem em concreto no canteiro de obras, feita na posição horizontal. As paredes internas e externas são estruturais, possuindo 122 mm de espessura e comprimento máximo de 5000 mm. As instalações hidráulicas e sanitárias são externas e protegidas por meio de shafts.

2.3.6.2 Produção do processo produtivo

As pistas de moldagem (Figura 11-A) são dimensionadas para a produção dos painéis de uma unidade habitacional.

Sobre a pista de moldagem em CC, os painéis são delimitados por perfis metálicos devidamente fixados entre si, conforme projeto específico. É feito o controle da qualidade dos perfis metálicos que delimitam os painéis durante o processo de moldagem, tendo como principais indicadores a retilinidade e o dimensional. Os perfis recebem desmoldante para formas à base de óleos minerais, isento de solventes e com baixa viscosidade (Figura 11-B).

Figura 11 – A – Pistas de fabricação dos painéis. B – Aplicação de desmoldante



Fonte: Ministério das Cidades (2014).

Após é disposta, sobre espaçadores plásticos¹³ multiapoio “centopéia” com altura de 25 mm, a armadura em tela de aço soldada Q 61 com malha de (15 x 15) cm e fios de aço CA-60 nervurado com diâmetro de 3,4 mm.

¹³ Dispositivos usados para posicionar corretamente as armaduras, garantindo o distanciamento entre as formas e armaduras e o cobrimento mínimo das peças durante a concretagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

O cobrimento mínimo (c_{\min}) sobre os espaçadores é garantido com a colocação de mestras constituídas de taliscas circulares com diâmetro de 100 mm e espessura de 37 mm, as quais são retiradas após preenchimento da camada de CC, conforme a Figura 12.

Figura 12 – Posicionamento da tela sobre espaçadores e mestras



Fonte: Ministério das Cidades (2014).

Havendo a existência de aberturas para esquadrias dispõe-se da treliça TR 08644 em aço CA-60 nervurado e reforços em barras de aço CA-50 com diâmetros de 8,0 mm ou 10,0 mm, conforme a NBR 7480 (ABNT, 2007). Nesse momento também são dispostos os eletrodutos flexíveis corrugados e caixas elétricas.

O Anexo A apresenta o projeto de armação típico dos painéis. O detalhe 1 mostra os insertos metálicos¹⁴ de barra de aço 10 mm, localizados nas laterais dos painéis, com a função de ligação entre os mesmos, sendo soldados com eletrodos em aço carbono de diâmetro 2,5 mm. Posteriormente, os pontos de solda são protegidos com primer epóxi rico em zinco. São utilizados insertos metálicos de barra de aço 10 mm, conforme detalhe 2, cuja finalidade é atender às solicitações que ocorrem quando do içamento dos painéis. O detalhe 3 mostra a treliça em aço CA-60 nervurado, montada no perímetro da esquadria.

A montagem da armadura é padronizada, baseada nos projetos estruturais para produção.

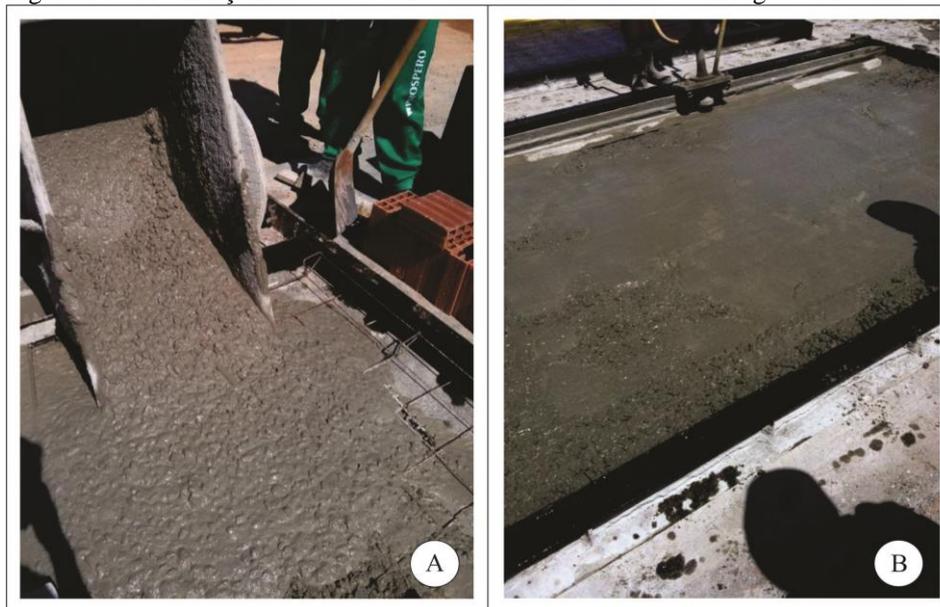
Os painéis são considerados monolíticos, ou seja, a resistência de cada painel é obtida pela integração da estrutura de concreto armado com a alvenaria e o revestimento de argamassa, através do comportamento conjunto desses materiais. Os revestimentos externos tem pouca influência na resistência do conjunto, mas todos os ensaios de determinação da

¹⁴ “Elementos incorporados à peça, antes ou após a moldagem, com o objetivo de fazer uma ligação com uma segunda peça em obra.” (ALENCAR, 2008, p. 43).

resistência à compressão excêntrica dos painéis a cargas verticais foram executados, conforme a DATec n°. 021, com painéis revestidos de ambos os lados.

Por meio de carrinhos padiola é lançado o concreto até a altura da mestra, o qual é adensado com auxílio de régua vibratória, de modo a obter-se uma camada com 37 mm de espessura, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – A – Lançamento do CC. B – Adensamento do CC com régua vibratória



Fonte: Ministério das Cidades (2014).

O CC apresenta massa específica seca de 2.365 kg/m^3 , conforme a NBR 9778 (ABNT, 2009) e resistência à compressão maior que $7,0 \text{ MPa}$ para desmoldagem, após 24 horas. Devem ser realizados os ensaios de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998) e de resistência à compressão axial, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Após regularização da camada de CC, são dispostos os blocos cerâmicos de vedação, previamente umedecidos, distanciados entre si em 15 mm (Figura 14). Os blocos cerâmicos de vedação tem oito furos, dimensões de $(19 \times 7 \times 19) \text{ cm}$ e resistência à compressão (f_b) maior ou igual a $3,0 \text{ MPa}$, para blocos usados com furos na vertical, e característica física índice de absorção d'água entre 8% e 22%, atendendo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005). Eles são controlados por recebimento de material por meio de ensaios realizados conforme a norma supracitada, fornecidos pelo fabricante.

As formas são fabricadas de modo que, na montagem, após a colocação dos blocos, o espaçamento em torno do perímetro do painel e relativo ao local das treliças coincida com o espaçamento especificado no projeto.

Figura 14 – Distribuição dos blocos cerâmicos



Fonte: Ministério das Cidades (2014).

Em seguida os blocos cerâmicos são recobertos com uma camada de 15 mm de argamassa (Figura 15-A). A argamassa possui consistência plástica¹⁵ e é composta por cimento e areia grossa. Apresenta resistência à compressão de 4,0MPa para desmoldagem a 24 horas e de 20MPa aos 28 dias de idade, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005). Os ensaios de resistência à aderência, NBR 13528 (ABNT, 2010), são realizados quinzenalmente e sempre que modificado o substrato.

O adensamento da argamassa é feito por régua vibratória (Figura 15-B) e a regularização e o acabamento da face superior dos painéis são executados por meio de régua metálicas.

Figura 15 – A – Distribuição da argamassa. B – Adensamento da argamassa

¹⁵ Propriedade da argamassa em que uma fina camada de pasta aglomerante “molha” a superfície dos agregados, dando uma boa adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida (CARASEK, 2010).



Fonte: Ministério das Cidades (2014).

Após o adensamento e o acabamento da camada de argamassa, os painéis são cobertos com lona plástica, de modo a evitar a perda de água durante o processo de cura, conforme ilustrado na Figura 16-A.

A desmoldagem ocorre 1 a 2 horas após a concretagem. Decorridas 24 horas da moldagem, os painéis são identificados e desmoldados, conforme a Figura 16-B.

Figura 16 – A – Proteção dos painéis com lona plástica. B – Identificação e desmoldagem dos painéis



Fonte: Ministério das Cidades (2014).

A seguir, os painéis são transportados para o local de aguardar a montagem, dispostos em suportes metálicos na ordem em que serão utilizados na montagem, ou o local definitivo. O içamento, manuseio e transporte dos painéis são viabilizados por meio de caminhão Munck (Figura 17).

Figura 17 – Içamento para transporte do painel



Fonte: Ministério das Cidades (2014).

O processo de cura dos painéis é continuado após desmoldagem e montagem no local definitivo, por meio de aspersão de água ao menos três vezes ao dia, por três dias consecutivos.

2.3.6.3 Durabilidade e manutenibilidade

A durabilidade do processo construtivo considera os detalhes projetuais, as características dos materiais, a agressividade ambiental e os procedimentos de uso e de manutenção descritos no Manual de Operação, Uso e Manutenção, fornecido pela empresa detentora do processo construtivo¹⁶.

Foi verificada a relação entre a classe de agressividade ambiental e as características do CC utilizado, que atinge resistência característica à compressão (f_{ck}) maior ou igual a 25MPa, situando-se na classe de resistência C25, conforme a NBR 8953 (ABNT, 2011). A durabilidade da estrutura, referente à resistência à corrosão das armaduras, atende as exigências das classes de agressividade ambiental I e II, correspondentes às zonas rural e urbana, respectivamente, com relação água/cimento (a/c) menor que 0,60, atendendo a NBR 6118 (ABNT, 2007).

O CC apresenta consumo mínimo de cimento de 359 kg/m^3 e o cobrimento nominal (c_{nom}) das armaduras pelo CC é de 25 mm, considerando o valor da tolerância de execução (Δc) igual a 5 mm.

2.3.6.4 Condições e limitações de uso

¹⁶ Neste trabalho o termo empresa detentora do painel objeto de estudo será designado doravante por empresa.

Observa-se que existem algumas limitações neste processo relativamente às estruturas convencionais. Em virtude dos painéis constituírem a própria estrutura da edificação, é inviável efetuar alterações no projeto arquitetônico original, após a execução. Além disso, como as instalações são todas previamente executadas na fabricação dos painéis, quaisquer furos em paredes devem seguir rigorosamente os projetos apresentados para cada painel, o que pode ser uma limitação do ponto de vista do usuário.

3 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

O uso de concretos com adequada trabalhabilidade e resistência à segregação sempre apareceu como necessidade na construção civil. Em situações de concretagem em que é difícil o acesso ao adensamento mecânico do concreto, esses necessitam de um comportamento adequado no estado fresco. Como uma das opções para superar esses obstáculos de execução destaca-se o CAA.

Apontado como um dos maiores avanços na tecnologia de concreto e como a inovação tecnológica mais importante do século XX para a construção civil, o CAA vem ganhando cada vez mais espaço em obras por todo o mundo, devido a pesquisas que desde então vem sendo desenvolvidas e a aplicações bem sucedidas.

3.1 Histórico do CAA

O CAA surgiu da necessidade de obter estruturas mais duráveis, com economia e menor tempo de execução, tendo em vista a proporção otimizada dos componentes da mistura (GOMES; BARROS, 2009).

A possibilidade de desenvolver um concreto que pudesse ser compactado somente pela ação da gravidade e que oferecesse trabalhabilidade suficiente, sem a utilização de adensamento, foi apresentada pelo professor Hajime Okamura, em 1986, na Universidade de Tóquio, onde em 1988, foi concluído o primeiro protótipo de CAA (GOMES; BARROS, 2009). Até o início de 1990 o Japão começou a desenvolver e utilizar o CAA e, a partir de 2000, grande volume desse CAA era usado para fabricação de produtos pré-fabricados (OUCHI *et al.*, 2003).

Em 1996, vários países europeus formaram a “Rational Production and Improved Working Environment through using Self-compacting Concrete”¹⁷, com o objetivo de [...] desenvolver aplicações para beneficiar das potencialidades do CAA. Desde então, o CAA tem sido utilizado com sucesso [...] em paredes na Europa (OUCHI *et al.*, 2003).

A partir daí, com a difusão da tecnologia do CAA na Europa, foram iniciados desenvolvimento de trabalhos de investigação na França, Suécia, Islândia, Inglaterra e Holanda, de maneira a publicar recomendações para a produção do CAA (NUNES, 2001).

¹⁷ Produção racional e melhorada do ambiente de trabalho através da utilização de CAA.

Em 2003, o Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) e American Concrete Institute (ACI) fizeram definições semelhantes para o CAA:

um concreto estável, porém altamente fluido que pode espalhar rapidamente e preencher vazios sem segregação ou exsudação, sem a necessidade de adensamento (PRECAST/PRESTRESSED CONCRET INSTITUTE, 2003, p. 9).

Concreto altamente fluido, que pode se espalhar nas formas sem segregação, preenchendo os vazios sem qualquer esforço mecânico (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2003).

O CAA foi considerado como a “Revolução Silenciosa” nos processos construtivos de estruturas de concreto (ZHU; BARTOS, 2003 *apud* FERRAZ, 2009).

3.2 Viabilidade da aplicação do CAA

O CAA aparece como boa opção para ser aplicado na produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos por apresentar boa trabalhabilidade, adequada para o preenchimento completo das formas, sem a ocorrência de segregação e dispensar o uso de vibradores para o seu adensamento, por ser uma mistura plástica (CASTRO; SANTOS; ARAÚJO, 2012). Como resultado, sua aplicação é mais fácil e rápida, requer menos mão de obra e não permite formação de ninhos de concretagem (REPETTE, 2011). Por isso, o CAA é cada vez mais empregado nos setores de pré-moldados e pré-fabricados (REPETTE, 2007).

Para que o CAA se torne uma opção rotineira, basta que as empresas construtoras comecem a optar por esse material e que as empresas de serviço de concretagem o forneçam. O CAA permite diminuir o custo final da obra, por apresentar um custo global (insumos mais mão de obra) menor que o CC (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

O uso de CAA nas empresas de pré-moldados é crescente, sendo que na Holanda e na França, estima-se em mais de 50% e nos EUA, o CAA tem sua maior aplicação na indústria de pré-fabricados (REPETTE, 2011).

É unânime entre os pesquisadores reconhecerem que, no Brasil, o emprego do CAA ainda é pequeno, mesmo nas empresas de pré-fabricação. “No Brasil, a utilização do CAA está aquém do seu potencial devido, principalmente, ao desconhecimento dos profissionais da construção brasileira a respeito do material.” (CASTRO; SANTOS; ARAÚJO, 2012. p. 7).

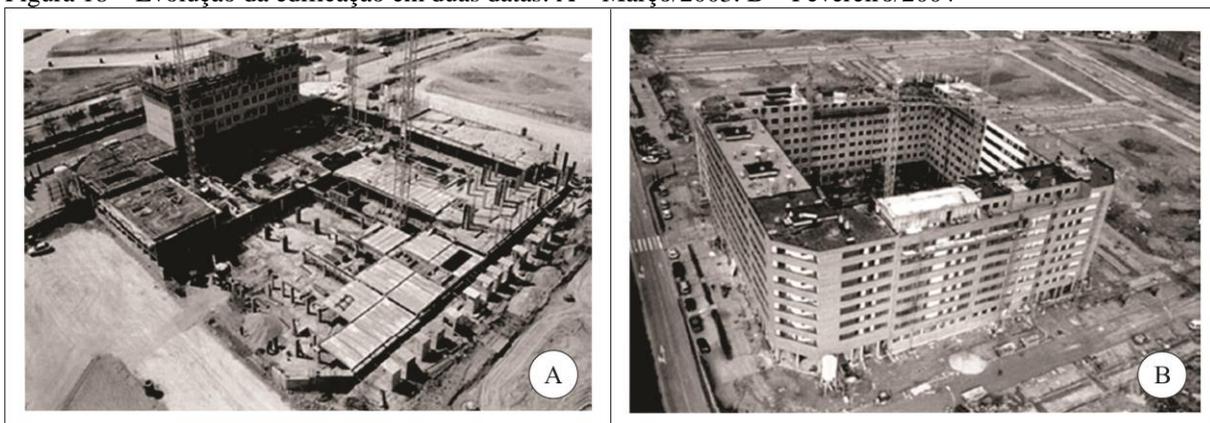
3.2.1 Algumas aplicações do CAA em edificações e análise de custos

A seguir, serão apresentados alguns exemplos de aplicação do CAA na produção de elementos pré-moldados e em estruturas tradicionais.

Na França, foi usado o CAA na vila Chamarande, em 1998 na produção de paredes com 2,30 metros de altura, 16 centímetros de espessura e 30 metros de comprimento. O consumo de cimento esteve em 500 kg/m^3 , que pode elevar o custo do CAA e aumentar as possibilidades de ocorrência de manifestações patológicas (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008 *apud* SÖDERLIND; CLAESON, 2000).

Pacios (2005) *apud* Tutikian; Dal Molin (2008), descreveu uma aplicação em Madri, Espanha, em que se executou um edifício com 220 apartamentos em CAA (Figura 18), de aproximadamente 80 m^2 de área útil cada um, a cada 3 dias.

Figura 18 – Evolução da edificação em duas datas. A – Março/2003. B – Fevereiro/2004



Fonte: Pacios (2005 *apud* Tutikian; Dal Molin, 2008).

A empresa de pré-moldados Verdi Construções SA, de Porto Alegre/RS utilizava um CC de abatimento muito coeso, com f_{ck} de 80 MPa e a presença de fibras metálicas, sendo necessária uma intensa vibração no adensamento, o que demandava um grande número de operários e incorporava ar no material, prejudicando as propriedades no estado endurecido do CC e a qualidade final das peças. A opção pelo uso do CAA eliminou a vibração, aumentando a produção e melhorando o acabamento final das peças (TUTIKIAN; DAL MOLIN; CREMONINI, 2006).

Geyer e Sá (2005) relatam a utilização pioneira do CAA, com f_{ck} de 20MPa, na estrutura do edifício Camila, no Residencial Sorelle, Goiânia/GO, em uma parceria entre a Arcel Construtora e a Realmix Concreto Ltda., em 2004. Foi observado na concretagem de

uma laje, redução em torno de 70% da mão de obra de lançamento e adensamento, maior velocidade na execução da estrutura, maior facilidade no nivelamento da laje e eliminação de nichos e falhas de concretagem. Mas, segundo Tutikian (2007), a utilização do CAA foi aprovada, mesmo tendo apresentado um custo global 8% superior ao CC.

Tutikian *et al.* (2005) realizaram um trabalho aplicado à utilização do CAA em pré-fabricados, com f_{ck} de 25MPa e substituição de parte do cimento pela cinza volante, abrangendo todas as etapas do processo. Na Tabela 1 observa-se que o custo global do CAA foi 3% inferior ao CC. Apresentou também algumas vantagens que não puderam ser quantificadas, como diminuição do barulho de vibração, aumento da vida útil das formas, economia de energia elétrica e ganho ambiental.

Tabela 1 – Comparativo de custos globais entre o CC e o CAA

Etapa	CC		CAA	
	Nº pessoas	Custo (R\$/m ³)	Nº pessoas	Custo (R\$/m ³)
Composição do concreto	0	142,46	0	177,29
Mistura do concreto	1	3,43	1	3,43
Transporte	1	15,49	1	15,49
Aplicação do desmoldante	3	10,66	3	10,66
Adensamento	5	26,70	2	5,34
Acabamento	4	7,03	2	1,41
Reparos	2	14,55	0	0,00
Total		220,32		213,62

Fonte: adaptada de Tutikian *et al.* (2005).

Uma experiência em Florianópolis/SC, em 2005, sob a coordenação da UFSC, contemplou o estudo das adaptações necessárias à implantação do CAA em estruturas executadas com CC e avaliação dos impactos técnicos e econômicos no processo de produção da estrutura, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2. Para isso, foi monitorada a execução de duas lajes consecutivas (Figura 19), com área de 504 m² cada, com utilização dos dois tipos de concreto, ambos com f_{ck} de 25MPa (REPETTE, 2007).

Apesar da redução significativa nos custos de concretagem ao se empregar CAA, ela não foi suficiente para compensar o seu maior custo em relação ao CC, o bombeamento, com custo de R\$ 283,50/m³ e R\$ 199,50/m³, respectivamente. Mas, houve benefícios, como uso de equipes pequenas causando redução no custo da mão de obra e menor desgaste dos equipamentos de mistura, transporte e lançamento (REPETTE, 2007).

Figura 19 – Aplicação do CAA em obra de edifício



Fonte: Repette (2011).

Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos no estudo comparativo

	CAA	CC
Volume de concreto	57 m ³	64 m ³
Tempo de concretagem	2 h 32 min	2 h 28 min
Taxa de concretagem	22,5 m ³ /h	25,9 m ³ /h
Número de trabalhadores	2,5	11
Produtividade	9 m ³ /h/trab.	2,35 m ³ /h/trab.

Fonte: Repette (2007).

Em 2008, uma parceria entre a Engemix e a BKO Engenharia e Comércio Ltda. realizou um estudo comparativo entre as aplicações do CC e do CAA na obra do edifício residencial Pateo Morumbi, em São Paulo. Duas lajes com área de cerca de 250 m², foram executadas com cada um dos concretos, especificados para atingir f_{ck} de 50 MPa. O tempo gasto para concretar, em CC, laje e vigas do quarto pavimento foi o dobro do tempo gasto para concretar a laje do quinto pavimento, em CAA. Foi constatado que o CAA reduz o ciclo de concretagem e os custos gerais para a obra. O custo da mão de obra para a aplicação do CC, com encargos, foi de R\$ 7,18/m³ e R\$ 0,70/m³ para o CAA (FARIA, 2008).

A Mosmann Incorporações, em 2008, utilizou o CAA na execução da estrutura do edifício Parthenon Residence em Novo Hamburgo/RS, a partir do quinto pavimento-tipo. Concluiu-se que os custos do CAA ficaram 1,09% maior do que o do CC, mas mostrou-se vantajosa quando considerada a produtividade obtida durante a execução (FARIA, 2008).

A Construtora BS desenvolveu um estudo comparativo de produção de unidades habitacionais em duas obras. A primeira obra, em 2008, trata-se de 1.500 casas executadas com o uso de CC, em Lucas do Rio Verde/MT, e a segunda obra, em 2009, trata-se de 1.000 casas executadas com o uso de CAA, em Porto Velho/RO (ALENCAR; MARCON; HELENE, 2010).

A Tabela 3 mostra alguns dos principais indicadores de custo de produção, dentro da etapa de concretagem, com o uso do CAA em relação ao CC.

Tabela 3 – % de ganhos (+) e perdas (-) com a substituição do CC pelo CAA, em relação aos indicadores de produção

Indicador	Ganho (+)	Perda (-)
Custo de mão de obra de concretagem	-	33 %
Custo de manutenção de mangotes	-	100 %
Custo do concreto	24 %	-
Custo da energia elétrica	-	100 %
Custo da mão de obra para reparo das formas	-	33 %
Custo de material para reparo das formas	-	81 %
Volume de concreto (m ³)	20 %	-
Custo total/m ³ de concreto	-	10 %

Fonte: Alencar; Marcon; Helene (2010).

A BASF e a Supermix Concreto avançaram na utilização da tecnologia do CAA na construção de um condomínio residencial de quatro torres de nove andares cada. A obra, em São Paulo, construiu dois pavimentos por semana, com 140 m³/andar. A pesquisa se iniciou 12 meses antes da primeira concretagem e foi utilizado na mistura do CAA um aditivo superplastificante e um VMA (BADISCHE ANILIN UND SODA-FABRIK, 2014).

Por fim, considera-se a obra do empreendimento Residencial Cidade Jardim¹⁸, executado pela Fujita Engenharia Ltda., em Fortaleza/CE. A obra utilizou o sistema construtivo de paredes de concreto moldadas no local (Figura 20), e para atender o cronograma, a empresa construtora optou em fazer uso do CAA, com f_{ck} de 25MPa.

Observou-se que as diferenças em relação à execução de uma laje em CC estão nas melhorias que a alta fluidez do CAA proporcionou, ilustradas na Figura 21. Mesmo considerando que o CAA dispensa o uso de vibrador para o adensamento, foi utilizado o vibrador para auxiliar na concretagem de regiões com maior densidade de armaduras (Figura 22-A), acabando com o risco de exposição do aço e conseqüente deterioração da estrutura. Assim, o vibrador transformou-se numa ferramenta de apoio e não de uso contínuo.

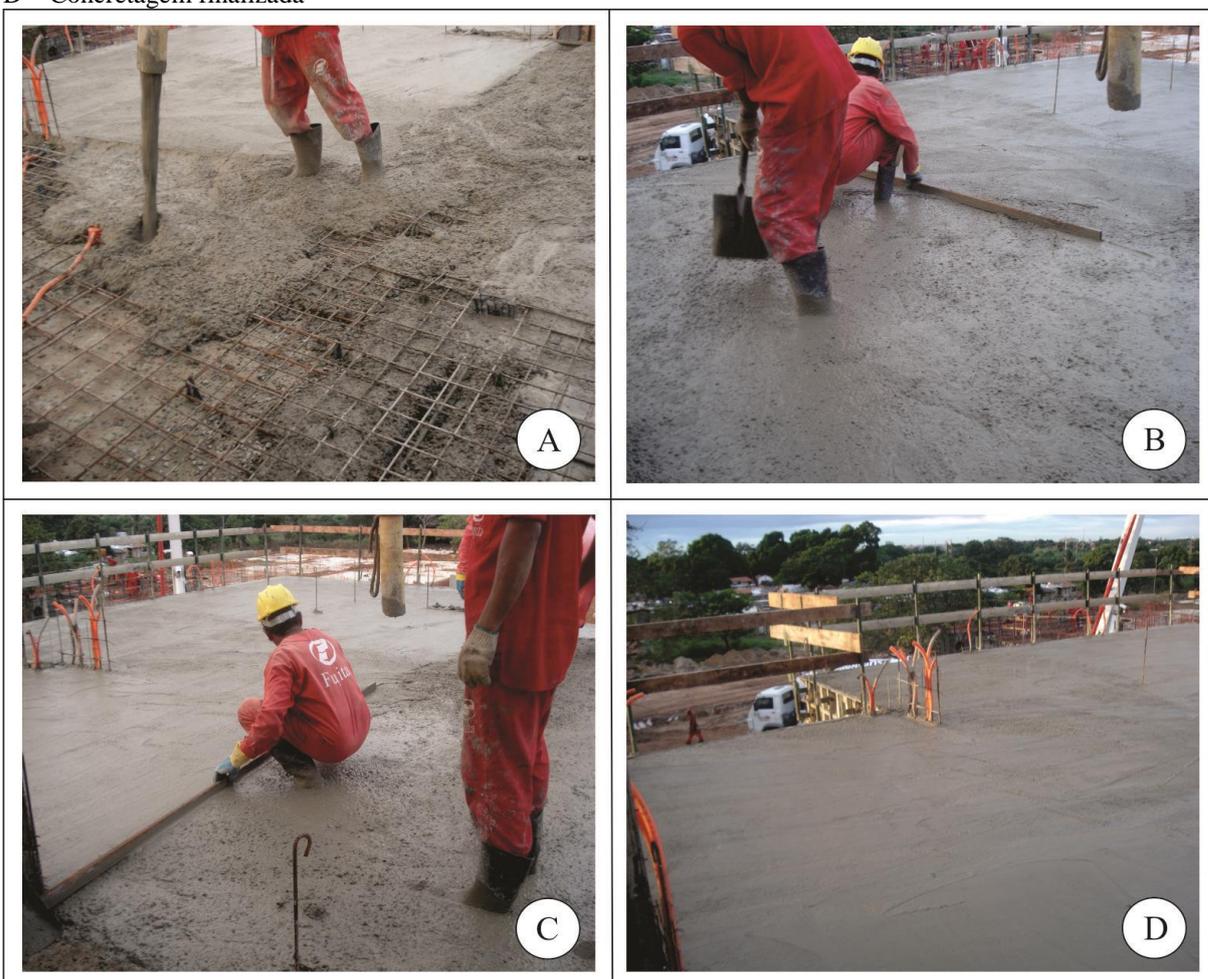
Figura 20 – Construção com sistema de parede de concreto com uso do CAA

¹⁸ O Residencial Cidade Jardim é considerado o maior empreendimento do PMCMV na região Nordeste. Com mais de 22.000 beneficiários, o empreendimento ocupa 13 quadras em 16 condomínios com 346 blocos de apartamentos, sendo cada bloco composto pelo térreo e três pavimentos, com quatro apartamentos por andar, totalizando 5.536 unidades habitacionais, ocupando uma área de 77 hectares (BRASIL, 2012).



Fonte: autora (2013).

Figura 21 – Concretagem de laje em CAA. A – Lançamento. B – Espalhamento e nivelamento. C – Acabamento. D – Concretagem finalizada



Fonte: autora (2013).

A empresa construtora apontou como principal aspecto favorável do uso do CAA a redução à metade da mão de obra, de oito para quatro operários. A área de cada laje por

bloco de 86,60 m² foi dividida em duas regiões para concretagem, utilizando dois operários para cada região (Figura 22-B), sendo um operário para operação do mangote de lançamento do CAA e espalhamento, e outro operário para execução do desempenho e acabamento.

Figura 22 – A – Uso do vibrador em região com maior densidade de armadura. B – Desempeno e acabamento do CAA



Fonte: autora (2013).

3.3 Materiais

Os materiais utilizados na dosagem do CAA devem atender às normas e especificações estabelecidas na NBR 12655 (ABNT, 2006).

3.3.1 Cimento

Todos os cimentos do tipo Portland, de acordo com as especificações das normas da ABNT, podem ser utilizados na produção do CAA. A escolha correta do tipo de cimento normalmente depende das exigências específicas de cada aplicação (EUROPEAN PROJECT GROUP, 2005).

De maneira específica, o cimento CP V-ARI, por apresentar potencial para atingir a resistência à compressão necessária para a desmoldagem logo nas primeiras idades, tem sua utilização recomendada em indústrias de pré-moldados de concreto, curados por aspersão de água (BATTAGIN; RODRIGUES, 2014).

Para ser considerado cimento resistente aos sulfatos (RS), o CP V-ARI apresenta o teor de aluminato tricálcico (C_3A) em massa inferior a 8% (BATTAGIN; RODRIGUES, 2014), o que contribui para a fluidez ou trabalhabilidade do CAA. Como a demanda por finos

é elevada nas misturas de CAA, devido à necessidade de se aumentar a coesão da mistura, cimentos de maior superfície específica¹⁹ são mais apropriados, apesar de necessitar de cuidados com relação ao calor de hidratação e retração do concreto (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

3.3.2 Agregados

A NBR 15823-1 (ABNT, 2010) recomenda que os agregados utilizados na preparação do CAA devem atender aos requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2009).

A umidade, a absorção de água e a classificação dos agregados devem ser cuidadosa e continuamente monitoradas, levando-se em consideração a manutenção da qualidade do CAA. A forma e a distribuição do tamanho das partículas do agregado afetam a compactação e o índice de vazios (GOMES; BARROS, 2009).

Alguns autores sugerem um agregado graúdo com dimensões mais arredondadas, distribuição granulométrica bem graduada e menor dimensão que o agregado utilizado no CC, contribuindo para o acréscimo de fluidez, deformabilidade e resistência à segregação (FERRAZ, 2009).

O diâmetro máximo característico do agregado graúdo normalmente utilizado no CAA é de 20 mm (OKAMURA, 1997 *apud* GOMES; BARROS, 2009), devendo possuir um baixo volume de agregado graúdo, entre 28% e 35% do volume de CAA (GOMES; BARROS, 2009).

A influência dos agregados miúdos sobre as propriedades do CAA no estado fresco é maior do que a dos agregados graúdos. Agregados miúdos com partículas arredondadas e lisas são mais recomendados para a produção de CAA porque aumentam a fluidez da mistura para uma mesma quantidade de água. Como o CAA necessita de adição de finos, quanto menor o módulo de finura do agregado miúdo mais adequado ele será para a produção de concretos de elevada coesão. As areias finas são adicionadas ao CAA para melhorar a distribuição granulométrica dos agregados e para densificar o compósito, diminuindo o índice de vazios (FERRAZ, 2009).

O volume normalmente utilizado de agregado miúdo varia entre 40% e 50% do volume de argamassa (GOMES; BARROS, 2009).

¹⁹ Relação entre a superfície e o volume de uma partícula sólida (FARIAS; PALMEIRA, 2010).

3.3.3 Aditivos

A NBR 11768 (ABNT, 2011) define aditivos como produtos que, adicionados em pequena quantidade a concretos, modificam propriedades no estado fresco e/ou no estado endurecido e que, os aditivos superplastificantes tipo II ou aditivos de alta redução de água, são definidos como produtos que aumentam consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto mantendo-se a quantidade de água constante.

Os aditivos superplastificantes tipo II tem como base polímeros denominados de policarboxilatos, sendo os mais utilizados no CAA. Com eles, é possível diminuir o consumo de água em até 40% na produção do CAA (SANTOMAURO, 2011).

Aditivos modificadores de viscosidade são algumas vezes usados substituindo o uso de finos. No entanto, isso tende a aumentar ainda mais o custo do CAA (HO; SHEINN; TAM, 2001).

O VMA interage com a mistura, tendo uma boa homogeneidade, quando se faz necessário à execução de uma mistura com alta viscosidade, evitando a sua segregação. Seu mecanismo de ação no CAA é aumentar a coesão da mistura, melhorando sua estabilidade e mobilidade e causando menor exsudação (GOMES; BARROS, 2009).

Com o emprego desse aditivo consegue-se um aliado na redução do risco de separação de materiais heterogêneos durante o transporte, assentamento e início de cura (KHAYAT; GHEZAL, 2003).

3.3.4 Adições minerais

Adições minerais são materiais finamente moídos, adicionados ao CAA em grandes quantidades, visando à obtenção de redução de custos e melhora da trabalhabilidade do concreto no estado fresco (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Os principais benefícios alcançados com a utilização de adições minerais são: ambiental, quando a adição é um resíduo industrial, pois evita que o material seja lançado no ambiente sem nenhuma finalidade benéfica; econômico, pela substituição parcial do cimento, o que reduz o seu consumo e, conseqüentemente, o custo do m³ do CAA; e tecnológico, pela melhora das propriedades do CAA nos estados fresco e endurecido (MEHTA; MALHOTA, 1996 *apud* GOMES; BARROS, 2009).

As adições são utilizadas para promover o aumento da trabalhabilidade, a viscosidade e a coesão, proporcionando uma resistência à segregação e também regulam a quantidade de cimento para reduzir o calor de hidratação e a retração (EUROPEAN PROJECT GROUP, 2005).

No estado endurecido, o CAA, com a incorporação de adições minerais, apresenta melhora nas propriedades mecânicas, devido ao melhor preenchimento de vazios, tornando-o mais denso, porém a quantidade de adição deve ser verificada com rigor, já que assim aumenta a demanda de água, devido à sua alta superfície específica, o que acarreta aumento de dosagem de aditivo superplastificante (FERRAZ, 2009).

As adições são classificadas de acordo com suas capacidades reativas com a água, podendo ser quimicamente ativas ou sem atividade química (inertes) (EUROPEAN PROJECT GROUP, 2005).

A dimensão das partículas das adições minerais utilizadas tem tido uma influência importante no alcance das propriedades do CAA. Quanto maior a superfície específica dos finos, maior a viscosidade da mistura. De maneira geral, uma alta superfície específica, elevada quantidade de finos e agregados de pequena granulometria são parâmetros essenciais para maior trabalhabilidade e maior controle das propriedades do CAA (GOMES; BARROS, 2009).

3.3.5 Água

A água é considerada o parâmetro mais importante no controle das propriedades do concreto fresco e endurecido. A quantidade de água de uma mistura depende de vários fatores, tais como as propriedades dos agregados, tipo de cimento, quantidade total de partículas finas na mistura, uso de adições ou aditivos e outros (GOMES; BARROS, 2009).

3.4 Vantagens do uso do CAA

Com a crescente aplicação do CAA e estudos em todo mundo, a construção civil vem tendo diversos ganhos diretos e indiretos. Algumas das vantagens relativas ao uso do CAA podem ser citadas (PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, 1992; EUROPEAN PROJECT GROUP, 2005):

- a) concretagem sem adensamento;

- b) redução da mão de obra nas atividades de lançamento e adensamento;
- c) eliminação do ruído provocado pelo vibrador, possibilitando a realização de trabalhos em horários diferenciados, melhorando o ambiente de trabalho dos operários, economia de energia elétrica e aumento da vida útil das formas devido à ausência de vibração;
- d) aceleração do lançamento do CAA na estrutura, permitindo concretagens mais rápidas e fáceis, com menor esforço dos operários;
- e) aumento das possibilidades de trabalho com formas de pequenas dimensões;
- f) redução do desperdício de concreto, pois praticamente elimina perdas;
- g) eliminação do retrabalho causado por falhas de concretagem;
- h) possibilidade de obter um ganho ecológico;
- i) possibilidade de redução do custo final do CAA e/ou da estrutura.

O CAA oferece melhor qualidade da construção, melhor acabamento final da superfície e exige menos trabalho do que o CC. Devido a estas vantagens sobre o CC, o CAA é usado regularmente e com sucesso em muitos projetos de pré-moldados nos EUA (KAHN; KURTIS, 2010). Além disso, o CAA endurecido tem as mesmas propriedades de durabilidade e resistência do CC, sendo capaz de preencher completamente locais onde exista uma alta quantidade de armadura, onde o CC não tem possibilidades de preenchimento (GAYWALA; RAIJIWALA, 2011).

3.5 Propriedades no estado fresco

As propriedades requeridas do CAA, para uma dada aplicação, devem ser avaliadas através de quatro parâmetros de ensaios, apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Propriedades do CAA e parâmetros de ensaios

Propriedade	Parâmetro
Habilidade de preenchimento	Fluidez
Habilidades de preenchimento e de passagem por restrições	Viscosidade plástica aparente
Habilidades de preenchimento e de passagem por restrições	Habilidade passante
Estabilidade	Resistência à segregação

Fonte: Gomes (2002).

A NBR 15823-1 (ABNT, 2010) define a classificação do CAA no estado fresco em função de sua autoadensabilidade (Tabelas 5, 6, 7 e 8) e estabelece as diretrizes para a realização do controle por ensaios e para a aceitação do CAA neste estado.

A habilidade de preenchimento é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de fluir dentro da forma, sem que os obstáculos ou formas complexas interfiram no fluxo e de preencher todos os espaços somente pelo efeito de seu peso próprio (GOMES; BARROS, 2009).

A Tabela 4 apresenta as classes de espalhamento. Normalmente adota-se a classe de espalhamento SF 2, que é adequada para aproximadamente 85% dos casos onde o CAA é aplicado na fábrica. A classe SF 1 tem restritas aplicações e normalmente não viabiliza operacionalmente um controle de qualidade adicional, embora resulte mais econômico. A classe SF 3, por apresentar elevado espalhamento e menor dimensão característica do agregado graúdo (< 12,5 mm), ou seja, maior superfície específica, ocasiona alto volume de argamassa e, conseqüentemente, custos elevados. Para atingir a classe SF 3, a quantidade de finos no traço deverá ser maior para manter as características de coesão do CAA no estado fresco, sem ocorrência de segregação ou exsudação (ROVARIS; ALENCAR, 2013).

Tabela 4 – Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação

Classe de espalhamento	Espalhamento (mm)	Aplicação	Método de ensaio
SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos. Estruturas que exigem curta distância de espalhamento horizontal do CAA.	ABNT NBR 15823-2
SF 2	660 a 750	Adequada para a maioria das aplicações correntes.	
SF 3	760 a 850	Estruturas com alta taxa de armadura e/ou forma complexa, com uso de agregado graúdo com dimensão menor que 12,5 mm.	

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.

O European Project Group (2005) considera a viscosidade plástica aparente como sendo a resistência ao espalhamento de um material. Ao iniciar o espalhamento, inicia-se a medida de velocidade do CAA, que pode ser avaliada pelos ensaios tempo de escoamento (t_{500}) e funil V (Tabela 5).

Belohuby e Alencar (2007) recomendam que, a classe de viscosidade plástica aparente adotada na indústria de pré-fabricados deve ser a mais exigente, ou seja, de baixa a moderada, para facilitar o escape do ar que normalmente é incorporado na moldagem, permitindo um nível superior de acabamento, onde a maioria das peças é confeccionada em

concreto aparente. O European Project Group (2005) considera que CAA com alta viscosidade pode continuar movendo-se furtivamente por um tempo maior.

Tabela 5 – Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação

Classe de viscosidade plástica aparente	t_{500}	Funil V	Aplicação	Método de ensaio
VS 1/VF 1	≤ 2	≤ 8	Elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação.	ABNT NBR 15823-2 e ABNT NBR 15823-5
VS 2/VF 2	> 2	9 a 25	Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre. Adequada para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico, que acarreta menor pressão sobre as formas e melhor resistência à segregação. Efeito negativo no aprisionamento de ar e preenchimento de cantos.	

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.

A habilidade passante é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de passar por entre obstáculos, sem que haja obstrução do fluxo ou segregação (GOMES; BARROS, 2009).

A Tabela 6 apresenta as classes de habilidade passante. Belohuby e Alencar (2007) recomendam que, em indústrias de pré-fabricados, a habilidade passante é normalmente especificada como PL 2/PJ 2, para permitir perfeita moldagem, em particular em estruturas com quantidade elevada de armadura e de insertos metálicos, apresentando um espaço restritivo para a passagem do CAA no estado fresco.

Tabela 6 – Classes de habilidade passante do CAA em função de sua aplicação

Classe de habilidade passante	Anel J	Caixa L	Aplicação	Método de ensaio
PL 1/PJ 1	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	$\geq 0,80$, com duas barras de aço	Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.	ABNT NBR 15823-3 e ABNT NBR 15823-4
PL 2/PJ 2	0 a 25 mm com 16 barras de aço	$\geq 0,80$, com três barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm.	

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.

A resistência à segregação é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de evitar a segregação de seus componentes e de permanecer com sua composição homogênea durante as etapas de transporte, lançamento e acabamento (GOMES; BARROS, 2009).

A especificação da resistência à segregação torna-se importante para o CAA de grande fluidez e baixa viscosidade, e que, portanto, apresenta maior risco de segregação (EUROPEAN PROJECT GROUP, 2005).

A Tabela 7 apresenta as classes de resistência à segregação. Em indústrias de pré-fabricados, a classe de resistência à segregação aplicada deve ser menor que 15% (Tabela 8), para resistir às solicitações de transporte em caminhão e a grande energia com que o CAA é lançado na saída do misturador (BELOHUBY; ALENCAR, 2007).

Tabela 7 – Classes de resistência à segregação do CAA em função de sua aplicação

Classe de resistência à segregação	Coluna de segregação %	Distância a ser percorrida (m)	Aplicação	Método de ensaio
SR 1	≤ 20	< 5	Elementos estruturais com espaçamentos de armadura > 80 mm.	ABNT NBR 15823-6
SR 2	≤ 15	> 5	Elementos estruturais com espaçamentos de armadura > 80 mm.	
SR 2	≤ 15	< 5	Elementos estruturais com espaçamentos de armadura < 80 mm.	

Fonte: adaptada da NBR 15823-1 (ABNT, 2010).

3.6 Método de dosagem do CAA

O método de Okamura, Ozawa, Maekawa e Ouchi foi desenvolvido pela primeira vez, em 1988, na Universidade de Tóquio e é reconhecido na literatura como o primeiro método de proporção de mistura proposto para CAA (OKAMURA, 1997 *apud* GOMES; BARROS, 2009).

A obtenção do CAA torna-se mais trabalhosa do que a do CC, tendo em vista, principalmente, a variabilidade nas características dos materiais constituintes. Além disso, o controle de qualidade dos materiais componentes e da mistura do CAA deve ser rigoroso, sendo muitas vezes, imprescindível que a dosagem obtida em laboratório seja testada em escala piloto, com equipamentos e funcionários da obra ou da fábrica produtora do CAA. Esses fatos tornam difícil a utilização de um método de dosagem-padrão para o alcance de uma mistura de CAA (GOMES; BARROS, 2009).

Citam-se os principais métodos de dosagem de CAA encontrados na literatura:

- a) método de Okamura, Ozawa, Maekawa e Ouchi (1988);
- b) método de Petersson, Billberg e Van (1996);
- c) modelo de empacotamento compressível (1999);
- d) método de Nan Su *et al.* (2001);
- e) método de Saak *et al.* (1999 e 2001);
- f) método de Gomes, Gettu e Agulló (2002, 2003)²⁰;
- g) método da EFNARC²¹ (2002);
- h) método de Tutikian (2004);
- i) método de Repette-Melo (2005);
- j) método de Alencar e Helene (2006);
- k) método de Tutikian & Dal Molin (2007).

O método de dosagem de CAA proposto por Gomes *et al.*, para alta resistência à compressão (acima de 40MPa), tem como uma das principais vantagens assumir que a composição da pasta não interfere na determinação da proporção entre os agregados, o que permite a independência de ambas as fases; e que a composição da pasta com um volume mínimo associada com o esqueleto granular são necessários para garantir as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido (GOMES; BARROS, 2009).

Verifica-se que o método de dosagem de CAA proposto por Gomes *et al.*, busca determinar a melhor proporção dos materiais, desde a fase de dosagem da pasta até a fase final de ajuste do concreto, evitando ao máximo o julgamento e a dependência da experiência do profissional responsável pela dosagem (FOCHS; RECENA; SILVA, 2013).

²⁰ Neste trabalho o método de Gomes, Gettu e Agulló será designado doravante por método de Gomes *et al.*

²¹ European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.

4 PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS

A produção de painéis estruturais pré-moldados em concreto armado é um processo amplo e diversificado. Os painéis podem ser produzidos na própria obra, reduzindo custos com transportes, se houver espaço suficiente ou podem ser produzidos industrialmente.

Neste capítulo serão relacionados os aspectos de produção de elementos pré-moldados com concreto, enfatizando aqueles relativos à produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos em concreto armado e CAA.

4.1 Aspectos de produção

Os elementos pré-moldados podem ser fabricados dentro do canteiro de obra ou próximo ao próprio canteiro. A primeira situação corresponde à produção dos elementos da edificação que está sendo construída, tendo, assim, as etapas de execução e montagem. Na segunda situação, o elemento pré-moldado pode ser considerado (El Debs, 2000, p. 15):

[...] o pré-moldado de canteiro é executado em instalações temporárias nas proximidades da obra. Essas instalações podem ser mais ou menos sofisticadas, dependendo da produção e da produtividade que se deseja. Em geral, há uma certa propensão a ter baixa capacidade de produção, e conseqüentemente, pequena produtividade. Para este tipo de elemento não se tem o transporte à longa distância e, portanto, as facilidades de transporte e a obediência a gabaritos de transporte não são condicionantes para seu emprego.

É necessário espaço suficiente para estocagem do elemento pré-moldado até a sua utilização definitiva, com definições de fluxos de transporte otimizados.

A forma de transporte dos elementos pré-moldados já deve estar definida previamente ao planejamento do canteiro, relativo à área destinada às unidades produtivas, permitindo melhor interação entre o local de armazenamento e equipamentos de içamento.

4.2 Etapas de produção

El Debs (2000) divide a produção dos elementos pré-moldados em três etapas: atividades preliminares, execução e atividades posteriores.

A etapa das atividades preliminares inclui-se:

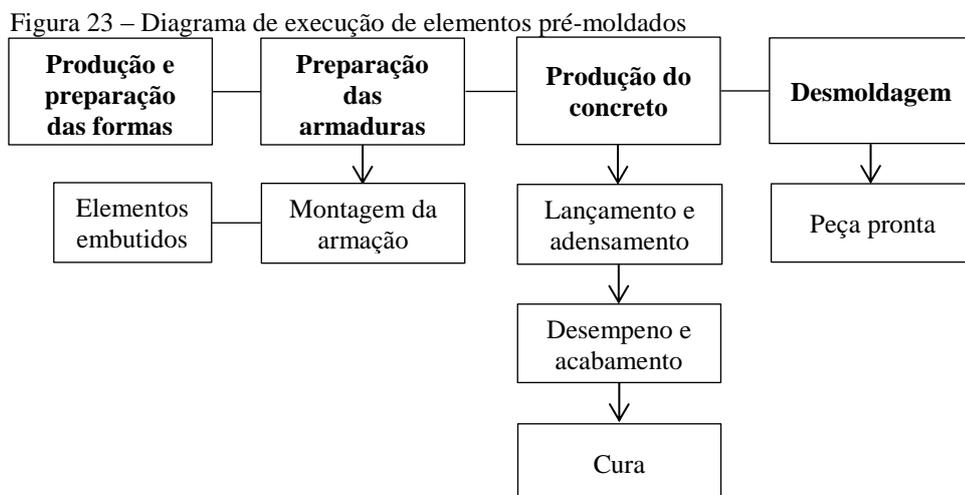
- a) preparação dos materiais: incluem o armazenamento das matérias-primas, a dosagem e a mistura do concreto, o preparo e montagem da armadura;

b) transporte dos materiais ao local de trabalho: transporte do concreto misturado até a forma, normalmente feito por meio mecânico e transporte da armadura.

A etapa das atividades posteriores inclui-se:

- a) transporte interno: transporte dos elementos do local da desmoldagem até a área de armazenamento. A NBR 9062 (ABNT, 2006) recomenda que, os elementos pré-moldados devem ser suspensos e movimentados por intermédio de máquinas, equipamentos e acessórios apropriados em pontos de suspensão localizados nos elementos perfeitamente definidos em projeto, evitando-se choques e movimentos abruptos;
- b) acabamentos finais: inspeção e tratamentos finais;
- c) armazenamento: a NBR 9062 (ABNT, 2006) estabelece os dispositivos de apoio, empilhamentos e outras disposições gerais para evitar que, durante esse procedimento, tensões não previstas provoquem deformações excessivas. As peças devem estar armazenadas de tal forma que possam ser identificadas, facilitando primeiro a saída das mais antigas (DONIAK; GUTSTEIN, 2011). El Debs (2000) considera que o armazenamento ocorre devido ao planejamento da produção e para que aumente a resistência do concreto, até atingir a resistência de projeto e que, no armazenamento não seja efetuado mais que duas linhas de apoio e que as peças sejam posicionadas conforme sua utilização definitiva.

A Figura 23 ilustra a etapa da execução.



Fonte: autora (2014).

Para a execução do processo de produção dos elementos pré-moldados, El Debs (2000) apresenta três procedimentos distintos:

- a) com forma estacionária: as formas permanecem paradas, e os trabalhos de execução dos elementos se desenvolvem ao seu redor;
- b) com forma móvel (carrossel): as formas se movimentam e os trabalhos de execução dos elementos são realizados em estações por equipes estacionárias;
- c) em pista de concretagem: a execução dos elementos ocorre ao longo de uma linha de montagem, onde os elementos são produzidos sequencialmente, de forma contínua e descontínua.

As pistas de concretagem podem apresentar superfície de CC alisada, como fundo de forma (REVEL, 1973):

Para a escolha do tipo de superfície das pistas de concretagem, deve-se levar em conta o tipo de acabamento desejado da face inferior do elemento, considerando que, os fundos de formas metálicos apresentam melhor acabamento superficial.

A escolha do processo de execução depende, entre outros fatores, dos seguintes aspectos: produtividade desejada, investimentos, especialização da produção e forma do elemento, se é linear ou superficial (EL DEBS, 2000).

As subetapas da execução serão descritas a seguir com suas particularidades.

4.2.1 Produção e preparação das formas

A NBR 9062 (ABNT, 2006) determina que as formas devem adaptar-se às formas e dimensões das peças pré-moldadas projetadas. É importante que nessa fase procure-se reduzir o número de tipos de painéis a serem utilizados, garantindo uma maior padronização na produção. A padronização da forma reduz os custos de produção e operacionais, pois aumenta a velocidade de produção. Em algumas situações, os moldes podem ser projetados para receberem ajuste dimensional e atender a um número maior de painéis.

As formas são importantes na execução dos pré-moldados, pois são elas que determinam a qualidade do produto e a produtividade do processo (EL DEBS, 2000).

Como qualidades desejáveis para as formas, El Debs (2000) menciona:

- a) estabilidade volumétrica, para que as dimensões dos elementos obedeçam às tolerâncias especificadas;

- b) possibilidade de serem reutilizadas diversas vezes sem gastos excessivos de manutenção;
- c) serem de fácil manejo e que facilitem tanto a colocação e fixação da armadura em seu interior quanto dos elementos especiais, se for o caso;
- d) apresentar pouca aderência com o concreto e fácil limpeza;
- e) facilidade de desmoldagem, sem apresentar pontos de presa;
- f) estanqueidade, para que não ocorra fuga de nata de cimento, com prejuízo na resistência e no aspecto do produto;
- g) versatilidade, de forma a possibilitar seu uso em várias seções transversais;
- h) transportabilidade, no caso de execução com forma móvel.

Os materiais mais empregados na concepção das formas são a madeira e o aço, recomendados pela NBR 9062 (ABNT, 2006). As formas de aço tem um custo mais elevado que as de madeira, mas possuem uma maior capacidade de reutilização, podendo ser utilizadas até 150 vezes (DAWSON, 1995) e ser aumentado pelo emprego do CAA (REPETTE, 2011). Já as formas de madeira tem como vantagem, possuir principalmente em casos de urgência, uma facilidade maior para adaptá-las a novas características, ou seja, novos formatos de elementos (REVEL, 1973).

Em mesas planas, as dimensões dos painéis são limitadas pelo uso de laterais metálicas ou de madeira, fixadas à mesa, podendo ser removíveis ou não. O uso de laterais removíveis facilita a alteração das dimensões (TOMO, 2013).

A pressão que o concreto exerce nas formas depende dos seguintes fatores: massa específica, dimensões das peças e altura de lançamento. No CAA, outros fatores também são relevantes, como, as características reológicas do concreto fresco, a velocidade de estruturação no estado fresco e a velocidade de concretagem (REPETTE, 2011).

Quanto às características reológicas do CAA, quanto maior o espalhamento, maior a pressão exercida nas formas pelo CAA. Considerando que o CAA apresenta comportamento tixotrópico, ganhando consistência quando fica em repouso, a pressão lateral exercida sobre as formas diminui ao longo do tempo, e o CAA passa a se autossuportar e a exigir menos das formas (REPETTE, 2011). Em concretagens com velocidades acima de 2 m/h, por segurança, deve-se adotar a pressão nas formas como sendo hidrostática (WALRAVEN, 2010).

Pastas de CAA com menor viscosidade tendem a escapar pelas frestas das formas quando as aberturas nas formas forem maiores do que 2 mm (REPETTE, 2011).

4.2.2 *Preparação das armaduras*

A montagem das armaduras dos elementos pré-moldados ocorre de forma usual, sendo montadas junto à forma, tendo como vantagem, que esta ocorre de maneira mais racionalizada, por ser realizada em série, com tamanhos definidos e quase sempre, em local mais apropriado que o da montagem *in loco*. Com a utilização de telas consegue-se eliminar as atividades de corte e dobra, que não agregam valor.

A NBR 9062 (ABNT, 2006) recomenda que o manuseio e o transporte das armaduras pré-montadas devem ser feitos de forma a garantir a integridade e o correto posicionamento das armaduras dentro da forma. O armazenamento deve ser efetuado de forma a evitar a formação de pilhas que prejudiquem a conformação das armaduras pré-montadas.

Sobre a montagem das armaduras no interior das formas, a NBR 9062 (ABNT, 2006) recomenda que, esta deve ser colocada no interior das formas de modo que, durante o lançamento do concreto, mantenha-se na posição indicada no projeto, conservando-se inalteradas as distâncias das barras entre si e as faces internas das formas. É permitido para isso o uso de arame e de tarugos de aço ou espaçadores [...] de plástico de alta densidade.

Ainda sobre o correto posicionamento das armaduras na forma, Revel (1973) considera que a através de um calço perfeito com relação às paredes da forma, estes fazem assegurar que as armaduras não se encontrem com a superfície externa do concreto, ficando protegidas contra corrosão. Atualmente usam-se as peças de material plástico, que além de conformar as barras de aço, servem para evitar a exposição e, conseqüentemente, a corrosão do aço pelas intempéries (GIRIBOLA, 2014).

Não é permitido o emprego de calços, cujo cobrimento, depois de lançado o concreto, tenha espessura menor que a prescrita na NBR 6118 – Tabela 7.2 (ABNT, 2014). A NBR 9062 (ABNT, 2006) permite que, o posicionamento da armadura deve ser garantido para que se possa utilizar o valor da tolerância de execução (Δc) igual a 5 mm, que, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), quando houver um adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução.

Para auxiliar no içamento e movimentação dos elementos pré-moldados, próximo às armaduras, antes da concretagem são colocados dispositivos auxiliares como laços, chapas chumbadas e argolas rosqueadas. Todos esses dispositivos devem ser dimensionados de modo a suportar a movimentação dos elementos, mesmo nas resistências iniciais do concreto.

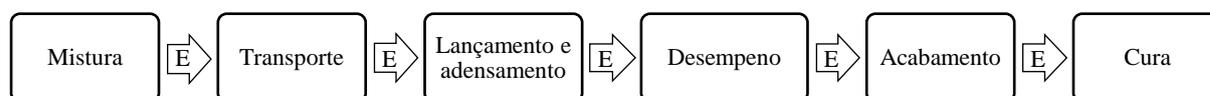
4.2.3 Produção do concreto convencional

O CC usado nos elementos pré-moldados deve ser capaz de garantir o perfeito preenchimento das formas, mesmo com a presença de armaduras e elementos embutidos. Para conseguir esta consistência, este deve possuir uma plasticidade compatível com sua utilização, sendo que a quantidade de água adicionada ao CC não seja suficiente para diminuir sua resistência e limitar sua fluidez (REVEL, 1973).

Conforme Melo (2007), o CC empregado na construção pré-moldada é de alta resistência inicial, atingindo valores de resistência final altos, de f_{ck} igual a 40MPa e deve apresentar um nível superior de acabamento e ser isento de imperfeições que prejudiquem a estética dos elementos, pois estes normalmente ficam aparentes na edificação.

A NBR 12655 (ABNT, 2006) considera a mistura, transporte, lançamento e adensamento, complementadas por desempenho, acabamento e cura, segundo Belohuby e Alencar (2007), como as atividades para a produção do CC, ilustradas na Figura 24²².

Figura 24 – Atividades da produção do CC



Fonte: adaptada de Belohuby e Alencar (2007).

4.2.3.1 Mistura

A NBR 9062 (ABNT, 2006) estabelece que deve ser aplicada a NBR 12655 (ABNT, 2009) com relação à [...] mistura do CC.

A NBR 12655 (ABNT, 2006) determina que, após a correção da umidade dos agregados e a medição dos componentes do CC, em obra e em caminhão betoneira, estes devem ser misturados até formar uma massa homogênea e que o tempo mínimo de mistura em betoneira estacionária é de 60 s, devendo ser aumentado em 15 s para cada metro cúbico de capacidade nominal da betoneira.

4.2.3.2 Transporte

²² E é o tempo de espera entre uma etapa e a sua subsequente da produção (BELOHUBY; ALENCAR, 2007).

A NBR 9062 (ABNT, 2006) estabelece que se deve aplicar a NBR 14931 (ABNT, 2004) e a NBR 12655 (ABNT, 2006) ao transporte do CC.

A NBR 14931 (ABNT, 2004) recomenda que, o intervalo de tempo transcorrido entre o instante em que a água de amassamento entra em contato com o cimento e o final da concretagem não ultrapasse 2 horas e 30 minutos.

Conforme a NBR 7212 (ABNT, 2012), o tempo de transporte do CC decorrido entre o início da mistura, a partir da primeira adição da água, até a entrega do CC deve ser inferior a 90 min, para caminhão betoneira.

4.2.3.3 Lançamento

A NBR 9062 (ABNT, 2006) estabelece que se deve aplicar a NBR 14931 (ABNT, 2004) e a NBR 12655 (ABNT, 2006) ao lançamento do CC.

O CC lançado nas formas tem seu espalhamento feito com pás e enxadas.

4.2.3.4 Adensamento

A NBR 9062 (ABNT, 2006) recomenda que, durante ou imediatamente após o lançamento, o CC deve ser adensado por vibração, centrifugação ou prensagem, permitindo-se a adoção de mais de um destes métodos simultaneamente. O adensamento deve ser cuidadoso para que o CC preencha todos os recantos da forma e envolva bem a armadura. Devem ser tomadas as precauções necessárias para que não se formem ninhos ou haja segregação dos materiais. Deve-se evitar quando da utilização de vibradores de imersão, o contato do vibrador com a armadura para que não se formem com a vibração desta, vazios a seu redor com prejuízo da aderência.

Ao se utilizar a vibração, dependendo da forma e das dimensões que os elementos pré-moldados possuírem ela poderá ser realizada sobre a forma, sobre a armadura ou no interior da massa de concreto (REVEL, 1973).

4.2.3.5 Desempeno e acabamento

O desempeno é manual, com desempenadeira de madeira ou alumínio utilizada para alisar a superfície do CC e o acabamento consiste em passar a desempenadeira de

madeira ou alumínio para a retirada das marcas deixadas na atividade de desempenho. Após o início de pega do CC, executa-se o desempenho manual com desempenadeira de alumínio e é repetida até se obter a textura desejada para a superfície (ALENCAR, 2008).

4.2.3.6 Cura

Um dos principais fatores para que a execução de pré-moldado tenha grande produção em menor tempo, é a necessidade de aproveitamento rápido das mesmas formas. Quanto mais rápido o CC do elemento pré-moldado adquirir resistência, mais rápido poderá ser retirado das formas, garantindo uma maior quantidade de reutilizações das mesmas.

De forma geral, para que um CC tenha trabalhabilidade, a quantidade de água é maior do que a necessária para a hidratação do cimento. Porém, a água não utilizada na reação de hidratação permanece livre e tende a sair rapidamente do CC por evaporação, provocando a diminuição do seu volume (retração), que gera tensões que provocam a fissuração do CC. Por isso, é importante que, depois do início de pega do concreto, a sua superfície seja mantida úmida para evitar a perda de água por evaporação (DONIAK; GUTSTEIN, 2011).

A NBR 9062 (ABNT, 2006) cita duas formas de cura. Com relação à cura normal, enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o CC deve ser protegido contra agentes prejudiciais, tais como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva, agentes químicos, choque e vibrações de intensidade que possam produzir fissuração na massa do CC, ou prejudicar a sua aderência à armadura. A proteção contra a secagem prematura deve ser feita mantendo-se umedecida a superfície, pelo tempo necessário à hidratação adequada, levando em conta a natureza do cimento. A cura acelerada corresponde em aumentar a temperatura do CC, uso de cimentos de alta resistência ou através do uso de aditivos químicos aceleradores de pega, atendendo a NBR 11768 (ABNT, 2011).

4.2.4 Produção do CAA

A maior dificuldade na produção do CAA é manter suas características requeridas em larga escala (KWAN; NG, 2010). Para superar essa dificuldade, o controle da produção do CAA deve ser mais rigoroso do que o empregado na produção do CC, pois pequenas variações das características dos materiais e procedimentos de produção podem causar

alterações substanciais no comportamento do CAA, principalmente no estado fresco (REPETTE, 2011).

Alterações nas características do CAA podem ser reduzidas, em grande medida, quando é dada maior atenção as questões operacionais de variação da umidade dos agregados, pesagem da água e aditivo (ROVARIS; ALENCAR, 2013). Contudo, a dosagem tem que ser bem estudada, pois concretos muito viscosos dificultam a aplicação e prejudicam o acabamento e concretos de baixíssima viscosidade estão mais suscetíveis à ocorrência de exsudação e segregação.

De acordo Belohuby e Alencar (2007) a implantação do CAA permite diminuir atividades de produção do CC, como adensamento, espalhamento do CAA com enxada, desempenho e compactação, ilustradas na Figura 25²³. A sobra de material após a compactação é eliminada, dado que o CAA quando lançado tende a se compactar até atingir o nível correto.

Todas essas vantagens resultam na necessidade de investimentos iniciais e cuidados específicos com a produção, descritos a seguir.

Figura 25 – Atividades de produção do CAA



Fonte: adaptada de Belohuby e Alencar (2007).

4.2.4.1 Mistura

A NBR 9062 (ABNT, 2006) estabelece que deve ser aplicada a NBR 12655 (ABNT, 2009) com relação à [...] mistura do CAA.

A NBR 12655 (ABNT, 2006) determina que, após a correção da umidade dos agregados e a medição dos componentes do CAA, em obra e em caminhão-betoneira, estes devem ser misturados até formar uma massa homogênea.

Segundo o European Project Group (2005), o tempo de mistura necessário para a constância nas propriedades do CAA no estado fresco pode ser maior do que o do CC, devido ao grande conteúdo de pasta do CAA que pode gerar dificuldades adicionais para a homogeneização da mistura e permitir que o aditivo desenvolva plenamente seu efeito. Este tempo pode ser superior a três vezes o necessário para a produção do CC (EMBORG, 2000

²³ E é o tempo de espera entre uma etapa e a sua subsequente da produção (BELOHUBY; ALENCAR, 2007).

apud REPETTE, 2011), mas depende do tipo e da velocidade do misturador, da sequência de colocação dos materiais, do volume de CAA que está sendo misturado e forma de produção (REPETTE, 2011) e deve ser verificado em cada misturador usado na concretagem de elementos pré-moldados (BELOHUBY; ALENCAR, 2007). A sequência de mistura altera as propriedades finais do CAA, tanto do estado fresco como do estado endurecido e deve ser otimizada para cada tipo de misturador (MELO, 2005).

Misturas desenvolvidas em laboratório devem ser adaptadas antes de se iniciar a produção em larga escala (EMBORG, 2000 *apud* MELO, 2005).

4.2.4.2 Transporte

As mesmas considerações para o transporte do CC são válidas para o transporte do CAA.

No transporte do CAA, não pode ocorrer perda de água ou vibração excessiva (REPETTE, 2011). O tempo necessário para o transporte e o lançamento em pré-fabricado é de 15 minutos. Implica que não há necessidade da manutenção da consistência por longo período, permitindo que o CAA atinja resistências com baixas idades, aproximadamente (14 ± 2) h, requeridas para manter o ciclo de produção (EUROPEAN PROJECT GROUP, 2005).

4.2.4.3 Lançamento

As mesmas considerações para o lançamento do CC são válidas para o lançamento do CAA.

Como o CAA apresenta maior volume de argamassa e maior resistência à segregação do que o CC pode sofrer queda livre de até 5 m sem que haja falhas no CAA (EUROPEAN PROJECT GROUP, 2005). Recomenda-se que a movimentação horizontal do CAA não seja superior a 7 m para evitar sua segregação (REPETTE, 2011).

Mesmo com o CAA no estado fresco, interrupções de concretagem podem gerar juntas de baixa qualidade, já que não há vibração para “costurar” o CAA nas interfaces das várias camadas de concretagem (REPETTE, 2011).

4.2.4.4 Acabamento

O CAA não é completamente autonivelante. A sua superfície deve ser levemente alisada, usando as mesmas técnicas empregadas para o acabamento do CC e geralmente começa mais tarde, dependendo da composição, propriedades e condições ambientais (EUROPEAN PROJECT GROUP, 2005). Isso devido ao uso de altas dosagens de aditivo superplastificante, podendo resultar em um pequeno retardo no tempo de início de pega. Os aditivos aceleradores de pega podem ser incorporados para antecipar a pega e o acabamento da superfície, resultando em uma diminuição do tempo de trabalhabilidade do CAA no estado fresco, necessitando, assim, de uma aplicação mais rápida (ALENCAR, 2008).

4.2.4.5 Cura

Como não há água exsudada, o CAA fica muito suscetível a fissurar por retração plástica. A cura deve ser iniciada o mais cedo possível e mantida por sete dias, com os mesmos procedimentos utilizados para o CC (REPETTE, 2011).

4.2.5 *Desmoldagem*

Após o concreto dos elementos pré-moldados terem atingido uma resistência suficiente para serem içados, as formas podem ser retiradas do entorno desses elementos (desmoldagem), podendo utilizar produtos desmoldantes. A NBR 9062 (ABNT, 2006) recomenda que a aplicação de desmoldante deve ser feita antes da colocação da armadura; que não devem exercer nenhuma ação química prejudicial sobre o concreto fresco ou endurecido, nem deixar, na superfície deste, resíduos que sejam prejudiciais, ou possam dificultar a ligação do concreto lançado "*in situ*" ou a aplicação de revestimento; e que os desmoldantes não devem atingir a armadura; caso isto aconteça, devem ser substituídas ou limpas com solventes.

Conforme Melo (2007), a aplicação de desmoldantes deve ser homogênea, evitando-se excessos e falta ao longo das formas. Os desmoldantes à base de água, recomendados para formas de madeira, não devem ser aplicados em formas metálicas, sob o risco de oxidá-las. Nesse caso, recomendam-se produtos à base de óleo mineral ou vegetal. É importante usar desmoldante com baixa viscosidade para formar película fina. Neste caso,

pequenos vazios podem aparecer nos pontos onde o concreto ficou aderido e a superfície fica áspera. Já o excesso de desmoldante dificulta o escape do ar aprisionado na moldagem, podendo ocasionar bolhas e manchas (HONDA *et al.*, 2012).

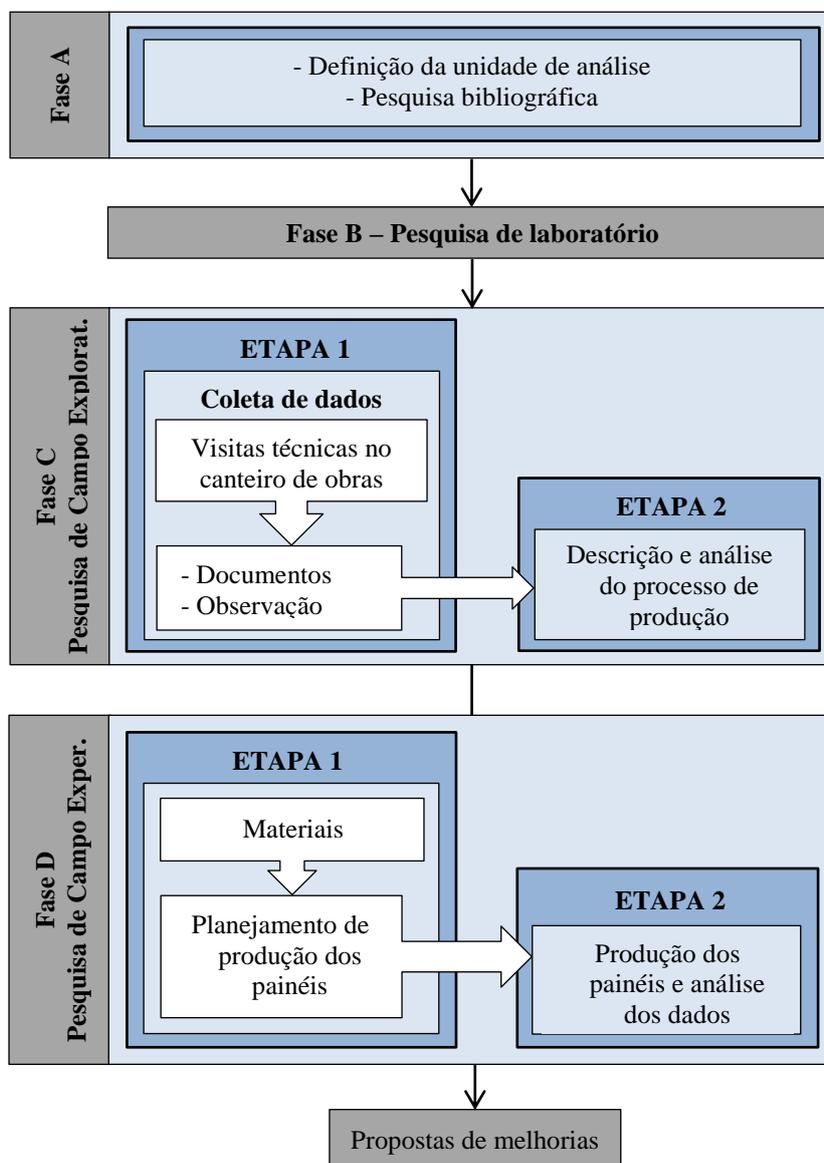
A desmoldagem do CAA deve ser feita com os mesmos cuidados dispensados ao CC. Como na aplicação do CAA não há adensamento, as formas tendem a se soltar com maior facilidade e menores danos. Durante o adensamento do CC, o contato do vibrador com a forma danifica a camada plastificada/resinada, o que não ocorre durante a concretagem do CAA.

5 METODOLOGIA

De acordo com o tipo de questão que esta pesquisa procurou responder optou-se por realizar uma pesquisa experimental, onde buscou analisar o processo de produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado, em pesquisa de campo, diante o emprego do CAA, originado de pesquisa de laboratório.

A seguir será descrita a metodologia geral que foi utilizada no desenvolvimento desta pesquisa, para a obtenção dos objetivos delineados. A pesquisa foi dividida em quatro fases, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Representação gráfica dos métodos de pesquisa



Fonte: autora (2014).

5.1.1 Fase A – Definição da unidade de análise e pesquisa bibliográfica

Esta pesquisa foi realizada com incentivo e parceria com uma empresa construtora do Subsetor de Edificação da Construção Civil, em Fortaleza/CE, detentora de um sistema construtivo de pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado, empregados em empreendimentos de habitação de interesse social.

Esta fase buscou ter um primeiro contato com a empresa, através de visitas no escritório, primeiramente para apresentar os interesses e objetivos da pesquisa, e após, conhecer as metas, objetivos e missão da empresa e tomar conhecimento do fluxo de atividades produtivas, identificando quais eram os responsáveis pelo cenário de cada uma. Posteriormente, realizou-se a apresentação do projeto de pesquisa.

Por questões geográficas, de localização de fácil acesso e por ter iniciado a execução da obra no período hábil de realização da pesquisa, essa foi realizada em uma central de pré-moldados no canteiro de obras de produção de vedação vertical da área de um futuro empreendimento habitacional, em Fortaleza/CE.

A unidade de análise estudada foi o processo construtivo de painel pré-moldado com blocos cerâmicos e concreto armado.

A pesquisa bibliográfica abrangeu o levantamento que incluiu livros, manuais e guias técnicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, periódicos, artigos técnicos e científicos apresentados em eventos e sites da área de conhecimento (engenharia civil e construção civil).

5.1.2 Fase B – Pesquisa de laboratório

A Fase B da pesquisa constou todos os procedimentos necessários ao desenvolvimento de CAA na classe de resistência C25, atendendo a NBR 8953 (ABNT, 2011), para uso no processo construtivo de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos.

Na determinação da composição do CAA, todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e no Laboratório de Materiais e Construção Civil da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

Destaca-se que houve a transferência da tecnologia obtida em laboratório para a aplicação em painéis executados na central de pré-moldados.

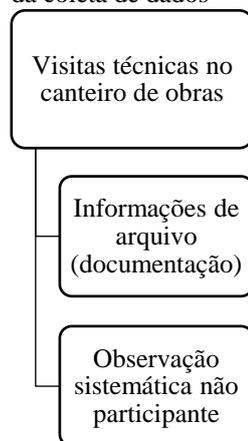
5.1.3 Fase C - Pesquisa de campo exploratória

A Fase C – Pesquisa de Campo Exploratória foi dividida em duas etapas, Etapa 1 e Etapa 2.

Como esta pesquisa visou propor melhorias no processo de produção, foi feita uma investigação preliminar, através de coleta de dados. As informações de arquivo (documentação) e a observação sistemática não participante são as técnicas de coleta de dados que foram utilizadas na Etapa 1, como ilustrada na Figura 26.

A observação é uma técnica de coleta de dados para conseguir informações e não consiste apenas em ver e ouvir, mas também examinar fenômenos que se desejam estudar. A observação sistemática é realizada sob condições controladas, para responder a propósitos preestabelecidos. Para isso, utiliza instrumentos para a coleta de dados ou fenômenos observados.

Figura 26 – Passos da coleta de dados



Fonte: autora (2014).

Na Etapa 1 deu-se início à coleta de dados a partir de visitas técnicas no canteiro de obras, onde inicialmente a pesquisadora conheceu o fluxo de atividades, identificando os equipamentos utilizados e os operários responsáveis por cada atividade.

A primeira parte abrangeu o conhecimento de informações através de documentos relativos ao processo construtivo objeto de estudo como projeto de implantação da central de pré-moldados e planilhas de controle da produção diária; a segunda parte diz respeito à observação sistemática não participante, para conhecer, compreender e fazer medições geométricas e temporais do processo construtivo.

Neste trabalho estabeleceu-se a técnica de pesquisa de campo, pretendendo-se que haja investigação por parte da pesquisadora através do procedimento de coleta de dados de um número de unidades sem o emprego de técnicas probabilísticas de amostragem.

Inicialmente registraram-se os dados gerais, como turno de trabalho e condição do tempo, mas que tomam importância quanto ao uso dos dois tipos de concreto. Foram consideradas dezenove atividades para produção de um painel. As medidas de tempo foram feitas para cada uma dessas atividades para os painéis de tamanho padrão (6000 x 1800) mm e painéis de tamanhos menores, tendo assim, a média dos tempos de produção para cada atividade. Consideraram-se também as medidas de instante inicial e final do processo de produção desses painéis, obtendo assim, o tempo total de produção para cada painel. Fez-se para duas dessas atividades, a contagem do consumo de espaçadores plásticos e blocos cerâmicos. Nesse momento também foram mensuradas as espessuras das camadas do CC, do CAA e da argamassa, logo após a aplicação, considerando posteriormente, para esses dados os valores médios.

Essas informações coletadas foram validadas através de registro *in loco*, simultaneamente ao processo de produção, em planilha desenvolvida pela pesquisadora, apresentada no Apêndice A. Para isso a pesquisadora contou com o auxílio de dois bolsistas e um auxiliar, que faziam uso de cronômetros digitais para essas monitorações.

Na Etapa 2, foi descrito o processo de produção de um painel observado de tamanho (3650 x 1800) mm e após, elaborada uma análise, baseada nos valores médios para cada uma das atividades de produção. Com esses dados foi possível conhecer a produtividade em relação à aplicação do CC e do CAA.

5.1.4 Fase D – Pesquisa de campo experimental

Na Fase D foi delineada a Pesquisa de Campo Experimental, que se realizou em um único local, na central de pré-moldados, em duas etapas, Etapa 1 e Etapa 2.

Na Etapa 1 foram especificados e quantificados os materiais a serem empregados na confecção dos painéis, e posterior planejamento dos procedimentos de execução desses painéis.

Na Etapa 2 foi feito o procedimento de produção dos painéis, utilizando a mesma tecnologia e mesmas dimensões dos painéis considerados na Fase C, mas, substituindo a camada de CC pela camada de CAA.

Primeiramente foram coletados os dados das atividades que englobam o processo de produção dos painéis e posteriormente, foi realizada a análise individual dessas atividades durante o processo de produção. A medição dos tempos teve como objetivo ser uma referência para determinar quais são as fases do processo que foram influenciadas quanto à substituição de material. As medições geométricas dos painéis possibilitaram examinar se estes atendiam aos requisitos da NBR 6118 (ABNT, 2014).

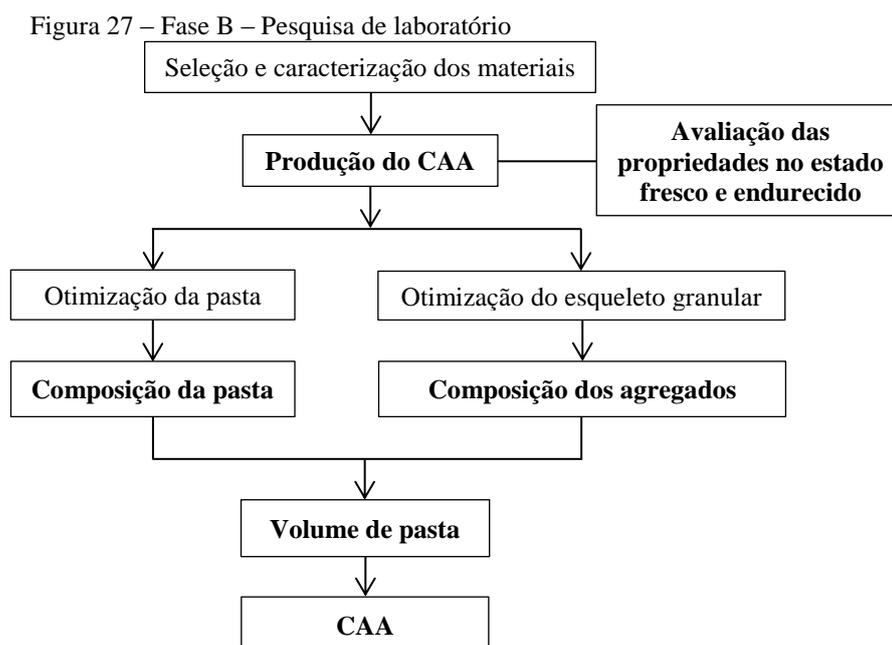
5.1.5 Proposta de melhorias

Toda mudança, por melhor que seja, tende a causar problemas inicialmente, portanto deve-se primeiramente entender o processo de maneira global e depois adotar diferentes ações para que se obtenham resultados satisfatórios.

Baseados nos problemas levantados foram elaboradas sugestões de melhorias, através da substituição da camada de CC para o CAA nos painéis pré-moldados.

6 PRODUÇÃO DO CAA

Na Fase B deste trabalho, conforme apresentada no Quadro 2, foi realizado o desenvolvimento do CAA, de f_{ck} de 25MPa, onde constou da seleção e caracterização dos materiais que foram utilizados na mistura, a dosagem do CAA pelo método de Gomes *et al.* e sua caracterização no estado fresco e endurecido (Figura 27).



Fonte: autora (2013).

6.1 Materiais

Procurou-se primordialmente fazer uso de materiais que são encontrados e distribuídos em Fortaleza/CE e região e tecnicamente viáveis ao uso pela empresa.

6.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi do tipo Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), cujas características são especificadas pela NBR 5733 (ABNT, 1991).

Esse cimento foi escolhido pela sua compatibilidade com os aditivos químicos utilizados; por possuir maior finura, quando comparado com os demais cimentos Portland compostos, podendo melhorar as propriedades do CAA no estado fresco e endurecido,

diminuindo o risco de segregação e exsudação; por favorecer a desmoldagem, podendo ser efetuada após 18 horas com potencial para atingir a resistência à compressão necessária para a desmoldagem dos painéis nas primeiras idades, ou seja, acima de 14,0MPa em 1 dia, conforme a NBR 5733 (ABNT, 1991).

Os ensaios de caracterização do cimento consistem na determinação da composição química, resistência à compressão, massa específica, área superficial específica, expansibilidade, tempos de início e fim de pega e pasta de consistência normal.

6.1.2 Agregados

Todos os ensaios para agregados foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil (DEECC) da UFC e no Laboratório de Materiais e Construção Civil da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

O agregado graúdo selecionado foi uma brita natural, de origem granítica, com dimensão máxima característica (DMC) de 12,5 mm, proveniente da Polimix Agregados, do município de Itaitinga/CE. Os ensaios realizados para caracterização dos agregados graúdos foram:

- a) massa específica e absorção de água, conforme a NBR NM 53 (ABNT, 2009);
- b) massa unitária em estado solto e compactado, conforme a NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- c) material fino passante na peneira 75 μ m, conforme a NBR NM 46 (ABNT, 2003).

O agregado miúdo selecionado foi a areia natural fina, quartzosa, proveniente do município de Barreira/CE. Os ensaios realizados para caracterização dos agregados miúdos foram:

- a) massa específica, conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2009);
- b) massa unitária no estado solto, conforme a NBR NM 45 (ABNT, 2006);
- c) material fino passante na peneira 75 μ m, conforme a NBR NM 46 (ABNT, 2003);
- d) absorção de água, conforme a NBR NM 30 (ABNT, 2001).

A determinação da composição granulométrica dos agregados foi realizada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e classificados conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009).

6.1.3 Aditivos químicos

Os aditivos químicos utilizados foram o aditivo superplastificante à base de éter policarboxilato Glenium 51 e o aditivo modificador de viscosidade RHEOMAC VMA 358, ambos da BASF. A escolha do Glenium 51 se deveu ao fato que, apesar de já ser usado pela empresa, também é utilizado para produção de CAA e a escolha do VMA, para assegurar o controle à viscosidade do CAA, na ausência de finos (BADISCHE ANILIN UND SODA-FABRIK, 2009).

A Tabela 8 abaixo apresenta as principais características desses produtos.

Tabela 8 – Caracterização dos aditivos químicos

Característica	Glenium 51	RHEOMAC VMA 358
pH	5 – 7	9,0 – 10,5
Densidade (g/cm ³)	1,067 – 1,107	0,98 – 1,02
Teor de sólidos (%)	28,5 – 31,5	–
Viscosidade (cps)	< 150	250 – 550

Fonte: BASF (2009).

6.1.4 Água

A água utilizada no estudo de dosagem do CAA e para confecção dos corpos de prova foi água potável, proveniente da rede de abastecimento da cidade de Fortaleza/CE.

6.2 Requisitos de qualidade do CAA

Visando que as estruturas de CAA devem possuir requisitos mínimos de qualidade durante o período de construção e sua utilização, foram definidos parâmetros relativos à durabilidade (relação água/cimento) e à geometria da estrutura (determinação da DMC do agregado graúdo), baseado no projeto estrutural do painel (Anexo A). Assim, foram estabelecidos requisitos prévios que o CAA foi submetido:

- a) f_{ck} de 25MPa;
- b) espaçamento entre barras de aço de 150 mm;

- c) DMC do agregado graúdo de $\emptyset \leq 30,5$ mm.

Baseado na NBR 6118 (ABNT, 2014), considerou-se que a execução dos painéis pode estar localizada em regiões de classe de agressividade ambiental II, ou seja, moderada, com pequeno risco de deterioração dos painéis, devido à possibilidade de execução de obras em ambientes urbanos. Utilizou-se para o c_{\min} e a relação a/c os limites recomendados pela NBR 6118 (ABNT, 2014), ou seja, 25 mm e 0,55, respectivamente.

6.3 Metodologia de dosagem do CAA

A metodologia de dosagem escolhida para o desenvolvimento do CAA deste trabalho foi a proposta por Gomes *et al.*, que considera as três fases descritas a seguir.

Considerando as particularidades envolvidas na produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado, o CAA a ser utilizado deve apresentar os seguintes requisitos no estado fresco, definidos de acordo as recomendações da NBR 15823-1 (ABNT, 2010):

- a) classe de espalhamento SF 2, com valor de espalhamento variando entre 660 mm e 750 mm;
- b) classe de viscosidade plástica aparente VF 2, com tempo de escoamento medido no funil V variando entre 9 a 25 segundos;
- c) classe de habilidade passante PJ 2, com razão de bloqueio medida com o auxílio do anel J variando entre 0 a 25 mm;
- d) classe de habilidade passante PL 2, com razão de bloqueio medida com o auxílio da caixa L igual ou maior que 0,80;
- e) classe de resistência à segregação SR 2, com resistência à segregação menor ou igual a 15% medida na coluna de segregação.

6.3.1 Determinação da composição da pasta

Esta fase abrange a determinação da dosagem do aditivo superplastificante em relação à massa de cimento (sp/c) através de parâmetros que definem pasta com ótimas propriedades para o CAA.

Os aditivos modificadores de viscosidade quando utilizados de forma conjunta com os superplastificantes de última geração, permitem obter misturas estáveis e de grande

fluidez. Devem ser feitos ensaios prévios antes do uso, para verificar a compatibilidade entre aditivos e, em relação ao cimento (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Como discutido no item 6.2, inicialmente foram escolhidas duas relações a/c em função das propriedades desejadas do CAA, 0,45 e 0,55.

O volume de pasta inicial foi definido em função do volume necessário para o desenvolvimento dos ensaios. As dosagens do cimento foram fixadas em função das relações a/c 0,45 e 0,55 e do volume de pasta necessário. Para cada relação a/c, fez-se a variação nas relações superplastificante sólido/cimento, relativos à variação nas relações superplastificante/cimento (sp/c) de 0,1% em 0,1%, com uma adição constante de 0,5% de VMA sobre a massa do cimento (VMA/c).

Para cada relação superplastificante sólido/cimento foi realizado o ensaio do cone de Marsh, realizado similarmente ao ensaio proposto pela NBR 7681-2 (ABNT, 2013), para definição do ponto de saturação do aditivo superplastificante ou teor ótimo do aditivo superplastificante. O ensaio consistiu em colocar, no interior do cone, com abertura de saída de 8 mm de diâmetro, um volume de pasta de 1.000ml e em seguida foi medido o tempo gasto para um volume de 500ml fluir através do orifício inferior do mesmo.

Após a definição do ponto de saturação do aditivo superplastificante para cada relação a/c, foi realizado o ensaio de miniabatimento do tronco de cone (*mini-slump*) em cada pasta. Este ensaio considera o parâmetro de espalhamento da pasta através da média dos diâmetros da pasta espalhada em paralelo ao tempo de espalhamento para esta atingir o diâmetro de 115 mm, fixados em (180 ± 10) mm e (3 ± 1) s, respectivamente.

6.3.2 Determinação da composição do esqueleto granular

Para ser encontrada a composição ideal entre os agregados, a areia e a brita secas foram misturadas manualmente, partindo de uma massa de 25 kg de brita e 0 kg de areia, fazendo variar a relação entre elas. Para cada relação, foram efetuados os ensaios de massa unitária no estado solto, de acordo a NBR NM 45 (ABNT, 2006), com posterior cálculo da massa unitária e índice de volume de vazios. A composição ideal foi a que apresentou maior massa unitária e, conseqüentemente, menor índice de volume de vazios. A massa específica da mistura seca (ρ_{dm}) foi calculada de acordo com a Equação 1:

$$\rho_{dm} = \frac{\rho_s \cdot \frac{s}{a}(\%) + \rho_b \cdot \frac{b}{a}(\%)}{100} \quad (1)$$

Onde ρ_s e ρ_b são as massas específicas secas da areia e da brita, respectivamente, e s/a e b/a são as relações areia/brita e brita/areia em percentagem na mistura.

6.3.3 Determinação do volume de pasta do CAA

Após terem sido determinadas a composição da pasta e do esqueleto granular, é necessário definir a composição do CAA através da determinação do volume mínimo de pasta capaz de envolver e dar à mistura as características reológicas do CAA.

A composição da mistura por m^3 de concreto foi obtida através da Equação 2:

$$V_p + V_a + V_g = 1 \text{ m}^3 \quad (2)$$

Onde V_p é o volume de pasta, V_a é o volume de agregado miúdo e V_g é o volume de agregado graúdo.

A massa de cimento foi determinada para um metro cúbico de concreto a partir da Equação 3:

$$C = \frac{V_p}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{a/c}{\rho_a} + \left(\frac{sp/c}{100}\right) \left(\frac{1}{\rho_{sp}}\right) + \left(\frac{VMA/c}{100}\right) \left(\frac{1}{\rho_{VMA}}\right)} \quad (3)$$

Onde C é a massa de cimento, em kg; V_p é o volume de pasta, em m^3 ; ρ_c é a massa específica do cimento, em kg/m^3 ; a/c é a relação água/cimento; ρ_a é a massa específica da água, em kg/m^3 ; sp/c é o ponto de saturação do aditivo superplastificante, em %; ρ_{sp} é a massa específica do aditivo superplastificante, em kg/m^3 , VMA/c é a relação VMA/cimento e ρ_{VMA} é a massa específica do VMA, em kg/m^3 .

Para o cálculo das quantidades de agregado miúdo e graúdo, foram considerados os valores de umidade obtidos na caracterização dos agregados, assim estas quantidades foram determinadas a partir das Equações 4 e 5, respectivamente.

$$m_{arc} = m_{ar} \cdot \left(1 + \frac{h_{ar}}{100}\right) \quad (4)$$

$$m_{brc} = m_{br} \cdot \left(1 + \frac{h_{br}}{100}\right) \quad (5)$$

Onde m_{arc} é a massa de areia corrigida, em kg; m_{ar} é a massa de areia, em kg; h_{ar} é a umidade da areia, em %; m_{brc} é a massa de brita corrigida, em kg; m_{br} é a massa de brita, em kg.

Para o cálculo da quantidade de água de amassamento que foi adicionada, por m^3 de concreto, também foram considerados os valores de umidade obtidos na caracterização dos agregados, assim estas quantidades foram determinadas a partir da Equação 6.

$$m_{ac} = a/c \cdot C - m_{asp} + \frac{m_{ar}(A_{ar} - H_{ar})}{100} + \frac{m_{br}(A_{br} - H_{br})}{100} \quad (6)$$

Onde a/c é a relação água/cimento; C é a massa de cimento, em kg; m_{asp} é a massa de água no aditivo superplastificante, em kg; m_{ar} é a massa de areia, em kg; A_{ar} é a absorção da areia, em %; h_{ar} é a umidade da areia, em %; m_{br} é a massa de brita, em kg; A_{br} é a absorção da brita, em %; h_{br} é a umidade da brita, em %.

Na Equação 6, a segunda parcela considerou o teor de água presente no aditivo superplastificante, enquanto as duas últimas parcelas contemplaram a quantidade de água a ser adicionada para a saturação dos agregados (considerando que eles estejam secos) e a umidade dos agregados no momento de sua adição à mistura do CAA.

6.4 Produção do CAA

Para a produção da mistura de CAA foi utilizada uma betoneira convencional, pivotante, com capacidade de mistura de 120 litros, tendo o tambor uma velocidade de rotação de 15 rpm (frequência de 30 Hz) (Figura 28). A sequência de adição e o tempo de mistura basearam-se na recomendação de Gomes (2002). O tempo total de mistura é de 4 1/2 minutos, que são necessários para assegurar uma mistura homogênea (GOMES, 2002). A mistura foi realizada conforme a sequência a seguir:

- a) imprimação da betoneira com um volume de aproximadamente 10% do material;
- b) adição do agregado graúdo com 50% da água da mistura e mistura por 1 minuto;
- c) adição do cimento Portland e mistura por 30 s;
- d) adição do restante da água, retirando o equivalente a um copo e adição do agregado miúdo e mistura por 30 s;

- e) adição do aditivo superplastificante, lavando o recipiente com parte da água do copo e mistura por 2 minutos;
- f) adição do aditivo VMA, lavando o recipiente com restante da água do copo e mistura por 30 s.

Figura 28 – Betoneira utilizada para a produção da mistura



Fonte: autora (2014).

6.4.1 Determinação das propriedades do CAA no estado fresco

Após o término da produção da mistura, o concreto foi submetido aos seguintes ensaios para determinação da autoadensabilidade e de propriedade física no estado fresco:

- a) espalhamento, conforme a NBR 15823-2 (ABNT, 2010);
- b) habilidade passante pela caixa L, conforme a NBR 15823-4 (ABNT, 2010);
- c) viscosidade plástica aparente pelo funil V, conforme a NBR 15823-5 (ABNT, 2010);
- d) resistência à segregação, conforme a NBR 15823-6 (ABNT, 2010);
- e) massa específica, conforme a NBR 9833 (ABNT, 2008).

6.5 Determinação das propriedades físico-mecânicas do CAA

Para a caracterização físico-mecânica foram moldados, sem adensamento mecânico (Figura 29-A):

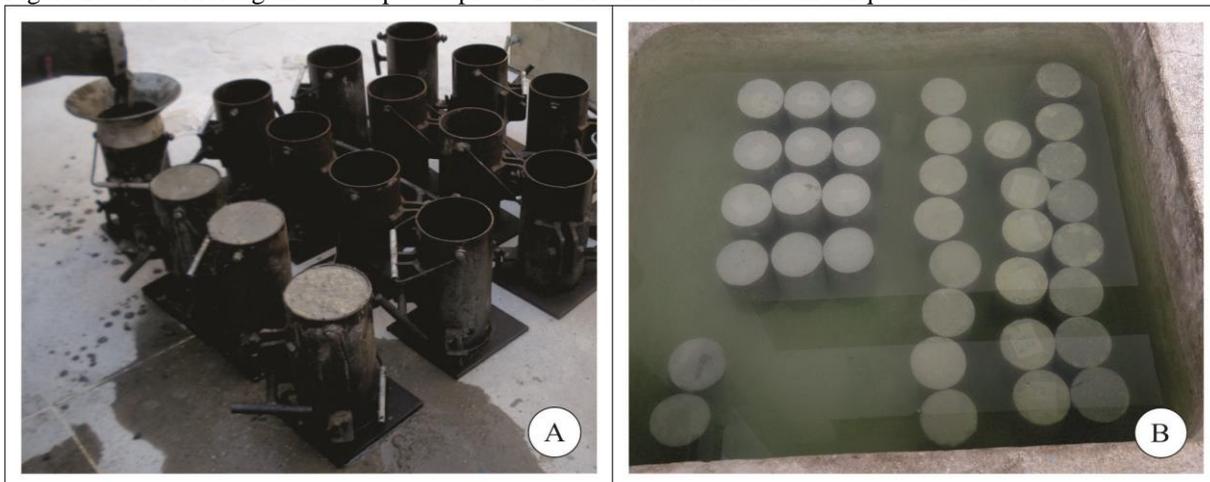
- a) 16 corpos de prova cilíndricos com dimensões de (100 x 200) mm, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2003), para realização dos ensaios de resistência à

compressão axial nas idades 1, 3, 7 e 28 dias, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007);

- b) quatro corpos de prova cilíndricos com dimensões de (100 x 200) mm, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2003), para a realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral nas idades 7 e 28 dias, conforme a NBR 7222 (ABNT, 2007);
- c) seis corpos de prova prismáticos com dimensões de (150 x 150 x 500) mm, para a realização do ensaio de resistência à tração na flexão nas idades 7 e 28 dias, conforme a NBR 12142 (ABNT, 2010).

A cura do concreto foi realizada até as datas dos ensaios, sob a forma imersa em solução saturada de hidróxido de cálcio (Figura 29-B).

Figura 29 – A – Moldagem dos corpos de prova. B – Acondicionamento em tanque de cura



Fonte: autora (2014).

6.6 Apresentação e análise dos resultados

A escolha da metodologia de dosagem de Gomes *et al.* para dosagem do CAA mostrou-se eficiente, desde que alguns parâmetros sejam controlados, principalmente as condições do material e as condições de temperatura nos dias da confecção dos concretos.

6.6.1 Caracterização dos materiais

6.6.1.1 Cimento

Os resultados da caracterização química e físico-químico do cimento CP V-ARI RS são apresentados no Anexo B, fornecidos pelo fabricante.

6.6.1.2 Agregados

Apresentam-se na Tabela 9 os resultados dos ensaios realizados para composição granulométrica dos agregados graúdo e miúdo.

O agregado graúdo escolhido para a produção do CAA também foi avaliado visualmente quanto à forma.

A brita apresentou uma dimensão máxima característica de 12,5 mm e o módulo de finura igual a 6,23.

A dimensão máxima característica dos grãos da areia resultou em 1,18 mm e o módulo de finura em 1,64. O agregado foi classificado, por consequência, como areia fina.

Tabela 9 – Composição granulométrica e classificação dos agregados graúdo e miúdo

Abertura de malha da peneira (mm)	Brita		Areia	
	% Retida	% Retida acumulada	% Retida	% Retida acumulada
19	0	0	0	0
12,5	0	0	0	0
9,5	26	26	0	0
6,3	55	81	0	0
4,75	16	97	0	0
2,36	3	100	0	0
1,18	0	100	1	1
0,6	0	100	7	8
0,3	0	100	53	61
0,15	0	100	33	94
Fundo	0	100	6	100
DMC (mm)		12,5		1,18
Módulo de finura		6,23		1,64

Fonte: autora (2013).

A Tabela 10 apresenta os resultados de massa específica, massa unitária, teor de material pulverulento e absorção de água dos agregados graúdo e miúdo.

Tabela 10 – Caracterização dos agregados graúdo e miúdo

Índice físico	Brita 12,5 mm	Areia fina
Massa específica (g/cm ³)	2,65	2,63
Massa unitária no estado solto (kg/m ³)	1.307	1.327

Massa unitária no estado compactado (kg/m ³)	1.383	-
Material fino passante na peneira 75µm (%)	0,3	1,1
Absorção de água (%)	1,1	0,6

Fonte: autora (2013).

Observa-se na Tabela 10 que as massas específicas dos agregados utilizados apresentaram valores próximos dos encontrados normalmente na literatura.

Os valores de 0,3% e 1,1% para a brita e a areia fina não ultrapassaram os limites máximos em porcentagem de massa de materiais pulverulentos nos agregados, permitidos pela NBR NM 46 (ABNT, 2003), que são 1% e 3%, respectivamente. Assim, essa areia tornou-se benéfica para a produção do CAA, pois promoveu melhorias na viscosidade e coesão da mistura.

6.6.2 *Dosagem do CAA*

6.6.2.1 Determinação da composição da pasta

Através dos ensaios utilizando o cone de Marsh (Figura 30), foram obtidos os pontos de saturação do aditivo superplastificante para as relações a/c 0,45 e 0,55, respectivamente.

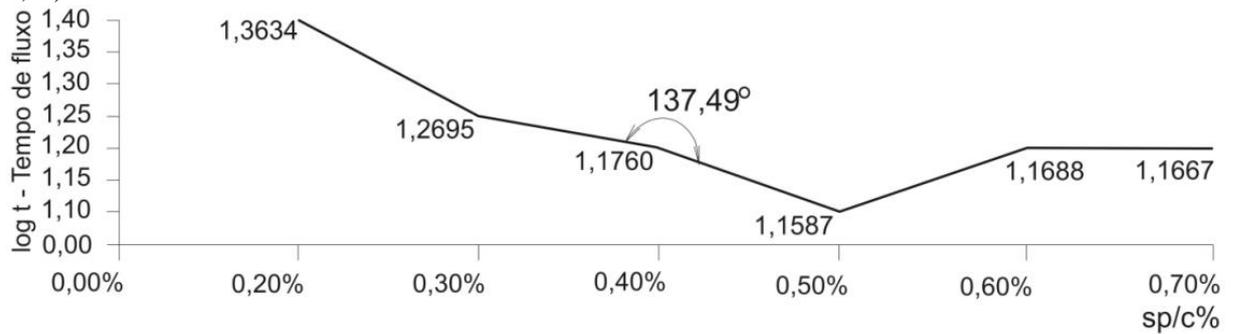
As Figuras 31 e 32 mostram as curvas obtidas para a relação a/c 0,45 e 0,55, respectivamente, onde se observa a redução no tempo de escoamento das pastas em função do aumento do teor de aditivo superplastificante. Nelas identifica-se o ponto de saturação do aditivo superplastificante, definido pelo ângulo interno de $140^\circ \pm 10^\circ$ na curva.

Figura 30 – Ensaio do cone de Marsh



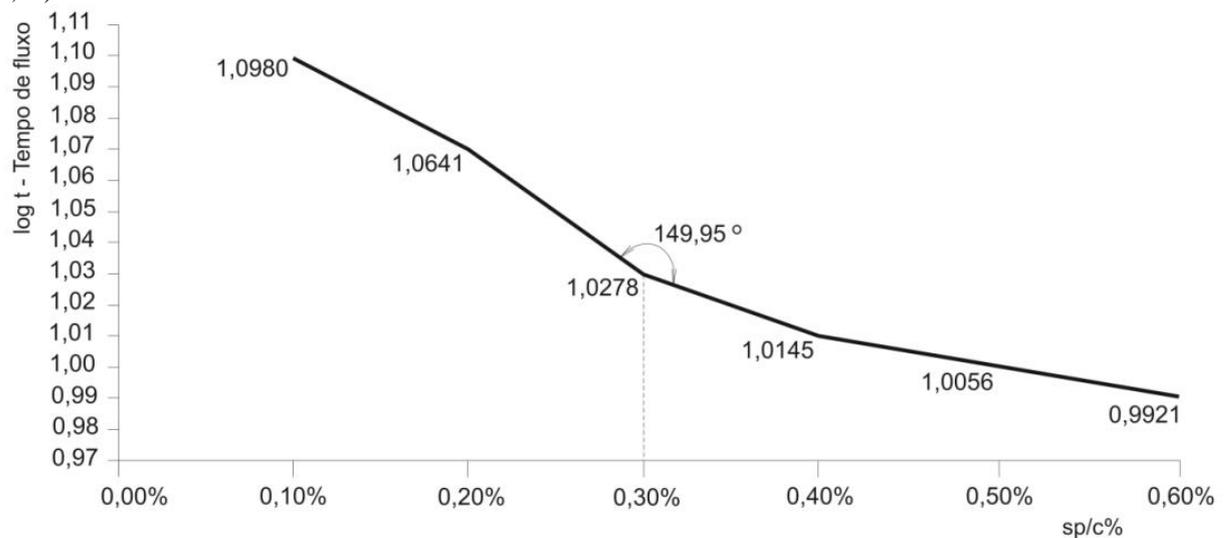
Fonte: autora (2013).

Figura 31 – Determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante para composição de pasta (a/c 0,45)



Fonte: autora (2013).

Figura 32 – Determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante para composição de pasta (a/c 0,55)



Fonte: autora (2013).

Para a pasta com relação a/c 0,45, o ponto de saturação encontrado foi de 0,40% e para a pasta com relação a/c 0,55, o ponto de saturação encontrado foi de 0,30%, cujos resultados apresentaram melhores características quanto aos parâmetros de viscosidade e fluidez estabelecidos para as misturas. A partir desses valores, o tempo de escoamento da pasta passou a ser constante, indicando que o acréscimo de aditivo superplastificante não provocou nenhuma alteração significativa na fluidez das pastas.

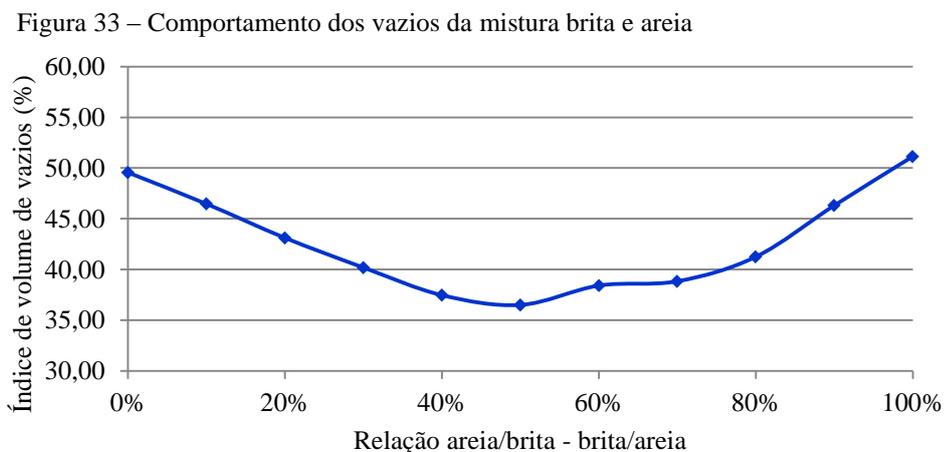
No ensaio de miniabatimento do tronco de cone (*mini-slump*), os diâmetros médios alcançados para as relações a/c 0,45 e 0,55 foram 194 mm e 182 mm, respectivamente. Constatou-se então, que a relação a/c 0,55 é aceitável.

Pastas com estas características, obtidas a partir dos ensaios do cone de Marsh e o de miniabatimento, resultam em misturas de CAA com alta fluidez, sem segregação e com uma moderada coesão (GOMES; BARROS, 2009).

6.6.2.2 Determinação do esqueleto granular

A composição do esqueleto granular constitui na determinação do melhor empacotamento granular entre as partículas de agregados que compõem a mistura de CAA, com obtenção do menor índice de volume de vazios, que leva ao mínimo volume de pasta, porosidade e retração, para assegurar viscosidade e fluidez (GOMES; BARROS, 2009).

O comportamento dos vazios da mistura à medida que a proporção entre a brita e a areia secas era modificada está apresentado na Figura 33.



Fonte: autora (2013).

De acordo com a Figura 33, verifica-se que o menor índice de volume de vazios obtido para a mistura foi igual a 36,51%, indicando que a composição ideal do esqueleto granular, adotada para a produção da mistura de CAA foi de 50% de brita e 50% de areia.

6.6.2.3 Determinação do volume de pasta do CAA

O volume de pasta é teoricamente determinado para preencher o volume de vazios entre os agregados e assegurar a distância de separação entre as partículas dos agregados. O concreto que apresentar o menor volume de pasta será a mistura ideal. Para isso, a correta escolha dos componentes e suas proporções na mistura são fundamentais. Gomes (2002) sugere, então, um volume de pasta entre 35% e 40% do volume de concreto.

O teor de pasta adequado foi aquele que proporcionou ao concreto os requisitos de autoadensabilidade, em que a fluidez foi avaliada através dos ensaios citados no item 6.3.

Com o objetivo de trabalhar com o menor volume de pasta possível, para reduzir os custos do concreto, decidiu-se utilizar um teor de 40%.

6.6.3 Produção do CAA e determinação das propriedades no estado fresco

O estudo de dosagem iniciou-se com a produção da mistura de concreto com classe de resistência de 25MPa, ponto de saturação do aditivo superplastificante de 0,3% e um teor de pasta de 40%.

Verificou-se que esta mistura apresentou espalhamento de 470 mm de diâmetro (Figura 34), não apresentando fluidez que atende à NBR 15823-2 (ABNT, 2010).

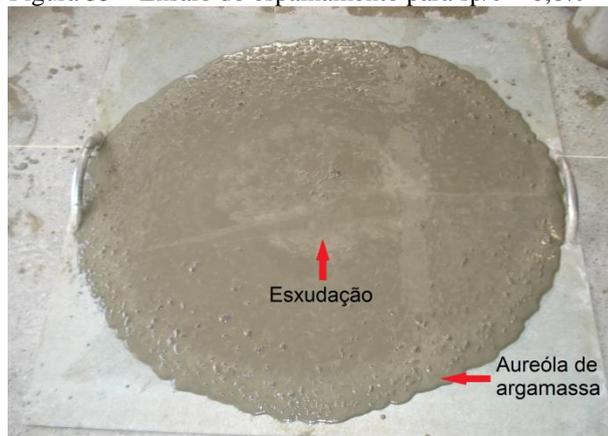
Figura 34 – Ensaio do espalhamento para $sp/c = 0,3\%$



Fonte: autora (2013).

Prosseguindo, fez-se os testes com aumento do sp/c para 0,4% , 0,5% e 0,6%, com o mesmo teor de pasta de 40%. Para o sp/c igual a 0,4% foi verificada a mesma situação anterior e para o sp/c igual a 0,6%, constatou-se, conforme ilustra a Figura 35, alta fluidez, visivelmente a existência de segregação, onde o agregado se espalhou heterogeneamente sobre a placa, formando uma auréola de argamassa nas extremidades e uma perceptível exsudação.

Figura 35 – Ensaio do espalhamento para sp/c = 0,6%



Fonte: autora (2013).

Para os teores de sp/c avaliados, o sp/c que se mostrou mais adequado para a produção do CAA foi de 0,5%. Através de uma análise visual, verificou-se que o agregado gráudo estava homogeneamente distribuído na mistura, acompanhando a movimentação da argamassa até a extremidade do círculo formado pelo CAA. A mistura apresentou um espalhamento adequado, sem segregação e exsudação (Figura 36).

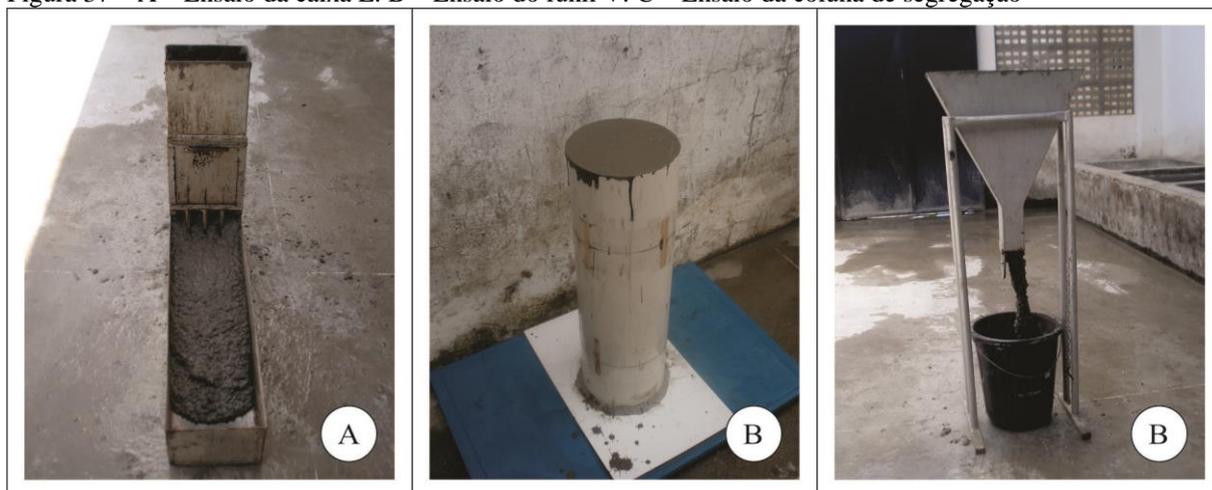
Figura 36 – CAA, com classe de resistência de 25MPa, produzido com teor de pasta de 40% e sp/c de 0,5%



Fonte: autora (2014).

Quanto aos ensaios de avaliação da habilidade passante da caixa L, da viscosidade plástica aparente com o funil V, e da resistência à segregação, ilustrados na Figura 37, a mistura apresentou resultados satisfatórios.

Figura 37 – A – Ensaio da caixa L. B – Ensaio do funil V. C – Ensaio da coluna de segregação



Fonte: autora (2014).

Assim, o concreto com classe de resistência de 25MPa foi produzido com relação a/c 0,55, teor de pasta de 40% e sp/c igual a 0,5%, cujas propriedades no estado fresco atenderam às especificações da NBR 15823-1 (ABNT, 2010), que estabelece requisitos para que o concreto seja classificado como autoadensável, e são apresentadas na Tabela 11 e a seguir, a Tabela 12 apresenta a composição final obtida para o CAA.

Na produção do CAA, para melhor aproveitamento dos materiais, buscou-se ajustar o traço, produzindo 20 litros de concreto. Com a composição já definida, o traço foi repetido com um maior volume de 50 litros.

Verificou-se que no estado fresco o CAA apresentou características satisfatórias para sua utilização em estruturas pré-moldadas, contendo boa homogeneidade, coesão, estabilidade e trabalhabilidade.

Tabela 11 – Resultados dos ensaios realizados no CAA no estado fresco

Parâmetro	Método	Determinação	Classe	Limite NBR 15823-1
Espalhamento	Cone de Abrams	730 mm	SF 2	(660 a 750) mm
Habilidade passante	Caixa L	0,80	PL 2	≥ 0,80
Viscosidade plástica aparente	Funil V	11	VF 2	(9 a 25) s
Resistência à segregação	Coluna de	12,5%	SR 2	≤ 15%

segregação

Fonte: autora (2014).

Tabela 12 – Consumo de materiais, em kg/m³, de CAA

Material	Consumo (kg/m ³)
Cimento	454
Areia fina	792
Brita	795
Água	259
Aditivo superplastificante	2,27
VMA	2,0

Fonte: autora (2014).

Observa-se na Tabela 11, que o espalhamento obtido, 730 mm, foi inferior ao limite para fluidez especificado na NBR 15823-1 (ABNT, 2010), a classe SF 2 (660 a 750 mm).

Com relação ao parâmetro viscosidade plástica aparente, o CAA apresentou escoamento de 11 s (Tabela 11), que, conforme a NBR 15823-1 (ABNT, 2010), atendeu a classe VF 2 (9 a 25 s), acarretando menor pressão sobre as formas e melhor resistência à segregação. Normalmente fluidez e viscosidade estão associadas no CAA. De forma que, quanto maior a fluidez mais fácil obtém-se uma viscosidade mais baixa. O uso do VMA contribuiu para aumentar a coesão da mistura, devido à falta de finos, aumentar o escoamento e a viscosidade (FEYS *et al.*, 2010), fazendo com que os resultados aproximassem do limite máximo de fluidez, da classe SF 2 (730 mm) e mínimo de viscosidade, da classe VF 2 (11 s).

Portanto, o CAA enquadra-se na maioria das aplicações correntes, podendo ser usado em painéis pré-moldados com blocos cerâmicos.

Outra vantagem que o uso do VMA apresentou foi a de permanecer com a relação a/c da mistura constante, não necessitando de aumento de água.

Na verificação do parâmetro habilidade passante, o ensaio da caixa L apresentou resultado de 0,80 (Tabela 11), que, conforme a NBR 15823-1 (ABNT, 2010), atendeu a classe PL 2 ($\geq 0,80$, com três barras), suficiente para indicar que o CAA apresentou boa capacidade de passagem.

No CAA de alta fluidez e baixa viscosidade é importante determinar a resistência à segregação, por apresentar maior risco à segregação. No caso, a quantificação da resistência à segregação apresentou percentual de 12,5% (Tabela 11), que, conforme a NBR 15823-1 (ABNT, 2010), atendeu a classe SR 2 ($\leq 15\%$), validando a necessidade de se utilizar o CAA

em um espalhamento maior que 5 m para elementos estruturais com espaçamentos de armadura maior do que 80 mm.

Observa-se na Tabela 12, que o consumo de cimento no traço unitário em massa do CAA desenvolvido foi alto, na ordem de 454 kg/m^3 , mas situou-se na faixa indicada por Gomes e Barros (2009), em que varia em torno de 200 a 450 kg/m^3 .

O traço de CAA com cimento Portland ARI-V, classe de espalhamento SF 2 sem adição, acabou por gerar um adicional de pasta de cimento para manter as características de autoadensabilidade, tornando-se, conforme validado o encontrado na literatura técnica, menos econômico.

A seguir, o CAA produzido foi submetido ao ensaio para determinação da massa específica no estado fresco, que apresentou 2.186 kg/m^3 como resultado.

6.6.4 Determinação das propriedades físico-mecânicas do CAA

A seguir são apresentadas na Tabela 13, as médias dos resultados dos ensaios físico-mecânicos do CAA no estado endurecido.

Tabela 13 – Resultados de ensaios físico-mecânicos

Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)
1	11,9	x	x
3	19,5	x	x
7	27,7	2,79	6,01
28	40,3	2,89	7,06

Fonte: autora (2014).

x: ensaio não realizado.

Quatro amostras de CAA foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão nas idades 1, 3, 7 e 28 dias, respectivamente. O resultado obtido aos 28 dias apresentou uma resistência superior à especificação de 25MPa, afirmando segundo Tutikian, Dal Molin e Cremonini (2006), que o CAA com VMA alcança resistências à compressão superiores às dos CAA sem VMA, para o mesmo traço. Porém, na idade de 1 dia apresentou resultado acima de 7MPa, especificado inicialmente como resistência mínima para desmoldagem dos painéis.

Os aditivos modificadores de viscosidade conduzem a mudança no desenvolvimento da resistência à compressão do CAA. Os concretos nas idades menores apresentam um pequeno decréscimo de resistência, devido o retardo da hidratação do

cimento, pois parte da água disponível na mistura fica retida no aditivo (KRAUS, 2006 *apud* FERRAZ, 2009).

Os resultados dos ensaios de resistência à tração diametral por compressão diametral aos 7 e 28 dias apresentaram valores satisfatórios, ou seja, de aproximadamente 10% dos valores dos ensaios de resistência à compressão.

7 PESQUISA DE CAMPO

Este capítulo aborda os dois tipos de pesquisa de campo, a exploratória, que trata da coleta de dados e sua validação e a experimental, que abrange a produção dos painéis.

Ao se adotar a inovação tecnológica do uso do CAA em painéis pré-moldados, é necessário que sejam realizados ensaios, seguindo metodologias para análise do comportamento do elemento pré-moldado diante de um material.

Para o melhor entendimento do processo de produção e comportamento destes painéis diante o CAA, foram realizados o estudo da organização da central de pré-moldados e o controle tecnológico do CAA.

Para representação do ensaio de aplicação do CAA foi utilizado o painel de dimensão (3650 x 1800) mm.

Esta fase do trabalho realizou-se em um empreendimento direcionado à construção habitacional em Fortaleza/CE e consistiu na construção de fechamento vertical em painéis pré-moldados, perfazendo uma área total construída de 3.813,16 m².

As etapas para confecção dos painéis foram as seguintes: preparação das formas, montagem da armação, concretagem, cura e desmoldagem.

7.1 Coleta de dados

A coleta de dados foi feita pela pesquisadora e contou com o auxílio de dois estudantes de graduação bolsistas do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e um auxiliar técnico em edificações. Toda a coleta ocorreu na central de pré-moldados com visitas diárias durante aproximadamente dois meses, equivalendo a 48 dias úteis.

A primeira visita técnica feita pela pesquisadora ao escritório da empresa serviu para apresentação formal dos interessados. Foi exposto o objetivo principal da pesquisa e identificado o interesse de participação da empresa.

A segunda visita foi feita à obra, onde primeiramente abrangeu o conhecimento e estudo do projeto de implantação da central de pré-moldados e planilhas de controle da produção diária e a seguir, obteve-se uma visão geral de como ocorria o fluxo de atividades da produção dos painéis, inserida na central de pré-moldados, e após, as pistas de produção dos painéis.

Durante a coleta de dados foram observadas 19 atividades de produção, com medições de tempo de duração feitas para cada uma delas, com cronômetros digitais e registradas em uma planilha elaborada pela pesquisadora, apresentada no Apêndice A. Ressalta-se que as medições de tempo foram feitas considerando o início e final da atividade em si, não considerando tempos de percursos. Considerou também o consumo médio de materiais que podem sofrer variações de quantificação durante a execução, como o número de espaçadores plásticos e blocos cerâmicos.

A Tabela 14 apresenta o total de painéis produzidos e observados com CC na obra, com suas respectivas dimensões.

Tabela 14 – Total de painéis produzidos na obra

Dimensão do painel (mm)	Total de painéis produzidos	Total de painéis observados
6000 x 1800	343	58
3650 x 1800	8	5
3440 x 1800	1	0
2750 x 1800	1	1
2600 x 1800	1	1
2620 x 1800	1	0
Total	355	65

Fonte: autora (2014).

Observa-se na Tabela 14, que do total de 343 painéis produzidos com dimensão (6000 x 1800) mm, 16,9% deste total foi observado, e do total de 8 painéis produzidos com dimensão (3650 x 1800) mm, 62,5% deste total foi observado. Assim, optou-se em considerar os dados de coleta de dados para esses dois tipos de painéis.

Os Apêndices B, C e D constam os resultados relativos às atividades de produção com uso do CC e do CAA, respectivamente.

Os painéis foram dimensionados em função de pré-requisitos dos proprietários do empreendimento e logística do canteiro, com atendimento à NBR 9162 (ABNT, 2006).

Foi criada uma central de pré-moldados próxima ao canteiro de obras, que ocupava uma área de 1.847,00 m², com duas pistas com capacidade máxima de produção de oito painéis de dimensão (6000 x 1800) mm por pista (Apêndice E), onde cada uma possuía uma equipe, com três operários cada. A disposição dessas pistas baseou-se no processo executivo de içamento e montagem, resultando em pistas paralelas à direção de entrada e saída do transporte (Apêndices F e G). Foi possível otimizar o uso de formas disponíveis e seus reusos, sendo possível assim, atender uma meta interna da empresa, em que para uma

produção variando entre 12 a 14 painéis/dia, por equipe, os operários obtinham acréscimo de remuneração. Dessa forma, foi capaz de concentrar a mão de obra em apenas uma área facilitando a otimização do processo e produtividade da equipe.

As pistas não possuíam função estrutural, para tanto não houve necessidade de projeto específico. A espessura das pistas era de 10 cm e o CC utilizado para fabricação foi de f_{ck} igual a 30MPa.

7.1.1 Produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e CC

Primeiramente a pista passava por limpeza com vassoura (Figura 38-A) e, quando necessário, limpeza com espátula (Figura 38-B) e, após, sobre elas, as formas eram delimitadas por perfis metálicos (Figura 38-C), devidamente fixados entre si. Os perfis e a base da pista recebiam desmoldante à base de óleos minerais e, após eram dispostos os espaçadores plásticos multiapoio “centopéia” com altura de 25 mm (Figura 38-D).

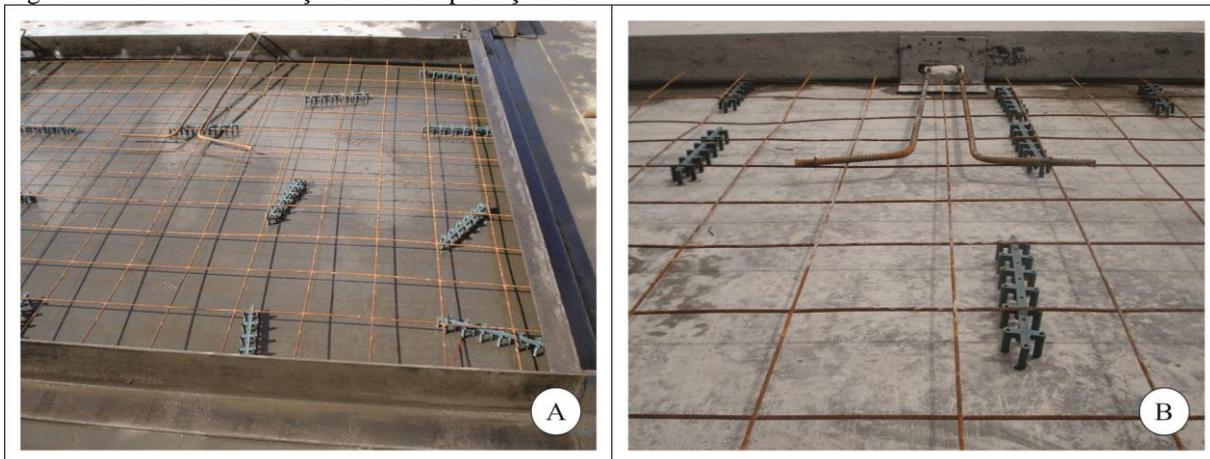
Figura 38 – Limpeza da pista, montagem da forma e aplicação de desmoldante



Fonte: autora (2014).

A montagem da armadura era padronizada, baseada no projeto estrutural para o painel (Apêndice G), em que era disposta sobre os espaçadores plásticos, a armadura em tela de aço soldada Q 61 com malha de (15 x 15) cm e fios de aço CA-60 nervurado com diâmetro de 3,4 mm (Figura 39-A) e os insertes metálicos de barra de aço 10 mm, cuja finalidade era atender às solicitações que ocorrem quando do içamento do painel (Figura 39-B).

Figura 39 – A – Malha de aço. B – Ferro para içamento



Fonte: autora (2014).

O CC especificado para os painéis deveria ter f_{ck} de 25MPa. Por meio da pá carregadeira e a autobetoneira²⁴, o CC era lançado no painel, e imediatamente feito o espalhamento através de pás (Figura 40-A), o qual era adensado com auxílio de vibrador (Figura 40-B), de modo a obter-se uma camada com 37 mm de espessura.

Figura 40 – A – Espalhamento do CC. B – Adensamento do CC



Fonte: autora (2014).

²⁴ Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006) a mistura do concreto pode ser executada em caminhão-betoneira.

O transporte do CC feito pela autobetoneira atendeu à NBR 7212 (ABNT, 2012). O tempo médio de transporte do CC, obtido através de sete medidas, decorrido entre o início da mistura, a partir do momento da primeira adição da água, até o lançamento foi de 24 minutos e 26 segundos, sendo, portanto, inferior a 90 min. Observou-se também que, desde que visualmente, este tempo permitia que o fim do adensamento do CC não ocorria após o início da pega do CC.

Após a regularização da camada de CC, eram dispostos os blocos cerâmicos de vedação (Figura 41-A), previamente umedecidos, distanciados entre si em 15 mm, de acordo projeto apresentado no Apêndice H. A seguir fazia-se o adensamento do CC na região que situava o ferro de içamento (Figura 41-B). Logo após, a pesquisadora colhia o CC que vazava pelas frestas laterais das formas e era realizada a medição em massa dessas quantidades.

Figura 41 – A – Colocação de blocos cerâmicos. B – Adensamento do CC



Fonte: autora (2014).

Em seguida os blocos cerâmicos eram recobertos com uma camada de 15 mm de argamassa, composta de cimento e areia grossa peneirada, por meio da pá carregadeira (Figura 42-A) e a autobetoneira (Figura 42-B), e imediatamente feito o espalhamento através de pás (Figura 43-A). O adensamento da argamassa era feito por régua vibratória (Figura 43-B), e a regularização e o acabamento da face superior do painel eram executados por meio de régua metálica (Figura 43-C).

Figura 42 – Lançamento de argamassa. A – Pá carregadeira. B – Autobetoneira



Fonte: autora (2014).

Figura 43 – Argamassa. A – Espalhamento. B – Adensamento. C – Acabamento



Fonte: autora (2014).

Após o acabamento da camada de argamassa, os painéis eram cobertos com lona plástica (Figura 44), de modo a evitar a perda de água durante o processo de cura.

Figura 44 – Cobrimento do painel com lona



Fonte: autora (2014).

A desmoldagem ocorria 1 a 2 horas após a concretagem. Após 24 horas os painéis eram içados e transportados por caminhão munck até o local de aguardar a montagem, onde eram dispostos em suportes metálicos na ordem em que seriam utilizados, ou para o local definitivo no canteiro de obras (Figura 45).

Figura 45 – Içamento e transporte de painel



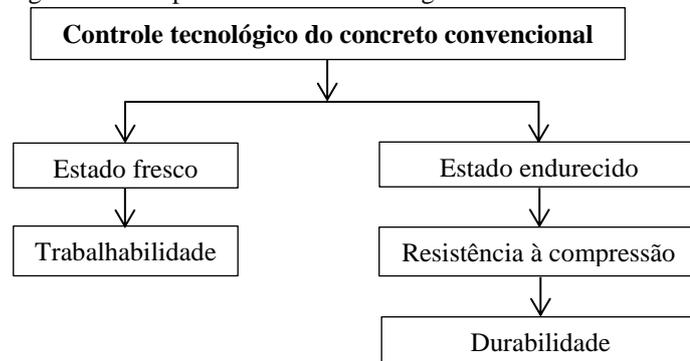
Fonte: autora (2014).

7.1.1.1 Controle tecnológico do concreto convencional

O controle tecnológico do CC abrangeu as operações e verificações que, em conjunto, garantiram a qualidade e aceitação do mesmo, conforme a NBR 12655 (ABNT, 2006).

O método de controle tecnológico foi baseado como ilustrado na Figura 46.

Figura 46 – Etapas do controle tecnológico



Fonte: autora (2014).

A produção geral dos painéis pré-moldados era feita com um total de nove operários, sendo um encarregado de produção, seis na pista e dois operadores de betoneira.

A central de pré-moldados era composta de baias para armazenamento dos agregados graúdo e miúdo e o cimento utilizado era o CP II-Z 32 RS, estocado em um depósito e em área livre devidamente coberto por lona, indicados no Apêndice E.

O agregado graúdo utilizado na produção do CC foi uma brita natural, de origem granítica, com DMC de 19 mm, proveniente da Pedreira Itatiba, do município de Caucaia/CE. O agregado miúdo utilizado foi a areia natural grossa, quartzosa, proveniente do município de Ocara/CE.

Todos os ensaios para caracterização dos agregados foram realizados no LMCC-DEECC da UFC.

A determinação da composição granulométrica dos agregados utilizados na central de pré-moldados foi realizada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e classificados conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), cujos dados estão na Tabela 15.

Tabela 15 – Caracterização dos agregados graúdo e miúdo

Determinação	Brita	Areia
Diâmetro máximo característico (mm)	19	4,75
Módulo de finura	6,82	3,02
Massa específica (g/cm ³)	2,67	2,62
Massa unitária no estado solto (kg/m ³)	1.246	1.503
Massa unitária no estado compactado (kg/m ³)	1.374	-
Material fino passante na peneira 75µm (%)	0,5	1,3
Absorção de água (%)	0,5	0,6

Fonte: autora (2014).

O aditivo químico utilizado foi o aditivo superplastificante à base de éter policarboxilato Glenium 51 da BASF, cujas especificações estão no item 6.1.3.

A verificação da umidade da areia era feita conforme a NBR 9775 (ABNT, 2012) no início e após o período do almoço dos dias em que ocorria o ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme ilustrado na Figura 47.

Figura 47 – Ensaio do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman



Fonte: autora (2014).

O CC era produzido em duas betoneiras de capacidade de 360 l cada, simultaneamente, para atender o traço previamente estabelecido pela empresa. Os agregados eram dosados com a utilização de padiolas e a água utilizada na constituição do CC era dosada com a utilização de baldes plásticos, todos medidos em volume. A água era acrescentada visualmente até que atingia a consistência com abatimento de 90 mm. A sequência de colocação dos materiais nas betoneiras era a seguinte:

- a) 100 % da água de amassamento;
- b) 100 % do aditivo superplastificante;
- c) 100 % do agregado graúdo;
- d) 100 % do agregado miúdo;
- e) 100 % do cimento.

O acompanhamento do controle tecnológico do CC foi realizado semanalmente pela pesquisadora, em algumas vezes na primeira amassada do dia e em outras vezes logo após o período para almoço.

Antes do lançamento, o CC era coletado conforme a NBR NM 33 (ABNT, 1998) e determinada a consistência para trabalhabilidade em seu estado fresco, pelo ensaio do abatimento do tronco de cone, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998) para verificar se o CC correspondia ao abatimento (A) de 90 mm, em atendimento a dados solicitados pela empresa, conforme ilustrado na Figura 48-A.

A mistura do CC apresentou conformidade com a NBR 8953 (ABNT, 2009), com classe de consistência S50, ou seja, $50 \leq A < 100$ e após a verificação da consistência do CC foi feito a aceitação definitiva, considerando atendimento a todos os requisitos especificados para o CC, conforme a NBR 12655 (ABNT, 2006).

Figura 48 – A – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. B – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: autora (2014).

Algumas semanas de visitas técnicas aconteceram em período de chuva, causando variações consideráveis na umidade da areia e, conseqüentemente influenciando no desempenho do traço da mistura de CC, causando produção de CC com valores de A de 200 mm, 210 mm e 225 mm (Figura 49), o qual necessitou de verificação experimental do consumo de água, e posterior ajuste, para após verificar a consistência do CC e posterior aceitação definitiva.

Figura 49 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone



Fonte: autora (2014).

Considerando que o CC era produzido na central de pré-moldados, com betoneiras de pequeno volume, 360 l, e que não havia alteração de materiais, de equipamentos, da forma de dosagem e alimentação das betoneiras, os lotes foram definidos em função do volume de CC produzido simultaneamente pelas duas betoneiras ou pela autobetoneira, aplicado em dois painéis de dimensão (6000 x 1800) mm, ou seja, 7,99 m³. Dessa forma, foi usado para o controle da resistência à compressão do CC o tipo casos excepcionais, com amostra de 3 exemplares, atendendo a NBR 12655 (ABNT, 2006).

O f_{ck} foi calculado de acordo com a Equação 7.

$$f_{ckest} = \Psi_6 \times f_1 \quad (7)$$

Onde f_{ckest} é a resistência característica à compressão estimada; Ψ_6 é um valor adotado em função da condição de preparo do CC e do número de exemplares da amostra e f_1 é a resistência do exemplar.

Assim, foram moldados os corpos de prova necessários para verificação da resistência à compressão do CC, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2003), sendo 12 corpos de

prova para as duas betoneiras ou para a autobetoneira, do turno do dia da realização do ensaio, com seis corpos de prova rompidos a 24 horas e seis corpos de prova rompidos aos 28 dias.

Os corpos de prova eram desmoldados, identificados e em seguida colocados em recipiente plástico com água à espera do transporte até o LMCC. Os seis corpos de prova a serem rompidos aos 28 dias, eram colocados em tanque de cura para prosseguir o processo de cura dos mesmos até sua data de rompimento, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Todos os ensaios foram realizados no LMCC-DEECC da UFC.

7.2 Produção e controle tecnológico do CAA

Os materiais utilizados na produção do CAA foram os mesmos descritos no item 6.1.2. Os agregados graúdo e miúdo foram estocados ao lado das baias utilizadas para estocagem dos agregados para a produção do CC. O cimento foi estocado em depósito, indicado no Apêndice E.

O CAA foi produzido diretamente na central de pré-moldados em uma betoneira, de capacidade de 360 l, devido ao volume de concreto ser menor em relação ao utilizado na produção diária. A sequência de adição e o tempo de mistura foram as mesmas utilizadas no item 6.4.

Após o término da produção de cada mistura do CAA, eram coletadas amostras, conforme a NBR NM 33 (ABNT, 1998). Em atendimento à NBR 15823-1 (ABNT, 2010), quanto ao controle do CAA no estado fresco na indústria de pré-moldados, o concreto foi submetido aos ensaios de espalhamento, conforme a NBR 15823-2 (ABNT, 2010) e habilidade passante pelo anel J, conforme a NBR 15823-3 (ABNT, 2010), para determinação dos parâmetros característicos do CAA no estado fresco. Estes ensaios eram realizados todos os dias em que havia produção de painel com uso do CAA. Ressalta-se que, mesmo sendo recomendados na NBR 15823-1 (ABNT, 2010), a mesma alerta-se para a dificuldade de realização dos ensaios de habilidade passante pela caixa L, conforme a NBR 15823-4 (ABNT, 2010) e viscosidade plástica aparente pelo funil V, conforme a NBR 15823-5 (ABNT, 2010), em campo. Considerando esta dificuldade, estes ensaios não foram realizados.

Semelhante ao controle tecnológico do CC, foi usado para o controle da resistência à compressão do CAA o tipo casos excepcionais, com amostra de 3 exemplares, atendendo a NBR 12655 (ABNT, 2006). Assim, foram moldados os corpos de prova, sem adensamento mecânico, necessários para verificação da resistência à compressão do CAA,

conforme a NBR 5738 (ABNT, 2003), sendo doze corpos de prova para a betoneira ou autobetoneira utilizada no turno do dia da realização do ensaio, sendo 6 corpos de prova rompidos a 1 dia e 6 corpos de prova rompidos aos 28 dias.

Os corpos de prova eram desmoldados, identificados e em seguida colocados em recipiente plástico com água à espera do transporte até o LMCC. Os seis corpos de prova a serem rompidos aos 28 dias, eram colocados em tanque de cura para prosseguir o processo de cura dos mesmos até sua data de rompimento, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Todos os ensaios foram realizados no LMCC-DEECC da UFC.

7.3 Produção de painel pré-moldado com blocos cerâmicos e CAA

7.3.1 Geometria do painel

Por motivos de adaptação às medidas de painéis solicitadas pela empresa de modo a atender a continuidade da execução da obra, foram executados os painéis apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Dimensão dos painéis

Painel	Denominação	Largura (mm)	Altura (mm)	Espessura (mm)
01	P1	6000	1800	12,2
02	P2	4000	1800	12,2
03	P3	3700	1800	12,2
04	P4	3650	1800	12,2
05	P5	3070	1800	12,2
06	P6	2900	1800	12,2
07	P7	2500	1800	12,2

Fonte: autora (2014).

Considerando que o painel de dimensão (3650x1800) mm foi monitorado com uso do CC e também possibilitando comparação, será descrito a seguir seu processo de moldagem. A largura e altura do painel seguiram as dimensões especificadas na Tabela 16.

7.3.2 Moldagem do painel

Anteriormente ao início da produção do painel, a pesquisadora reservava o momento de treinamento dos operários previamente escolhidos para a execução do painel. Era

apresentado o projeto do painel (Apêndice I), as diretrizes de execução e os devidos cuidados a serem tomados.

A produção do painel foi realizada mediante a utilização de perfis metálicos devidamente fixados entre si montados sobre a pista de concreto. Por apresentar largura menor do que a largura padrão, as medidas eram feitas cautelosamente e as laterais eram presas com auxílio de fixadores presos na forma (Figura 50).

Figura 50 – Forma em perfil metálico e sua medida



Fonte: autora (2014).

Os perfis e a superfície da pista receberam desmoldante à base de óleos minerais, isento de solventes (Figura 51-A) e após eram dispostos os espaçadores plásticos com altura de 25 mm (Figura 51-B).

Logo depois era disposta a armadura em tela Q 61 com malha de (150 x 150) mm e fios de aço CA-60 nervurado com diâmetro de 3,4 mm (Figura 51-C). Eram utilizados insertos metálicos de barra de aço 10 mm (Figura 51-D), cuja finalidade era atender às solicitações que ocorreram quando do içamento do painel. O Apêndice I mostra a armadura adotada no painel.

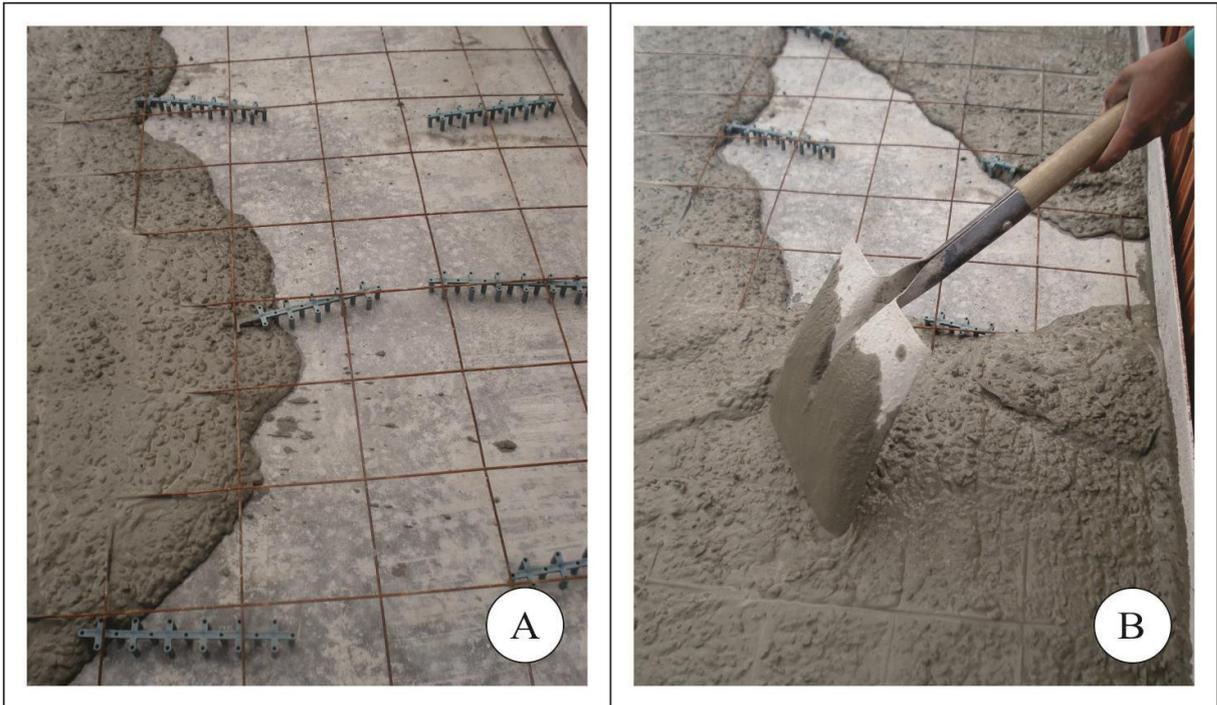
Figura 51 – A – Aplicação de desmoldante. B – Colocação dos espaçadores plásticos. C – Armadura em tela. D - Inseto metálico



Fonte: autora (2014).

Por meio de pá carregadeira foi lançado o CAA e após feito o espalhamento e a regularização da camada de CAA, conforme ilustra a Figura 52. A concretagem seguiu a mesma seqüência de lançamento do CC, com a pá carregadeira inicialmente posicionada para alcançar o centro do painel. Essa providência adotada visou permitir a mais fiel comparação entre a aplicação do CC e do CAA.

Figura 52 – A – Lançamento do CAA. B – Espalhamento do CAA



Fonte: autora (2014).

Após regularização da camada de CAA, iniciou-se a colocação dos blocos, previamente umedecidos, distanciados entre si em 15 mm, dispostos em juntas paralelas verticais. Como em painéis executados anteriormente, havia sido observado que não apresentou o problema de penetração do CAA nos septos dos blocos, assim optou-se em executar da mesma maneira (Figura 53).

Figura 53 – Assentamento dos blocos cerâmicos sobre a camada de CAA



Fonte: autora (2014).

Logo após, a pesquisadora colhia o CAA que vazava pelas frestas das formas e era realizada a medição em massa dessas quantidades.

Em seguida os blocos cerâmicos eram recobertos com uma camada de 15 mm de argamassa, composta de cimento e areia grossa peneirada, por meio da pá carregadeira e,

imediatamente feito o espalhamento através de pá (Figura 54-A), o adensamento por régua vibratória (Figura 54-B) e a regularização e o acabamento da face superior do painel por meio de régua metálica (Figura 54-C), com posterior limpeza ao redor do painel (Figura 54-D).

Figura 54 – Camada de argamassa. A – Espalhamento. B – Adensamento por régua vibratória. C – Regularização e acabamento. D – Limpeza.



Fonte: autora (2014).

Após o acabamento da camada de argamassa, o painel era coberto com lona plástica (Figura 55), de modo a evitar a perda de água durante o processo de cura. É importante fazer a cura, que consiste em impedir que a água utilizada na mistura saia do painel precocemente, ou seja, antes que as reações de hidratação do cimento aconteçam. A não realização de cura origina diminuição da durabilidade dos painéis e manifestações patológicas, como por exemplo, fissuras e aumento da porosidade do CAA.

Figura 55 – Cobrimento com lona



Fonte: autora (2014).

A desmoldagem ocorria 1 a 2 horas após a concretagem (Figura 56-A). Depois de aproximadamente 24 horas, foram iniciados os procedimentos de içamento do painel através do caminhão munck (Figura 56-B).

Figura 56 – A – Painel acabado. B – Içamento do painel com caminhão munck



Fonte: autora (2014).

7.4 Apresentação e análise dos resultados

7.4.1 Produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e CC

A seguir são apresentadas análises relativas aos resultados dos Apêndices B e C.

Para os painéis com dimensão (6000 x 1800) mm e (3650 x 1800) mm, o tempo médio de duração da atividade de produção 2, armação das formas, foi de 8 minutos e 38 segundos, 6 minutos e 57 segundos, respectivamente. Alguns fatores interferiram nos resultados dos painéis de dimensão (6000 x 1800) mm: demora para o operário executar algum conserto em peças das formas; demora no carregamento das formas, mesmo sendo feito por dois operários e um mesmo operário montando duas formas simultaneamente. Considerando a ausência desses fatores, esse tempo médio seria de 4 minutos e 21 segundos.

Observa-se que, o tempo médio de duração para a atividade de produção 5, posicionamento da tela, para o painel de dimensão (3650 x 1800) mm, foi de 1 minuto e 20 segundos, superior ao tempo médio para o painel de dimensão (6000 x 1800) mm, 56

segundos, porque houve necessidade de cortar a tela, por ser de tamanho menor ao tamanho padrão.

Para os painéis de dimensão (6000 x 1800) mm, considera-se que a atividade de produção 7, lançamento do CC, realizada por pá carregadeira em 26 dias, correspondeu a 54,17% da duração da obra. Para o complemento dos dias, esse lançamento foi feito por autobetoneira com capacidade de 3.500 kg.

Tabela 17 – Lançamento e distribuição do CC

Dimensão do painel (mm)	Equipamento	Lançamento (s)	Distribuição (s)
(6000 x 1800)	Pá carregadeira	43	259
	Autobetoneira	53	223
(3650 x 1800)	Pá carregadeira	15	265
	Autobetoneira	x	x

Fonte: autora (2014).

x: atividade de produção não mensurada.

Observa-se na Tabela 17 que, para o painel de dimensão (6000 x 1800) mm, com o uso da pá carregadeira, o tempo médio de lançamento do CC foi de 43 s e com a autobetoneira foi de 53 s. Essa diferença foi influenciada porque o lançamento do CC com a autobetoneira não era pontual, como acontece com a pá carregadeira (Figura 57-A), ou seja, a autobetoneira necessita movimentar para lançar o CC ao longo do painel (Figura 57-B). Mas, em contrapartida, o tempo de duração da atividade de produção 8, distribuição do CC, lançado com a pá carregadeira foi de 4 minutos e 19 segundos (259 s), enquanto o lançado com a autobetoneira foi de 3 minutos e 43 segundos (223 s), havendo uma redução de 13,9%.

Observou-se também que, às vezes, havia excesso de CC lançado pela pá carregadeira e a existência de resto de CC na concha do equipamento (Figura 57-A). Esses casos ocasionaram, em média, perda de 1 minuto e 10 segundos para ser aproveitado.

Para os painéis de dimensão (3650 x 1800) mm, o tempo de duração de distribuição do CC lançado com a pá carregadeira foi de 4 minutos e 25 segundos (265 s), apresentando-se maior do que o valor relativo ao painel de dimensão (6000 x 1800) mm, devido o lançamento do CC ser pontual, necessitando de maior tempo para seu espalhamento.

Figura 57 – Lançamento de CC. A – Pá carregadeira. B – Autobetoneira



Fonte: autora (2014).

O tempo médio para a autobetoneira, monitorado pela pesquisadora, decorrido entre a primeira adição de água até o lançamento e posterior adensamento do CC, foi de aproximadamente 29 minutos e 32 segundos, sendo, portanto, inferior a 150 min, atendendo a NBR 7212 (ABNT, 2012). Observou-se também que, desde que visualmente, este tempo permitia que o fim do adensamento do CC não ocorria após o início da pega do CC.

As considerações para as atividades de produção 13 e 14, lançamento e distribuição da argamassa, respectivamente, são semelhantes às mesmas atividades para o CC.

Tabela 18 – Lançamento e distribuição de argamassa

Dimensão do painel (mm)	Equipamento	Lançamento (s)	Distribuição (s)
(6000 x 1800)	Pá carregadeira	55	220
	Autobetoneira	58	179
(3650 x 1800)	Pá carregadeira	13	185
	Autobetoneira	x	x

Fonte: autora (2014).

x: atividade de produção não mensurada.

Observa-se na Tabela 18 que, para o painel de dimensão (6000 x 1800) mm, com o uso da pá carregadeira o tempo médio de lançamento de argamassa foi de 55 s e com a autobetoneira foi de 58 s. O tempo de duração de distribuição da argamassa lançada com a pá carregadeira foi de 3 minutos e 40 segundos (220 s), enquanto para a autobetoneira foi de 2 minutos e 59 segundos (179 s), representando uma redução de 18,6%.

Observou-se também que pode haver mal posicionamento e excesso de argamassa lançada pela pá carregadeira (Figura 58).

Figura 58 – Mal posicionamento da pá carregadeira no lançamento da argamassa



Fonte: autora (2014).

7.4.1.1 Controle tecnológico do concreto convencional

Os resultados dos ensaios de verificação de resistência à compressão após o rompimento dos corpos de prova eram constados em planilhas apresentadas no Apêndice J.

Na Tabela 19 são apresentados os valores estimados das resistências à compressão de ruptura aos 28 dias das misturas de CC.

Tabela 19 – Valores de resistência à compressão

Semana	Resistência à compressão (MPa)	
	f_{c1}	f_{c28}
3 ^a	12,0	25,3
7 ^a	14,6	33,3
8 ^a	11,9	25,3
10 ^a	8,4	27,2

Fonte: autora (2014).

Observa-se na Tabela 19, que na idade de 24 horas, todas as resistências apresentaram valores acima de 7MPa, valor especificado inicialmente como resistência à compressão mínima para desmoldagem dos painéis. As resistências aos 28 dias apresentaram valores com variação entre 25 e 34MPa, de 31,62%, representando que todos os lotes analisados atingiram a resistência próxima ou acima do valor especificado no projeto estrutural, 25MPa, mas indicou que o CC produzido foi satisfatório.

7.4.2 *Transferência da tecnologia do laboratório para a central de pré-moldados*

As dosagens do CAA na central de pré-moldados mostraram-se difíceis de serem obtidas devido a dois fatores descritos abaixo.

O primeiro fator relacionou-se à estocagem dos materiais na central de pré-moldados, que eram realizadas em condições ambientais diferentes do laboratório. Mesmo utilizando os mesmos materiais (agregados, cimento e aditivos), as condições de estocagem dos agregados eram diferentes, pois ficavam ao ar livre, enquanto no laboratório ficavam protegidas em recipientes de plástico, protegidos da ação do tempo. A areia teve que ser utilizada, nos dias chuvosos, saturada, e os ensaios para determinação do teor de umidade, para ser feito a correção da água, eram realizados logo no início do turno que iriam ser confeccionados os traços.

Mesmo fazendo estes ensaios para correção da água, a temperatura dos agregados influencia na dosagem do CAA, portanto, é essencial que as condições dos agregados (umidade e absorção) sejam determinadas o mais próximo possível do horário de concretagem (FERRAZ, 2009).

A umidade dos agregados na central de pré-moldados pode ser estimada momentos antes da concretagem, por meio da secagem e pesagem de amostras em fogareiro, sem a mesma precisão das determinações realizadas conforme a NBR 9775 (ABNT, 2011).

O segundo fator diz respeito ao volume de CAA produzido na central de pré-moldados ser superior ao volume inicial feito em laboratório. No LMCC-DEECC, o volume de CAA produzido foi no máximo de 50 litros, enquanto na central de pré-moldados, chegou-se a um volume total de 266 litros, dificultando o processo de mistura dos materiais (Figura 59). Na betoneira do LMCC-DEECC, o tempo das adições dos componentes do CAA foram controlados com rigor, já na betoneira da central de pré-moldados, esse controle ficou comprometido, embora os resultados dos ensaios de controle do CAA estivessem dentro dos limites estabelecidos na NBR 15823-1 (ABNT, 2010).

Figura 59 – Mistura de materiais na betoneira na central de pré-moldados



Fonte: autora (2014).

7.4.3 Produção e controle tecnológico do CAA

A verificação da umidade da areia foi feita conforme a NBR 9775 (ABNT, 2012) nos dias em que ocorria a execução de painel com produção de CAA (Figura 60). Com esse teor de umidade, o traço era ajustado. A determinação da umidade da areia no instante da concretagem é importante para que se tente evitar erros na quantidade de água de mistura (FERRAZ, 2009).

Figura 60 – Ensaio do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman



Fonte: autora (2014).

Para dar maior garantia de autoadensabilidade e conformidade do CAA, foi escolhido, além do ensaio do espalhamento (Figuras 61-A), o ensaio do anel J (Figuras 61-B) para avaliação em obra. O ensaio do anel J é mais simples de avaliar a habilidade passante e permite uma análise qualitativa da resistência à segregação, através da visualização da capacidade dos agregados graúdos acompanharem a movimentação da argamassa, após passarem pelas armaduras (ALENCAR; CUPERTINO; BATTAGIN, 2010). A resistência à segregação é importante para resistir, sobretudo, às solicitações de transporte na central de pré-moldados.

Figura 61 – A – Ensaio de espalhamento. B – Ensaio do anel J



Fonte: autora (2014).

Os resultados médios das determinações dos parâmetros dos CAA's produzidos na central de pré-moldados são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Resultados dos ensaios realizados no CAA no estado fresco

Parâmetro	Método	Determinação	Classe	Limite NBR 15823-1
Espalhamento	Cone de Abrams	733 mm	SF 2	(660 a 750) mm
Habilidade passante	Anel J	23 mm	PJ 2	(0 a 25) mm

Fonte: autora (2014).

Observa-se na Tabela 20, que o espalhamento obtido encontrou-se na mesma faixa de fluidez do CAA produzido em laboratório, 733 mm, atendendo o especificado na NBR 15823-1 (ABNT, 2010), a classe SF 2 (660 a 750 mm).

Quanto à habilidade passante, o CAA apresentou resultado de 23 mm (Tabela 19), que, conforme a NBR 15823-1 (ABNT, 2010), atendeu a classe PJ 2 (0 a 25 s). Observou-se que não houve obstrução à passagem do concreto pelas barras do anel J (Figura 61-B).

Portanto, o CAA enquadra-se na maioria das aplicações correntes, podendo ser usado em painéis pré-moldados com blocos cerâmicos.

Os resultados dos ensaios de verificação das determinações dos parâmetros do CAA no estado fresco e os resultados de resistência à compressão após o rompimento dos corpos de prova eram constados na planilha apresentada no Apêndice K. A resistência à compressão para o painel P1 não foi verificada, devido a problema ocorrido, exposto no item 7.5.9, e para os painéis P2, P3 e P5, devido a problemas operacionais.

A seguir são apresentados na Tabela 21, os valores de resistência à compressão de ruptura aos 28 dias das misturas de CAA.

Tabela 21 – Valores de resistência à compressão

Painel	Dimensão (mm)	Resistência à compressão (MPa)	
		f_{c1}	f_{c28}
P2	4000 x 1800	18,7	38,1
P7	2500 x 1800		
P4	3650 x 1800	12,1	27,6
P6	2900 x 1800	8,4	19,2

Fonte: autora (2014).

Observa-se na Tabela 21, que na idade de 24 horas, todas as resistências apresentaram valores acima de 7MPa, valor especificado inicialmente como resistência à compressão mínima para desmoldagem dos painéis. As resistências aos 28 dias apresentaram valores com variação entre 27 e 38MPa, de 27,63%, representando que todos os lotes analisados atingiram a resistência acima do valor especificado no projeto estrutural, 25MPa, indicando que o CAA produzido foi satisfatório. Verifica-se que essa variação está na mesma proporção para o CC para 28 dias. Considerando que a cura dos painéis foi feita com os procedimentos para os dois tipos de concreto, pode considerar que, segundo Helene e Levy (2013), que em estruturas espessas, o núcleo das seções de concreto é capaz de reter água mantendo o grau de umidade suficientemente elevado de forma a garantir a hidratação do cimento e conferir resistência à compressão.

O painel P6, mesmo moldado, foi descartado após o CAA aplicado apresentar resistência à compressão abaixo da especificação. Tal problema está exposto no item 7.5.10.

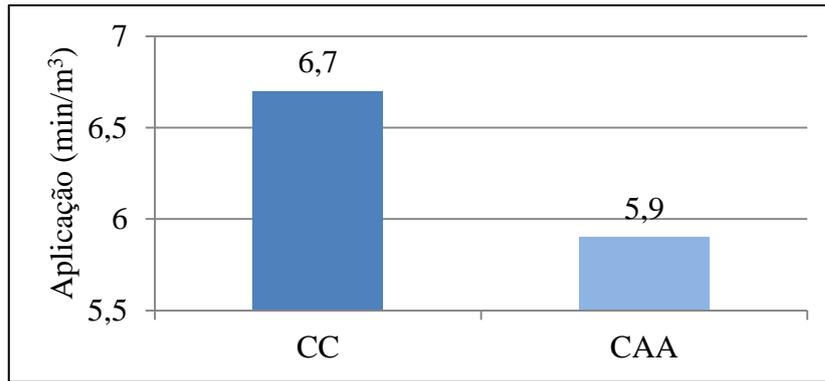
Após a verificação das determinações dos parâmetros do CAA no estado fresco (Tabela 20), e das resistências à compressão (Tabela 21), foi feita a aceitação definitiva, considerando atendimento a todos os requisitos especificados para o CAA, conforme a NBR 12655 (ABNT, 2006).

7.4.4 Produção de painel pré-moldado com blocos cerâmicos e CAA

Observa-se no Apêndice D que, para os painéis de dimensão (3650 x 1800) mm, com o uso da pá carregadeira, o tempo médio de lançamento do CC foi de 15 s, mesmo valor para o lançamento do CC. Mas, em contrapartida, o tempo de duração da atividade de produção 8, distribuição do CAA, foi de 3 minutos e 18 segundos, enquanto o do CC foi de 4 minutos e 25 segundos, havendo uma redução de 25,3%.

O tempo de aplicação do CAA foi de 5,9 min/m³ para o de 6,7 min/m³ do CC (Figura 62). Não apresentou a mesma proporção citada por Tamaki (2010), que uma das vantagens do CAA é o tempo de aplicação reduzido, de uma média de 5 min/m³ do CC para até 1,5 min/m³, mas podendo ser considerada como um ganho.

Figura 62 – Capacidade de aplicação de concreto (min/m³)



Fonte: autora (2014).

Após o içamento do painel, observou-se a qualidade do acabamento superficial da camada de CAA, através de inspeção visual. Mesmo sendo em uma inspeção qualitativa, observou-se que a superfície não apresentou manchas e fissuras (Figura 63-A).

Considerando que o CAA foi produzido com uso de VMA, causando diminuição da viscosidade, contribuiu para apresentar uma pequena concentração de bolhas com diâmetros menores (Figura 63-B). Isto se deve a maior facilidade de saída do ar aprisionado entre a forma e o CAA. A menor variabilidade de bolhas indica que o painel produzido com CAA, por ser mais fluido, apresentou um acabamento mais uniforme. CAA com baixa viscosidade facilita o escape do ar incorporado na moldagem, ocasionando muitas vezes uma boa superfície acabada, sem bolhas (ALENCAR; MARCON; HELENE, 2010).

A NBR 9062 (ABNT, 2006) não cita procedimentos de reparo em estruturas pré-moldadas. Portanto, se no início da etapa de execução conseguir evitar o máximo de manifestações patológicas, evita-se custo e garante-se a segurança.

Figura 63 – Painel moldado



Fonte: autora (2014).

7.4.5 Consumo e custo para produção do CAA

Na Tabela 22 é apresentado o consumo de todos os materiais utilizados para a produção dos traços do CC e do CAA e o custo de cada um desses materiais, considerados no primeiro semestre de 2014, do mercado do Setor de Construção Civil de Fortaleza/CE.

Tabela 22 – Consumo e custo do CC e do CAA

Material	Concreto convencional		CAA	
	Consumo (kg/m ³)	Custo (R\$)	Consumo (kg/m ³)	Custo (R\$)
Cimento CP II-Z 32 RS	410	165,31	-	-
Cimento CP V-ARI RS	-	-	454	247,43
Areia grossa	976	12,29	-	-
Areia fina	-	-	792	11,29
Brita 19 mm	923	15,90	-	-
Brita 12,5 mm	-	-	795	8,10
Água	205	5,13	259	6,48
Aditivo superplastificante	0,943	6,79	2,27	16,36
VMA	-	-	2	22,00
Total	-	205,42	-	311,66

Fonte: autora (2014).

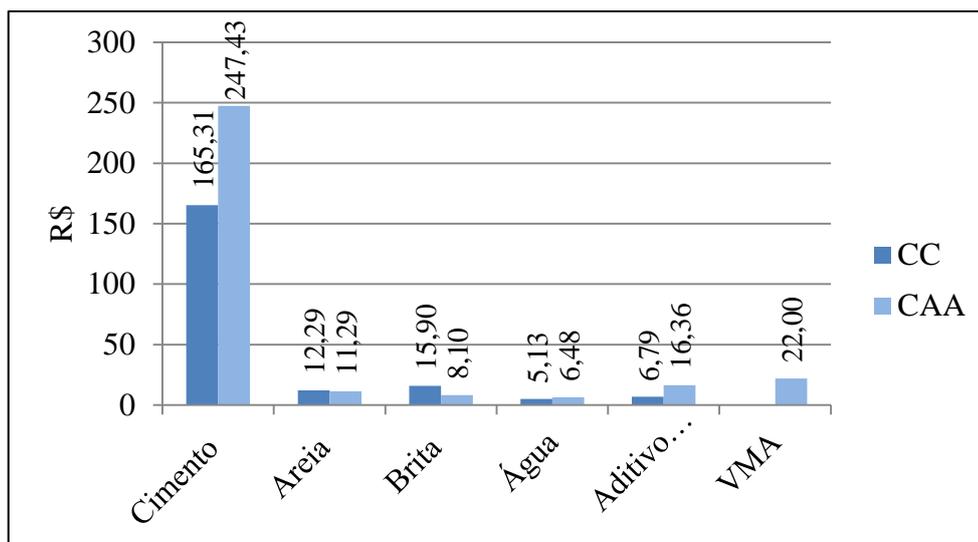
Para a comparação do consumo de cimento e dos custos foi utilizada a idade de ruptura de 28 dias, considerando a resistência à compressão de 25MPa.

O consumo de cimento das misturas é um parâmetro de importância que fundamenta os procedimentos de dosagem do concreto, pois um alto teor de cimento ocasiona problemas técnicos, como aumento na retração. A Tabela 22 mostra o consumo de cimento do CC de 410 kg/m³, que se apresentou compatível com o método de dosagem ABCP, utilizado pela pesquisadora ao determinar os ajustes na central de pré-moldados.

Considerando que, usualmente este método de dosagem não faz uso de aditivos, nota-se menor custo do aditivo superplastificante utilizado na dosagem da mistura, representando 3,31% do custo total, contribuindo para que, o principal responsável para o custo da mistura do CC fosse o cimento, representando 80,47% do custo total.

A Figura 64 ilustra a comparação do custo entre o CC e o CAA.

Figura 64 – Custo/m³ dos concretos de $f_{ck} = 25\text{MPa}$ aos 28 dias



Fonte: autora (2014).

Afirmado a hipótese esperada, de que o cimento custa mais do que os agregados, observou-se que na composição do CAA (Figura 64), não houve redução do custo do cimento, em relação ao CC. O custo total por m³ foi de R\$ 205,42 para o CC e R\$ 311,66 para o CAA, representando um aumento de 51,72%.

Na mistura de CAA, podem-se utilizar materiais diferentes do que na mistura do CC, portanto constatou-se que o uso de aditivos não foi o fator preponderante no custo final do CAA.

Para que se evite a segregação, quando da adição do aditivo superplastificante na mistura do CAA, a quantidade de areia foi diminuída em 18,9% e a quantidade de brita na mesma proporção, 13,9%. Entretanto, a redução na quantidade de agregados acarretou um alto consumo de cimento. Uma alternativa para isso foi a incorporação de VMA para aumentar a estabilidade da mistura (ALMEIDA FILHO, 2006), porém observou-se que o uso desse aditivo aumentou o custo final da mistura de CAA em 7,1%.

Em opção à eliminação do VMA na composição do CAA, apresentam-se os materiais finos, com possibilidade de redução de custo, permanecendo com o mesmo desempenho, principalmente no efeito em resistir à segregação. Para a produção de elementos pré-moldados que exigem uma resistência inicial elevada, a adição mais recomendada é a do fíler calcáreo (FERRAZ, 2009).

Em contrapartida, opõe-se à opção da empresa em utilizar materiais em que não ofereça o risco de dificultar a produção, devido à dificuldade de existência do material, devido a fatores de regionalização e manutenção de transporte para não haver falta de material na central de pré-moldados.

7.4.6 Produtividade e viabilidade de produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos produzidos com o uso de CAA

7.4.6.1 Redução do número de operários/produção de painéis

Analisando os dados dos Apêndices C e D e considerando o exposto nos itens 4.2.3 e 4.2.4 sobre as subetapas da produção do CC e do CAA, observou-se que as atividades de execução 9 e 12, relativas ao adensamento do CC, são eliminadas na execução do painel com aplicação do CAA.

Também se observa no Apêndice C, que as atividades de produção 8, distribuição de CC, e 10, colocação de blocos cerâmicos, são executadas com dois operários, diferentemente do painel com aplicação do CAA, que é executada com um operário (Apêndice D).

Observa-se na Tabela 23 que, com a eliminação das atividades de produção 9 e 12, de um operário relativo à execução das atividades de produção 8, 9, 10 e 12 e o consumo de energia elétrica, para o funcionamento do vibrador, acarretou um custo de R\$ 1,14.

Tabela 23 – Custo de insumo e mão de obra/painel (3650 x 1800) mm

Redução	Atividade	Descrição	Tempo (s)	Quantidade de operários	Valor unitário
Atividade	9	Adensamento da camada de CC	105	1	0,11
	12	Adensamento do CC*	52	1	0,05
Operário	8	Distribuição do CAA	265	1	0,27
	10	Colocação de blocos cerâmicos	465	1	0,47
Energia elétrica	-	Energia elétrica para funcionamento do vibrador	157	-	0,25
		Total			1,14

Fonte: autora (2014).

* Relativo à região onde situa os ferros de içamento.

Considerando que a produção diária de painéis atingia o número máximo de 14 com duas equipes de três operários e que as atividades de produção 8, 9, 10 e 12 não eram executadas simultaneamente, haveria então redução de um operário na execução de cada painel, sendo assim, possível criar três equipes de dois operários, aumentando a produção de painéis de 14 para 20 (Tabela 24), número máximo de painéis que comportaria na pista.

Tabela 24 – Crescimento da produção em número de painéis

Produção	Concreto convencional	Concreto autoadensável
Número de equipes	2	3
Número de operários	6	6

7.4.6.2 Custo da produção

Com o objetivo de relatar as análises dos dados coletados das atividades de produção relativas ao CC e ao CAA e fazer uma avaliação de viabilidade econômica, foi feita uma comparação de custos (Tabelas 25 e 26), incluindo insumos e mão de obra, para a produção dos painéis de dimensão (3650 x 1800) mm. Os custos da mão de obra foram baseados no piso salarial mínimo, referência de fevereiro de 2014, estabelecido pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará (SINDUSCON), considerando a categoria meio profissional.

Para execução de cada atividade de produção, foi considerado o número de operários apresentados nos Apêndices C e D.

Tabela 25 – Custo de insumos e mão de obra para produção de painel pré-moldado com CC

Item	Descrição	Unidade	Material		
			Quantidade	Valor unitário	Valor total
1	Forma	m	20,32	9,81	199,34
2	Desmoldante	l	1,00	7,00	7,00
3	Espaçador plástico	Unid.	27,00	0,32	8,64
4	Ferro de içamento (x2)	kg	3,94	2,17	17,10
5	Arame recozido	kg	9,00	0,01	0,09
6	Malha de aço	m ²	6,25	4,42	27,63
7	Concreto convencional	m ³	2,43	205,42	499,17
8	Bloco cerâmico	Unid.	108,00	0,32	34,56
9	Argamassa	m ²	6,57	6,17	40,54
10	Água	l	12,00	0,03	0,36
11	Lona	m	5,00	2,00	10,00
12	Energia elétrica	s	157,00	-	0,25
13	Mão de obra (x2)	min	86,00	0,06	10,32
Total					855,00

Fonte: autora (2014).

Tabela 26 – Custo de insumos e mão de obra para produção de painel pré-moldado com CAA

Item	Descrição	Unidade	Material		
			Quantidade	Valor unitário	Valor total
1	Forma	m	20,32	9,81	199,34
2	Desmoldante	l	1,00	7,00	7,00
3	Espaçador plástico	Unid.	20,00	0,32	6,40
4	Ferro de içamento (x2)	kg	3,94	2,17	17,10
5	Arame recozido	kg	9,00	0,01	0,09
6	Malha de aço	m ²	6,25	4,42	27,63

7	CAA	m ³	2,43	311,66	757,33
8	Bloco cerâmico	Unid.	121,00	0,32	38,72
9	Argamassa	m ²	6,57	6,17	40,54
10	Água	l	12,00	0,03	0,36
11	Lona	m	5,00	2,00	10,00
12	Mão de obra (x2)	min	78,00	0,06	9,36
Total					1.113,87

Fonte: autora (2014).

Os 20 painéis produzidos com o uso do CAA teria um custo médio diário de R\$ 22.277,40 e o custo médio diário dos 14 painéis produzidos era de R\$ 15.594,18, com a mesma mão de obra, ou seja, 6 operários.

Considerando que o tempo total de produção para os painéis com uso do CC e do CAA, 43 min e 45 segundos e 39 min, respectivamente, observado nas Tabelas 26 e 27, podendo ser considerados bem próximos, concluiu-se que o fator consumo de cimento/m³, como discutido anteriormente, mostrou-se primordial no processo. Ao diminuir este fator, além de possibilitar um aumento do número de painéis, se torna viável o processo com a aplicação do CAA e indica uma melhoria considerável da capacidade produtiva da central de pré-moldados.

7.5 Principais problemas levantados e melhorias propostas no processo de produção

Através de dados coletados, a realização da pesquisa identificou como atualmente são produzidos os painéis pré-moldados com blocos cerâmicos e concreto armado.

A seguir serão apresentados os problemas relevantes observados no processo de produção dos painéis pré-moldados com blocos cerâmicos, no âmbito da substituição do CC pelo CAA, e sugestões de melhorias relativas a estes problemas, baseados nas subetapas da produção do CC e do CAA, descritos nos itens 4.2.3 e 4.2.4. Os problemas e as propostas de melhorias estão sintetizados no Quadro 3.

Quadro 3 – Problemas levantados e proposta de melhorias

Problema levantado	Proposta de melhoria
Consumo em excesso de espaçadores plásticos	Consumo devido de espaçadores plásticos
Mau posicionamento dos blocos cerâmicos, que gerou maior consumo de CC	Posicionamento dos blocos cerâmicos de acordo o projeto específico para o painel, com consumo adequado de CAA
Uso de martelo na colocação dos blocos cerâmicos	Colocação dos blocos cerâmicos sem necessidade de usar martelo

Transporte do CAA na pá carregadeira	Transporte do CAA na autobetoneira
Desconformidade de geometria das formas	Manutenção das formas
Adensamento do CC com vibrador por imersão	A eliminação do adensamento ocasionou redução de mão de obra, diminuição de ruído no ambiente de trabalho e superfícies mal acabadas
Vazamento de CAA nas frestas das formas	Fechamento das frestas
Desmoldagem ocasiona retrabalho	Superfícies com melhor acabamento
Concretagem com pá carregadeira	Implantação de concretagem com autobetoneira
Ruptura de painel ao ser içado	Usar telas inteiras, desmoldante à base de óleo mineral e melhor controle de qualidade do CAA
Controle tecnológico do CC	Implantar controle tecnológico para a produção dos painéis pré-moldados com uso do CAA
Produtividade de 14 painéis/dia	Produtividade de 20 painéis/dia

Fonte: autora (2014).

7.5.1 Consumo de espaçadores plásticos

7.5.1.1 Problema levantado

Conforme o Apêndice H, o número médio de espaçadores plásticos para os painéis de dimensão (3650 x 1800) mm com uso de CC é de 27, ou seja, uma média de 4 espaçadores/m².

Observou-se que a colocação era feita de maneira aleatória e que a interrupção de trabalho pelos operários para apanhar a caixa com espaçadores, ocasionou um acréscimo de até 4 minutos e 52 segundos, em média, em relação ao tempo médio de execução da atividade para o painel de dimensão (6000 x 1800) mm. Este fato indica que os espaçadores poderiam ficar acondicionados em carrinhos de fácil fluxo pelas pistas, atendendo cada uma em separado.

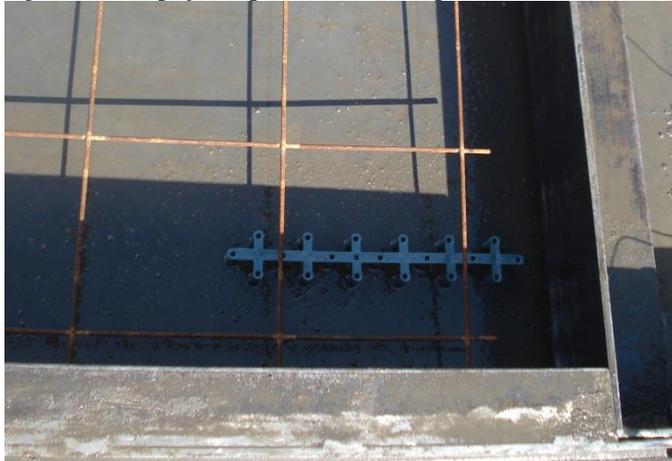
7.5.1.2 Melhoria proposta

A previsão de consumo para o espaçador tipo multiapoio “centopeia”, por ter comprimento maior, chega a 2 ou 3/m² (GIRIBOLA, 2014). Atendendo essa indicação, o painel de dimensão (3650 x 1800) mm comportaria 20 espaçadores.

Quanto ao posicionamento, este espaçador deve garantir o apoio de pelo menos dois pontos da armadura (Figura 65) e durante a concretagem o principal cuidado é garantir

que nenhuma peça tenha se deslocado. Caso isso aconteça, a troca das peças deve ser feita antes do lançamento do CAA.

Figura 65 – Espaçador plástico sob dois pontos da armadura



Fonte: autora (2014).

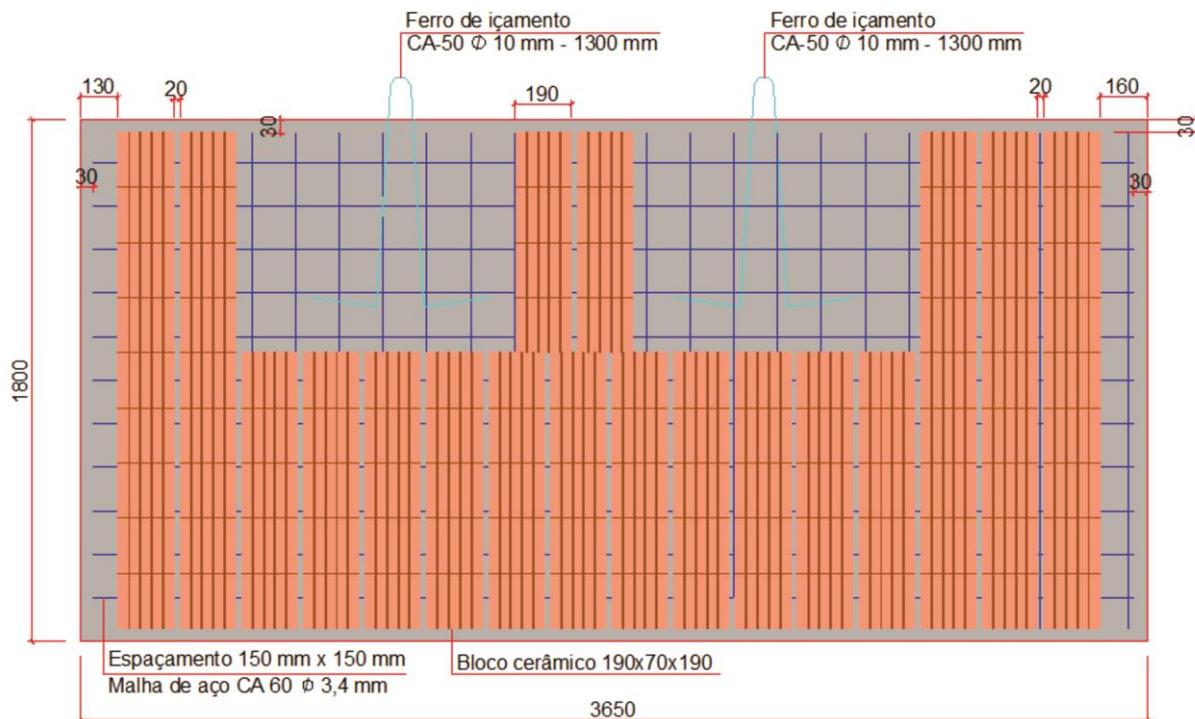
7.5.2 *Posicionamento de blocos cerâmicos*

7.5.2.1 Problema levantado

Conforme o Apêndice C, o consumo médio de blocos cerâmicos nos painéis de dimensão (3650 x 1800) mm foi de 108, posicionados com juntas verticais maiores que 15 mm.

Observou-se que ocorreram duas formas de colocação dos blocos que geraram custos maiores. A primeira foi a colocação com juntas laterais maiores, acarretando um acréscimo de uso de CC de 0,4055 m³, com custo de R\$ 6,33 (Figura 66). A segunda foi em deixar a faixa de CC ao longo do comprimento do painel (Figura 67), acarretando um acréscimo de uso de CC de 0,0304836 m³, com custo de R\$ 6,26.

Figura 66 – Painel pré-moldado com 108 blocos cerâmicos



Fonte: autora (2014).
 * Medidas em mm.

Figura 67 – Faixa de CC



Fonte: autora (2014).

Fez-se observar que houve a variação da quantidade de blocos devido à falta de planejamento de modulação para cada tipo de painel, ocasionando ora quebra de blocos ou área considerável apenas com CC.

7.5.2.2 Melhoria proposta

O Apêndice I apresenta a configuração ideal do painel, considerando juntas de 15 mm entre as fileiras verticais de blocos, com o número médio de 121 blocos cerâmicos, gerando um acréscimo de custo de R\$ 4,16 em relação aos 108 blocos, inferior ao custo do CC usado indevidamente.

7.5.3 *Uso de martelo na colocação de blocos cerâmicos*

7.5.3.1 Problema levantado

Observou-se que, quando na execução de painel com uso de CC, na atividade de produção 10, colocação dos blocos cerâmicos, o CAA por ter menor fluidez, fez-se uso do martelo, como acessório de operação para melhor posicionamento e conformação dos blocos, conforme ilustrado na Figura 68-A.

Na execução de painel com uso do CAA, verificou-se que o uso do martelo causa deslocamento nos blocos, possibilitando a entrada de CAA nos seus septos (Figura 68-B-C).

Figura 68 – A – Posicionamento dos blocos cerâmicos com uso de CC. B – C – Entrada de CAA nos septos
Fonte: autora (2014).

7.5.3.2 Melhoria proposta

Como o painel com uso do CAA oferece melhor operacionalidade e, por ter o CAA maior fluidez, não se fez necessário o uso do martelo para o posicionamento dos blocos, com a acomodação acontecendo de maneira natural (Figura 69).

Figura 69 – Colocação dos blocos cerâmicos com uso do CAA



Fonte: autora (2014).

7.5.4 Transporte do CAA

7.5.4.1 Problema levantado

Quando do planejamento da pesquisa, foram consideradas as dificuldades previstas inicialmente para o transporte do CAA na pá carregadeira (Figura 70), devido à difícil operacionalidade do CAA, com possibilidade de vazamento por alguma fresta existente na concha, até o local de lançamento.

Figura 70 – Transporte de CAA na pá carregadeira



Fonte: autora (2014).

7.5.4.2 Melhoria proposta

Para garantir melhor qualidade do CAA e considerando que, no transporte do CAA, não pode ocorrer perda de água ou vibração excessiva (REPETTE, 2011), fez-se necessário a implantação da autobetoneira, que mesmo apresentando o mesmo tempo de lançamento do CC, 15 segundos, proporcionou diminuir ao máximo a trepidação, para proteger o CAA de segregação e possibilidade de não haver desperdício de CAA no lançamento, com melhor posicionamento da autobetoneira em relação ao painel.

7.5.5 Formas dos painéis pré-moldados

7.5.5.1 Problema levantado

As formas dos painéis pré-moldados são fabricadas de modo que, na montagem, após a colocação dos blocos, o espaçamento em torno do perímetro do painel atenda o espaçamento especificado no projeto (Apêndice H), propiciando o adensamento com uso do vibrador de imersão, em posição vertical ou pouco inclinada, com inclinação menor do que 45° em relação à vertical, que, com o excesso de uso ao longo dos anos, poderá danificar as formas, como desgastes e a falta de retilinidade (Figura 71), causando desconformidade na geometria do painel.

Figura 71 – Desconformidade na geometria do painel



Fonte: autora (2014).

7.5.5.2 Melhoria proposta

Para a implantação do CAA, faz-se necessário, investimentos iniciais pela empresa, sendo então necessária a recuperação dessas formas para o uso do CAA.

Após essa recuperação, não haverá necessidade de manutenção devido ao uso de vibradores, ausentes na execução de painéis pré-moldados com uso do CAA.

Considera-se também que defeitos de falta de retilinidade encontrados nas formas, causados por esforços extras quando ocorre a retirada dos painéis, que podem ser levados imediatamente para reforma, com imediata reposição. As reformas, mesmo as simples, são de importância para garantir o encaixe e acabamento dos painéis.

7.5.6 Adensamento do CC com vibrador por imersão

7.5.6.1 Problemas levantados

Conforme discutido no item 7.4.6.1, no painel de dimensão (3650 x 1800) mm, o uso do vibrador na execução das atividades de produção 9 e 12, adensamento da camada de CC e adensamento do CC, respectivamente, correspondeu ao valor médio de tempo de duração de 2 minutos e 37 segundos, com ocupação de um operário na execução dessas atividades.

Essas atividades geraram um custo médio de consumo de energia que pode ser considerado baixo, conforme a Tabela 25, mas causou o desconforto da existência dos cabos de energia sobre as pistas (Figura 72), os quais poderiam ser embutidos em mangueiras flexíveis sob o piso, quando na execução das pistas. Houve também o problema de ruído provindo do vibrador de 92dB, situando acima do nível máximo diário permissível de 85dB estipulado pela NR-15 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978) para exposição do trabalhador na jornada diária de trabalho.

Considerando que o vibrador tem uma vida útil de dois ou três meses sem manutenção (ALENCAR; MARCON; HELENE, 2010), esteve dentro da normalidade a quebra de um equipamento.

Figura 72 – Cabo de energia do vibrador sobre a pista



Fonte: autora (2014).

O uso indevido da modulação para distribuição dos blocos cerâmicos, com quebras, ocasionou o aparecimento de espaços vazios nas superfícies verticais de alguns painéis, as bicheiras (Figura 73-A), devido à dificuldade de adensamento com uso do vibrador, necessitando de retrabalho para preenchimento dessas cavidades, ocasionando

desvio de mão de obra de outra atividade de produção (Figura 73-B). Esta dificuldade também causa o aparecimento de superfícies verticais mal adensadas, com ninhos de pedra (Figuras 73-C-D).

Mesmo com a utilização de aditivo superplastificante e abatimento de 90 mm e considerando que há a natural incorporação de pequenas quantidades de ar, disseminadas através de microbolhas na mistura do CC, o aparecimento de bolhas na superfície de alguns painéis com CC (Figura 74-A) pode ter sido consequência de deficiência na dosagem dos materiais, tempo de mistura do CC e no adensamento por vibração aplicado com o vibrador na direção horizontal sobre a malha de aço (Figura 74-B). Moreira (2009) recomenda que, em cada ponto de vibração, a inclinação deve ser realizada em quatro posições: frente, atrás e laterais. O tempo de vibração em cada posição deve ser o suficiente para permitir a saída das bolhas de ar. Para a mudança da posição, o vibrador deve ser retirado e reintroduzido ao CC, evitando o deslocamento horizontal no seu interior. A melhor condição de aplicação do vibrador para a retirada do ar é a inclinada.

Figura 73 – A – Bicheiras nas superfícies verticais. B – Recuperação das bicheiras. C – Aparecimento de bolhas. D – Superfície mal adensada



Fonte: autora (2014).

Figura 74 – A – Bolhas na superfície do painel com CC. B – Adensamento com vibrador na direção horizontal.



Fonte: autora (2014).

7.5.6.2 Melhorias propostas

A substituição do CC pelo CAA ocasionou redução do tempo relativo às atividades de produção 9 e 12, redução de um operário na execução dessas atividades, eliminação do ruído dos vibradores, melhor acabamento das superfícies verticais e horizontais (Figura 75) e eliminação de bolhas na superfície aparente dos painéis. Com a aplicação do CAA foi possível eliminar a manutenção e o consumo de energia elétrica com vibradores para o seu adensamento e proporcionar um ambiente de trabalho com menor nível de ruído (FÁVERO *et al.*, 2013). Devido ao desgaste das formas pelo vibrador, obteve-se uma vida útil para as formas de cerca de dois meses sem manutenção. No caso do CAA espera-se vida útil maior.

Por ter o CAA grande fluidez e coesão, com o agregado distribuído uniformemente na massa sem segregação, não se usa vibradores, o que poderia causar segregação. Caso o adensamento não esteja sendo atingido, deve-se checar se o CAA está de acordo com as especificações. Se o CAA está em conformidade, mas não está adensando, mudam-se as especificações. Segundo Belohuby e Alencar (2007), em painéis moldados com uso do CAA de baixo nível de fluidez podem requerer pancadas ou leves vibrações. A vibração mecânica deve ser terminantemente evitada, pois o uso do vibrador irá afetar a estabilidade da mistura, gerando uma segregação. Um ligeiro adensamento também pode ser feito após uma pausa na concretagem, se o CAA perder as características de autoadensabilidade (ALENCAR; MARCON; HELENE, 2010).

Figura 75 – Superfícies verticais e horizontais em painéis executados com CAA
Fonte: autora (2014).

7.5.7 Vazamento de CAA nas frestas das formas de painéis pré-moldados

7.5.7.1 Problema levantado

Na execução do painel com aplicação do CC, houve o vazamento com maior intensidade em dois momentos, no espalhamento do CC (Figura 76-A) e no adensamento do volume de CC próximo ao ferro de içamento (Figura 76-B).

Na execução do painel com aplicação do CAA foi observado que, próximo aos ferros de içamento, houve dificuldade em criar o volume de CAA de reforço necessário, por se tratar de uma região que sofre maior solicitação de esforço devido ao içamento do painel.

Figura 76 – Vazamento de CC. A – Durante o espalhamento. B – Durante o adensamento



Fonte: autora (2014).

Também foi observado que havia a entrada de CAA nos septos dos blocos (Figura 77-A). Devido à fluidez do CAA, naturalmente houve o vazamento pela fresta da forma, após o confinamento do volume de CAA pelos blocos cerâmicos, conforme a Figura 77-B.

Na tentativa de diminuir a entrada de CAA nos septos dos blocos, optou-se em utilizar blocos com as extremidades superiores capeadas com argamassa (Figura 77-C-D). Considerando a rápida rotatividade de traços confeccionados de argamassa, foi possível obter resquíços de argamassa das betoneiras para fechamento dos blocos, sem causar ônus.

Figura 77 – A – B – Entrada de CAA nos septos dos blocos. C – D – Vazamento de CAA nas frestas da forma



Fonte: autora (2014).

As quantidades de CC e CAA vazada nos septos das formas estão apresentadas na Tabela 27. Como foi observada, a quantidade de CAA que vazou pelas frestas, não apresentou resultado relevante em relação ao mesmo problema apresentado pelo CC.

Tabela 27 – Quantidade de CC e CAA passante nas frestas da forma, em gramas

Concreto convencional		CAA	
Após espalhamento da camada de CC	Após adensamento do CC	Antes da colocação dos blocos cerâmicos	Após colocação dos blocos cerâmicos
1.110	617	1.297	281

Fonte: autora (2014).

Na Tabela 28 constam os valores de massa específica do CAA, as massas coletadas, em média, para o painel de dimensão (3650 x 1800) mm e os custos para o CC e o CAA.

Tabela 28 – Quantidade de CC e CAA, em gramas

	Concreto convencional	CAA
Massa específica (kg/m ³)	2.217	2.193
Massa (g)	1.727	1.578
Volume (m ³)	0,000779	0,72
Custo/m ³ (R\$)	205,42	311,66
Custo (R\$)	0,16	0,22

Fonte: autora (2014).

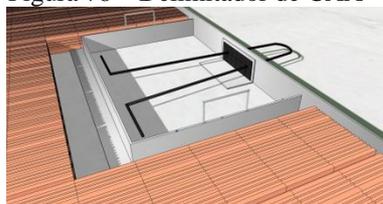
Constatou-se que, novamente o fator cimento/m³ influenciou no maior custo do volume de CAA vazado pelas frestas, com acréscimo de 37,5%.

7.5.7.2 Melhoria proposta

Para a implantação do CAA, a garantia da estanqueidade do sistema de formas foi parte importante no processo produtivo, pois devido à alta fluidez, a argamassa do CAA acabou passando por frestas, causando vazamento.

Com o objetivo de conter este volume de CAA faz-se necessário fechar a área da fresta com materiais que proporcionem a estanqueidade da forma e, para delimitar a área o uso de um delimitador de madeira ou aço, com altura da espessura do painel (Figura 78), permanecendo na cavidade até o final da concretagem. Após o tempo de início de pega do CAA, faz-se a retirada, para ser usado posteriormente.

Figura 78 – Delimitador de CAA



Fonte: autora (2014).

7.5.8 Desmoldagem

7.5.8.1 Problema levantado

Visando oferecer maior produtividade e redução de custos de produção, utilizou-se desmoldante solúvel em água, que, se tratando de experiência, optou-se fazer uso em período chuvoso. Como consequência desse uso pode observar que, segundo Moreira (2009), quando usados em ambientes expostos à chuva, podiam ser lavados, não realizando o efeito desejado e, conseqüentemente, o painel apresentou manchas na superfície (Figura 79-A-B). Após essa mudança, quando içados, observou-se que a aderência entre os dois tipos de concreto e o painel não estava sendo garantida, deixando resíduos sobre a pista (Figura 79-C).

Figura 79 – A – B – Superfície de painel moldado com CC e CAA. C – Resíduos da superfície de painel



Fonte: autora (2014).

7.5.8.2 Melhoria proposta

Os desmoldantes à base de óleo mineral são recomendados para a utilização em produção de pré-moldados. Através de verificação nos corpos de prova dos ensaios de resistência à compressão, moldados com CAA na central de pré-moldados, verificou-se a obtenção de superfícies mais lisas (Figura 80). Foi utilizado o método de fotografias como um padrão para comparação qualitativa entre o grau de acabamento das superfícies dos painéis com CC e CAA. Nota-se que a distribuição de diâmetros diferenciou visualmente a superfície do CC e a do CAA, com acabamento melhor, conforme ilustrado na Figura 81, uma vez que o percentual total de área ocupada por defeitos pode variar de forma relativamente aleatória.

Cuidados especiais devem ser tomados com o desmoldante, pois a falta de uniformidade na sua aplicação e/ou baixo desempenho do produto impedem que o concreto solte da forma. É importante usar desmoldante com baixa viscosidade para formar película fina, onde pequenos vazios podem aparecer nos pontos onde o concreto ficou aderido e a superfície fica áspera. O excesso de desmoldante dificulta o escape do ar aprisionado na moldagem, podendo ocasionar bolhas e manchas (ROVARIS; ALENCAR, 2013).

Para evitar retrabalho, a quantidade correta pode ser verificada através do teste empírico do dedo, que ao passar na forma, nenhuma marca de dedo visível deve ficar impressa (HONDA *et al.*, 2012).

Figura 80 – Superfícies dos corpos de prova moldados com CAA



Fonte: autora (2014).

Figura 81 – Superfícies de painéis moldados com CAA
Fonte: autora (2014).

Mudanças em procedimentos que estavam sendo executados relativos às formas, colaboraram para obter melhorias. Após a desmoldagem dos painéis ocorria diariamente a limpeza completa nas formas, onde eram retirados todos os detritos referentes a agregados, bem como rebarbas de nata de CC que tenham ficado presos.

7.5.9 Implantação de concretagem com a autobetoneira

7.5.9.1 Problema levantado

Foram realizadas duas tentativas em misturar e lançar o CAA através da autobetoneira em painéis de dimensão (6000 x 1800) mm. Observou-se que, mesmo tendo espalhamento na forma, o CAA apresentou-se segregado e com fluidez excessiva, conforme ilustrado na Figura 82. A sequência de mistura foi a mesma exposta no item 6.4, porém o tempo de transporte do CAA foi de 24 minutos e 26 segundos, em média, inferior ao tempo estabelecido pela NBR 7212 (ABNT, 2012), de no máximo 90 minutos. Essa diferença levou-se em conta o percurso feito pela autobetoneira para abastecimento de materiais, indicado no Apêndice G. A rotação da cuba permaneceu a mesma quando em misturas de CC. Observou-se também que, por questões rotineiras e recomendação da NBR 7212 (ABNT, 2012), o operador da autobetoneira, mesmo tendo sido direcionado pela pesquisadora, fez adição de uma pequena quantidade de água na cuba após as misturas terem sido dosadas.

Figura 82 – CAA lançado por autobetoneira



Fonte: autora (2014).

7.5.9.2 Melhorias propostas

Almeida Filho (2006) relata que, com relação à variabilidade do CAA, no estado fresco, um dos fatores que influenciam os resultados é o nível de limpeza da betoneira depois de cada concretagem. Melo (2005), considera que o procedimento e o tempo de mistura devem ser considerados. A sequência de mistura altera as propriedades finais do CAA e deve ser otimizada para cada tipo de misturador.

Considerando que a autobetoneira realizou as misturas e lançamento anteriores com o CC, supõe-se que o restante de água existente dentro de sua cuba influenciou a mistura do CAA, o qual foi feita com a quantidade de água estipulada no traço.

Antes de se iniciar a dosagem dos materiais, deve-se certificar-se que o interior da cuba está úmida, mas sem água livre (MELO, 2005). No caso, o uso da autobetoneira será eficaz somente com o uso do CAA.

7.5.10 Içamento de painel pré-moldado

7.5.10.1 Problemas levantados

Os painéis foram dimensionados conforme sua disposição e esforços recebidos. Porém, no painel pré-moldado, um dos maiores esforços localizados atua onde posiciona o inserto metálico para içamento do painel (Figura 83).

Figura 83 – Içamento de painel moldado com CAA



Fonte: autora (2014).

A primeira moldagem do painel de dimensão (2900 x 1800) mm com CAA fez parte da experimentação de mudança para o desmoldante à base de água, ilustrado na Figura 84, através da coloração esbranquiçada e que, logo aplicado, por causa da evaporação, aparecia manchas brancas na pista.

Figura 84 – Desmoldante à base de água aplicado



Fonte: autora (2014).

Por se tratar de um painel com área menor, fizeram-se emendas por traspasse com pedaços de tela, no intuito de sua utilização (Figura 85-A). A NBR 6118 (ABNT, 2014) permite esse tipo de emenda para barras de bitola menor que 32 mm, caso da malha de aço utilizada no processo, composta de barras de aço com bitola de 3,4 mm.

Como os painéis eram produzidos em pistas horizontais, as desmoldagens podiam ser feitas por rotação sobre uma de suas bordas (Figura 85-B), com içadores situados nas proximidades da borda oposta. Este tipo de desmoldagem é mais utilizada visto que minimiza o trabalho de tratamento da superfície nas regiões dos içadores (TOMO, 2013).

Considerando que há pouca resistência do concreto, de maneira geral, no momento de desmoldagem (TOMO, 2013) e que a primeira manifestação de resistência ao içamento apareceu do lado contrário ao lado do painel que apresentou dificuldades em desmoldagem, segundo indicado na Figura 85-B, dificultando o içamento, o que provocou esforço excessivo do guincho para sua retirada, ocasionando sua ruptura, partindo-se ao meio

(Figura 85-C). A influência do uso indevido deste desmoldante causou dificuldades para retirada total do painel para descarte (Figura 85-D).

Ressalta-se que o desmoldante tem a finalidade de evitar a aderência do concreto e facilitar a retirada do painel pré-moldado e que todos os painéis moldados, com exceção deste, não apresentaram problemas de içamento, utilizando o mesmo caminhão muncck.

Como exposto no item 7.4.3, a resistência à compressão relativa a esse CAA foi de 19,2MPa, inferior à resistência requerida, contribuindo também para a pouca resistência oferecida pelo painel.

Figura 85 – A – Emenda de pedaços de tela. B – Resistência ao içamento do painel. C - Ruptura do painel. D – Descarte do painel



Fonte: autora (2014).

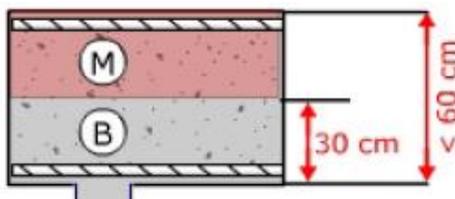
7.5.10.2 Melhorias propostas

Conforme discutido no item 7.5.8, os desmoldantes à base de óleo mineral são recomendados para a utilização em produção de pré-moldados. Ressalta-se que o desmoldante adequado tem a finalidade de evitar a aderência do concreto e facilitar a retirada do painel pré-moldado.

As barras da tela de aço atendem a NBR 6118 (ABNT, 2014) quanto à posição da barra durante a concretagem, boa situação quanto à aderência, na posição com inclinação

menor que 45° sobre a horizontal, onde o painel tem $h < 60$ cm, localizado no máximo 30 cm acima da face inferior do painel (Figura 86-B).

Figura 86 – A – Situação de boa aderência. B – Corte do painel pré-moldado

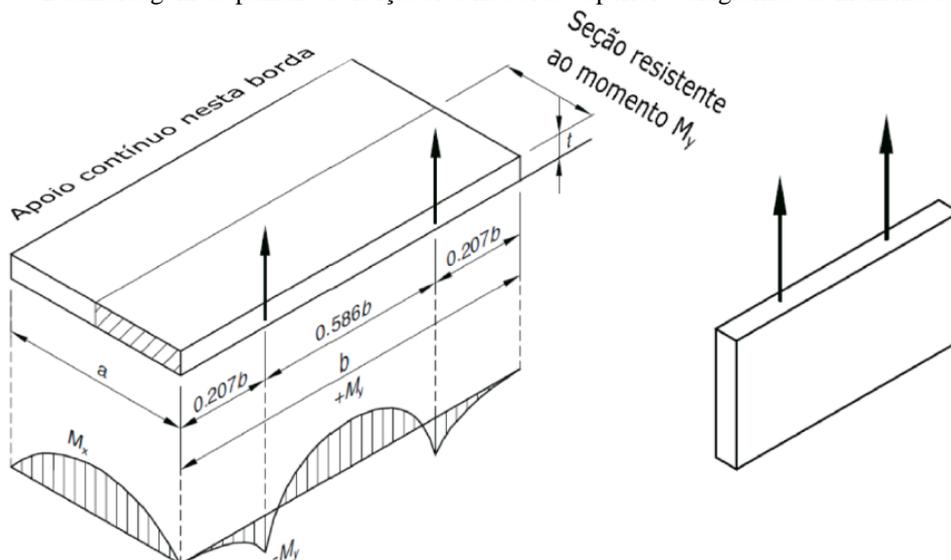


Fonte: adaptado da NBR (ABNT, 2014).

Conforme o European Project Group (2005) e Ouchi *et al.* (2003), a vibração durante a concretagem ocasiona a exsudação e segregação, prejudicando a aderência da armadura com o CC, e no caso do CAA, por não ter essa influência, a aderência é melhor do que no CC.

Como foi observado que não havia a preocupação com a posição dos içadores, sendo estes adaptados às formas para painéis de dimensão (6000 x 1800) mm. A Figura 87 mostra a locação de içadores recomendada pelo PCI (2010).

Figura 87 – Desmoldagem de painéis: dois içadores na borda superior e diagramas de momentos solicitantes



Fonte: adaptado PCI (2010).

7.5.11 Controle tecnológico da produção de painéis

7.5.11.1 Problemas levantados

Nas observações feitas na central de pré-moldados no período que procedeu a pesquisa, constatou-se que nenhum dos nove funcionários envolvidos na produção dos painéis pré-moldados tinha formação técnica e que recebiam treinamento da empresa acerca dos procedimentos de produção.

As telas de aço utilizadas na produção dos painéis pré-moldados eram estocadas em local aberto e com contato com o solo (Figura 88-C).

Houve variações consideráveis da umidade das areias, por estarem expostas a intempéries.

A água e o aditivo superplastificante utilizados na constituição do CC eram dosados com a utilização de baldes plásticos de cor escura (Figura 88-A) e recipiente de plástico (Figura 88-B), respectivamente, dificultando a leitura do volume.

Figura 88 – A – Dosagem da água. B – Dosagem do aditivo superplastificante. C – Telas de aço
Fonte: autora (2014).

Quando do içamento dos painéis após 24 horas de moldagem, estes seguiam para os suportes metálicos para aguardar a montagem ou diretamente para o canteiro de obras, sendo que o procedimento de cura era o cobrimento com lona até o içamento.

7.5.11.2 Melhorias propostas

Diante dos problemas enumerados, faz-se uma sugestão de medidas para implantação de um programa de controle tecnológico para favorecer a produção dos painéis pré-moldados com maior qualidade, considerando a aplicação do CAA.

a) Qualificação da mão de obra:

- faz-se necessário a contratação de um encarregado de produção com formação técnica para controlar os procedimentos de produção dos painéis pré-moldados;
- os procedimentos de produção dos painéis pré-moldados devem ser registrados em forma de Programação e Especificação de Serviço, que deverão estar sempre ao alcance dos operários envolvidos na produção, principalmente do encarregado de produção, que será o responsável pela

implantação de uma cultura de padronização dos serviços (LIMA; CAMPOS, 2012);

- treinar os seis operários de pista e os dois operadores de betoneira com base em uma cartilha baseada nestes documentos;
- b) controle de recebimento de agregados: considerado fundamental para garantia da qualidade do CAA a ser produzido. Assim, no recebimento frequente dos agregados era realizada uma análise preliminar por meio de uma inspeção visual pela pesquisadora, comparando-os com as características das amostras utilizadas na dosagem do traço da mistura no laboratório;
- c) controle das telas de aço: quanto à estocagem, deve-se armazenar as telas de aço em local protegido do tempo e afastado do solo de maneira a evitar o contato com a umidade e garantir a não ocorrência de corrosões excessivas, materiais aderidos e deformações;
- d) controle de cura do CAA: quanto ao procedimento de cura, pode-se implantar um procedimento de cura adequado, com a aspersão de água sobre os painéis e protegendo-os da ação do sol por, pelo menos, sete dias nessa condição;
- e) controle da dosagem do CAA: adequar o procedimento de mistura à NBR 12655 (ABNT, 2006), pois todos os constituintes estavam sendo medidos em volume, como por exemplo, os recipientes plásticos usados para medição da água, dificultavam a leitura da graduação, pode ter seu volume alterado com o tempo de uso. Propõe-se que seja adquirida uma balança e que todos os materiais sejam adicionados em massa.
- f) controle de ensaios tecnológicos a serem realizados:
- deve-se realizar o ensaio de granulometria dos agregados quando houver mudança de fornecedor, no mínimo a cada lote de 80 m³ e também sempre que o técnico notar alteração na granulometria, textura, forma ou cor do material;
 - deve ser feito um exame visual quanto à presença de material pulverulento e de matéria orgânica e, caso haja excesso das mesmas, deverá ser verificado tais teores por meio de ensaios de laboratório. Esse controle permite também reduzir as perdas de brita e areia;
 - determinação da umidade do agregado miúdo antes da dosagem do CAA, com posterior correção da quantidade de água a ser acrescentada na

mistura. Sugere-se o método de determinação de umidade pelo frasco de Chapman, conforme a NBR 9775 (ABNT, 2011). Caso ocorram precipitações pluviométricas durante o dia, repetir o ensaio;

- para todo lote de CAA realizar o ensaio do espalhamento, conforme a NBR 15823-2 (ABNT, 2010) até confirmação das características requeridas;
- moldar os corpos de prova para proceder aos ensaios de resistência à compressão, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007);

7.5.12 Produtividade diária de painéis

7.5.12.1 Problema levantado

A empresa trabalhou com um sistema de duas pistas, fazendo revezamento uma a uma por turno diário de trabalho, ou seja, pelo turno da manhã as duas equipes de três operários cada trabalhavam, por exemplo, na pista 1, e no turno da tarde, na pista 2, produzindo 7 painéis em cada turno, de modo que os 14 painéis eram içados após 24 horas.

7.5.12.2 Melhoria proposta

Para painéis de dimensão (3650 x 1800) mm, as duas pistas comportariam simultaneamente 20 painéis. Considerando o tempo médio de execução por painel de 39 minutos com o uso do CAA, 1 a 2 horas para desmoldagem e a formação de três equipes de produção com dois operários cada, seria viável a moldagem de 10 painéis em cada pista em cada turno do dia.

Mesmo considerado como tendência consolidada e aplicada, para Melo (2005) e Alencar (2008), uma avaliação econômica centrada apenas na produção unitária do CAA pode apresentar altos custos iniciais e que pode haver compensação pela redução de mão de obra utilizada na concretagem.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentados os principais resultados e conclusões obtidas a partir da pesquisa de laboratório e de campo realizadas neste trabalho.

8.1 Conclusões

A partir da revisão bibliográfica e também comprovado pelos experimentos de laboratório e de campo, pode-se evidenciar que um concreto dosado com os agregados brita e areia fina e a utilização do aditivo à base de policarboxilato e o VMA, considerando a compatibilidade entre eles, pode conduzir a uma mistura de CAA.

A análise dos ensaios para avaliar a autoadensabilidade do CAA (fluidez, habilidade passante, viscosidade plástica aparente e resistência à segregação) possibilitou uma correlação com os parâmetros de fluidez e, principalmente, com a prática de aplicação, validando-se assim o CAA para a produção de painéis pré-moldados.

A pesquisa foi realizada na produção de painéis pré-moldados com blocos cerâmicos, no âmbito da substituição da camada de CC por CAA, correspondendo a 1,9% do total de painéis produzidos na central de pré-moldados. Analisando em caráter quantitativo, poderia ser considerada porcentagem desprezível, mas analisando em caráter qualitativo, fez-se importante, considerando que, os painéis produzidos com o uso do CAA foram acompanhados e monitorados pela pesquisadora.

Na central de pré-moldados, a metodologia para dosagem do CAA mostrou-se eficiente, desde que alguns parâmetros sejam controlados, principalmente as condições dos materiais e de temperatura nas datas de confecção do CAA.

Concluiu-se que os ensaios de espalhamento e do anel J são suficientes para sua caracterização, embora sejam indicados todos os ensaios prescritos pela NBR 15823-1 (ABNT, 2010).

O ensaio do espalhamento possibilitou, além da análise da fluidez do CAA, uma avaliação visual prévia se estava havendo segregação ou não. Por ser de fácil execução, acabou sendo muito adequado para o controle de qualidade de produção. A classe de espalhamento SF 2 demonstrou ser adequada para a aplicação do CAA em painéis pré-moldados.

Através da otimização de um traço pode ser produzido CAA com resistência à compressão menor, como 25MPa, mas em contrapartida, como foi verificado, para baixa resistência o CAA se torna mais caro quando comparado somente seu custo com o do CC.

A aplicabilidade do CAA na central de pré-moldados também foi satisfatória em termos da resistência à compressão verificada. O CAA com consumo de cimento de 454 kg/m³ apresentou resistência à compressão compatível às exigidas pela produção do painel, $f_{ck} = 25$ MPa. O custo unitário do CAA ficou 51,72% a mais do CC, da mesma classe de resistência. A eliminação das atividades de produção 9 e 12, adensamento do CC e consequentemente a eliminação do uso do vibrador, e a diminuição do tempo de duração da atividade de produção 8, distribuição do CAA, permitiu 14% da diferença dos custos entre os dois tipos de produção de concreto. Entretanto, ocasionou a possibilidade de acréscimo de duas para três equipes de pista e, consequentemente, de 14 para 20 painéis/dia.

Ao realizar a pesquisa através de observações e fazer a substituição da camada do CC pelo CAA, constatou-se que essa mudança pode proporcionar potencial de melhoria no processo de produção. Mesmo o custo do CAA ter sido mais alto que o CC, a análise do custo de produção indicou ser vantajosa.

Foi possível a redução da mão de obra, com possibilidade em evitar acidentes, reaproveitamento dos remanescentes da mão de obra em aumento de produção e diminuição do consumo de equipamentos e energia elétrica.

Podem-se avaliar outros fatores que oferecem vantagens ao uso do CAA, difíceis de mensurar, como por exemplo, melhoria na qualidade de acabamento das superfícies, diminuição do barulho de ruídos, eliminando o incômodo de conviver com cabos de energia, prejudicando a movimentação na central de pré-moldados e aumento da vida útil dos painéis pré-moldados, por conta da homogeneidade e qualidade final dos mesmos. Em todas essas vantagens, a aplicação do CAA mostrou-se viável.

Alertou-se como relevante, a necessidade de controle tecnológico do processo de produção dos painéis pré-moldados, com assistência de um funcionário técnico, que teria a capacidade de aplicar corretamente os materiais, garantir a uniformidade desses materiais e padronizar o processo.

Para ser implantada a aplicação do CAA na central de pré-moldados, além de fazer a substituição do material, envolve também a necessidade de alguns investimentos iniciais, como por exemplo, as modificações propostas no item 7.5, dentre elas um adequado controle de qualidade do CAA, sobretudo, no concreto fresco, treinamento de mão de obra e a

implantação do uso da autobetoneira para concretagem. Constatou-se, em experiência realizada, que com essa implantação feita pela empresa, para obter o CAA adequado deve ser feito o uso com a autobetoneira apenas com o CAA, para não ocasionar segregação e exsudação do CAA no estado fresco.

Esses investimentos acontecem de forma gradativa e se pagam ao longo do processo de implementação dessa tecnologia, mas na realidade percebe-se que, quando implantadas, essas melhorias devem ser contínuas.

8.2 Sugestões para trabalhos futuros

Após o estudo da aplicação do CAA, podem-se notar alguns fatores que de certa forma irá chegar a resultados melhores. Desta forma recomenda-se:

- a) estudar a possibilidade de aplicação de outros tipos de cimento e a adição de finos que possam diminuir o custo do CAA;
- b) elaborar outros traços, inclusive com variação da porcentagem de aditivo superplastificante;
- c) realizar um maior controle da dosagem e das características dos materiais, uma vez que ele é bem mais sensível às variações nos materiais do que o CC;
- d) elaborar o plano de concretagem para o processo de produção dos painéis pré-moldados.

REFERÊNCIAS

- HELENE, P.; SALOMON, L. Cura do concreto. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción. **Boletim Técnico 8**. Mérida: ALCONPAT BRASIL, 2013. 12 p. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/bt62.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2014.
- ALENCAR, R. S. A. **Dosagem do concreto auto-adensável**: produção de pré-fabricados. 2008. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-19092008-161938/pt-br.php>>. Acesso em: 13 nov. 2012.
- ALENCAR, R.; CUPERTINO, M. A.; BATTAGIN, I. Normalização técnica ABNT NBR 15823: a norma brasileira de concreto autoadensável. **Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 59, p. 58-64, jul-ago-set. 2010.
- ALENCAR, R.; MARCON, J.; HELENE, P. Módulos pré-fabricados de concreto auto-adensável para obras de habitação popular. **Fábrica de Concreto Internacional**, Cologne, ed. 6, p. 126-132, jun. 2010. Disponível em: <<http://www.cpi-worldwide.com/br/journals/artikel/18418>>. Acesso em: 02 jul. 2014.
- ALMEIDA FILHO, F. M. **Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concretos auto-adensáveis**. 292 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <http://web.set.eesc.usp.br/static/2006DO_FernandoMenezesdeAlmeidaFilho.pdfdata/producao/>. Acesso em: 19 jan. 2013.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Self-consolidating concrete. **ACI International Committee 237**, Farmington Hills, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.share-pdf.com/000ef0454e89407aa19378e95a4b79c0/SelfCompactingConcreteMWilson.htm>>. Acesso em: 17 maio 2014.
- ANDRADE FILHO; SILVA; ANDRADE. Pré-fabricados de concreto: cenário atual e necessidades especiais de produção e controle. **Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 59, p. 65-69, jul-ago-set. 2010. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_59.pdf>. Acesso em: 14 set. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Anuário Brasileiro do Concreto 2014. São Paulo: ABCP, 2014. 99 p. Disponível em: <http://www.abcic.org.br/anuario_2013/index.html>. Acesso em: 17 maio 2014.
- _____. Comunidade da Construção. Orientações para o uso do concreto autoadensável em edifícios. **Caderno de Ativos GTEC 5º Ciclo**. Belo Horizonte: ABCP, 2012. 16 p. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/334/anexo/bh5ciclogt.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30:** Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 33: Concreto** – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 46:** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5733:** Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7212:** Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7222:** Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 7480:** Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7681:** Calda de cimento para injeção – Parte 2: Determinação do índice de fluidez e da vida útil – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 9062:** Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 9775:** Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9833:** Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 11768:** Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15270-1:** Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15823-1:** Concreto auto-adensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-2:** Concreto auto-adensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-3:** Concreto auto-adensável Parte 3: Determinação da habilidade passante. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-4:** Concreto auto-adensável Parte 4: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-5:** Concreto auto-adensável Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-6:** Concreto auto-adensável Parte 6: Determinação da resistência à segregação – Método da coluna de segregação. Rio de Janeiro, 2010.

BADISCHE ANILIN UND SODA-FABRIK. **Manual técnico**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.basf-cc.com.br/PT/produtos/aditivos/Glenium51/Documents/Glenium%C2%AE%20%2051.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2013.

BADISCHE ANILIN UND SODA-FABRIK. Notícias. **BASF e Supermix Concreto avançam no uso do concreto autoadensável**. Disponível em: <<http://www.basf-cc.com.br/PT/noticias/Pages/parceriabasfsupermix.aspx>>. Acesso em: 17 maio 2014.

BATTAGIN, A. F.; RODRIGUES, H. Recomendações sobre o uso dos distintos tipos de cimento Portland nas diferentes aplicações. **Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 73, p. 30-38, jan-mar. 2014. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_73.pdf>. Acesso em: 17 maio 2014.

BELOHUBY, M.; ALENCAR, R. S. A. Tecnologia do concreto pré-fabricado: inovações e aplicações. *In*: MELO, C. E. E. (E.). **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. 2. ed. São Paulo : PINI, 2007. p. 511-531.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Fortaleza contará com o maior projeto do MCMV no Nordeste**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/e00cadb7>>. Acesso em: 3 ago. 2013.

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. 2 ed. São Paulo: Perspectiva, 2002. (Coleção Debates,135).

CARASEK, H. Argamassas. *In*: ISAIA, G. C. (E.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2010. v. 2. cap. 28. p. 893-943.

CASTRO, A. L.; SANTOS, R. F. C.; ARAÚJO, G. S. Dosagem de concreto auto-adensável para aplicação em paredes de concreto moldadas na obra. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54., 2012, Maceió. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2012.1 CD.

CENTRO EXPERIMENTAL DE LA VIVIENDA ECONÓMICA. Tecnologías Constructivas. Sistemas Constructivos. **Sistema BENO**. Disponível em: <<http://www.ceve.org.ar/sistemabeno.html>>. Acesso em: 27 mar. 2014.

CESAR, C. G. **Desempenho estrutural de painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos**. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CESAR, C. G.; ROMAN, H. R. Pesquisa e desenvolvimento de processos construtivos industrializados em cerâmica estrutural. *In*: BONIN, L. C.; AMORIM, S. R. L. (Editores). **Inovação Tecnológica na Construção Habitacional (Coletânea Habitare)**. Porto Alegre: Programa de Tecnologia de Habitação, 2006. 6 v. p. 116-142.

CESAR, C. G.; PARIZOTTO FILHO, S.; CARDOSO, A. P.; ROMAN, H. R.; BARTH, F. Desenvolvimento de um processo construtivo em painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. *In*: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO

SUSTENTÁVEL, 1., ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: claCS/ENTAC, 2004. 1 CD.

CUNHA, J. C. **A história das construções**: da pedra lascada às pirâmides de Dahchur. Belo Horizonte: Autêntica, 2009. 1 v. 284 p.

DAVID, F. O. Prefabricación para viviendas asequibles o de bajo coste. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL ABCIC, 5., 2010, São Paulo. **Palestras...** São Paulo: ABCIC, 2010. Disponível em: < http://www.abcic.org.br/home_vseminario.asp>. Acesso em: 11 fev. 2013.

DAWSON, S. **Cast in concrete**: reconstructed stone and precast concrete – A guide for architects. London: Architectural Cladding Association, 1995. 99 p.

DONIAK, I. L. O. A pré-fabricação em concreto como alternativa viável. **Conjuntura da Construção**, São Paulo, a. IX, n. 2, p. 12-13, jun. 2011. Disponível em: < <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/imprensa/conjunturadaconstrucao/junho2011.pdf> >. Acesso em: 17 maio 2014.

DONIAK, I. L. O. Os desafios da industrialização em concreto. **Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 72, p. 31-34, out-dez. 2013. Disponível em:< http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_72.pdf>. Acesso em: 17 maio 2014.

DONIAK, I. L. O.; GUTSTEIN, D. Concreto pré-fabricado. *In*: ISAlA, G. C. (E.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011. v. 2. cap. 43. p. 1569-1613.

DUALIBI, J. Arquiteto Joan Villà: a construção de pré-fabricados cerâmicos. **Belas Artes**, São Paulo. 2011. Disponível em: <<http://www.belasartes.br/revistabelasartes/downloads/artigos/6/a-construcao-de-pre-fabricados-ceramicos.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2013.

El DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. São Carlos: EESC-USP, 2000. 456 p.

EUROPEAN PROJECT GROUP. **The European guidelines for self-compacting concrete**: specification, production and use. 2005. Disponível em: <<http://www.efnarc.org/publications.html>>. Acesso em: 14 fev. 2013.

FÁBRICA DE CONCRETO INTERNACIONAL. Notícias. **Gericon, Freilassing e Bochum, Alemanha**. 2013. Disponível em: <<http://www.basf-cc.com.br/PT/noticias/Pages/parceriabasfsupermix.aspx>>. Acesso em: 2 jul. 2014.

FARIA, R. Sinat. **Téchne**, São Paulo, ed. 150, set. 2009. Disponível em: < <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/150/artigo285470-1.aspx>>. Acesso em: 27 maio 2014.

FARIA, R. Solução fluida. **Téchne**, São Paulo, ed. 132, mar. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/132/artigo286483-1.aspx>>. Acesso em: 27 mai. 2014.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Agregados para a construção civil. *In*: ISAIA, G. C. (E.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2010. cap. 16. p. 483-525.

FÁVERO, R. B. Estudo comparativo entre a utilização de concreto convencional e de concreto autoadensável na construção de um edifício residencial. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55., 2013, Gramado. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2013. 1 CD.

FERRAZ, A. L. N. **Avaliação de retração e fluências do concreto auto-adensável para aplicação em elementos pré-moldados**. 2009. 253 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, 2009.

FERRERO, A. *et al.* Sistema constructivo “Benuma” para la producción del hábitat social. **El Cable**, Bogotá, n. 5, p. 54-59, 2006. Disponível em: <<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/elcable/article/view/1249/1806>>. Acesso em: 7 jun. 2013.

FEYS, D.; SCHUTTER, G.; VERHOEVEN, R.; KHAYAT, K. H. Similarities and differences of pumping conventional and self-compacting concrete. *In*: KHAYAT, K. H.;

FEYS, D. (E.). **Design, production and placement of self-consolidating concrete**. Montreal: RILEM, 2010. v. 1. theme 4. p. 153-162. Disponível em: <http://download.springer.com/static/pdf/238/bfm%253A978-90-481-9664-7%252F1.pdf?auth66=1416366882_a50c76359f49f8d5382663d35ea2c6f4&ext=.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2014.

FOCHS, R. G.; RECENA, F. A. P.; SILVA, I. N. L. Review: métodos experimentais de dosagem de concreto autoadensável (CAA) desenvolvidos no Brasil. **Liberato**, Novo Hamburgo, v. 14, n. 21, p. 99-112, jan./jun. 2013. Disponível em: <[http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2014,%20n.%2021%20\(2013\)/08Concreto.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2014,%20n.%2021%20(2013)/08Concreto.pdf)>

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Sondagem de expectativas da indústria de pré-fabricados de concreto**. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.abcic.org.br/pdf/relat_FGV_DadosSetor.pdf>. Acesso em: 20 maio 2014.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Nota Técnica 1. **Déficit habitacional no Brasil 2011-2012: resultados preliminares**. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/docman/cei/deficit-habitacional/363-deficit-nota-tecnica-dh-2012/file>>. Acesso em: 28 maio 2014.

GAGLIARDO, D. P.; MASCIA, N. T. Análise de estruturas sanduíche: parâmetros de projeto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 247-258, out./dez. 2010. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/13100/10598>>. Acesso em: 4 mar. 2013.

GAYWALA, N. R.; RAIJIWALA, D. B. Self compacting concrete: a concrete of next decade. **Journal of Engineering Research and Studies**, v. II, p. 213-218, oct./dec. 2011. Disponível em:

<<http://www.technicaljournalsonline.com/jers/VOL%20II/JERS%20VOL%20II%20ISSUE%20IV%20OCTOBER%20DECEMBER%202011/ARTICLE%2041%20JERS%20VOLII%20ISSUE%20IV%20OCT%20DEC%202011.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2014.

GEYER, A. L. B.; SÁ, R. R. Concreto auto-adensável: uma nova tecnologia à disposição da construção civil de Goiânia. **Realmix Informativo Técnico**, Goiânia, a. 1, n. 1, p. 1-6, abr. 2005. Disponível em:

<http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/informativo_realmix.pdf>. Acesso em: 22 maio 2013.

GIRIBOLA, M. Entenda as tipologias dos espaçadores usados para posicionar e garantir o cobrimento mínimo das armaduras. **Construção Mercado**, São Paulo, ed. 155, jun. 2014.

Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/155/artigo313051-1.aspx>>. Acesso em: 27 maio 2014.

GOMES, P. C. C. **Optimization and characterization of high-strength self compacting**. 2002. 139 p. Tese (Doutorado) – Escola Tècnica Superior d’Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, 2002.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: PINI, 2009. 165 p.

HO, D. W. S.; SHEINN, A. M. M.; TAM, C. T. The sandwich concept of construction with SCC. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 1377-1381, sep. 2001. Disponível em:

<http://ac.els-cdn.com/ez11.periodicos.capes.gov.br/S0008884601005774/1-s2.0-S0008884601005774-main.pdf?_tid=ff3cecb6-6372-11e4-b2d6-00000aab0f26&acdnt=1415030808_ea28eacc8e1cae166343849b7ef8c98e>. Acesso em: 20 jun. 2013.

HONDA, J. T. *et al.* Influência de desmoldantes à base de óleos vegetais e minerais sobre a aderência de revestimento ao concreto. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54., 2012, Maceió. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2012. 1 CD.

KAHN, L. F.; KURTIS, K. E. Selfconsolidating concrete in congested sections: mixture characteristics and assessment of performance. **PCI Journal**, p. 79-96, winter 2010.

Disponível em:

<http://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/Publications/PCI_Journal/2010/DOI_Articles/JL-10-WINTER-9.pdf>. Acesso em: 17 maio 2014.

KHAYAT, K.; GHEZAL, A. Effect of viscosity-modifying admixture superplasticizer combination on flow properties of SCC equivalent mortar. *In*: INTERNACIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 3., 2003. **Anais eletrônico...**

Bagneux: RILEM Publications SARL, 2003. p. 369-385. Disponível em: <http://www.rilem.org/gene/main.php?base=05&id_publication=38&id_papier=4212>. Acesso em: 16 maio 2013.

KWAN, A. K. H.; NG, I. Y. T. Improving performance and robustness of SCC by adding supplementary cementitious materials. *In: Construction and Building Materials*, p. 2260-2266, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810001509>>. Acesso em: 17 maio 2014.

LIMA, S. M.; CAMPOS, F. M. Controle tecnológico na produção de trilhos de laje pré-fabricada. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54.*, 2012, Maceió. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2012. 1 CD.

MARKO, R. Importância dos municípios é gigantesca na faixa 1. **Notícias da Construção**, São Paulo, a. 11, n. 132, p. 18, abr. 2014. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/imprensa/noticiasdaconstrucao/2014/revista_ed_132_web.pdf>. Acesso em: 17 maio 2014.

MARKO, R. Setor busca produtividade. **Notícias da Construção**, São Paulo, a. 10, n. 128, p. 24, nov. 2013. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/downloads/imprensa/noticiasdaconstrucao/2013/128.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2014.

MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filler calcário**. 184 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MELO, C. E. E. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MENEGOTTO, M. Development of structural prefabrication in Europe. *In: LATIN AMERICAN SEMINAR ON CONCEPTUAL DESIGN AND APPLICATIONS OF PRECAST CONCRETE STRUCTURES, 1.*, 2012, Rio de Janeiro. **Palestras...** São Paulo: ABCIC, 2012. Disponível em: <<http://www.abcic.org.br/latinamericaseminar/default.asp>>. Acesso em: 11 fev. 2013.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria da Habitação. Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat. Sistema Nacional de Avaliação Técnica. **DATAec – Nº 009B**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <[file:///C:/Users/Diana%20darley/Downloads/pbqph_d2519%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Diana%20darley/Downloads/pbqph_d2519%20(1).pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria da Habitação. Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat. Sistema Nacional de Avaliação Técnica. **DATAec – Nº 013**. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <[file:///C:/Users/Diana%20darley/Downloads/pbqph_d2442%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Diana%20darley/Downloads/pbqph_d2442%20(1).pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2013.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria da Habitação. Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat. Sistema Nacional de Avaliação Técnica. **DATAec – Nº 021**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <

file:///C:/Users/Diana%20darley/Downloads/pbqph_d2995%20(1).pdf>. Acesso em: 2 fev. 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria da Habitação. Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat. **Sistema Nacional de Avaliação Técnica**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php>. Acesso em: 8 fev. 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 15: Atividades e operações insalubres**. Brasília, 1978.

MOREIRA, K. A. W.; CERRI, J. A.; ARAÚJO, M. S. Os desmoldantes na qualidade da peça pré-fabricada na região de Curitiba. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA- PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO*, 2., 2009, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC-USP, 2009. 1 CD.

NUNES, S. C. B. **Betão auto-compactável: tecnologia e propriedades**. 198 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2001. Disponível em:

<<http://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/11114/2/Texto%20integral.pdf>>.

Acesso em: 25 jan. 2013.

OUCHI, M. *et al.* Applications of self-compacting concrete in Japan, Europe and the United States. **ISHPC**, p. 2-5, 2003. Disponível em: <<https://www.fhwa.dot.gov/bridge/scc.pdf>>.

Acesso em: 19 maio 2014.

OLSEN, E. O. Housing programs for low-income households. **Means – Tested Transfer Programs in the United States**, Chicago, p. 373-374, 2003. Disponível em: <<http://www.nber.org/chapters/c10259.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2014.

ORDÓÑEZ, D. F.; DONIAK, I. L. Industrialização em concreto: solução para o desenvolvimento habitacional. **Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 59, p. 21-26, jul.ago.set. 2010. Disponível em:

<http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_59.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2013.

PARIZOTTO FILHO, S. **Análise arquitetônica e construtiva de tipos habitacionais edificados com painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos**. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

POLAT, G. Precast concrete systems in developing vs. industrialized countries. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 16, n. 1, p. 85-94, ago. 2010. Disponível em:

<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/jcem.2010.08?journalCode=tcem20#preview>>.

Acesso em: 7 fev. 2013.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. **Designing with Precast and Prestressed Concrete**. Chicago, 1992. Disponível em:

<file:///C:/Users/Diana%20darley/Downloads/PCI_DWP_binder_ch1.pdf >. Acesso em: 17 maio 2014.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. Interim Guidelines for the Use of Self-Consolidating Concrete in PCI Member Plants. **PCI Journal**, Chicago, v. 48. n. 3, p. 14-18, may.jun. 2003. Disponível em: <
http://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/Publications/PCI_Journal/2003/May-June/PCI%20JOURNAL_MAY%20JUNE%202003%20VOL.%2048%20NO.%203.pdf>.
Acesso em: 17 maio 2014.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. State of the art of precast/prestressed concrete sandwich wall panels. **PCI Journal**, Chicago, v. 56. n. 2, p. 131-176, 2011. PCI Committee on Precast Sandwich Wall Panels. Disponível em: <
http://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/Publications/PCI_Journal/2003/May-June/PCI%20JOURNAL_MAY%20JUNE%202003%20VOL.%2048%20NO.%203.pdf>.
Acesso em: 17 maio 2014.

PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. **Manual for Structural Design of Architectural Precast Concrete**. Chicago, 1989. Disponível em: <
<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/005/pci.mn.121.1989.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2014.

REPETTE, W. L. Concreto autoadensável. *In*: ISAIA, G. C. (E.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011. v. 2. cap. 48. p. 1769-1806.

REPETTE, W. L. Self-compacting concrete: a labor cost evaluation when used to replace traditional concrete in building construction. *In*: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 5., 2007, Ghent. **Anais eletrônico ...** Bagneux: RILEM Publications SARL, 2007. p. 2001-2006. Disponível em: <
http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=59&id_papier=3092>.
Acesso em: 16 maio 2013.

REVEL, M. **La prefabricacion en la construccion**. Bilbao: Urmo, 1973. 457 p.

ROVARIS, G.; ALENCAR, R. Megavigas pré-fabricadas: projeto, tecnologia do CAA, produção e montagem em obra. **Concreto & Construções**, São Paulo, ed. 72, p. 35-45, out-dez. 2013. Disponível em:<
http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_72.pdf>. Acesso em: 17 maio 2014.

SABATTINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos - Formulação e aplicação de uma metodologia**. 207 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANTOMAURO, A. C. Aditivos para concreto. **Química e Derivados**, São Paulo, a. XLVI, n. 506, p. 12-21, fev. 2011. Disponível em: <
<http://www.quimica.com.br/pquimica/revista/fevereiro-2011-no-506/>>. Acesso em: 8 jul. 2013.

SCHMITT, H.; HEENE, A. **Tratado de construcción**. 7 ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

SENRA, O. G. Habitação social e incorporadoras: atuar na faixa mais baixa do Minha Casa, Minha Vida pode ser opção de diversificação para as incorporadoras. **Construção Mercado**, São Paulo, ed. 108, jul. 2010. Disponível em: <

<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/108/artigo283777-1.aspx>>. Acesso em: 17 maio 2014.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A.; PIGOZZO, B. N. Evolução dos pré-fabricados de concreto. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1., 2005, São Carlos. **Anais eletrônicos ...** São Carlos: EESC-USP, 2005. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/>>. Acesso em: 12 nov. 2012.

SILVA, M. A. C. Industrialização já! **Notícias da Construção**, São Paulo, n. 130, a. 11, jan-fev. 2014. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/imprensa/noticiasdaconstrucao/2014/revista_noticias_ed_130_WEB.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2014.

SILVA, F. B. **Planejamento de processos de construção para a produção industrializada de edifícios habitacionais**: proposta de um modelo. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TAMAKI, L. Salto produtivo. **Téchne**, São Paulo, ed. 157, abr. 2010. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/157/artigo287739-1.aspx>>. Acesso em: 27 maio 2014.

TOMO, F. C. **Critérios para projetos de edifícios com paredes portantes de concreto pré-moldado**. 2013. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

TUTIKIAN, B. F. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis**. 2007. 162 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. **Concreto auto-adensável**. São Paulo: PINI, 2008. 140 p.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D.; CREMONINI, R. Comparação de propriedades de concretos auto-adensáveis com e sem aditivo modificador de viscosidade. **IBRACON Materials Journal**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 56-66, set. 2006. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_materiais/>. Acesso em: 21 maio 2013.

TUTIKIAN, B. F. *et al.* A comparison of production costs using conventional concrete and self-compacting concrete in brazilian precast. *In*: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 4., 2005, Chicago. **Anais...** Bagnaux: RILEM, 2005. Disponível em: <<https://getinfo.de/app/A-Comparison-of-Production-Costs-Using-Conventional/id/BLCP%3ACN073830574>>. Acesso em: 21 maio 2013.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Tradução de Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002.

VILLAR, F. H. R. **Alternativas de sistemas construtivos para condomínios residenciais horizontais** - Estudo de caso. 2006. 139 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

WALRAVEN, J. Self compacting concrete: properties, development and code recommendations. *In*: KHAYAT, K. H.; FEYS, D. (E.). **Design, production and placement of self-consolidating concrete**: proceedings of SCC2010. Montreal: RILEM, 2010. v. 2. p. 25-44. Disponível em: <<https://download.e-bookshelf.de/download/0000/6183/64/L-G-0000618364-0002364982.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2014.

ZANONI, V. A. G.; SÁNCHEZ, J. M. M. Estágio de desenvolvimento tecnológico dos painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: UFJF, 2012. p. 725-730. 1 CD.

APÊNDICE A – ATIVIDADES DE PRODUÇÃO

**APÊNDICE B – ATIVIDADES DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS
COM CC (6000 x 1800) mm**

Atividade	Descrição da atividade	Material			Mão de obra	
		Descrição	Unidade	Consumo	t (min/s)	Nº de operários
1	Limpeza da pista	-	-	-	3'17"	1
2	Armação das formas	-	-	-	8'38"	2
3	Aplicação de desmoldante	-	-	-	2'38"	1
4	Posicionamento de espaçadores plásticos	Espaçador	Unid.	44	1'28"	1
5	Posicionamento da tela	-	-	-	56"	1
6	Armação dos ferros para içamento	-	-	-	3'27"	1
7	Lançamento do CC*	-	-	-	43"	-
7	Lançamento do CC**	-	-	-	53"	-
8	Distribuição do CC*	-	-	-	4'19"	2
8	Distribuição do CC**	-	-	-	3'43"	2
9	Adensamento da camada de CC	-	-	-	4'39"	1
10	Colocação de blocos cerâmicos	Bloco	Unid.	187	12'47"	2
11	Lançamento de água sobre os blocos	-	-	-	25"	1
12	Adensamento do CC***	-	-	-	1'37"	1
13	Lançamento da argamassa*	-	-	-	55"	-
13	Lançamento da argamassa**	-	-	-	58"	-
14	Distribuição da argamassa*	-	-	-	3'40"	2
14	Distribuição da argamassa**	-	-	-	2'59"	2
15	Adensamento da camada de argamassa	-	-	-	1'58"	2
16	Acabamento da camada de argamassa	-	-	-	5'27"	2
17	Limpeza após o acabamento	-	-	-	6'41"	1
18	Desmoldagem do painel	-	-	-	4'2"	1
19	Cobrimento do painel com lona	-	-	-	15"	2
Total					76'25"	-

* Lançado por pá carregadeira

** Lançado por autobetoneira

*** Relativo à região onde situa os ferros de içamento

**APÊNDICE C – ATIVIDADES DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS
COM CC (3650 x 1800) mm**

Atividade	Descrição da atividade	Material			Mão de obra	
		Descrição	Unidade	Consumo	t (min/s)	Nº de operários
1	Limpeza da pista	-	-	-	1'41"	1
2	Armação das formas	-	-	-	6'57"	2
3	Aplicação de desmoldante	-	-	-	1'43"	1
4	Posicionamento de espaçadores plásticos	Espaçador	Unid.	27	1'52"	1
5	Posicionamento da tela	-	-	-	1'20"	2
6	Armação dos ferros para içamento	-	-	-	2'55"	1
7	Lançamento do CC*	-	-	-	15"	-
8	Distribuição do CC	-	-	-	4'25"	2
9	Adensamento da camada de CC	-	-	-	1'45"	1
10	Colocação de blocos cerâmicos	Bloco	Unid.	108	7'45"	2
11	Lançamento de água sobre os blocos	-	-	-	28"	1
12	Adensamento do CC**	-	-	-	52"	1
13	Lançamento da argamassa*	-	-	-	14"	-
14	Distribuição da argamassa	-	-	-	3'5"	2
15	Adensamento da camada de argamassa	-	-	-	38"	2
16	Acabamento da camada de argamassa	-	-	-	2'36"	2
17	Limpeza após o acabamento	-	-	-	1'55"	1
18	Desmoldagem do painel	-	-	-	3'9"	1
19	Cobrimento do painel com lona	-	-	-	10"	2
Total					43'45"	-

* Lançado por pá carregadeira

** Relativo à região onde situa os ferros de içamento

**APÊNDICE D – ATIVIDADES DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS
COM CAA (3650 x 1800) mm**

Atividade	Descrição da atividade	Material			Mão de obra	
		Descrição	Unid.	Consumo	t (min/s)	Nº de operários
1	Limpeza da pista	-	-	-	1'41''	1
2	Armação das formas	-	-	-	6'32''	2
3	Aplicação de desmoldante	-	-	-	1'11''	1
4	Posicionamento de espaçadores plásticos	Espaçador	Unid.	20	1'23''	1
5	Posicionamento da tela	-	-	-	1'20''	2
6	Armação dos ferros para içamento	-	-	-	1'53''	1
7	Lançamento do CAA*	-	-	-	15''	-
8	Distribuição do CAA	-	-	-	3'18''	1
10	Colocação de blocos cerâmicos	Bloco	Unid.	121	10'9''	1
11	Lançamento de água sobre os blocos	-	-	-	28''	1
13	Lançamento da argamassa*	-	-	-	14''	-
14	Distribuição da argamassa	-	-	-	3''	2
15	Adensamento da camada de argamassa	-	-	-	28''	2
16	Acabamento da camada de argamassa	-	-	-	1'10''	2
17	Limpeza após o acabamento	-	-	-	2'39''	1
18	Desmoldagem do painel	-	-	-	3'9''	1
19	Cobrimento do painel com lona	-	-	-	10''	2
Total					39'	-

* Lançado por pá carregadeira

APÊNDICE E – LAYOUT DA CENTRAL DE PRÉ-MOLDADOS

APÊNDICE F – LAYOUT DO FLUXO DE TRANSPORTE DA PÁ CARREGADEIRA

APÊNDICE G – LAYOUT DO FLUXO DE TRANSPORTE DA AUTOBETONEIRA

APÊNDICE H – PAINEL PRÉ-MOLDADO COM BLOCOS CERÂMICOS E CC

APÊNDICE I – PAINEL PRÉ-MOLDADO COM BLOCOS CERÂMICOS E CAA

APÊNDICE J – CONTROLE TECNOLÓGICO DO CC

APÊNDICE K – CONTROLE TECNOLÓGICO DO CAA

**ANEXO A – PAINEL PRÉ-MOLDADO EM ALVENARIA COM BLOCOS
CERÂMICOS E CONCRETO ARMADO**

**ANEXO B – RESULTADOS DOS ENSAIOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO CIMENTO
CP V-ARI RS**