



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÕES E ESTRUTURAS

WITSON ANDRADE DA SILVA

**CONCRETO AUTONIVELANTE: UMA ANÁLISE TÉCNICA, ECONÔMICA E
SUSTENTÁVEL**

SÃO LUÍS - MA

2016

WITSON ANDRADE DA SILVA

**CONCRETO AUTONIVELANTE: UMA ANÁLISE TÉCNICA, ECONÔMICA E
SUSTENTÁVEL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Esp. Clayton Carvalhedo Silva

SÃO LUÍS - MA

2016

Andrade, Witson da Silva

Concreto Autonivelante : Uma Análise Técnica, Econômica e Sustentável
/ Witson Andrade da Silva – São Luís, 2016.

137 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade
Estadual do Maranhão, 2016.

A Deus, primeiramente, pois foste o meu auxílio durante todo o curso. A meus pais, irmãos e familiares que me assistiram no decorrer desta trajetória. A meus Professores e mestres pelos ensinamentos a mim confiados.

AGRADECIMENTOS

À Deus, eterno criador e regente de todas as coisas, que sempre esteve comigo no decorrer deste trajeto, pela sua fidelidade e amor.

À meus pais, Walmir Ribeiro e Maria José Andrade, por me mostrarem sempre o caminho correto, pelo apoio, pela ajuda, pela compreensão, e em especial por todo amor e carinho a mim depositados.

À meus irmãos, Wenner Andrade e William Andrade, pela compreensão, pelo apoio, pelo carinho e em especial por todo incentivo e preocupação diária com o meu sucesso acadêmico.

Aos meus tios e primos, pelo amor, pelo respeito, pelo companheirismo e amizade no decorrer de todo este trajeto.

Aos meus amigos e colegas de curso, pela cumplicidade, companhia, amizade e afeição em meio às longas noites em claro.

Ao professor Clayton Carvalhedeo, pela exaustiva atenção, pelo incentivo, pela exímia orientação prestada, fazendo-se sempre presente, eficaz e objetivo em seus conselhos acadêmicos.

A todos os professores, pela exaustiva atenção, pelo ensino, pelo apoio, pelo aprendizado, pela amizade, por serem os grandes responsáveis pelo profissional que hoje é gerado.

Ao pr. Benedito Martins e Família, e minha amada Igreja, por se fazerem sempre presentes, por meio de orações e súplicas, incentivando-me sempre a continuar esta árdua caminhada.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o meu aprendizado e desenvolvimento profissional, pessoal e acadêmico, a minha sincera gratidão.

*“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é
tentar mais uma vez”*

Thomas Edison

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Akashi – Kaikyo, Japão.....	14
Figura 02	Bloco de ancoragem da ponte Akashi-Kaikyo.....	15
Figura 03	Paredes do tanque para depósito de metano liquefeito sendo concretadas – “Osaka Gás Company”.....	15
Figura 04	Burj Khalifa.....	16
Figura 05	Arcos em CCA.....	16
Figura 06	Estrutura em forma de Iglu.....	17
Figura 07	Ponte recuperada com CCA.....	17
Figura 08	Edifício Infinity Tower.....	18
Figura 09	Vista da sapata central do edifício Infinity Tower.....	19
Figura 10	Ponte sobre o Rio Guamá, onde foi utilizado o CAA nas suas estacas submersas.....	19
Figura 11	Concretagem da laje do residencial Pateo São Paulo.....	20
Figura 12	Museu Iberê Camargo.....	20
Figura 13	Edifício Parthenon Residence.....	21
Figura 14	Estádio de Futebol Maracanã, Rio de Janeiro.....	22
Figura 15	Dolphins de Atracção do Pier IV.....	23
Figura 16	Relação entre a forma do agregado miúdo e a resistência ao cisalhamento, onde τ é a tensão de cisalhamento e σ a tensão normal.....	25
Figura 17	Representação dos mecanismos de bloqueio entre armaduras de elevada densidade.....	26
Figura 18	Floculação e desfloculação das partículas de cimento.....	30

Figura 19	Ação das moléculas do aditivo superplastificante nas partículas do cimento.....	31
Figura 20	Molde - Cone de Abrams.....	36
Figura 21	Vista em perspectiva e em planta do posicionamento do molde.....	36
Figura 22	Detalhamento do funil V.....	40
Figura 23	Detalhe da comporta funil V.....	41
Figura 24	Detalhamento da caixa L.....	42
Figura 25	Indicação das alturas H1 e H2.....	43
Figura 26	Ensaio da caixa U.....	45
Figura 27	Ensaio do Tubo U.....	46
Figura 28	Ensaio Oriment com Verificação da Resistência a Segregação.....	47
Figura 29	Especificações de Dimensões do Anel J.....	48
Figura 30	Molde e Anel J em Planta.....	49
Figura 31	Coluna de segregação.....	51
Figura 32	Retirada das Porções de Concreto.....	52
Figura 33	Desenho esquemático de contrapiso.....	57
Figura 34	Viscosidade segundo o modelo de Newton.....	61
Figura 35	Classificação dos fluídos segundo seu comportamento reológico....	62
Figura 36	Efeito do formato das partículas na viscosidade da mistura.....	63
Figura 37	Mini-slump.....	65
Figura 38	Etapas do Método de Dosagem de Okamura et al.....	65
Figura 39	Etapas para verificação da Trabalhabilidade e escolha dos materiais.....	67

Figura 40	Etapas do Método de Dosagem de Repette e Melo.....	68
Figura 41	Cone Marsh.....	69
Figura 42	Resumo das etapas do método de dosagem de Gomes et al.....	70
Figura 43	Passo-a-passo das etapas do método de dosagem proposto por Tutikian.....	71
Figura 44	Resumo das etapas do método de dosagem de Tutikian e Dal Molin.....	72
Figura 45	Excesso da mistura retirado.....	94
Figura 46	Aplicação do CAA em lajes 1.....	113
Figura 47	Aplicação do CAA em lajes 2.....	113
Figura 48	Sistema de Fôrmas em laje.....	114
Figura 49	Sistema de Fôrmas para laje e paredes.....	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 01	Valores obtidos na concretagem do edifício Parthenon Residence com o CCA.....	21
Quadro 02	Ensaio para a avaliação da trabalhabilidade do CAA.....	35
Quadro 03	Classes de espalhamento do CAA.....	37
Quadro 04	Classe de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação (T_{500}).....	39
Quadro 05	Classes de viscosidade CAA com uso do Funil V.....	41
Quadro 06	Classe de habilidades passantes do CAA em função da sua aplicação (Caixa L).....	44
Quadro 07	Classes de Habilidade Passante do CAA de acordo com sua aplicação.....	50
Quadro 08	Classes de resistência à segregação do CAA na coluna de segregação.....	53
Quadro 09	Resumo de ensaios, parâmetros propostos pela maioria de pesquisadores.....	54
Quadro 10	Determinação da massa unitária compactada da mistura de dois materiais hipotéticos A e B.....	73
Quadro 11	Determinação da massa específica da mistura dos dois materiais hipotéticos A e B.....	74
Quadro 12	Traços unitários do CAA empacotado com diversos materiais.....	76
Quadro 13	Exemplo do consumo dos materiais através da massa específica do concreto no estado fresco.....	77

Quadro 14	Exemplo de resultados de algumas propriedades do CAA no estado fresco endurecido.....	78
Quadro 15	Exemplo de equações de comportamento e coeficiente de determinação (r^2) para os CAA.....	79
Quadro 16	Comparativo entre o CCV E CAA na concretagem de Laje do Edifício Pateo em São Paulo.....	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Exemplo de diagrama de dosagem com α variando.....	80
Gráfico 02	Exemplo de diagrama de desempenho.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Classificação das Adições (EFENARC,2005).....	27
-----------	---	----

LISTA DE SIGLAS, UNIDADES, SIMBOLOS E ABREVIATURAS

NBR – Normas Brasileiras Registrada

NBR NM – Norma Brasileira Registrada - Norma Mercosul

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes

Pnad - Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EFNARC - European Federation of National Trade Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building Products)

ABCP – Associação brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação brasileira de Normas Técnicas

ACI - American Concrete Institute

HSC – High Strength Concrete

SQC – Super Quality Concrete

NVC – Non Vibration Concrete

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

CAA – Concreto Autoadensável

CCV – Concreto Convencional

AAA – Argamassa Autonivelante

CPA – Contrapiso Autonivelante

CAD – Concreto de Alto Desempenho

SP – Superplastificante

LS – Lignossulfonatos

AMV – Aditivo Promotor de Viscosidade

NS – Naftaleno Sulfonatos

MS – Melamina Sulfonato

PC – Policarboxilatos

a/c – Relação Água - Cimento

Mpa – Mega Pascal

T – tensão de Cisalhamento

m - Metros

m – Metros Quadrados

m³- Metros Cúbicos

mm - Milímetros

μm - Micrometro

nm – Nanômetro

Kg/m³ - Quilos por Metro Cúbico

C3S – Silicato Tricálcio

C3A – Aluminato Tricálcio

C4AF – Ferroaluminato Tetracálcio

Ca(OH)² - Hidróxido de cálcio

RESUMO

A crescente demanda por qualidade associada redução de custos e desperdício, denota o atual estágio da construção civil no Brasil e no mundo. O presente trabalho visa expor e remediar anseios que viabilizem a escassez de recursos e mão de obra vigente na atualidade no mercado da construção civil. Nesta perspectiva, em âmbito nacional, nasce um modelo sustentável de construir, o concreto autonivelante. O presente trabalho aborda de forma sintética, conceitos, propriedades, ensaios característicos, métodos de dosagem e uma enorme gama de relevâncias técnicas, econômica e sustentáveis relacionadas ao uso do Concreto Autonivelante. Ao findar deste exposto, far-se-á uma singela análise quantitativa, responsável por evidenciar em termos numéricos, sua viabilidade e aplicação. A análise proposta também tem como objeto fomentar o uso do CAA na indústria da construção civil na região maranhense. Portanto, pode-se denotar que a arte de unir técnica, economia e sustentabilidade, culminam na eficiência produtiva do CAA.

Palavras – Chave: Concreto Autonivelante; Relevâncias Técnicas, Econômicas e Sustentáveis; Análise de Dados.

ABSTRACT

The growing demand for quality associated cost reduction and waste, denotes the current stage of construction in Brazil and the world. This work aims to expose and remedy longings that enable the scarcity of resources and hand work force today in the construction market. In this perspective, at the national, born a sustainable model to build the self-leveling concrete. This paper discusses synthetically concepts, properties, characteristic tests, measurement methods and a wide range of technical relevance, economic and sustainable related to the use of self leveling concrete. At the end of this exposed, far-there will be a simple quantitative analysis, responsible for evidence in numerical terms, their feasibility and application. The proposed analysis also has the purpose to foster the use of SCC in the construction industry in Maranhão region. Therefore, you can detonate the art of joining technique, economy and sustainability, culminate in the productive efficiency CAA.

Key-words: Self-leveling concrete; Technical relevance, Ecomicas and Sustainable; Data analysis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativas	3
1.1.1	Justificativa técnica.....	3
1.1.2	Justificativa econômica.....	4
1.1.3	Justificativa sustentável.....	4
1.2	Objetivos	5
1.2.1	Objetivo geral.....	5
1.2.3	Objetivo específico.....	5
1.3	Metodologia	6
2	CONCRETO AUTONIVELANTE	7
2.1	Histórico e conceituação	7
2.2	Concreto convencional (CCV)	8
2.3	Concreto autoadensável (CAA)	8
2.4	Argamassas	10
2.4.1	Argamassa convencional (ACV)	10
2.4.2	Argamassa autoadensável (AAA)	10
2.5	Classificações do concreto	11
2.5.1	Quanto à função estrutural.....	11
2.5.2	Quanto à função massa específica.....	11
2.5.3	Quanto à pavimentação.....	12
2.5.4	Quanto ao uso de aditivos e adições.....	13

3	APLICAÇÕES.....	14
3.1	Mundo.....	14
3.1.1	Ponte Akashi-Kaikyo (Japão)	14
3.1.2	Tanque de gás metano – “Osaka Gás Company”	15
3.1.3	Burj Khalifa – Dubai	16
3.1.4	Arcos.....	16
3.1.5	Estrutura em forma de “Iglu”	17
3.1.6	Ponte The Katelbridge.....	17
3.2	Brasil.....	18
3.2.1	Sapata do edifício Infinity Tower.....	18
3.2.2	Ponte Guamá – Pará.....	19
3.2.3	Edifício Pateo São Paulo.....	19
3.2.4.	Museu Iberê Camargo – Rio Grande do Sul.....	20
3.2.5	Edifício Parthenon Residence – Rio Grande do Sul.....	21
3.2.6	Arquibancadas do Estádio de Futebol Maracanã - Rio de Janeiro.....	22
3.2.7	Dolphins de Atracção do Pier IV – Maranhão.....	22
4	MATERIAIS COMPONENTES.....	24
4.1	Cimento.....	24
4.2	Agregados miúdos.....	25
4.3	Agregados graúdos.....	26
4.4	Adições minerais.....	27
4.4.1	Adições reativas.....	28

4.4.2	Adições inativas.....	28
4.5	Aditivos.....	28
4.5.1	Superplastificantes.....	29
4.5.2	Modificadores de viscosidade (VMA)	31
4.5.3	Plastificante.....	32
4.5.4	Incorporador de ar.....	32
4.5.5.	Acelerador de pesca.....	33
4.6	Água de emassamento.....	33
5	PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO.....	33
5.1	Ensaio de Trabalhabilidade.....	34
5.1.1	Slump Flow Test.....	35
5.1.2	Slump Flow T ₅₀₀ Test.....	38
5.1.3	V- Funnel Test (Funil V)	39
5.1.4	L – Box Test (Caixa L).....	42
5.1.5	U – Box Test (Caixa U).....	44
5.1.6	U-Shaped Pipo Test(Tubo U).....	45
5.1.7	Oriment Test(Test Oriment)	47
5.1.8	J - Rings Test (Anel J)	48
5.1.9	Coluna de Segregação.....	50
5.1.10	Ensaio GTM.....	53
5.1.11	Ensaio variados.....	54
5.2	PROPRIEDADES NO ESTADO SÓLIDO.....	55

5.2.1	Ensaio de resistência à compressão.....	55
5.2.2	Ensaio de resistência à tração.....	56
5.2.3	Módulo de deformação.....	56
6	EXEMPLO CONSTRUTIVO.....	57
6.1	Contrapiso.....	57
6.1.1	Contrapiso convencional.....	58
6.1.2	Contrapiso autonivelante.....	58
7	REOLOGIA DOS MATERIAIS.....	59
7.1	Conceitos.....	59
7.2	Parâmetros Reológicos Influentes no CAA.....	59
7.2.1	Tensão de cisalhamento.....	59
7.2.2	Deformação.....	60
7.2.3	Viscosidade.....	60
7.3	Classificação Quanto ao Comportamento Reológico.....	61
7.4	Fatores que Atenuam o Comportamento Reológico.....	62
8	MÉTODOS DE DOSAGEM.....	64
8.1	Método de Okamura, Ozawa, Maekawa e Ouchi (1995).....	64
8.2	Método de Alencar e Helene (2008)	66
8.3	Método de Repette-Melo (2005)	67
8.4	Método de Gomes, Gettu e Agulló (2002).....	68
8.5	Método de Tutikian (2004).....	70
8.6	Método de Tutikian e Dal Mollin (2008).....	71

8.6.1	Adequação da mistura.....	72
8.6.2	O empacotamento granular.....	73
8.6.3	Fator água/cimento e teor de argamassa.....	75
8.6.4	Traços ricos, pobre e intermediários.....	75
8.6.5	Propriedades Mecânicas em função da idade.....	77
8.6.6	Diagramas de Dosagem e Desempenho.....	78
9	RELEVÂNCIAS TÉCNICAS, ECONÔMICAS E SUSTENTÁVEIS.....	82
9.1	Relevância Técnica.....	82
9.1.1	Combate a patologias em estruturas.....	83
9.1.2	Combate a flechas em estruturas.....	84
9.1.3	Obtenção de elevadas propriedades.....	85
9.1.4	Outras relevâncias técnicas.....	86
9.2	Relevância Econômica.....	87
9.2.1	Redução de custos.....	87
9.2.2	Modelo de construção enxuta.....	89
9.2.3	Outras relevâncias econômicas.....	90
9.3	Relevância Sustentável.....	91
9.3.1	Redução de impactos ambientais.....	91
9.3.2	Promove qualidade de vida.....	93
9.3.3	Outras relevâncias sustentáveis.....	94
9.4	Análise de Dados.....	95
9.4.1	Análise técnica.....	96

9.4.2	Análise econômica.....	96
9.4.3	Análise sustentável.....	100
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
	REFERÊNCIAS.....	107
	ANEXOS.....	113

1 INTRODUÇÃO

O Homem moderno suspira tecnologia. Inúmeras técnicas brotam diariamente no mundo. A Construção Civil é um sucinto, porém concreto exemplo, da fomentação tecnológica vigente na atualidade. É tácito apregoar, que são notáveis e enfadonhos os desníveis inerentes à construção civil no que tange países desenvolvidos e subdesenvolvidos. Inovações, métodos e técnicas surgem com menor frequência e desenvoltura em países subdesenvolvidos. No Brasil, por exemplo, a construção civil ainda encontra-se em módulo arcaico, contudo, mesmo com a ausência de políticas de incentivo e modelos econômicos que favoreçam o florescer da economia, há fortes indícios que o Brasil alçará um novo patamar na escala de Inovações Tecnológicas.

As circunstâncias adversas criam os ingredientes necessários para o sucesso. A grande necessidade do setor da construção civil em lidar com a atual condição econômica brasileira gera no íntimo de pesquisadores e cientista o ânimo de procurar soluções técnicas que viabilizem o processo construtivo, reduzindo custo e resíduos, e por conseguinte, tornando a construção civil um modelo “enxuto” de produção, privando assim por duas vertentes, a sustentabilidade e a procura por soluções técnicas que acelerem o processo produtivo.

O surgimento do concreto está diretamente relacionado as civilizações primitivas o homem utilizava como materiais de construção, a pedra, a madeira e o barro. Aos poucos, foram aumentando suas exigências, passando a demandar materiais de maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência. Assim surgiu o concreto, trabalhável como barro e resistente como pedra (VERÇOSA, 2003).

Em meados de 1988, foi desenvolvido no Japão um concreto de alto desempenho com um alto grau de deformabilidade no estado fresco e elevada resistência à segregação. Este concreto possui a capacidade de se moldar nas fôrmas sem vibração ou compactação, passando coeso através das armaduras, tal concreto foi denominado concreto autoadensável (SU *et al.*, 2001).

A evolução é significativa, já que se passou do concreto convencional com quatro componentes básicos, cimento, agregados miúdo e graúdo e água, para o autoadensável com seis componentes, somando-se a estes materiais os aditivos (superplastificantes e, ocasionalmente, modificadores de viscosidade) e os materiais finos (pozolânicos ou não) (ARAÚJO *et al.*, 2003).

Assim sendo, passa a vigorar neste solo um método construtivo chamado CPA - Contrapiso Autonivelante. O contrapiso autonivelante é provindo da argamassa ou concreto autonivelante, autoescoante, ou ainda autoadensável, tal qual é um material que começou a ser estudado e pesquisado por empresas e cientistas em meados de 2008 no Brasil. Alguns estudos realizados na cidade de Valência na Espanha serviram como modelo para o início das pesquisas com argamassas autonivelantes em solo brasileiro. Em cidades europeias, alguns anos, o material foi patenteado por uma empresa potiguar, que trabalha no ramo de investimentos imobiliários, tal qual mediante acordos com construtoras locais passaram a utilizar o produto em vários empreendimentos. Com isso, no Brasil, a empresa HOBIMIX, tomou por base formulações e equipamentos utilizados na Espanha, para desenvolver o concreto autoadensável com materiais tipicamente brasileiros.

Entende-se por Concreto Autoadensável (CAA), o concreto capaz de preencher vazios e se autoadensar sob o efeito da gravidade. O concreto autoadensável é um elemento bastante fluido, que possui excelente fluxo sem ser segregado. O concreto para ser considerado como autoadensável tem que satisfazer determinadas propriedades no estado fresco, tais como: preencher todos os espaços das fôrmas sobre o efeito apenas do seu peso próprio; vencer obstáculos sem sofrer bloqueio; e manter a estabilidade, sem sofrer segregação e/ou exsudação de seus componentes (SKARENDAHL e PETERSSON, 2000).

O CAA é usado para reabilitar, regularizar e nivelar contrapisos novos e antigos, é aplicado também de forma recorrente para corrigir imperfeições, fazendo da planimetria uma de suas características essenciais. Pode ainda ser usado em edificações e em obras de infraestrutura urbana, como: edifícios-garagem, estacionamentos, pátios e pisos industriais. O CAA já tem em seu currículo no Brasil obras como, o nivelamento de arquibancadas no estádio do Maracanã, e ainda o piso dos pavimentos do edifício-garagem do Aeroporto de Cumbica. Portanto, é evidente que o material autoadensável, monocomponente e com alta fluidez é uma técnica inovadora, que tem muito a contribuir na indústria da construção civil brasileira. O produto vem sendo aprimorado ao longo dos anos e ganhando espaço no cenário nacional, prevendo assim tão breve o êxito, sucesso e difusão como produto essencial na Indústria da construção civil brasileira.

1.1 Justificativa

O Concreto autoadensável representa uma grande evolução no que tange critérios econômicos, técnicos e sustentáveis. No que tange o critério tecnológico a grosso modo, pode-se elencar que o CAA pode ser usado em qualquer tipo de estrutura, com grandes taxas de armadura e diferentes moldes de fôrma. Com relação a economia, pode-se destacar o relativo aumento da produção, além de ser um agente redutor de custos. A sustentabilidade se dá ao ponto que contribui para diminuição do impacto ambiental.

A monografia em questão justifica-se por fazer alusão a uma técnica pouco usual no Brasil que, por conseguinte, ainda possui poucas vertentes de estudos, que precisam ser aprofundadas e expandidas. Hoje, na situação degradante que vigora neste solo, apenas os mais fortes sobrevivem. Em qualquer empresa é necessário agilidade e rapidez para conquistar um mercado muito disputado. Assim sendo, existe sempre a necessidade de busca por produtos que atendam com maestria exigências de trabalho, desempenho e custo. Dessa forma, o presente trabalho pode ser elucidado como base teórica para fomentar o uso de CAA no Brasil, com especificidade e enfoque no estado do Maranhão.

1.1.1 Justifica técnica

O concreto autoadensável começou a ser estudado na década de 70, no entanto apenas em 1999 ganhou repercussão e tornou-se alvo de investimentos e testes em indústrias espanholas. Com a breve descoberta, nasceu no íntimo de pesquisadores o anseio incontrolável de desmembrar a nova técnica e provar o seu poder de ação na indústria da construção civil. Hoje, as pesquisas avançam, e pode-se denotar que encurtou-se o caminho que levará ao êxito nesta nova técnica.

Nakamura (1997) e Tutikian *et al.* (2008, *apud* MARTINS, 2009), relacionam inúmeras vantagens do concreto autonivelante, dentre elas podemos destacar: a alta fluidez, que propicia um imensurável poder de adensamento, moldando-se a diferentes tipos de fôrmas, reduzindo vazios, sem percepção de exsudação e segregação; reduz o peso próprio da estrutura; propicia um decréscimo no âmbito de patologias decorrentes da trabalhabilidade do concreto; garante uma excelsa planimetria no local aplicado.

1.1.2 Justificativa econômica

Com o desenvolvimento da nova técnica na Europa, logo surgiu a necessidade de procurar um novo mercado consumidor. No entanto para tal, foi necessário comprovar a existência de vantagens pertinentes ao sistema econômico envolvido na produção e uso de CAA. O critério econômico que merece destaque no modelo usual de concreto autonivelante é a nítida redução de custos e desperdícios.

Ao passo que o tempo para a execução do piso/contrapiso também tem uma redução significativa, e pode decorrer a um ritmo de 50 a 100m²/h, por conseguinte há indicadores de variação de 600 m² a 1.000 m² de contrapiso executado por dia de produtividade, com uma equipe de cinco pessoas. O acabamento final é similar ao do piso queimado/polido. Outra vantagem é que devido a cura do concreto autonivelante ser extremamente rápida, é possível transitar em sua superfície decorrentes 2 à 3 horas de sua aplicação, liberando o tráfego para a realização de outros serviços.

A redução da quantidade de materiais neste sistema é outra característica notável, segundo alguns autores, se somados os insumos, desperdícios e afins pertinentes ao novo método a economia chega a ultrapassar os 34,43% do valor comparado com o método tradicional. Assim sendo, é notório o elevado grau de economia pertinente ao novo sistema.

1.1.3 Justificativa sustentável

A preservação dos recursos naturais e do meio ambiente, o gerenciamento da energia, do lixo, e do transporte, é um ato de sustentabilidade. São muitos os investimentos em novas tecnologias para a redução dos impactos ambientais. Segundo Metha (2008) a escolha de um material para a construção civil deve atender ao quádruplo enfoque iniciadas pela letra E: Engenharia, Economia, Energia e Ecologia.

O acúmulo de gás carbônico (CO₂) na atmosfera é uma preocupação contínua da humanidade. Pesquisas comprovam que na fabricação de cimento, a cada tonelada de clínquer produzido, corresponde a aproximadamente uma tonelada de gás carbônico emitido na atmosfera. Ao se produzir em média 1,6 bilhões de

toneladas/ano de cimento em todo o planeta, 7% desse material são transformados em dióxido de carbono que é lançado na atmosfera (HAWKEN, et. al, 1999).

Além da produção exacerbada de gás carbônico, fatores como a demanda de matérias-primas não renováveis como a argila e o calcário, e a energia para a produção e moagem do clínquer, também são fatores de risco para a humanidade, pois acabam mexendo na estabilidade molecular do meio ambiente. Um claro e benéfico exemplo do uso do concreto autonivelante é a redução da espessura do contrapiso, que pode passar de 8,0 mm a 15 mm aproximadamente (Classe de Trânsito Leve), para 5,0 mm a 10 mm, detonando desta forma, uma abrupta redução no consumo de cimento e, por conseguinte, favorecendo o meio ambiente. Além de favorecer a ergonomia do trabalhador, ao passo que sua técnica de aplicação proporciona uma execução sem comprometimento da postura do trabalhador e, por conseguinte, sem danos a sua saúde.

Portanto, o concreto autoadensável apesar de pouco usual no Brasil, é um perfeito ligante entre economia, tecnologia e sustentabilidade, denotando assim, que seu uso é imprescindível na construção civil, e requer com urgência um direcionamento específico para o seu sistema de uso e produção.

1.2 Objetivos

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e específico e são apresentados a seguir.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o uso do concreto autoadensável(CAA) na construção civil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a viabilidade econômica da implantação do método para estruturas usuais na construção civil;
- Analisar do ponto de vista técnico o uso do CAA na construção civil;
- Avaliar o grau de sustentabilidade do sistema de produção do CAA;

– Dar vazão a pesquisas e estudos no Estado do Maranhão que fomentem o uso massivo do CAA na região Maranhense.

1.3 Metodologia

O presente estudo tem uma abordagem quantitativa, qualitativa e teórica. Inicialmente realizou-se uma pesquisa de cunho bibliográfico, por informações e dados sobre o Concreto Autoadensável(CAA) e suas viabilidades econômicas, tecnológicas e ambientais. Foram examinados livros, artigos e demais trabalhos científicos, e analisadas de forma sucinta as principais normas que regem o tema em questão. A principal norma utilizada será a (ABNT) NBR NM 33, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que delimita os requisitos e especificações de ensaios para o CAA. De forma secundária, também serão usadas como base as (ABNT) NBR NM 67 e (ABNT) NBR NM 68, ambas também regidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Concluindo-se todo o estudo, será realizado um comparativo de valores obtidos, observando a relevância de conceitos desenvolvidos durante este fascículo. Portanto, a metodologia proposta tem por base o auxílio teórico de normas, biografias e artigos, visando confrontar resultados experimentais de conotação literal, com os dados reais vigentes já obtidos outrora.

2 CONCRETO AUTONIVELANTE

2.1 Histórico e Conceituação

Estudos e verificações pertinentes a tecnologia do concreto são intensificadas ao longo dos séculos. Os chamados concretos especiais ganham enfoque, pois vislumbram características como: resistência elevada, altoadensabilidade, pegadas modificadas, dentre outras. Em meados do sec. XX, surge no Japão, um concreto que não exigia compactação ou adensamento externo, tal qual era utilizado em concretagens submersas. No entanto, inicialmente tal concreto, possuía alto calor de hidratação, elevado custo e indicava distorções retrativas que inviabilizavam seu uso. Com o advento tecnológico surgiram os aditivos superplastificantes que reduzem a exsudação e segregação do concreto. Este concreto é então batizado, de concreto reodinâmico.

Em meados de 1983, a ascensão da indústria japonesa culminou em problemas de ordens diversas. Dentre os quais, destaca-se a precariedade de mão de obra qualificada à nova dinâmica tecnológica. O déficit qualitativo associado a gradual retração de mão de obra, desencadearam na indústria da construção civil patologias estruturais associados a inócua compactação das peças de concreto.

Devido a atenuante situação sísmica, estruturas e formas complexas, necessidade de redução de custos, e melhoria na qualidade compactação, o CAA tornou-se uma necessidade à época.

Em Tóquio, no Japão, Hajime Okamura, desenvolve o seu projeto sobre o CAA, e em 1988 lança seu primeiro protótipo (GOMES E BARROS, 2009). A elevada viscosidade e o inócuo adensamento em estruturas multiformes e com densidade elevada levaram okamura a adentrar a um novo patamar experimental proposto por Hoshimoto.

Segundo Okamura(1997), a perfeita coesão da mistura dependia de dois fatores: granulometria dos agregados graúdos e viscosidade da mistura. Em contrapartida, nasce uma incógnita, o aumento da fluidez geraria a redução da viscosidade.

Em 1993, Okamura, Ozawa e Mackawa publicam o primeiro livro na área. No entanto, é tácito apregoar que no intuito de assegurar maiores lucros, a indústria japonesa inibia a produção de biografias que disseminassem a nova técnica, e ainda

burlavam a nomenclatura do concreto, sendo chamado de SQC (Super Quality Concrete), ou ainda, NVC (Non-Vibrated Concrete) para despistar a concorrência.

Nos anos 90, o CAA alcança alarmante propagação na Europa. A EFNARC descreve o CAA como a mais excelsa descoberta da indústria nas últimas décadas. Acredita-se que o volume de CAA utilizado diariamente, em estruturas protendidas na América do Norte, supera os 5.000 m³ (ARAÚJO, 2008).

No Brasil, a partir dos anos 70 o CAA vem sendo utilizado. A ponte Rio Niterói, paredes diafragmas da estação São Bento do metrô de São Paulo, ponte do rio Guamá no Pará e bases de torres da Eletronorte também no Pará são exemplos do uso do novo método em solos brasileiros. Hoje, são inúmeras as aplicações pertinentes ao concreto autoadensável no Brasil e no Mundo.

2.2 Concreto Convencional (CCV)

O Concreto convencional é a síntese proteica da matriz construtiva, é a célula mater da construção. É composto basicamente de cimento, água, agregados graúdos e miúdos, quando hidratado, forma uma pasta resistente e com elevada aderência, formando um bloco monolítico, capaz de formar as mais variadas estruturas. Sua trabalhabilidade permeia valores entre 40mm e 70mm (Teste de Abatimento), podendo alcançar uma resistência mecânica durante os primeiros vinte e oito dias com valores limítrofes de 40MPa quando devidamente dosados.

Proporciona fácil aquisição de mão de obra, facilidade de transporte interno e externo a obra, bem como dosagens “in loco” ou em usinas. No entanto, é tácito apregoar que para a determinação do traço mais econômico, é necessário obedecer as normas da ABNT (Associação Brasileira de normas Técnicas), para sua elaboração, execução e controle tecnológico da estrutura.

2.3 Concreto Autoadensável (CAA)

A propriedade de autoadensabilidade é obtida com o equilíbrio entre alta fluidez e moderada viscosidade. A alta fluidez é alcançada com a utilização de aditivos superplastificantes e a moderada viscosidade através do incremento de finos e/ou adição mineral. (GOMES; BARROS, 2009).

Segundo Petersson (2000, p. 11)

[...]O concreto autoadensável (CAA), é o concreto capaz de fluir dentro das fôrmas sem segregar-se preenchendo o máximo de vazios, sem a necessidade de vibração. Para ser considerado autoadensável, o concreto deve preencher todos os vazios, ultrapassar obstáculos e ser estável sem segregar-se ou apresentar exsudação.

Assim sendo, um concreto só pode ser definido como autoadensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação (EFNARC, 2002). Fluidez é a propriedade que caracteriza a capacidade do CAA de fluir dentro da fôrma e preencher todos os espaços. Habilidade passante é a propriedade que caracteriza a capacidade da mistura de escoar pela fôrma, passando por entre as armaduras de aço sem obstrução do fluxo ou segregação. A resistência à segregação é a propriedade que define a capacidade do CAA de se manter coeso ao fluir dentro das fôrmas, passando ou não por obstáculos (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), a ausência de vazios e/ou bolhas de ar é fator primordial a inferir na qualidade do concreto endurecido. O uso de vibradores, réguas vibratórias ou qualquer outra forma de compactação é estritamente proibido em um CAA. Estudos revelam que a feição ou ausência de vibração do CAA não alteram em nada suas propriedades mecânicas. No entanto é necessário ressaltar cuidados especiais, como ensaio e equipamentos simuladores da realidade, pois em situações reais ao percorrer as fôrmas e envolver obstáculos como, eletrodutos, barras de aço e afins, faz-se necessário inibir a segregação.

Pesquisas mostram que, apesar de indicados para concretagem de peças densamente armadas, estruturas pré-moldadas, painéis arquitetônicos, dentre outros, erroneamente são escolhidos outros concretos, pois o preço do CAA é inicialmente mais elevado, ou ainda, pela ausência conhecimento técnico por parte dos usuários, no qual fica evidenciado que o CAA só se difere do CCV quando em estado fluido. Assim sendo, a mecanicidade e durabilidade do CAA serão o efeito somente da proporcionalidade entre os materiais constituintes.

2.4 Argamassas

As argamassas são definidas como sendo a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência(FIORITO, 2009).

As argamassas podem ser identificadas de acordo com o tipo de aglomerante em argamassas simples ou mistas. São diferenciadas por um único atributo, as argamassas simples contêm somente um aglomerante, podendo ser cimento ou cal, já as argamassas mistas são formadas por mais de um aglomerante(RIBEIRO, et al., 2006).

2.4.1 Argamassa Convencional (ACV)

Argamassa convencional é formada pela mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos e adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria.

Existem de forma sintética, três formações reológicas para argamassas convencionais, uma de base cimentícia, outra que possui cal como regente, e ainda outra formada pela junção de cal e cimento. As argamassas cimentícias são indicadas para ambientes que requeiram um elevado grau de resistências mecânica e ao desgaste, além de garantir a impermeabilização. As argamassas a base de cal realçam propriedade como plasticidade e elasticidade, além de garantir o perfeito acabamento. Existe ainda a composta pela junção das duas argamassas supracitadas, reúnem características que derivam do cimento e da cal, e por conseguinte, são utilizadas em ambientes diversos.

2.4.2 Argamassa Autoadensável (AAA)

Com o intuito de enaltecer e realçar características como consistência, plasticidade, retenção de água, coesão e adesão inicial, nascem as argamassas autoadensáveis. A argamassa autoadensável inibe defeitos oriundos da errônea aplicação ou inadequada moldagem, não exigindo qualificação por parte dos operários (MARTINS, 2009).

Segundo Nakamura(1997), o mercado da indústria de argamassas vem crescendo e se ramificando ao longo dos anos. Atualmente existem dois grandes setores na produção de argamassa, um voltado para rejuntamento outro voltado assentamento e contrapiso. Dessa forma, a argamassa autoadensável ganha espaço no mercado atual e tende a gerir um mercado outrora intangível.

2.5 Classificações do Concreto

2.5.1 Quanto à Função Estrutural

– Concreto protendido: no intuito de unir tração e compressão, nasce a protensão. É definida como sendo o artifício de introduzir na estrutura um estado prévio de tensões. A protensão do concreto é obtida com a utilização de cabos de aço de alta resistência, que são tracionados e fixados no próprio concreto, garantindo ao concreto uma resistência em média quatro vezes maior. Dentro das vantagens que esta técnica pode oferecer, temos a redução na incidência de fissuras, diminuição na dimensão das peças devido à maior resistência dos materiais empregados, possibilidade de vencer vãos maiores do que o concreto armado convencional.

– Concreto armado: a NBR 6118 define como concreto armado, aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, sem a aplicação de tensões e/ou “alongamentos” externos. De forma simplória, é a estrutura de concreto que possui em seu interior, armações feitas com barras de aço. Além de fomentar a durabilidade do concreto, armações em aço propiciam condições suficientes de relutar a deficiência do concreto em resistir a esforços de tração. As armaduras além de garantirem as resistências à tração e flexão, podem também aumentar a capacidade de carga à compressão. Projetos que almejam o ápice da qualidade devem considerar todas as variáveis possíveis e não só os preços unitários do aço e do concreto.

2.5.2 Quanto à massa específica

– Concreto leve: são concretos que possuem um peso específico reduzido e grande capacidade de isolamento térmico e acústico. Enquanto os concretos

normais têm sua densidade variando entre 2300 e 2500 kg/m³, os leves chegam a atingir densidades próximas a 500 kg/m³. No entanto, é tácito apregoar que a diminuição da densidade afeta diretamente a resistência do concreto. Os concretos leves mais usuais são os celulares, os sem finos e os produzidos com agregados leves. Suas principais aplicações são concretagem de lajes, fabricação de blocos que não tenham função estrutural, envelopamento de tubulações e regularização de superfícies.

– Concreto pesado: o concreto pesado de forma sintética é aquela que tem como proposta obter maior densidade molecular. É obtido através da utilização de agregados com maior massa específica aparente em sua composição, como por exemplo, a hematita, a magnetita e a barita. Assim sendo, esse concreto é aplicado com frequência em câmaras de raios-X ou gama, paredes de reatores atômicos, contrapesos, bases e lastros.

2.5.3 Quanto à pavimentação

– Concreto para pavimento rígido: o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – DNIT, elenca como pavimento rígido, o pavimento cujo revestimento é constituído de concreto de cimento. Garantem a durabilidade e a resistência mecânica sem a necessidade de contínua manutenção. O pavimento rígido de concreto cimento também proporciona economia em iluminação pública, menor risco de acidentes, menor temperatura superficial, e ainda é responsável por difundir e amortecer as tensões. A ABCP - Associação brasileira de Concreto Portland, tem incentivado seu uso em todo território brasileiro, sendo indicado para estradas de tráfego pesado, reformas ou construção de pistas de aeroportos, corredores de ônibus, dentre outros.

– Concreto rolado: de custo inicial mais baixo que o do concreto convencional, o concreto rolado - ou compactado com rolo – por possui pouca quantidade de água em sua composição, é utilizado geralmente como sub-base de pavimentos. O baixo consumo de cimento e a baixa trabalhabilidade são atrativos deste concreto. O Concreto rolado também é indicado para revestimento de locais em que há circulação de veículos em baixa velocidade, mesmo que pesados.

2.5.4 Quanto ao uso de aditivos e adições

– Concreto de alto desempenho: o concreto de alto desempenho (CAD) é composto por sílica ativa e aditivos superfluidificantes. Tem como características fundamentais a alta durabilidade e elevada resistência mecânica, além de possui excelente plasticidade e aderência, excelente impermeabilidade e elevada resistência a ambientes agressivos. É indicado para grandes estruturas e obras marítimas como plataformas submarinas e portuárias, pisos industriais, concretos e afins.

– Concreto de alta resistência inicial: de acordo com o Instituto Americano de Concreto – ACI, o concreto de alta resistência, é aquele que possui resistência a partir de 40 Mpa. Pode-se então fomentar que o concreto de alta resistência inicial é aquele que com as devidas dosagens é capaz de alcançar resistências exorbitantes na ascendência inicial de sua pega. O Concreto de alta resistência propicia a grosso modo, a redução de custos e maior produtividade. Suas aplicações são convenientes em peças estruturais convencionais e protendidas, fabricação de peças pré-moldadas, dentre outras.

– Concreto colorido: o concreto colorido é obtido através da adição de pigmentos à mistura, feita caminhão betoneira logo após a dosagem dos materiais. É um elemento que elimina a necessidade de pinturas e pode ser usado como delimitador de áreas específicas, restringindo o mapeamento da obra e reduzindo o risco de erros, além de proporcionar um considerável efeito arquitetônico. Tem seu uso facultado em pisos, escadas, muros e calçadas, residências, condomínios e, inclusive, na revitalização de centros urbanos.

– Concreto resfriado: o concreto resfriado é feito com adição de gelo a mistura. Visa a redução das tensões térmicas, através da diminuição do calor de hidratação nas primeiras horas. Este procedimento, além de evitar fissuras, mantém por mais tempo a trabalhabilidade e gera uma melhor evolução da resistência à compressão. Sua utilização é recomendada em estruturas de grandes dimensões como, barragens, fundações, bases para máquinas e blocos com alto consumo de cimento.

3 APLICAÇÕES

A aplicação do CAA possui várias vertentes. O CAA pode ser utilizado tanto moldado “in loco” ou em centrais de concreto, podendo ser lançado com o auxílio de bombas, guias ou simplesmente espalhado. No entanto, apesar de existirem aplicações práticas do CAA em obras de concreto armado bem como, grande quantidade de estudos realizados nesta área, a prática de sua aplicação ainda é bastante restrita. A seguir serão apresentadas algumas obras em que o CAA foi utilizado.

3.1 Mundo

3.1.1 Ponte Akashi-Kaikyo (Japão)

A Akashi-Kaikyo, inaugurada no Japão em 1998, possuía o maior vão livre da época com 1991m e extensão total de 3911m. Foram lançados entre 229.000 m³ e 290.000 m³ de CAA. Sua utilização proporcionou uma economia de tempo da ordem de 20%, resultando em uma economia temporal da ordem de 3 a 6 meses(TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Figura 01–Akashi – Kaikyo, Japão



Fonte: site <www.soarquitetura.com.br>

Figura 02 – Bloco de ancoragem da ponte Akashi-Kaikyo



Fonte: Nunes (2001)

3.1.2 Tanque de gás metano – “Osaka Gás Company”

Nas paredes do tanque de metano liquefeito (Figura 3), foram utilizados 12.000 m³ de CAA de 60 MPa. Com a sua utilização foi possível reduzir custos com insumos e ganhar tempo. Houve redução do quadro de trabalhadores de 150 para 50 e ganho de 4 meses no tempo de execução da obra.

Figura 03–Paredes do tanque para depósito de metano liquefeito sendo concretadas – “Osaka Gás Company”



Fonte: Nunes (2001)

3.1.3 Burj Khalifa – Dubai

O edifício Burj Khalifa foi inaugurado em 04 de janeiro de 2010, possuindo cerca de 829,84m, teve como um dos principais empecilhos para sua construção a distância de bombeamento, tal qual chegou com o uso do CAA a 600 metros sem estações de ligação.

Figura 04 – Burj Khalifa



Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Burj_Khalifa_building.j>

3.1.4 Arcos

Os arcos da figura 5, possuem comprimento de 65 metros, subdividido em peças menos de 13m. O sistema de concretagem com o CAA proporcionou vantagens como redução do barulho e mão de obra.

Figura 05–Arcos em CCA



Fonte: Walraven (2005) apud Tutikian; Dal Molin (2008).

3.1.5 Estrutura em forma de “Iglu”

A estrutura em formato de iglu possui 5 m de altura, 11,70 m de largura e 22 m de comprimento. O CAA foi utilizado devido alta densidade de sua armadura.

Figura 06 – Estrutura em forma de Iglu



Fonte: Bernabeu; Laborde (2000) apud Tutikian; Dal Molin (2008).

3.1.6 Ponte The Katelbridge

A ponte The Katelbridge é um exemplo de estrutura recuperada com o auxílio do CAA. Com 45 anos de idade na época em 2002 a ponte apresentou diversas manifestações patológicas devido à sobrecarga. O CAA usado contou com uma resistência de 35 MPa e proporcionou a ponte um estágio juvenil,

Figura 07–Ponte recuperada com CCA



Fonte: Walraven (2005).

3.2 Brasil

3.2.1 Sapata do edifício Infinity Tower

O Infinity Tower, localizado em São Paulo, tem 28 lajes e possui área de 2200 m². É formado por cinco subsolos e dezoito pavimentos, além de mezaninos e térreo. A sapata central possui forma trapezoidal e dimensões de 17 m x 40 m. A área total da sapata é de 750 m². O volume total de CAA foi de 1500 m³ e consumiu um total de 135 toneladas de aço, dando um consumo de 90 kg/m³ de concreto. O CAA utilizado na execução da sapata central edifício Infinity Tower possui 35 MPa de resistência mecânica. Por se tratar de uma estrutura muito grande e de elevada taxa de armadura o CAA tornou-se uma necessidade. Para diminuir o calor de hidratação utilizou-se gelo. O concreto foi bombeado com o auxílio de quatro bombas que se encontravam nos níveis da rua e da própria fundação (Téchne, 2012).

Figura 08 – Edifício Infinity Tower



Fonte: <<http://www.metodo.com.br>>

Figura 09 – Vista da sapata central do edifício Infinity Tower

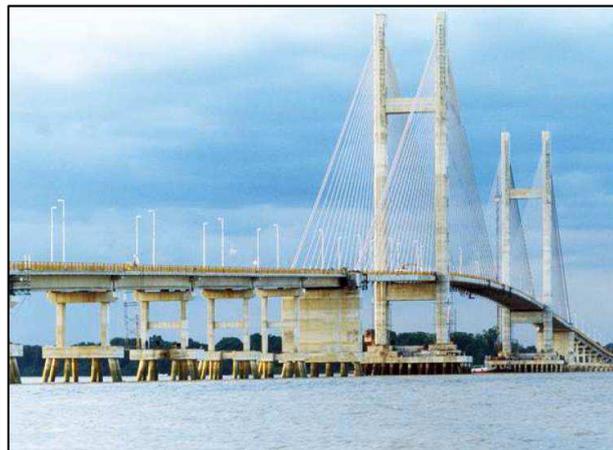


Fonte: < <http://www.concretophd.com.br/projetos.asp?codigo=27>>

3.2.2 Ponte Guamá – Pará

A região de Belém foi uma das pioneiras no uso do CAA no Brasil, abaixo tem-se uma ponte localizada sob o Rio Guamá.

Figura 10–Ponte sobre o Rio Guamá, onde foi utilizado o CAA nas suas estacas submersas.



Fonte: Von Paumgarten (2010).

3.2.3 Edifício Pateo São Paulo

Na região paulista, o edifício Pateo, contou com a avaliação comparativa

do CAA e CCV. Com o uso das mesmas especificações técnicas e insumos pode-se fazer um refratário da utilização e ambos. Percebeu-se que com o uso do CAA houve ganho na produtividade em 200% e redução de custo referentes a mão de obra da ordem de 1000%.

Figura 11– Concretagem da laje do residencial Pateo São Paulo

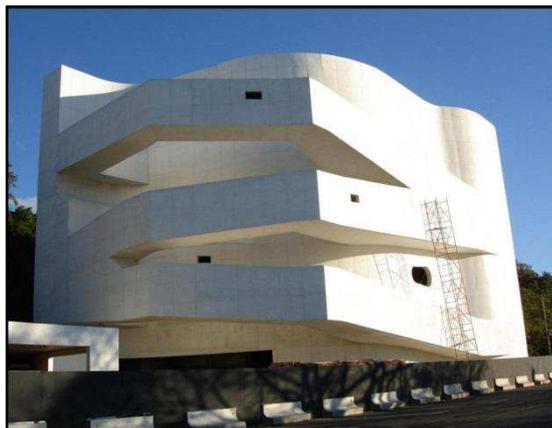


Fonte: Téchne (2008)

3.2.4. Museu Iberê Camargo – Rio Grande do Sul

Localizado em Porto Alegre/RS, contou com a utilização do CAA por dois motivos primordiais. O primeiro é estético, o acabamento sofisticado proporcionado pelo CAA é inigualável, tendo em vista ainda o uso de cores claras como a figura 12. O segundo motivo foi a alta taxa de armadura das paredes, tal assertiva é solucionada também com o uso do CAA.

Figura 12– Museu Iberê Camargo



Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

3.2.5 Edifício Parthenon Residence – Rio Grande do Sul

Em Novo Hamburgo (RS), o edifício Parthenon Residence que possui área de 11.529,41 m² utilizou o CAA a partir do quinto pavimento. Através de estudos comparativos entre o uso do CAA e CCV, observou que o preço final do CAA foi 1,09% maior que o CCV, sendo no entanto, este preço desprezível quando comparado com o quesito tempo de execução, que superou em mais de 200% o CCV.

Figura 13 – Edifício Parthenon Residence



Fonte: Téchne (2008).

Quadro 1 – Valores obtidos na concretagem do edifício Parthenon Residence com o CCA

CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL							
Descrição	Unidade	Qtde.	Custo Unitário (R\$)		Custo Total (R\$)		Total (R\$)
			Material	Mão-de-obra	Material	Mão-de-obra	
Laje							
Mão-de-obra para lançamento de concreto auto-adensável	h	60,19	-	14,90	-	896,83	
Concreto auto-adensável, espalhamento de 60 cm, brita 0 e 1 e f _c de 30 MPa	m ²	62,00	242,00	-	15.004,00	-	
Pilares							
Mão-de-obra para lançamento de concreto auto-adensável	h	14,56	-	14,90	-	216,94	
Concreto auto-adensável, espalhamento de 60 cm, brita 0 e 1 e f _c de 30 MPa	m ²	15,00	242,00	-	3.630,00	-	
Custo Total (R\$)					18.634,00	1.113,78	19.747,78

Fonte: Téchne (2008)

3.2.6 Arquibancadas do Estádio de Futebol Maracanã - Rio de Janeiro.

Na cidade do Rio de Janeiro o CAA já teve várias utilidades. No entanto cabe destaque em seu currículo, o nivelamento de arquibancadas no estádio do Maracanã.

Figura 14 – Estádio de Futebol Maracanã, Rio de Janeiro.



Fonte: <www.esporte.uol.com.br>

3.2.7 Dolphins de Atracação do Pier IV – Maranhão

Na cidade de São Luís se tem conhecimento de duas obras com o uso do CAA. A primeira um virador de vagões e a segunda, não menos importante, a feição de alguns Dolphins de atracação. Os Dolphins de atracação foram executados no Terminal Portuário da Ponta da Madeira. Para cada bloco de suas estacas utilizou-se cerca de 3000 m³ de CAA. As dimensões dos blocos foram de 17,5 m de comprimento x 17,5 m de largura x 3,00 m de altura, sendo cada bloco formado por 8 estacas de 36 m de profundidade x 3,00 m de diâmetro. Ao findar da obra o total de CAA utilizado permeou a faixa de 50.000 m³ de CAA.

Figura 15 – Dolphins de Atracação do Pier IV



Fonte: Acervo do Eng. Cícero Geraldo de Sá (2012)

4 MATERIAIS COMPONENTES

Os materiais são macromoléculas que compõem a estrutura de uma mistura. São responsáveis por corresponder a estímulos funcionais e estruturais de acordo com as solicitações de projeto.

Gomes et al. (2009, p. 21), afirma:

[...]A qualidade desses materiais é fator determinante para garantir as propriedades do CAA. Quando comparado com concretos convencionais, o CAA necessita de uma maior quantidade de finos em sua composição, isso porque aumentando a quantidade de finos aumenta-se a superfície específica e conseqüentemente a capacidade de absorção de água da mistura. Com isso, tem-se uma redução do volume de agregado graúdo, sendo a argamassa fator determinante das propriedades do CAA no estado fresco[...]

Os materiais são caracterizados mediante sua resposta a estímulos e suas propriedades. Os materiais constituintes do CAA são: cimento, adições, aditivos, água e agregados.

4.1 Cimento

O Cimento Portland é definido como um material pulverulento, aglomerante hidráulico, composto por silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio que em contato com a água hidrata-se e depois de endurecido não se decompõe, nem com nova presença de água (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A superfície ou área específica é fator preponderante na escolha do tipo de cimento. Quanto maior a área específica maior o consumo de aditivos. Portanto, o cimento a ser utilizado na confecção do CAA deve apresentar capacidade de adsorver aditivos. Esta característica é alcançada com a presença de aluminatos no cimento. Convém ressaltar que algumas patologias provenientes da escolha do cimento podem ser reparadas com o auxílio de adições minerais.

O fator a/c é outro índice para determinação do tipo de cimento a ser usado. A água reage com o cimento fazendo com seja liberado calor de hidratação, que por sua vez pode causar fissuras no concreto. Assim sendo, são escolhidos cimentos que dissipem o calor de hidratação. Assim sendo, os cimentos que em sua

composição apresentam silicato tricálcico (C3S) e aluminato tricálcico (C3A) são os mais indicados.

4.2 Agregados Miúdos

Segundo a NBR 7211:2005, os agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,075mm.

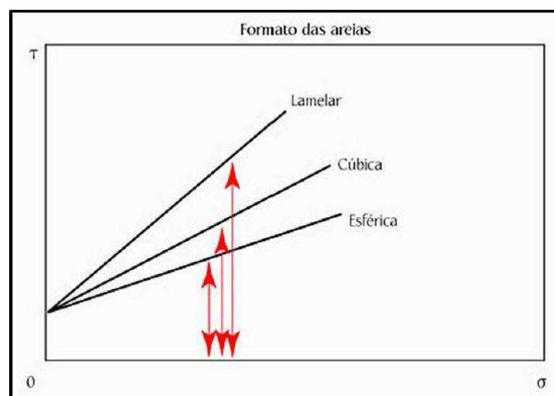
Não há discriminação quanto a fonte de produção de agregados miúdos para o CAA. Podendo ser advindos de depósitos naturais ou ainda de processos industriais. No entanto, agregados miúdos provindos de depósitos naturais apresentam maior qualidade, são mais arredondados e possuem textura lisa, o que é excelente para confecção de CAA, pois, proporcionam maior fluidez.

Outra característica essencial para feição do CAA é a presença de finos. Okamura e Ouchi (2003, p. 29), afirmam:

[...]quanto maior o ângulo da partícula, maior será a resistência ao cisalhamento da argamassa, reduzindo a possibilidade de deformação do concreto. Portanto quanto menor o módulo de finura do agregado miúdo, mais adequado ele será. Areias muito grossas, com módulo de finura superior a 3(três), podem levar o CAA a segregação, e por isso devem ser evitadas.

A figura abaixo denota a correlação entre forma dos agregados miúdos e sua resistência ao cisalhamento

Figura 16 – Relação entre a forma do agregado miúdo e a resistência ao cisalhamento, onde τ é a tensão de cisalhamento e σ a tensão normal.



Fonte: Okamura; Ouchi (2003)

É tácito apregoar que existe a necessidade de se realizar de maneira rigorosa um controle na umidade do agregado miúdo. A alteração da umidade altera diretamente a fluidez do concreto, além afetar negativamente suas propriedades mecânicas e sua durabilidade.

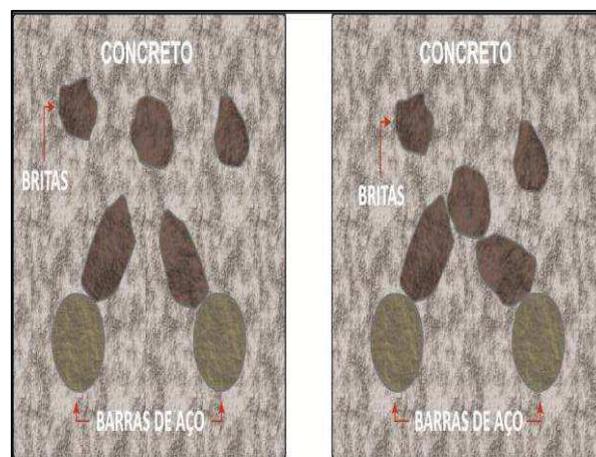
4.3 Agregados Graúdos

Os agregados graúdos devem ter a menor granulometria possível e curvas granulométricas contínuas, que resultam em melhor compacidade e resistência mecânica. É recomendado para o CCA, dimensões características que variam de 12,5 mm à 19 mm, com coeficiente de forma o mais próximo possível de 1(um) e abrasão a Los Angeles menor 50%(cinquenta por cento). Também é recomendado que o agregado graúdo tenha forma angular e superfície áspera, pois a capacidade de adsorção da mistura é elevada.

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008) a distribuição granulométrica deve ser encarada como um fator *sui generis*, que deve ser levado em consideração, pois influenciará no empacotamento dos grãos. Concreto com menor teor de argamassa e por conseguinte mais agregados graúdos inibem a fissuração e deformação.

A figura abaixo exemplifica o bloqueio ocasionado devido o excessivo tamanho dos grãos do agregado.

Figura 17– Representação dos mecanismos de bloqueio entre armaduras de elevada densidade



Fonte: Wolenski (2010)

4.4 Adições Minerais

As adições minerais, são materiais finamente moídos que incorporados ao concreto, tem finalidade de se obter características específicas. As adições podem ser classificadas de acordo com sua reatividade, em inertes ou reativas. As inertes são representadas pelos fílers, calcário, quartzo moído, entre outros. As reativas pela cinza volante, cinza de casca de arroz, metacaulim, escória de alto forno, microsilica e afins. Convém ressaltar, que tais adições constituem um patamar de requintes por reunir uma gama de vantagens que favorecem a sua utilização no CAA.

No que tange o caráter econômico, influi diretamente na redução de custos, pois reduz a quantidade de cimento e/ou agregado miúdo. No quesito ambiental, caso a adição seja um resíduo danoso ao meio ambiente, o material danoso não é incorporado ao meio inibindo desastres ambientais. E por fim no âmbito tecnológico, é responsável por aferir ganhos na resistência mecânica e a fissuração térmica, permeabilidade e durabilidade, além de proporcionar ganho de fluidez e diminuição da segregação e/ou exsudação. No entanto, existem também desvantagens, negativamente pode-se destacar a possibilidade de ocorrer retardo de pega, aumento de retração e o aumento do calor de hidratação, seguindo de fissuração.

Existem, no entanto, outras classificações quantos as adições. Segundo EFNARC (2005), por exemplo, as adições são classificadas de acordo com sua capacidade reativa em meio a água.

Tabela 1 - Classificação das Adições(EFENARC,2005)

TYPE I	Inert or semi-inert	<ul style="list-style-type: none"> • Mineral filler (limestone, dolomite etc) • Pigments
TYPE II	Pozzolanic	<ul style="list-style-type: none"> • Fly ash conforming to EN 450 • Silica fume conforming to EN 13263
	Hydraulic	<ul style="list-style-type: none"> • Ground granulated blast furnace slag (If not combined in an EN 197-1 cement, national standards may apply until the new EN 15167 standard is published)

4.4.1 Adições Reativas

As adições minerais reativas ou quimicamente ativas podem ser tanto material pozolânico como material cimentante. O material pozolânico é aquele que reage quimicamente com o hidróxido de cálcio. Como exemplo, tem-se a cinza volante com baixo teor de cálcio, a pozolana natural, a sílica ativa, a cinza de casca de arroz e o metacaulim. Por outro lado, o material cimentante já possui em sua composição o hidróxido de cálcio, não necessitando do mesmo para formação de sua cadeia molecular.

Quanto a obtenção do CAA com adição mineral reativas são recomendadas, adições pozolânicas ou pozolânicas ultra-finas. No entanto, misturas ternárias (junção de duas adições minerais), também são empregadas com êxito. Recentemente, a nanossílica também tem sido usada com frequência, pois estimula a ausência de segregação e diminuição da exsudação.

4.4.2 Adições Inativas

As Adições Inativas são aquelas, que em tese, não possuem atividade química. Sua ação se resume a um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento. Como exemplo tem-se: fílers de calcário, quartzo e resíduo de serragem de mármore e granito. O calcário e a areia fina têm sido os mais tradicionais fílers usados para a produção de CAA. Além destes, o pó granítico ganha destaque.

Segundo EFNARC (2005), adições do Tipo I ou inertes, são aquelas que têm finalidades estética, utilizadas em projetos de arquitetura, como por exemplo, para fabricação de pigmentos para concreto.

4.5 Aditivos

Um dos diferenciais do concreto autoadensável é o uso de aditivos. Os aditivos mais empregados para obtenção do CAA são os superplastificantes e os modificadores de viscosidade. O uso conjunto desses aditivos visa garantir elevada fluidez e estabilidade adequada às misturas, evitando a segregação ou exsudação e efeitos indesejáveis. Utilizam-se também, em alguns casos, aceleradores de pega,

aditivos modificadores de viscosidade, incorporadores de ar, retardadores de pega entre outros, conforme a necessidade da mistura.

4.5.1 Superplastificantes

O aditivo superplastificante teve início na América do Norte, em 1974. Nos anos seguintes o seu uso difundiu-se ao redor no mundo. No Brasil, o consumo desses aditivos foi de aproximadamente 67 toneladas, ainda no ano 2000, (HARTMANN, 2002).

Segundo Mehta e Monteiro (1994, p. 42):

Os superplastificantes são mecanismos tensoativos de cadeia longa, massa molecular elevada e um grande número de grupos polares na cadeia do hidrocarboneto. São conhecidos como redutores de água de alta eficiência, por serem capazes de reduzir o teor de água três a quatro vezes mais, para uma dada mistura, quando comparados aos aditivos plastificantes[...]

Os superplastificantes proporcionam inúmeras vantagens. Em tese, são os grandes responsáveis por enaltecer as características mecânicas, de durabilidade e trabalhabilidade. Dentre elas pode-se citar o aumento da consistência e da fluidez com a mesma quantidade de água, ou ainda, com relação aos efeitos reológicos reduzem o valor da tensão de escoamento e viscosidade plástica das pastas de cimento.

No entanto existem pontos negativos. É conveniente ressaltar que a grande variedade de aditivos e cimentos existentes no mercado, apresentam composição química e mineralógica distintas e podem gerar um fenômeno chamado incompatibilidade cimento-aditivo. Assim sendo, faz-se necessário um estudo prévio de compatibilidade cimento-aditivo, bem como uma adequada caracterização dos materiais empregados.

Cabe ressaltar que os fatores como temperatura, umidade, procedimento de mistura, incompatibilidade cimento-aditivo emanam repulsão quanto ao uso de superplastificantes. Porém, a maior e mais desastrosa dificuldade, encontra-se na alta perda de consistência em curto período de tempo, o que faz com que sua utilização seja eficaz somente a momentos antes do seu lançamento.

Os aditivos mais utilizados são geralmente à base de lignossulfonato, melamina sulfonato, naftaleno sulfonato e policarboxilatos (MONTE, 2003).

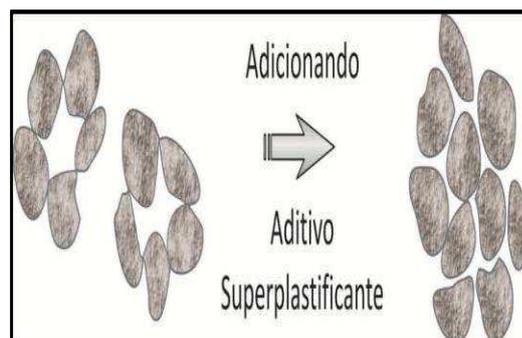
- Lignossulfonatos ou lignossulfonatos modificados (LS). Geralmente, incorporam ar e retardam, com diversas intensidades, a pega do cimento;
- Sais sulfonatos de policondensado de naftaleno e formaldeído, usualmente denominados de naftaleno sulfonato ou apenas de naftaleno (NS). Não incorporam ar e praticamente não interferem no tempo de pega do cimento;
- Sais sulfonatos de policondensado de melamina e formaldeído, usualmente denominados de melamina sulfonato ou apenas de melamina (MS). Apresenta uma tendência a retardar a pega do cimento e, eventualmente, incorporar pequena quantidade de ar;
- Policarboxilatos (PC).

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008, p. 36), os aditivos superplastificantes são classificados da seguinte forma:

Os lignossulfonatos (LS) são conhecidos como aditivos plastificantes de primeira geração, utilizados como redutores de água normais e, em alguns casos, como superplastificante. O Naftaleno (NS) e a melamina (MS) são conhecidos comercialmente como aditivos superplastificantes de segunda geração, e permitem a redução em até 25% da quantidade de água na mistura quando usados como redutores de água. Os policarboxilatos (PC) são os aditivos mais aconselhados para a utilização no CAA, pois são aditivos superplastificantes de alta eficiência que dispersam e desfloculam as partículas de cimento. Assim, permitem uma redução de água das misturas em até 40%, mantendo a mesma trabalhabilidade. Também são poliméricos. Ainda tem-se um novo aditivo superplastificante, que é o sintético, desenvolvido recentemente, possuindo as mesmas funções dos policarboxilatos, mas com desempenho melhorado.[...]

Salienta-se que na ausência de aditivos a floculação torna-se um perigo eminente. A floculação causa alterações o aumento da viscosidade, redução da fluidez e também absorve parte da água disponível para a fluidificação da mistura.

Figura 18 – Floculação e desfloculação das partículas de cimento

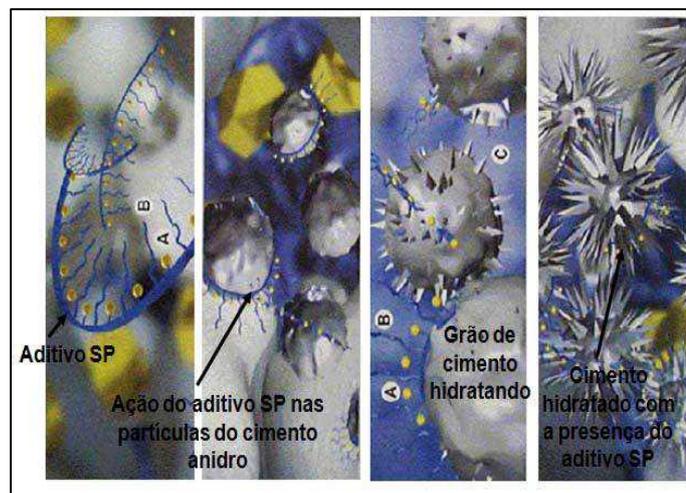


Fonte: Wolenski (2010).

Portanto, há um consenso geral no meio técnico sobre o uso de aditivos. Os superplastificantes proporcionam viabilidades imensas ao CAA, no entanto, seu uso descontrolado gera situações indesejáveis.

O fenômeno da repulsão eletrostática é exemplificado e pode ser acompanhado na figura abaixo.

Figura 19 – Ação das moléculas do aditivo superplastificante nas partículas do cimento



Fonte: <www.basf.com.br (2008)>

4.5.2 Modificadores de viscosidade (VMA)

Os aditivos modificadores de viscosidade são produtos à base de polissacarídeos que substituem os finos do concreto, diminuindo a falta de uniformidade decorrente da variação granulométrica, ou seja, tornam a mistura mais homogênea. Além disso, os modificadores de viscosidade formam uma rede que sustentam os agregados, evitando a exsudação e segregação do concreto (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

A utilização desse aditivo pode gerar em concretos e argamassas um comportamento pseudoplástico, ou seja, redução da viscosidade em função do aumento da taxa de cisalhamento aplicada, bem como a redução da resistência compressiva nas primeiras idades. Algumas vantagens são observadas com a utilização do aditivo modificador de viscosidade:

- Melhoria da homogeneidade na mistura, tornando-a mais coesa, dando-lhe estabilidade e mobilidade;

- Obtenção de níveis de fluidez que fazem com que o concreto seja capaz de vencer grandes distâncias horizontais;

- Flexibilidade na escolha de materiais e procedimentos de lançamentos;

- Permanência da coesão durante queda livre.

No entanto, algumas divergências são evidenciadas quanto ao uso do VMA. O aumento da tensão de cisalhamento é ponto que requer destaque, pois influi de forma massiva nas solicitações de projeto. Ocasionalmente, intempéries relacionadas a retração por secagem são percebidas, além do fato de ser incompatível com certos aditivos plastificantes e ser utilizado como incorporador de ar.

4.5.3 Plastificante

Assim como os superplastificantes os aditivos plastificantes são aditivos promotores de fluidez no concreto. São compostos orgânicos que, quando aplicados ao concreto ou argamassas, revestem os grãos de cimento e provocam, repulsão entre esses grãos. Essa repulsão promove um melhor “escorregamento” entre os grãos, ou seja, permite obter uma mesma fluidez com menor quantidade de água. Os plastificantes sintéticos podem ser classificados em três grupos distintos: plastificantes monoméricos, plastificantes híbridos e plastificantes poliméricos.

Esses aditivos são indicados em todas as situações em que se deseje obter um concreto de melhor qualidade, maior durabilidade, e onde atmosferas agressivas, tais como a presença de cloretos, exijam um concreto de menor porosidade que venha a proteger de forma mais eficiente as armaduras. É necessário ressaltar que ponderam fatores negativos assim com os superplastificantes, dentre eles pode-se destacar o retardamento da pega do concreto.

4.5.4 Incorporador de Ar

Os Incorporadores de ar sintético, são aditivos que promovem proteção contra corrosão em armaduras e evitam a formação de “microporos”, tais quais

melhoram a plasticidade e trabalhabilidade e diminuem a tendência de segregação do CAA. Os aditivos incorporadores de ar proporcionam baixo consumo de cimento, redução de deficiência granulométricas, além do retardamento da pega, redução a segregação e posterior aumento da impermeabilidade. Nos países com inverno rigoroso, por exemplo, os incorporadores de ar permitem que a água que penetra no concreto ou argamassa possa expandir com o congelamento, sem causar fissuras ou trincas. Os incorporadores também são aplicados na obtenção de blocos de concreto celular, não sendo tão recorrente o seu uso quanto a esta característica.

4.5.5 Acelerador de Pega

O acelerador de pega é aquele que, ao ser adicionado ao concreto, diminui o tempo de início de pega e desenvolve com mais rapidez a resistência inicial. Neste grupo estão os compatíveis quimicamente com o cimento e os estabilizadores. Os compatíveis quimicamente, em geral são usados na feição do CAA para acelerar a pega do concreto, são eles: cloreto de cálcio, cloreto de sódio, carbonatos, silicatos e fluossilicatos, hidróxidos e trietanolamina.

4.6 Água de emassamento

Os requisitos de qualidade da água para o concreto autoadensável são os mesmos que são considerados para o concreto convencional na NBR 15900-1:2009. A água utilizada no concreto não deve conter impurezas. As impurezas podem causar eflorescências na superfície do concreto e corrosão das armaduras do concreto armado.

As propriedades e granulometria dos materiais componentes delimitam a quantidade de água de para o traço ideal. De acordo com alguns autores e trabalhos apresentados na literatura, a relação a/c para o CAA, apresenta valores que variam em torno de 0,3 a 0,5. A quantidade de água de uma mistura pode ser dividida em quatro partes: hidratação, absorção e adsorção dos agregados e materiais finos, preenchimento da porosidade do esqueleto granular e por fim para garantir a fluidez do concreto.

5 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Recapitulando, o CAA deve apresentar, obrigatoriamente, três propriedades no estado fresco, que não competem ao concreto convencional (REPETTE et al., 2001):

- Habilidade de preenchimento: preencher a fôrma onde é aplicado e se autocompactar, sem vibração, mantendo-se homogêneo;
- Habilidade de passagem: passar através de obstáculos, como as barras de armaduras, sem apresentar bloqueio de partículas de agregados;
- Resistência à segregação ou estabilidade: manter-se homogêneo durante a mistura, o transporte e a aplicação.

Assim sendo, pode-se aferir que a estabilidade do concreto fresco é uma propriedade ímpar do CAA, sendo considerado um índice simultâneo da capacidade de retenção de água e da capacidade de retenção do agregado graúdo na massa do concreto fresco.

5.1 Ensaios de Trabalhabilidade

O conjunto de equipamentos para a avaliação da trabalhabilidade do CAA foi desenvolvido para esse novo tipo de concreto ao longo dos anos. É factível, que diferentes métodos e ensaios foram desenvolvidos para caracterizar as propriedades do CAA no estado fresco. No entanto, para cada um destes pontos, há um grupo de equipamentos mais aptos a obter resultados favoráveis ao fim que se destina. As propriedades avaliadas são: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação.

O quadro 2 enumera pontos que devem ser levados em consideração na determinação das propriedades de trabalhabilidade do CAA.

Quadro 2 – Ensaios para a avaliação da trabalhabilidade do CAA

Ensaios	Utilização		Propriedades Avaliadas		
	Laboratório	Canteiro	Fluidez	Habilidade Pas.	Coesão
<i>Slump flow</i>	XXX	XXX	XXX	N	X
<i>Slump flow T 50</i>	XXX	XX	XXX	N	X
<i>V-Funnel</i>	XX	X	XX	N	X
<i>V-Funnel 5 min</i>	XX	X	X	N	XXX
<i>L-Box</i>	XX	X	N	XXX	XX
<i>U-Box</i>	XX	X	N	XXX	XX
<i>Fill-Box</i>	X	N	N	XX	XX
<i>U-Pipe</i>	X	N	X	N	XXX
<i>Orimet</i>	XX	X	XX	X	X
<i>J-Ring</i>	XXX	XXX	X	XXX	XX

(XXX – altamente recomendável; XX – recomendável; X – pouco recomendável; N – não relevante
Fonte: Tutikian; Dal Molin, 2008).

É necessário ressaltar algumas irrelevâncias quanto aos ensaios supracitados. Nenhum deles, por exemplo, é capaz de medir as 3(três) propriedades citadas. Ou ainda, por não haver precisão de dados referentes aos ensaios, os resultados experimentais se divergem abruptamente dos correlacionado ao canteiro. Caso ajam diâmetro mais que 20mm e armaduras muito densas, o ajuste dos equipamentos torna-se uma constante. Portanto, pode-se denotar que a equivalência entre ensaios e canteiro de obras, só será adquirida com a experiência acumulada, e conseqüentemente, as medidas só serão definitivas, quando estes equipamentos forem normatizados.

5.1.1 Slump Flow Test

– Conceito: o ensaio de espalhamento ou ainda. Slump flow test, foi desenvolvido no Japão em 1990, para avaliar o uso de concretos submersos. O ensaio permite observar visualmente se o concreto está segregando ou não, a medida de fluidez a ser obtida do CAA é o diâmetro do círculo formado pelo concreto.

Sua principal função é medir a capacidade de fluidez do CAA sem segregação. Sendo sem dúvidas, por sua facilidade de execução e baixo custo o mais recorrente em laboratório e obras.

Colher tipo concha ou balde com capacidade de 10L, para retirada do excesso de concreto da superfície do molde;

Tronco ou cone invertido: formado por elemento metálico ou adaptável à base superior do molde;

Trena ou régua de no mínimo 100cm gradua.

– Procedimento: segundo a NBR 15823-2: 2010, primeiramente deve-se umedecer a base e internamente o molde para que não absorvam água do concreto durante o ensaio. Depois colocar a base sobre uma superfície nivelada e posicionar o molde sobre a base, centrando-o na marcação circular de diâmetro 200mm.

Preenche-se o molde no máximo 2 minutos após sua coleta do concreto. O preenchimento do molde deve ser realizado sem adensamento e de forma contínua e uniforme, com o auxílio do complemento cônico. Deve-se ainda ter o cuidado de remover qualquer excesso de concreto na placa e então erguer verticalmente o cone. Imediatamente após, fazer a limpeza da placa de base, retira-se todos os resíduos de concreto de sua superfície.

Procede-se então com a desforma em aproximadamente 5 segundos, tendo em vista a feição de forma contínua e gradual. É importante ressaltar que o procedimento de preenchimento até a desforma deve ser efetuado em tempo não superior a 1 min. Durante o ensaio é importante a observação da ocorrência ou não de segregação.

– Parâmetro e faixas executivas: o grau de fluidez do concreto é medido pelo seu espalhamento. Tal qual é a média aritmética de duas medidas perpendiculares do diâmetro realizadas em milímetros.

Quadro 3 – Classes de espalhamento do CAA .

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

Fonte: NBR 15823-1: 2010.

Normalmente se obtém melhor qualidade de acabamento da superfície com concreto da classe SF3 para aplicações em geral, porém é mais difícil controlar a resistência à segregação do que se verifica no concreto de classe SF2. Considera-se que em casos atípicos é especificado um valor paramétrico acima 850 mm para o espalhamento, sendo neste último módulo necessário cuidados especiais para evitar a segregação.

5.1.2 Slump Flow T500 Test

Os conceitos, procedimentos e equipamentos utilizados no ensaio Slump Flow T_{500} são os mesmo utilizados no Slump Flow, acrescentando apenas um cronômetro para medir o tempo que a massa de concreto leva para escoar 50cm. O tempo de escoamento (t_{500}) é dado como o intervalo de tempo, em segundos, entre o início e o final do escoamento do concreto, a partir do diâmetro do molde (200 mm) até a marca circular de diâmetro 500 mm da base. No momento da retirada do molde, quando o mesmo perde o contato com a base, o cronômetro é acionado no momento em que o operador inicia o levantamento do molde e parado quando a massa de concreto cobrir totalmente a marca circular de diâmetro 50cm(500mm), registrando-se então, este intervalo de tempo (t_{500}), em segundos. Como parâmetro, pesquisadores recomendam valores entre 3 s a 7 s para o valor do tempo de escoamento (t_{500}).

O quadro 4 resume os valores do tempo de escoamento (t_{500}) em função da aplicação do CAA.

Quadro 4 – Classe de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação (t500).

Classe de viscosidade plástica aparente	T500 (s)	Aplicação	Exemplos
VS 1	≤ 2	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle da exsudação e da segregação; Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.	Lajes; Paredes-diafragma; Pilares-parede; Indústria de pré-moldados; Concreto aparente.
VS 2	> 2	Adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as fôrmas e melhor resistência a segregação; Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, pilares e outras.

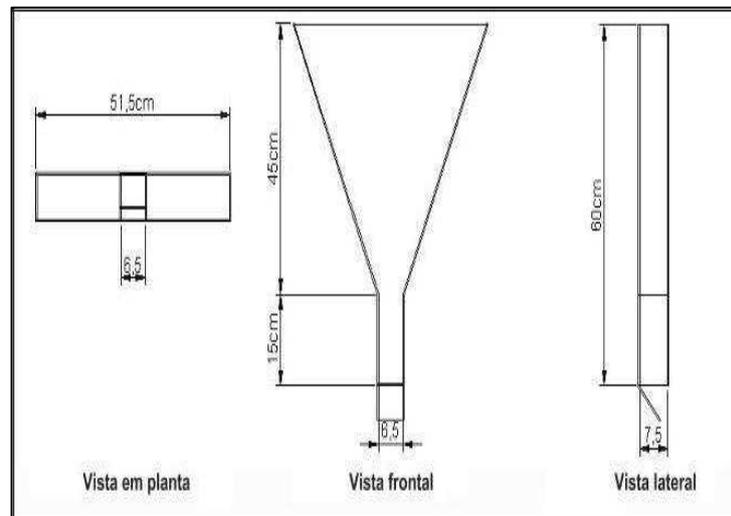
Fonte: NBR 15823-1: 2010.

5.1.3 V- Funnel Test (Funil V)

– Princípio: o ensaio do funil V foi desenvolvido na Universidade de Tóquio, para simular a capacidade de passagem do CAA, através do estreitamento de uma seção, apenas sob a ação de seu peso próprio. O ensaio é responsável por qualificar a viscosidade do concreto, embasado no tempo de escorrimento da mistura pelo aparelho. Esse ensaio só é aplicado ao concreto autoadensável preparado com agregado graúdo de dimensão máxima característica menor ou igual a 20 mm.

Equipamentos: o Funil V deve apresentar dimensões, espessura e características adjacentes conforme mostra abaixo:

Figura 22 – Detalhamento do funil V.



Fonte: NBR 15823-5: 2010.

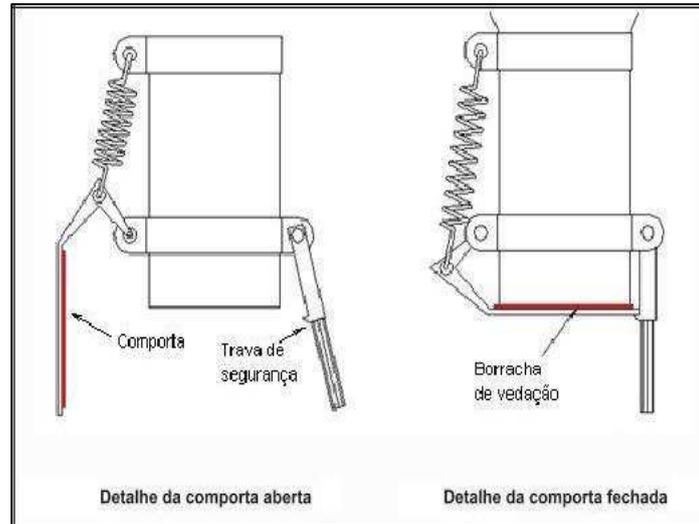
Cronômetro: com resolução mínima de 0,1 s;

Colher do tipo concha ou Balde com Capacidade de 12 L : para retirada do excesso de concreto da superfície do molde e preenchimento do funil V;

Concha metálica: para preenchimento do funil V;

– Procedimento: primeiramente faz-se a limpeza e o umedecimento interno do funil, então fecha-se a comporta e apoia-se o mesmo sobre uma superfície rígida, plana e horizontal. O funil V com capacidade de 12L, deve ser preenchido de forma uniforme e gradual em no máximo 5 min. Retira-se o excesso de concreto da superfície do funil e regulariza-se a superfície do concreto. Após este procedimento é feita a abertura da comporta tendo o cuidado de neste passo, não serem ultrapassados 30s do momento de preenchimento. O cronômetro é acionado e faz-se a primeira medida de tempo. Fecha-se a comporta e o funil é novamente preenchido com o concreto. É então refeito o procedimento anterior. A comporta é então aberta 5 min após o preenchimento, e registrado o intervalo de tempo para o escoamento total da massa de concreto. Esse tempo de escoamento T_{5min} é parâmetro fundamental para determinação da resistência a segregação do concreto.

Figura 23 – Detalhe da comporta funil V.



Fonte: NBR 15823-5: 2010..

– Parâmetros e faixas executivas: como referência recomenda-se valores entre 6 s a 12 s para o valor do tempo de escoamento (T30seg) e um acréscimo de no máximo 3 segundos para o valor do tempo de escoamento (T5min). Quadro 05 abaixo, resume o valor do tempo de escoamento em função da aplicação do CAA:

Quadro 5 – Classes de viscosidade CAA com uso do Funil V.

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

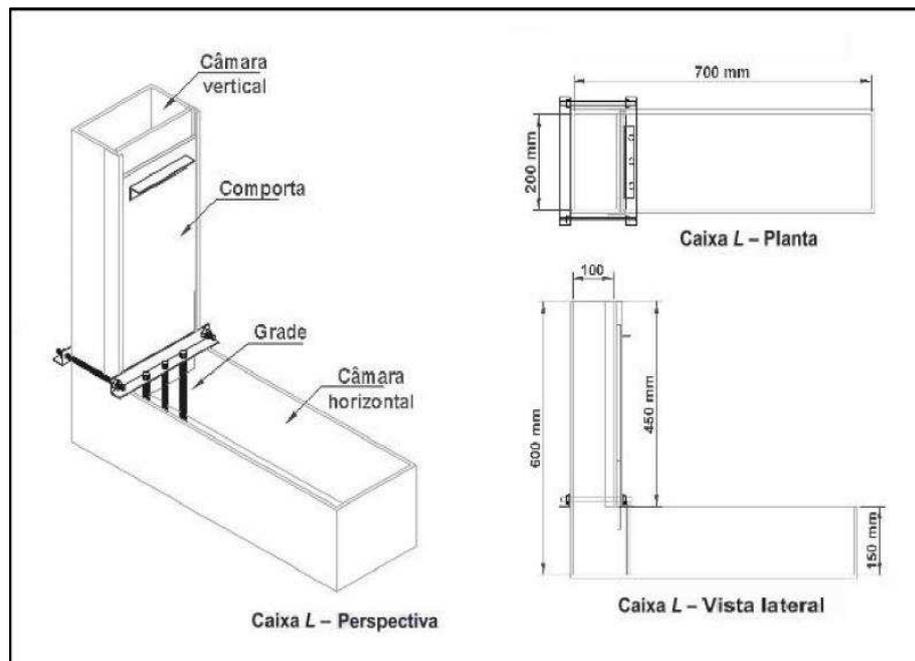
Fonte: NBR 15823-1: 2010.

5.1.4 L - Box Test (Caixa L)

– Princípio: o ensaio da caixa L consiste em verificar se o concreto sob a força de seu próprio peso consegue passar por obstáculos, como armaduras, por exemplo, sem que ocorra bloqueio. Este ensaio funciona como uma espécie de peneira dentre os demais ensaios, pois ao ser aprovado neste, os demais são otimizados.

– Equipamentos: caixa L –A caixa deve conter seção retangular e barras equidistantes entre si e em relação às suas laterais. O espaçamento e a bitola das barras de aço dependem, basicamente, das condições reais da estrutura em que o concreto será aplicado. A figura 24 apresenta dimensões, espessura e características adjacentes da Caixa L :

Figura 24 – Detalhamento da caixa L.



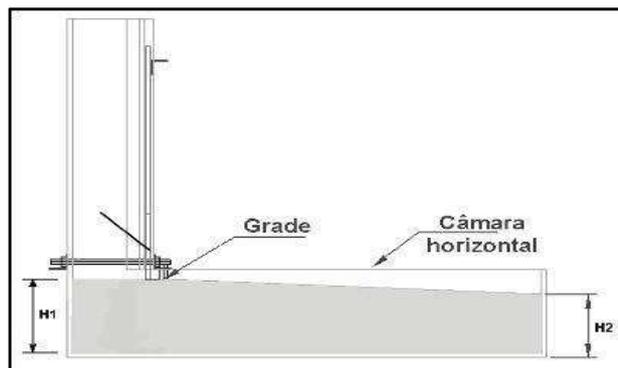
Fonte: NBR 15823-4: 2010.

Colher de pedreiro e recipiente com capacidade de mais de 15 L; Régua metálica de no mínimo 1m de comprimento, graduada com resolução de 1 mm; Cronômetro com resolução mínima de 0,1 s;

– Procedimento: primeiramente faz-se a limpeza e umedecimento da caixa L, com o auxílio se necessário de um desmoldante. Fecha-se a comporta e nivela-se a caixa. A câmara superior deve ser preenchida de maneira uniforme e gradual, com aproximadamente 15 L de concreto, em tempo não superior a 2 min após sua coleta. Retira-se o excesso de concreto e regulariza-se a superfície do mesmo. Após 30 s a 60 s do final do preenchimento da câmara vertical, deve ser efetuada a abertura da comporta de forma rápida, uniforme e sem interrupção, permitindo o escoamento do concreto para a câmara horizontal. Cessado o escoamento, medir as alturas H1 e H2 e calcular a habilidade passante (HP).

– Parâmetros e Faixas Executivas: as alturas da superfície do concreto nas extremidades da câmara horizontal são calculadas pela seguinte fórmula: **HP = H1/H2**– Equação I.

Figura 25 – Indicação das alturas H1 e H2.



Fonte: NBR 15823-4: 2010.

O quadro 6 abaixo resume os valores da razão entre H2/H1 em função da aplicação do CAA:

Quadro 6 – classe de habilidades passantes do CAA em função da sua aplicação (Caixa L).

Classe de habilidade passante	Caixa L (H2/H1)	Aplicação	Exemplos
PL 1	≥ 0,80, com duas barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.	Lajes; Painéis; Elementos de fundação.
PL 2	≥ 0,80, com três barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm.	Vigas; Pilares; Tirantes; Indústria de pré-moldados.

Fonte: NBR 15823-1: 2010.

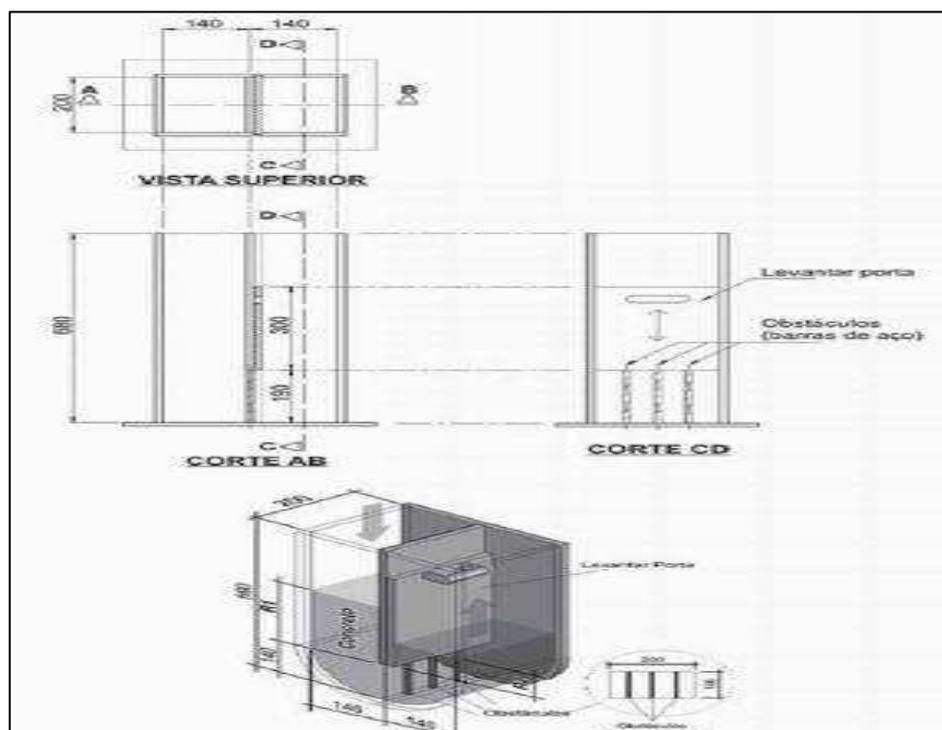
5.1.5 U-Box Test (Caixa U)

– Princípio: o ensaio Caixa-U, serve para medir a fluidez e a habilidade passante do de o CAA. Neste ensaio a determinação do grau de adensabilidade pode ser indicado pela altura que o concreto alcança ultrapassar os obstáculos.

– Equipamentos: uma caixa em forma de U, com dimensões especificadas na figura abaixo; um recipiente com capacidade de 16 L; uma trena ou uma régua de, no mínimo, 60 cm.

– Procedimento: primeiramente faz-se a limpeza e umedecimento da caixa U. A Caixa-U é então preenchida e posteriormente posicionada sobre uma superfície estável e nivelada. Após 1(um) minuto da acomodação da mistura ao equipamento a comporta é aberta. Assim que o movimento se estabilizar, medem-se as alturas R1 e R2 .A autoadensabilidade do CAA é avaliada através das duas alturas obtidas, R1e R2, conforme a Equação II : **$Ru = R1 - R2$**

Figura 26 – Ensaio da caixa U.



Fonte: Gomes (2002).

5.1.6 U-Shaped Pipo Test(Tubo U)

– Princípio: o ensaio consiste em avaliar a resistência à segregação do CAA, em função da segregação dos agregados graúdos. É responsável por prover uma relação de segregação que não deve ser superior a 0,9. Tem como pontos positivos a fácil aquisição, manejo e limpeza dos equipamentos, no entanto, é usual apenas para concretos fluidos, sendo ainda um dependente temporal das propriedades do aglomerante em questão para sua realização.

– Equipamentos: três tubos de PVC curvos 90 graus, com formato e dimensões especificadas na figura a seguir, fita adesiva que funcione com elemento vedante e colante; braçadeiras metálicas que proporcione amarração dos elementos; duas tábuas, com 120 cm x 30 cm ligadas paralelamente por parafusos, que proporcionarão a verticalidade do ensaio; baldes ou recipientes; espátula ou colher de pedreiro, para extrair as fatias do concreto em fase de pega; peneira com abertura de malha de 5 mm; mangueira para retirar os agregados da fatia de concreto e balança e um objeto cortante para romper a fita adesiva.

– Procedimento: primeiramente faz-se a limpeza e umedecimento do Tubo. O tubo U é posicionado verticalmente e preenchido de forma contínua e gradual com uma amostra representativa de CAA até que os dois lados sejam equiparados.

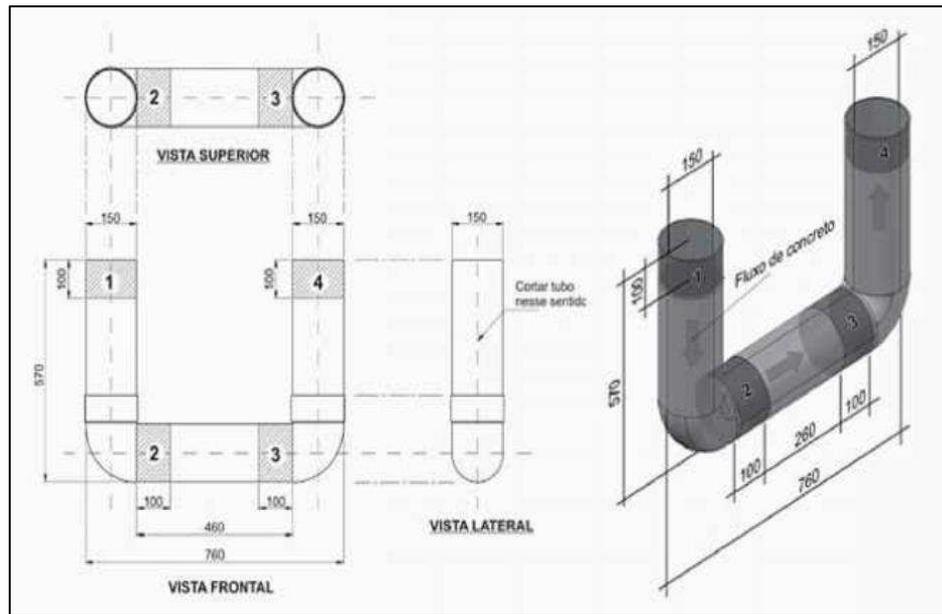
Quando o concreto encontra-se em estado semissólido, o tubo U é posicionado horizontalmente, com posterior corte da fita adesiva e retirada das abraçadeiras. Após a remoção das partes soltas do tubo, são selecionadas quatro fatias no concreto, de aproximadamente 10cm, que se encontram em posições preestabelecidas pelo ensaio, conforme a figura a seguir.

Definidas as fatias, as mesmas são cortadas e levadas para uma peneira com abertura de 5 mm e ali lavadas. Seca-se e pesa-se os agregados removidos nesta fase. São obtida então as relações de segregação, comparando-se as massas dos agregados graúdos da fatia 1 com as demais fatias.

O menor valor das três relações é a relação de segregação (RS).

$$RS = \min\left(\frac{P1}{P2} + \frac{P1}{P3} + \frac{P1}{P4}\right) \quad (\text{Equação III})$$

Figura 27– Ensaio do Tubo U.



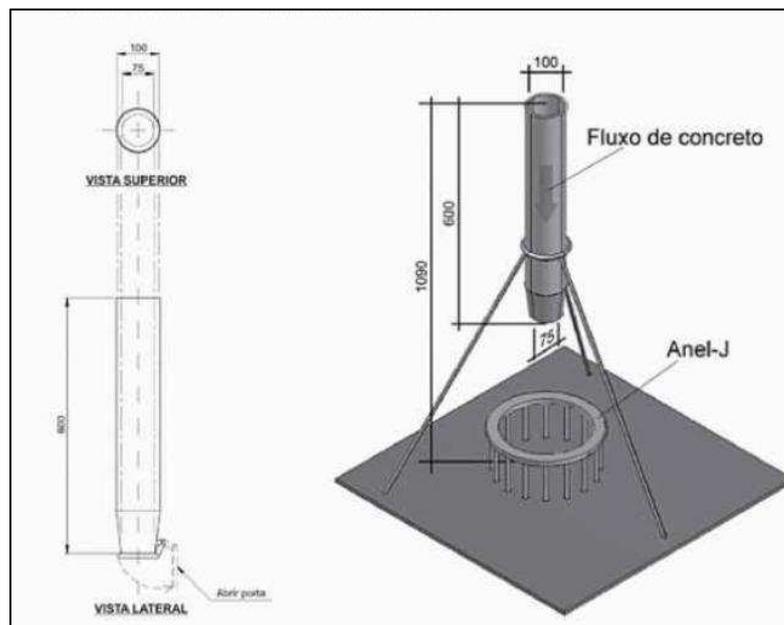
Fonte: Gomes (2002).

5.1.7 Oriment Test(Test Oriment)

– Princípio: o ensaio consiste em determinar o tempo necessário para que 10 litros de concreto fluam por um tubo cilíndrico fixado na vertical, que possui diâmetros de entrada e saída diferentes. Esse teste verifica a fluidez e habilidade passante do material, sem obviamente, segregar-se.

– Equipamentos: um tubo de 600 mm de comprimento, com 100 mm de diâmetro interno e uma redução para 75 mm na saída; um balde com capacidade mínima de 10L e um cronômetro.

Figura 28 – Ensaio Oriment com Verificação da Resistência a Segregação.



Fonte: Gomes (2002).

– Procedimento: primeiramente faz-se a limpeza e umedecimento do Tubo. O equipamento é posicionado verticalmente sobre uma superfície estável, lisa e nivelada. Coloca-se o recipiente abaixo do Oriment e preenche-se o equipamento com a amostra. Retira-se o excesso de concreto. Após um período de acomodação do material, que varia de 8 a 10s, a comporta é aberta e aciona-se o cronômetro. Verifica-se a completa passagem do material, e então o tempo é parado. O tempo registrado é denominado tempo de fluxo do ensaio Oriment (T0). O tempo de

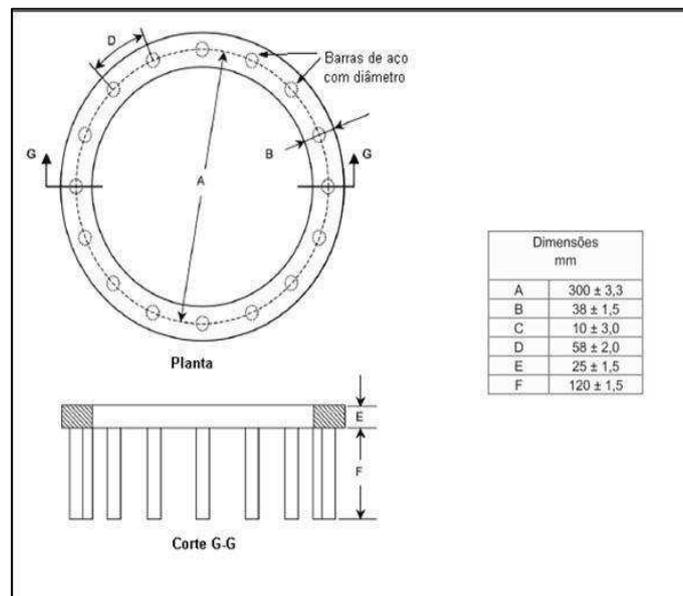
fluxo(T_0) é a medida em segundos, que descreve completa passagem do material, de uma extremidade a outra do tubo. Recomenda-se tempos de fluxo menores que 3s.

5.1.8 J - Rings Test (Anel J)

– Princípio: o ensaio consiste em verificar a habilidade passante e a fluidez do concreto, quando submetidos ao enlace de obstáculo, simulando condições reais de adensamento sob armaduras.

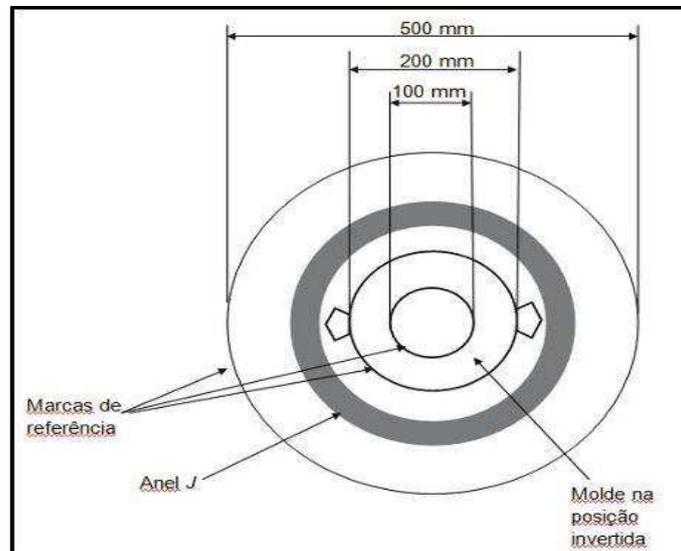
– Equipamentos: todos os materiais utilizados no ensaio de espalhamento do item 5.1.1 deste fascículo; anel J é um anel metálico, com formato e dimensões especificadas na figura abaixo;

Figura 29 – Especificações de Dimensões do Anel J.



Fonte: NBR 15823-3: 2010.

Figura 30 – Molde e Anel J em Planta.



Fonte: NBR 15823-3: 2010.

– Procedimento: primeiramente deve-se umedecer e limpar o molde. O procedimento é idêntico ao ensaio do item 5.1.1 (Slump Flow Test). O diferencial é o uso do molde de forma invertida, a marca de posicionamento do mesmo (100 mm) e obviamente a presença do Anel J. Com o auxílio de todo o mecanismo, mede-se então a habilidade passante e fluidez do concreto em meio as barras. Demarca-se o ponto de espalhamento e calcula-se o diâmetro alcançado. Verifica-se também, se houve bloqueio dos grãos entre as barras. É recomendado que o espaçamento entre as barras não seja 3 (três) vezes maior que o diâmetro do agregado grão.

– Parâmetros e faixas executivas: a critério de curiosidade, assim como no ensaio de espalhamento, o ensaio de anel J pode ser realizado em função do tempo de escorregamento, levando em conta obviamente, a interferência das barras.

O Quadro 7 evidencia a habilidade passante do CAA em função do grau requerido de projeto.

Quadro 7– Classes de Habilidade Passante do CAA de acordo com sua aplicação.

Classe de habilidade passante	Anel J (mm)	Aplicação	Exemplos
PJ 1	25 mm a 50 mm com 16 barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.	Lajes; Painéis; Elementos de fundação.
PJ 2	0 a 25 mm com 16 barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm.	Vigas; Pilares; Tirantes; Indústria de pré-moldados.

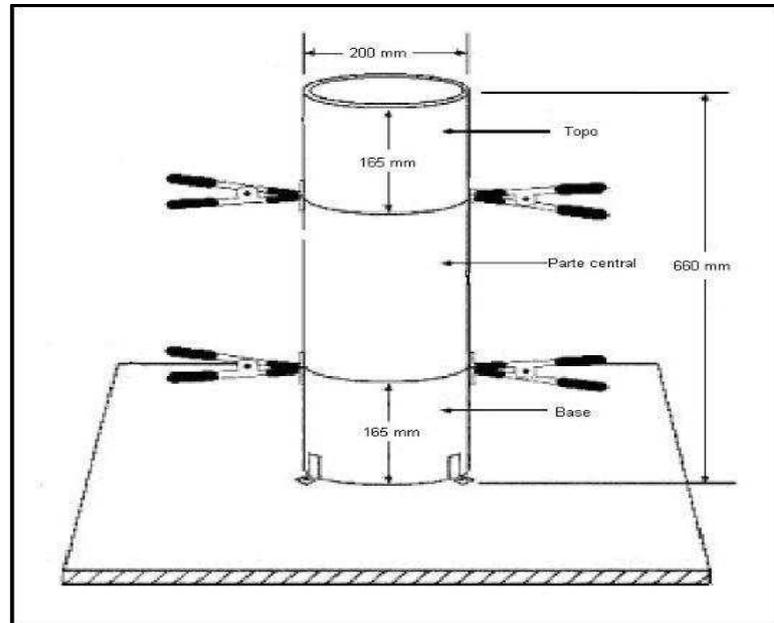
Fonte: NBR 15823-1: 2010.

5.1.9 Coluna de Segregação

– Princípio: o ensaio consiste na determinação da resistência à segregação do concreto autoadensável, pela diferença das massas de agregado graúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação. É conveniente ressaltar que o método não contempla CAA que contenham agregados leve ou fibras.

– Equipamentos: coluna de segregação. É constituída de um tubo de PVC seccionado em três partes, com formato e dimensões especificadas na figura abaixo

Figura 31– Coluna de segregação.



Fonte: NBR 15823-6: 2010.

Concha metálica, colher de pedreiro e recipiente de no mínimo 20L; cronômetro com resolução mínima de 0,1 s; peneira com abertura da malha de 5 mm e chapa metálica e pano ou papel absorvente.

– Procedimento: primeiramente faz-se a limpeza e umedecimento da Coluna de Segregação. O equipamento é posicionado verticalmente sobre uma superfície estável e nivelada. Como nos ensaios já mencionados, faz-se o preenchimento do equipamento de forma gradual e contínua. O processo não deve exceder 5 min. Retira-se o excesso de concreto da superfície e regulariza-se a superfície do concreto. Após 20 minutos da inserção do concreto, e conseguinte acomodação e moldagem do CAA na estrutura, faz-se a retirada das porções de topo e base do material. Ressalva-se que nesta etapa é necessário o auxílio de uma placa metálica para facilitar o deslizamento dos “moldes”.

Após a retirada dos moldes o material é levado para uma peneira com abertura de 5 mm e ali lavadas. Seca e pesa-se os agregados removidos nesta fase. São obtidas então, a massa da porção de concreto da base (m_b) e da porção de concreto do topo (m_t), com estes parâmetros calcula-se a resistência a segregação (RS). A Resistência a segregação é calculada pela diferença percentual

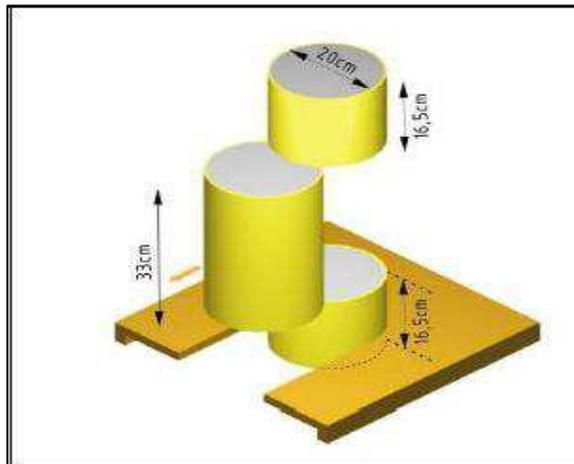
entre a quantidade de agregado graúdo da porção retirada do topo e base da coluna de segregação. A equação abaixo evidencia o cálculo:

$$SR = \frac{2(mb - mt)}{mb + mt} \times 100 \quad (\text{Equação IV})$$

- SR é porcentagem de segregação (%);
- O valor mb é a massa do agregado graúdo retirada da base da coluna, em gramas (g);
- O valor de mt é a massa do agregado graúdo retirada do topo da coluna, em gramas (g).

A figura abaixo evidencia o processo de desmoldagem de base e topo do CAA no ensaio da Coluna de Segregação:

Figura 32 – Retirada das Porções de Concreto.



Fonte: Alencar (2008).

O Quadro 8 resume o valor da porcentagem de segregação (SR) em função da aplicação do CAA:

Quadro 8 – Classes de resistência à segregação do CAA na coluna de segregação.

Classe de resistência à segregação	Porcentagem de segregação (%)	Distância a ser percorrida (m)	Espaçamento entre armaduras (mm)	Exemplos
SR 1	≤ 20	< 5	> 80	Lajes de pequena espessura; Estruturas convencionais de pouca complexidade.
SR 2	≤ 15	> 5	> 80	Elementos de fundações profundas;
		< 5	< 80	Pilares, paredes e elementos estruturais complexos; Elementos pré-moldados.

Fonte: NBR 15823-1: 2010.

5.1.10 Ensaio GTM

– Princípios: o ensaio consiste na determinação da resistência a segregação por meio de um processo de medição da medição do grau de separação entre agregado e argamassa.

– Equipamentos: recipiente com capacidade para 10 litros e um balde com capacidade mínima de 2L; cronômetro e balança e peneira com abertura de malha de 4,8mm.

– Procedimento: primeiramente faz-se a limpeza e umedecimento do equipamento. O teste é desenvolvido em um recipiente com capacidade de 10L. Preenche-se o recipiente e deixa-se a amostra, aproximadamente 10 a 20s, em repouso. Em seguida, preenche-se o recipiente de 2L com o material residente superficial contido no recipiente de 10L. Pesa-se a amostra menor e submete-se o material a queda de uma altura de 50cm sobre a peneira de 4,8mm. Permite-se então o escoando deste material sobre outro recipiente. Pesa-se então o material passante na peneira 4,8mm. A resistência à segregação é dada pela relação entre o peso do material passante na peneira (mp) e o peso total da amostra (mT) antes do peneiramento úmido.

5.1.11 Ensaio variados

Além dos ensaios citados ainda existem outros tipos de equipamentos de análise e ensaios referentes a trabalhabilidade do CAA. Podemos citar o Fill Box para medir habilidade passante e Coluna Rooney para prever a segregação, bem como o Teste de Autoadensibilidade utilizado para simular o fluxo do concreto em condições reais de um canteiro.

Quadro 9 – resumo de ensaios, parâmetros propostos pela maioria de pesquisadores.

	Ensaio	Unidade	Valores típicos	
			Mínimo	Máximo
1	<i>slump flow</i>	milímetro	600	750
2	<i>slump flow</i> t_{50cm}	segundo	3	7
3	<i>v-funnel</i>	segundo	6	12
4	<i>v-funnel</i> (acrécimo tempo)	segundo	0	3
5	<i>l-box</i>	(h_2 / h_1)	0,80	1,00
6	<i>u-box</i>	$(h_2 - h_1)$ mm	0	30
7	<i>fill-box</i>	porcentagem %	90	100
8	<i>u-shaped pipe</i>	porcentagem %	90	100
9	<i>orimet</i>	segundo	0	5
10	<i>j-ring</i>	milímetro	0	10

Fonte: Tutikian, Dal Molin(2008).

5.2 PROPRIEDADES NO ESTADO SÓLIDO

As propriedades do CAA no estado endurecido são semelhantes ao concreto convencional. No entanto faz-se necessário averiguar este módulo. Fatores com resistência a compressão e tração, módulo de deformação e estabilidade variam proporcionalmente em função de diversos parâmetros. O esqueleto granular influi diretamente nestas propriedades, quanto mais coesa, mais fluída e estável é a mistura. Outro fator influente na definição das características no estado sólido é o procedimento de moldagem dos corpos de prova. A fôrma, cura e susceptível adensamento influenciam diretamente no processo de moldagem.

Por fim, ao passo que a mistura é mais coesa, as compressões e trações atuantes na mistura, serão redistribuídas devido a maior superfície de contato e por conseguinte resultará em melhores propriedade mecânicas.

5.2.1 Ensaio de resistência à compressão

Sabe-se que o concreto é o agente responsável por receber esforços de compressão na estrutura. Em geral, a resistência à compressão é a medida de tensão exigida para romper o material. Existe, no entanto, fatores que interferem controle tecnológico da estrutura. Assim sendo, para obter um controle tecnológico favorável faz-se necessário a observação de parâmetros referentes à composição da mistura como fator água cimento, adições e aditivos.

De acordo com a necessidade de projeto as idades de rompimento do corpo de prova variam. A idade tradicionalmente considerada é aos 28 dias. Porém, são recorrentes ensaios para as idades de 03 e 07 dias e até mesmo 90 dias. Um dos fatores importantes que justifica tal variação está associado à área de contato que recebe o carregamento. De acordo com Cheng (2003), as adições minerais são fatores que influem de forma significativa no decorrer do tempo. Ele descobriu que em idades mais avançadas, quanto maior o percentual de adições em relação a pasta de cimento, maior será a resistência.

Segundo Klug (2003), os ensaios de compressão do concreto autoadensável não se diferem em nenhuma instância do concreto convencional. No

entanto, é visível que o CAA apresenta resistência até 40% maior que o CCV para um mesmo traço.

5.2.2 Ensaio de resistência à tração

A resistência à tração é a propriedade que inibe a fissuração no concreto. Tal propriedade é alcançada com a inserção de barras de aço no concreto.

Estudos que provem o efeito da tração no CAA são restritos, pode-se afirmar, porém, que a resistências à tração varia de 7% a 10% da resistência a compressão.

Segundo Klug(2003), a relação entre tração e compressão é igual para o CAA e CCV, sendo de aproximadamente 0,11(11%). No entanto, estudos revelam que os valores de tração crescem em escala maior que o de compressão no decorrer das idades do concreto.

5.2.3 Módulo de deformação

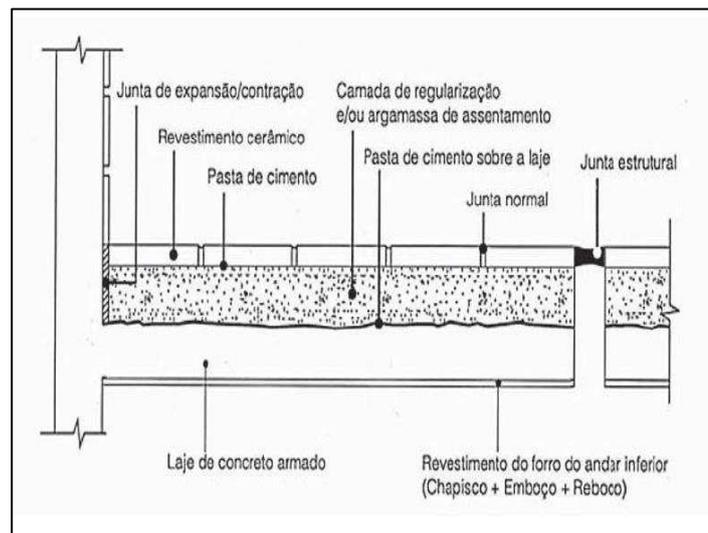
O módulo de deformação estático (E_c) é dado pela declividade da curva σ (tensão) x ϵ (deformação) do concreto, sob carregamento uniaxial. Faz-se necessário ter ciência do E_c , pois é ele quem determina, de acordo com o material, o grau de deformação máximo antes da ruptura. Ele pode ser descrito por três metodologias: módulo tangente, módulo secante e módulo corda. A porosidade, densidade e a resistência do concreto são fatores que influem diretamente no módulo de deformação. Dentre estas propriedades destaca-se a porosidade, misturas que possuem agregados com maior densidade resultam em módulos de deformação menores, já aquelas com densidade menor ou moderada apresentam maior módulo de deformação. De acordo com Gomes (2002), os valores de E_c para concreto convencional são similares aos encontrados para CAA de alta resistência, com resistência à compressão de até 68 MPa.

6 EXEMPLO CONSTRUTIVO

6.1 Contrapiso

As definições de contrapiso são diversas, cada autor analisa seu ponto de vista conforme sua visão técnica e/ou experimental. Segundo Fiorito(2009), o nivelamento da superfície é feito em função da camada de argamassa precedente, podendo a adjacente a esta ser uma camada de regularização, para camadas de argamassa acima de 25mm, ou denominado contrapiso, para camadas que não ultrapassem 25mm. O modelo ideal de contrapiso se resume na figura 35 abaixo.

Figura 33 – Desenho esquemático de contrapiso.



Fonte: Fiorito(2009).

De acordo com Barros (1991), o contrapiso de forma simplória é um dos quatro componentes que compõem o piso, e por conseguinte o sistema horizontal de vedação. Segundo Souza (2007) o contrapiso ideal possui espessuras que variam de 2,0 a 7,8 cm.

O contrapiso é necessário tanto para ambientes que serão revestidos com cerâmica quanto para aqueles cujo acabamento final será o piso cimentado. Suas utilidades se divergem em infindáveis proporções. Servem de embutimento, para instalações; absorvem deformações; proporcionam estanqueidade, conforto

higrotérmico, tátil, visual e acústico; Atenuam ataques por agentes químicos e resistem bem a combustão; oferecem caimentos para ralos, bem como proporcionam a regularização e nivelamento da superfície.

6.1.1 Contrapiso Convencional

O método convencional de contrapiso consiste no modelo usualmente chamado de “farofa”, podendo ser de dois tipos: aderido ou flutuante. Suas espessuras variam em função dos níveis de laje, piso e ainda do tipo de contrapiso escolhido. Quanto aos critérios para a sua perfeita execução pode-se elencar como primordiais ausência de desníveis, buracos, fissuras e rachaduras, e ainda desobstrução e limpeza do local de aplicação.

6.1.2 Contrapiso Autonivelante

O Contrapiso autonivelante é um subsistema composto de apenas uma camada de CAA. Devido a utilização do concreto autoadensável sua durabilidade, acabamento e resistência mecânica são maiores que o concreto convencional. Suas espessuras variam conforme a necessidade, faz-se necessário, ressaltar que diferentemente do CCV o CAA não permite a execução de desníveis no contrapiso, com exceção de casos especiais, quando da utilização de obstáculos que fomentem o desnível desejado. Em tese, o CPA transmite e dissipa as cargas na laje, através de uma superfície lisa e uniforme, que possibilita o assentamento seguro e eficaz dos mais variados revestimentos.

O transporte vertical constitui-se na maior dificuldade de execução de obras em edifícios. Tal fator é passa a ser desprezível com o uso do CAA em contrapisos. Tem-se uma elevada redução de custos, pois dispensa-se elevadores, guias e até mesmo estações de bombas intermediárias. É conveniente ressaltar, que com o uso do CAA o fator a/c ganha enfoque. Assim sendo, para o contrapiso alcançar as propriedades requeridas, a cura tem que ser realizada de forma prioritária. A cura é a fase de secagem do concreto, é um processo em que se evita a perda de água. Características como a permeabilidade, carbonatação, fissuração, durabilidade são alvos diretos de uma cura ineficaz.

7 REOLOGIA DOS MATERIAIS

7.1 Conceitos

Apesar do conhecimento da reologia por Newton e Hooke já no século XVII, foi somente no ano de 1920, que o comportamento mecânico de materiais passou a ser de interesse científico no que tange a reologia. No Brasil, os conceitos relacionados à reologia só começaram a ser estudados no ano de 2005, com a propagação do SBTA-Simpósio Brasileiro Tecnológico de Argamassas.

Oliveira (2000, p. 38), é enfático ao afirmar:

[...] Em sólidos e líquidos perfeitos a relação entre tensão e deformação é linear, no entanto em sólidos elásticos, a deformação é proporcional a carga aplicada. Assim sendo pode-se classificar a reologia como, a ciência que estuda o fluxo e a deformação dos materiais quando submetida a uma determinada tensão ou solitação mecânica externa [...].

É factível desta forma, que as propriedades de argamassas e ou concretos autoadensáveis são muito influenciadas pelas características reológicas de cada material. Tais propriedades são dadas em função da tensão de escoamento (T_0) e a viscosidade plástica (η), descrita na seguinte equação $T = T_0 + \eta \dot{\gamma}$. Onde: T – tensão de cisalhamento ($N/m^2=Pa$); η – viscosidade ($Pa.s$) e $\dot{\gamma}$ – taxa de cisalhamento (s^{-1}).

7.2 Parâmetros Reológicos Influentes no CAA

No caso dos fluidos, a reologia está relacionada à aplicação de uma força que resulta no escoamento. Para o melhor entendimento seguem nos próximos itens os conceitos relacionados à tensão, deformação e viscosidade.

7.2.1 Tensão de cisalhamento

As forças de campo, de superfície e de convecção são grânulos que compõem a massa cisalhante. Assim sendo convém ressaltar que a tensão de cisalhamento é definida pela equação VI: $T = \frac{F}{A} = \eta \dot{\gamma}$. Onde: F – força (N); A – Área

(m^2); T – tensão de cisalhamento ($N/m^2=Pa$); D – Viscosidade ($Pa.s$) e $\dot{\gamma}$ – Taxa de Cisalhamento (s^{-1}).

Portanto pela equação acima deduz-se que, quanto menor a viscosidade de um fluido, menor é a tensão necessária para submetê-la a uma determinada taxa de cisalhamento.

7.2.2 Deformação

A deformações são divididas em dois módulos :elasticidade ou reversível e plásticas ou irreversíveis. Como o próprio nome sugere a deformação elástica é aquela em que um corpo após solicitado retorna a sua forma original, já a plástica, gera uma deformação permanente após a solicitação, impedindo que o corpo retorne a sua posição original.

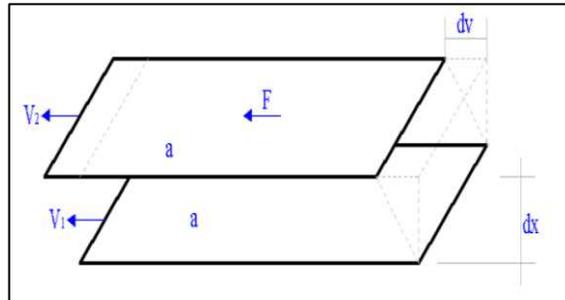
No que tange os critérios reológicos as deformações recebem nomes distintos, porem funções compatíveis com a denominação primária. A deformação elástica é usualmente expressa em termos de deformação e definida como uma deformação relativa. Já a deformação plástica, é expressa em termos de taxa de cisalhamento, que corresponde à mudança na velocidade do escoamento com uma distância medida em determinado ângulo em relação à direção do fluxo.

7.2.3 Viscosidade

O conceito de viscosidade pode ser apresentado como uma propriedade das substâncias que lhe permitem escoar sucessivamente sob a ação de uma constante tensão de cisalhamento (PILEGGI, 1996).

Segundo Newton, a viscosidade pode ser compreendida como a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento de um material. Quanto menor a viscosidade de um fluido, menor a tensão cisalhante suportada. A figura 36 abaixo detona o comportamento de duas placas sujeitas a força e velocidades constante, mostrando o que acontece, quando um material é submetido a tensão de cisalhamento.

Figura 34 – Viscosidade segundo o modelo de Newton.



Fonte: PILEGGI (2001).

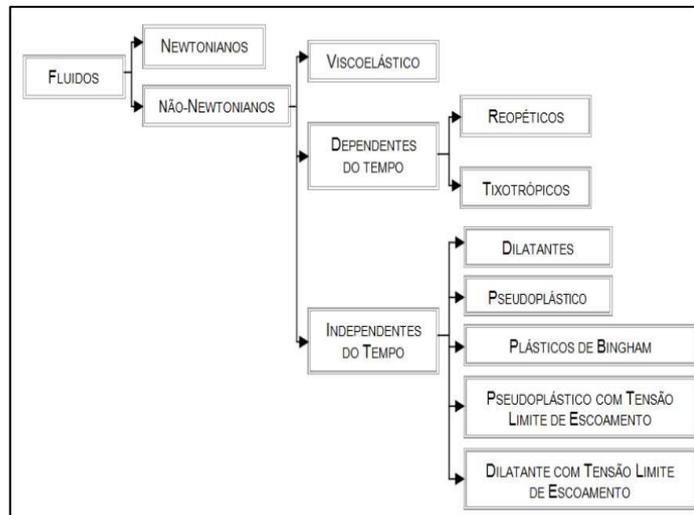
Com a análise acima percebe-se que o atrito interno em líquidos é fator preponderante na determinação da viscosidade da mistura.

7.3 Classificação Quanto ao Comportamento Reológico

A classificação dos fluidos reduz-se a dois grandes grupos: fluidos Newtonianos e Não Newtonianos. Os Fluidos Newtonianos são aqueles que possuem a viscosidade como uma constante, sendo exemplos comuns destes, gases e alguns tipos de líquidos. Já os Fluidos não newtonianos possuem uma relação não linear de deformação, fazendo com que a viscosidade não interfira de forma incisiva na mistura. Estes últimos são classificados em viscoelásticos, dependentes e independentes do tempo.

A figura abaixo mostra o comportamento reológico de fluidos segundo sua classificação:

Figura 35 – Classificação dos fluidos segundo seu comportamento reológico.



Fonte: Eliziane (2004).

Os fluidos não newtonianos merecem maior destaque para a fomentação de CAA, sendo os dependentes e independentes do tempo os mais cogitados. Os fluidos independentes do tempo são subdivididos em três classes: plásticos, pseudoplásticos e os dilatantes. Ambos são fluidos em que a tensão de cisalhamento pontual está intrinsecamente ligada à taxa de cisalhamento da mistura. Já os não dependentes do tempo são classificados em tixotrópicos e reopéticos. Estes últimos são fluidos em que a taxa de deformação é proporcional a tensão aplicada, tendo como acréscimo paramétrico o tempo.

7.4 Fatores que Atenuam o Comportamento Reológico

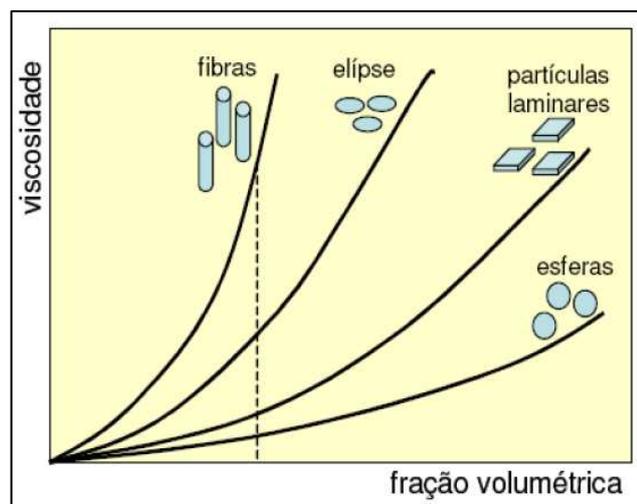
Materiais compostos como argamassas e concretos, que tem como componentes o cimento, agregados e água podem ser entendidos com uma concentração de partículas sólidas em suspensão. Os parâmetros que influenciam o comportamento reológico de suspensão dependem da concentração de sólidos, sendo a viscosidade de suspensão, normalmente dada em função da taxa de cisalhamento, aferindo ao fluido um comportamento newtoniano.

OLIVEIRA et. al. (2000, p. 49), declara:

[...] os principais fatores que afetam a viscosidade de suspensão são a concentração volumétrica de sólidos, características no meio líquido e temperatura, no entanto à medida que se eleva a concentração de sólidos e as partículas passam a interagir entre si, o comportamento reológico de suspensão passa do modelo newtoniano e começa a depender de outras variáveis como as características físicas das partículas (distribuição granulométrica, área específica, densidade etc.) e tipos de interação entre partículas (repulsão e atração).

Convém ressaltar o que a matriz de composição da mistura influencia diretamente o fluxo da mistura. Quanto maior o teor de pasta maior será a dificuldade da mistura escoar e por conseguinte terá também maior viscosidade. Outro fator que interfere incisivamente no comportamento reológico do concreto são as adições minerais. Quanto maior a quantidade de finos maior será a superfície específica da mistura, acarretando no aumento da viscosidade e tensão de escoamento. A morfologia das partículas, também é um fator de grande importância, no comportamento reológico de concretos autoadensáveis. Partículas rugosas e alongadas tendem a dificultar o fluxo, enquanto partículas arredondadas e pouco alongadas tem efeito oposto. Assim sendo, de forma geral pode-se afirmar, que quanto maior a irregularidade da partícula, maior será a sua viscosidade.

Figura 36 – Efeito do formato das partículas na viscosidade da mistura.



Fonte: Silva (2006).

8 MÉTODOS DE DOSAGEM

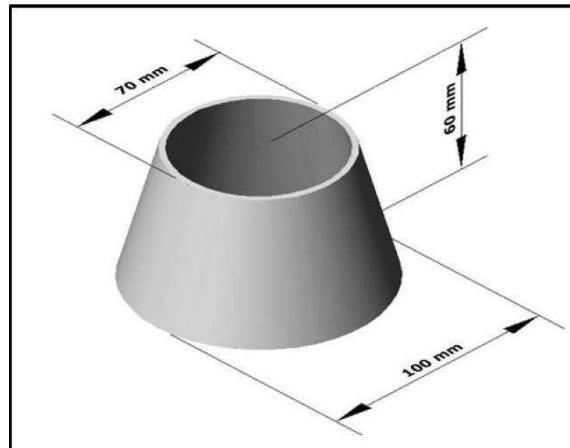
Os métodos de dosagem do CAA foram propostos por diversos autores ao longo das últimas décadas. O objetivo dos métodos é unir tecnologia, praticidade e custo. Okamura, Tutikian, Gomes, Tutikian e Dal Molin são alguns dos autores dos métodos que encontram destaque na atualidade. A seguir contempla-se pontos fortes e fracos de cada métodos, bem como o procedimento utilizado para chegar-se ao traço ideal e por conseguinte, a mistura perfeita.

8.1 Método de Okamura, Ozawa, Maekawa e Ouchi (1995)

– Princípio do método: este foi o pioneiro dos métodos de dosagem do CAA. Em 1988 nasceu o primeiro protótipo e em 1995 foi aperfeiçoado. O método visa estabelecer parâmetros de dosagem que garantam a fluidez, mecanicidade e coesão do CAA. O processo é composto basicamente de quatro etapas. Os passos variam desde a aferição de faixas granulométricas favoráveis, até a obtenção de forma experimental, da mistura ideal, seguida da execução de ensaios

Na primeira etapa fixam-se os volumes de agregado miúdos e graúdos. Na segunda etapa fixam-se os valores de água-finos, sendo recomendado valores que variam de 0,9 a 1,0. Na terceira etapa, faz-se o controle dos parâmetros de dosagem, determinando as relações água-finos, superplastificantes-finos. Na etapa de número quatro, verificam-se os através dos ensaios de autoadensabilidade as propriedades da mistura aferida. Cabe ressaltar que os ensaios em argamassas autoadensáveis são feitos com equipamentos menores. Na figura abaixo tem-se um exemplo do equipamento usado no ensaio de espalhamento:

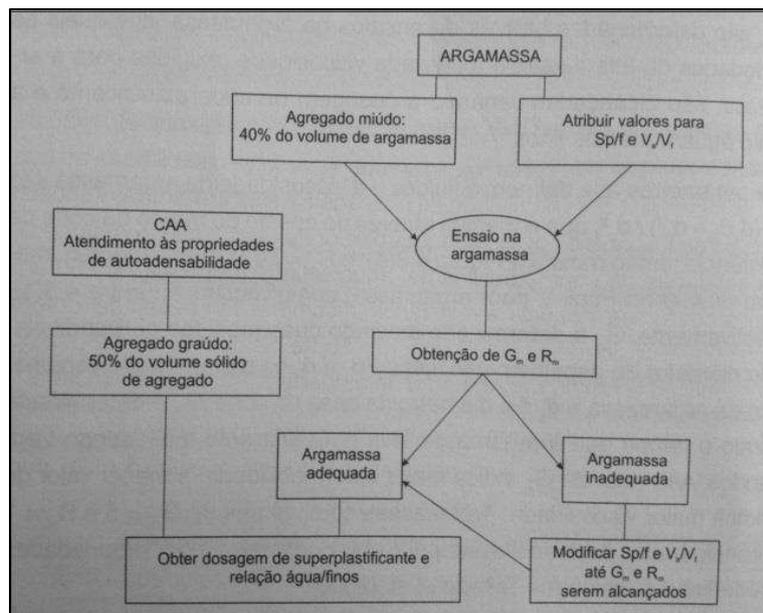
Figura 37– Mini-slump



Fonte: Cavalcanti (2006).

As etapas do método supracitado constam na figura abaixo.

Figura 38 – Etapas do Método de Dosagem de Okamura et al.



Fonte: Gomes e Barros (2009).

É preciso aferir que o concreto autoadensável, conhecido hoje, é uma evolução gradual de décadas. Assim sendo o método em análise encontra-se ultrapassado e sem condições de uso. Dentre os pontos negativos do método tem-se a ausência de parâmetros de dosagem, bem como a ausência de adições minerais e aditivos modificadores de viscosidade em sua composição, ambos

responsáveis por reduzir a segregação e dar coesão a mistura. Sabe-se ainda que apesar de ser um método que requer tentativas que permeiam o “cansaço”, seus resultados são inconsistentes e por conseguinte necessitam de melhor análise.

8.2 Método de Alencar e Helene (2008)

O método proposto por Alencar e Helene(2008) se baseia na inserção de adições minerais para substituição de finos, garantindo desta forma, redução de vazios e coesão da mistura. Assim sendo pode-se afirmar que a trabalhabilidade do método é uma relação entre cimento e adições.

O método consiste em duas etapas básicas. A primeira é a escolha dos materiais, já a segunda, é a fase de aferição das propriedades. Na primeira fase, de acordo com Alencar e Helene (2008), utiliza-se um traço médio como percussor da mistura. Com o auxílio do traço médio, determina-se a proporção entre os materiais. De acordo com as características de projeto, adota-se então, um fator de agregados-cimento em massa e determinam-se os teores de argamassa(α), aditivos, água-aglomerante e de substituição(T). Na segunda fase, realizam-se os ensaios de trabalhabilidade do concreto citados no capítulo 2, para verificação das propriedades requeridas de projeto. Ressalta-se a importância desta fase de ensaios, pois caso as propriedades requeridas de projeto não forem alcançadas, faz-se necessário retornar ao módulo de escolha e proporção dos materiais. No entanto, se houver impossibilidade em primeira instância, de se determinar o traço ideal de acordo com os anseios do projetista, deve-se adotar porcentagens crescentes do teor de substituição (T), até o momento em que não haja progressão significativa na mistura.

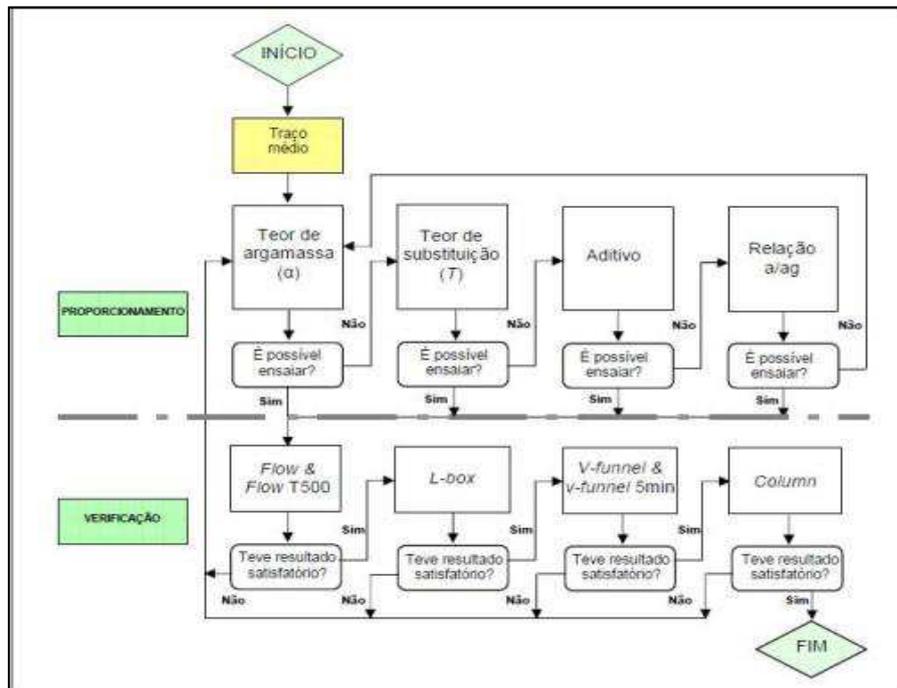
Segundo Alencar (2008, p.89) destaca-se:

[...] a dosagem inicia-se sempre com proporções baixas de α , T e aditivos que vão sendo incrementados pouco a pouco, buscando, assim uma maior otimização dos materiais. Contudo, observa-se que, na medida que aumenta-se o α e o T normalmente, há a necessidade de aumentar também a quantidade de aditivo e, muitas vezes, a relação a/ag , devido ao aumento da superfície específica da mistura.

Após esta etapa, tomando por base o traço médio, faz-se a escolha do traços auxiliares. Cabe ressaltar que os trações auxiliares terão o mesmo teor de. São então feitos novos ensaios para controle da trabalhabilidade e então construído

o diagrama de dosagem. A grande inviabilidade do método, constitui-se no fato de que os teores ótimo de argamassa, aditivo e de substituição, bem como as relações agregado-cimento e agregado-água, constituem uma incógnita que depende da experiência do profissional responsável por executar os ensaios.

Figura 39 – Etapas para verificação da Trabalhabilidade e escolha dos materiais.



Fonte: Alencar e Helene (2008).

8.3 Método de Repette-Melo (2005)

– Princípio do método: o método proposto por Repette e Melo (2005), tem em seu âmago, a escolha racional do teor ótimo de água-aglomerante que circundarão a mistura. É conveniente ressaltar que para Repete e Melo (2005), os aglomerantes são compostos formados por adições minerais. Posteriormente, com um teor fixo de a/agl fixa então um teor de aditivo superplastificante. Após a definição e escolha dos materiais, são feitos os ensaios para controle da trabalhabilidade, bem como de suas propriedades mecânicas e de durabilidade. Em tese, estes ensaios são subdivididos em dois grupos: ensaio da pasta em si(água/aglomerante) e ensaios de argamassa-concreto. O método se difere dos

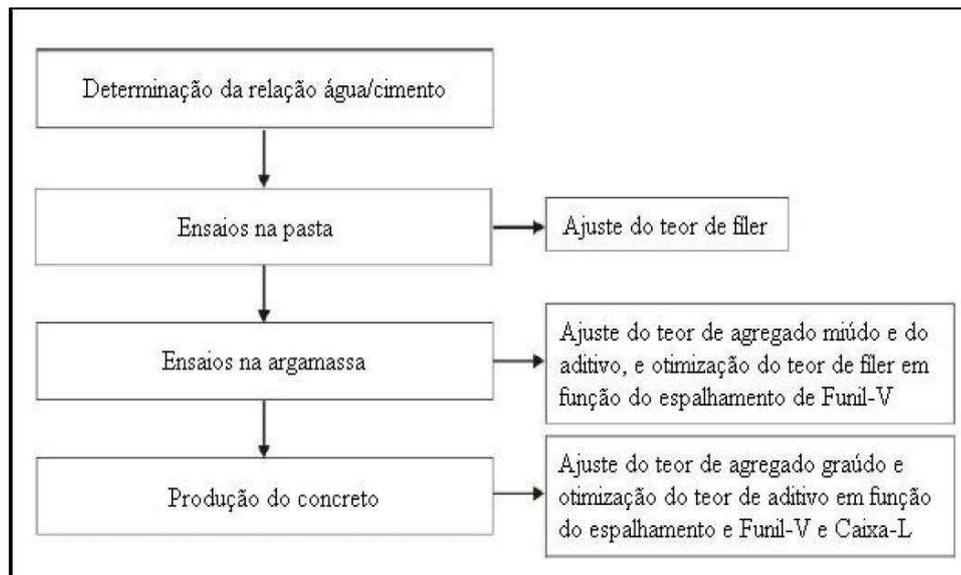
demais pela facilidade e aquisição de ensaios. Também proporciona qualidade e objetividade, por quantificar seus resultados de forma precisa, reduzindo assim, custos posteriores. A figura a seguir, resume o método supracitado.

Segundo Gomes e Barros (2009, p. 121):

[...]este método de dosagem possibilita produzir CAA com valores de resistência à compressão praticados usualmente, o que pode ajudar a difundir sua aplicação aproximando-o da realidade das construções correntes. Isso propicia ao usuário a possibilidade de explorar o excelente comportamento desse concreto no estado fresco, com a resistência especificada em projeto, e com menor custo decorrente da otimização na escolha e proporcionamento dos materiais.

A figura 40 a seguir, resume o método supracitado.

Figura 40 – Etapas do Método de Dosagem de Repette e Melo.



Fonte : Melo (2005) apud Gomes; Barros (2009).

8.4 Método de Gomes, Gettu e Agulló (2002)

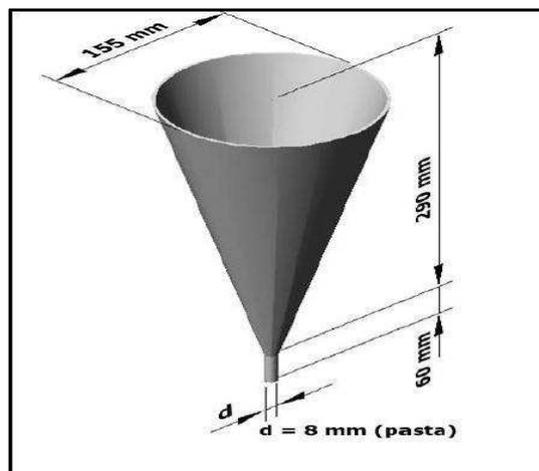
O método proposto por Gomes, Gettu e Agulló(2002), tem como parâmetro a formulação de CAA de alta resistência. O CAA é considerado resistente quando possui resistência inicial aos 7 dias de 50MPa. O método abrange duas etapas bem distintas, a primeira a formação da pasta, já a segunda o desenvolvimento do esqueleto granular.

Algumas exigências tornam-se necessárias para que o método alcance

sua perfeição de alcance. A priori, na escolha dos materiais, determina-se um esqueleto granular com o menor índice de vazios. Logo em seguida escolhe-se relações água-cimento, superplastificante-cimento e finos-cimento que condigam com as propriedades que se requeiram alcançar. É recomendado utilizar-se uma relação a/c de aproximadamente 0,4. Faz-se necessário apregoar, porém, que valores muitos baixos de a/c, apesar de proporcionar bom desempenho, acabam por denotar redução abrupta de resistência mecânica.

Assim sendo, ao passo que determina-se a composição da mistura faz-se então a verificação de suas propriedades em estado sólido e fresco. O cone de March da figura 41 abaixo é um dos ingredientes que compõem estes ensaios:

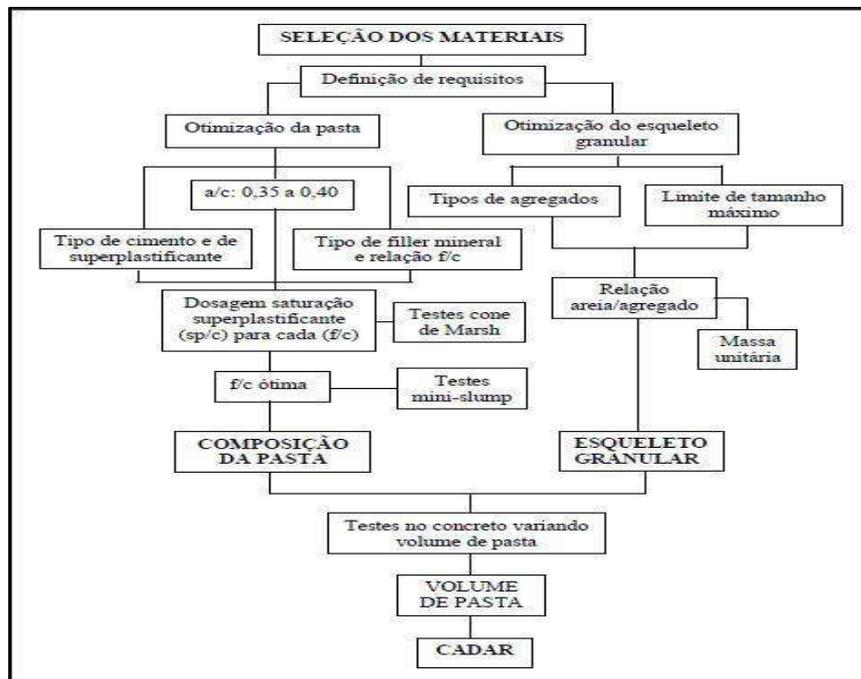
Figura 41– Cone Marsh.



Fonte: Cavalcanti (2006).

A figura 42 a seguir apresenta as etapas de dosagem propostas por Gomes (2002):

Figura 42 – Resumo das etapas do método de dosagem de Gomes et al.



Fonte: Gomes (2002) apud Cavalcanti (2006).

8.5 Método de Tutikian (2004)

O método consiste, assim como os outros, em unir técnica e custo favorável. Pode-se dizer que esta proposta metodológica está baseada no método IPT-EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1992).

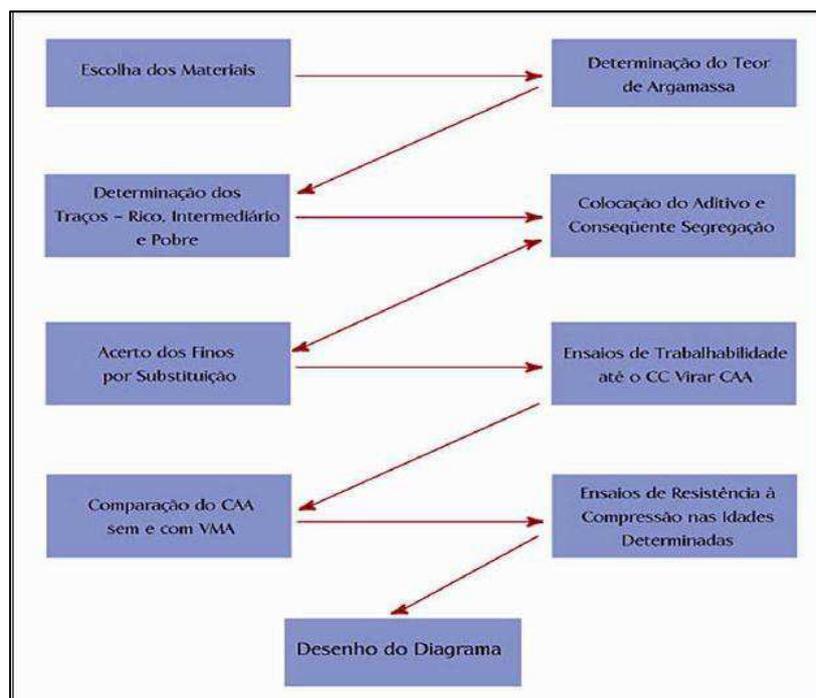
Inicialmente determinam-se as propriedades características dos agregados. Logo após com parâmetros cônescios estabelecidos, firmam-se os traços de argamassa e de água-cimento. São definidos por conseguinte os traços pobre, intermediário e rico. Com o auxílio do traço intermediário, determina-se o teor de argamassa ideal de forma experimental. Após esta etapa são inseridos aditivos superplastificantes e modificadores de viscosidade, estes últimos quando necessário. Então por tentativa e erro faz-se o balanceamento de finos em detrimento da mistura visando garantir a viscosidade ideal.

Com o auxílio de ensaios, como os citados no capítulo 5, verifica-se se o CAA alcançou as propriedades requeridas, caso não estiver conforme o desejado,

refaz-se o processo até alcançar as características ideais de projeto. Então, moldam-se os corpos de prova e determinam-se, agora, as características mecânicas do CAA e confecciona-se o diagrama de dosagem. Na Figura 43, está ilustrado o passo-a-passo da execução do método proposto por Tutikian (2004).

O método contempla acertos e erros. Pode-se citar que como aspecto negativo o controle de qualidade dos agregados é vago, dificultando assim na escolha do traço ideal. A mistura é feita com base na experiência do profissional, elencando assim, outro empecilho. E por fim, o teor baixo de argamassa propicia mistura melhores, no entanto nem sempre é possível adotar teores favoráveis, tendo em vista que as propriedades e características de projeto alternam.

Figura 43 – Passo-a-passo das etapas do método de dosagem proposto por Tutikian.



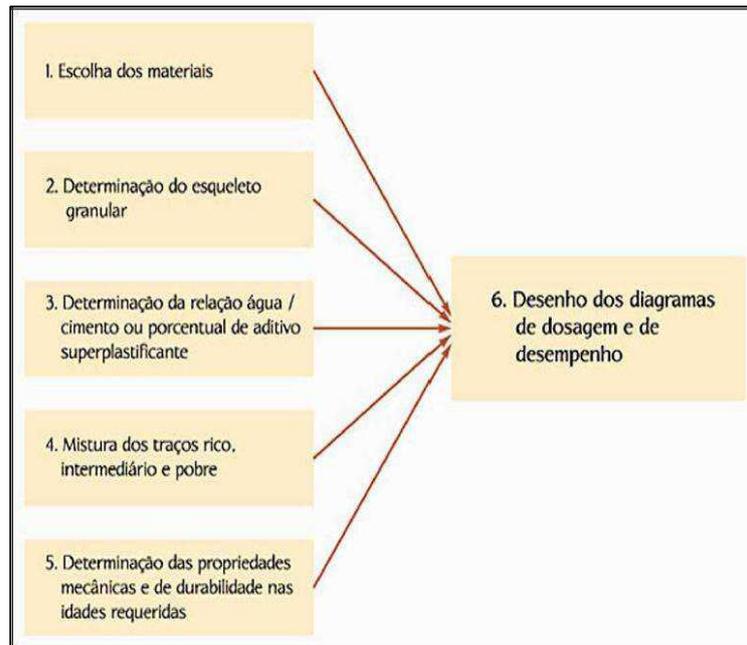
Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

8.6 Método de Tutikian e Dal Mollin (2008)

Esse método de dosagem tem como prerrogativa a determinação do empacotamento granular máximo. A escolha dos materiais, o diagrama de dosagem do IPT/EPUSP, o teor de aditivo correto, a relação água/cimento e o procedimento

básico de Tutikian (2004) fomentam o novo método. A união de diversas teorias, a variação do teor de argamassa e a inclusão da curva de custo no diagrama de dosagem e desempenho são pontos que merecem destaque neste novo método. A figura 44 abaixo resume o método supracitado.

Figura 44 – Resumo das etapas do método de dosagem de Tutikian e Dal Molin.



Fonte: Tutikian e Dal Molin (2008).

8.6.1 Adequação da mistura

Os componentes são os mesmos utilizados para os CCV, com exceção de aditivos superplastificantes e promotores de viscosidade. Um grande diferencial deste método é a utilidade regional. Ele proporciona a perfeita dosagem com materiais disponíveis na região. É indicado agregados com diâmetros pequenos e formato arredondado, que proporcionem uma curva granulométrica contínua, e por conseguinte uma composição coesa, maximizando o grau de empacotamento e reduzindo a segregação.

8.6.2 O empacotamento granular

O método de empacotamento visa a redução do número de vazios. O empacotamento é realizado proporcionalmente do maior ao menor agregado, feito em pares. Por exemplo são misturadas inicialmente brita 1 e brita 0, logo após, a mistura resultante e areia, e assim sucessivamente. Contudo é factível apregoar que o cimento não é empacotado. O empacotamento é realizado decrescendo de 10 em 10% a quantidade do material de maior granulometria, aumentando na mesma proporção, a quantidade do material de menor granulometria. Para se calcular o índice de vazios, é necessário que se determine primeiro a massa unitária compactada da mistura através da Equação:

$$M_{uniAB} = \frac{\text{Massa da mistura compactada (kg)}}{\text{Vol. do recipiente (m}^3\text{)}} \quad (\text{Equação VII})$$

Onde: **MunitAB**: massa unitária compactada da mistura do material A com o material B (kg/m³).

Quadro 10 – Determinação da massa unitária compactada da mistura de dois materiais hipotéticos A e B.

Material A (%)	Material B (%)	Massa Mistura (kg)	Volume Recipiente (dm ³)	Massa Unitária Compactada (kg/m ³)
100	0	38,36	17,10	2243
90	10	39,45	17,10	2307
80	20	42,45	17,10	2482
70	30	43,12	17,10	2522
60	40	45,10	17,10	2637
50	50	44,70	17,10	2614
40	60	43,00	17,10	2515
30	70	41,89	17,10	2450
20	80	39,23	17,10	2294
10	90	38,11	17,10	2229
0	100	37,23	17,10	2177

Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

Após a determinação da massa unitária compactada da mistura, determina-se a massa específica da mistura por meio da Equação abaixo.

$$M_{espAB} = \frac{(M_{espA} \times \%A) + (M_{espB} \times \%B)}{100} \quad (\text{Equação VIII})$$

Onde: M_{espAB} : massa específica da mistura do material A com o material B (kg/m^3); M_{espA} : massa específica do material A (kg/m^3); M_{espB} : massa específica do material B (kg/m^3); $\%A$: porcentagem do material A na mistura; $\%B$: porcentagem do material B na mistura.

O Quadro 11 abaixo ilustra o procedimento da determinação da massa específica da mistura dos dois materiais hipotéticos A e B

Quadro 11– Determinação da massa específica da mistura dos dois materiais hipotéticos A e B.

Material A (%)	Material B (%)	Massa Específica A (kg/m^3)	Massa Específica B (kg/m^3)	Massa Específica Mistura (kg/m^3)
100	0	2880	2580	2880
90	10	2880	2580	2850
80	20	2880	2580	2820
70	30	2880	2580	2790
60	40	2880	2580	2760
50	50	2880	2580	2730
40	60	2880	2580	2700
30	70	2880	2580	2670
20	80	2880	2580	2640
10	90	2880	2580	2610
0	100	2880	2580	2580

Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

Após, calcula-se o índice de vazios da mistura em porcentual, para determinar a mistura ideal com o menor índice de espaços entre o esqueleto

granular.

$$V(\%) = \frac{M_{\text{espAB}} - M_{\text{unitAB}}}{M_{\text{espAB}}} \times 100 \quad (\text{Equação IX})$$

Com a determinação do esqueleto granular com um menor índice de vazios a segregação deixa de ser um perigo eminente. A segregação do concreto é um indicativo de que falta material fino para dar coesão à mistura. No entanto, caso haja uma superficial segregação faz-se necessário substituir algum componente por outro de menor granulometria ou adicionar um aditivo modificador de viscosidade (VMA). Por outro lado, deve-se tomar cuidado com o excesso de finos pois atenuam prejuízos técnicos e econômicos quando balanceados com o fator a/c e o uso de superplastificantes.

8.6.3 Fator água/cimento e teor de argamassa

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008):

[...] A determinação da relação a/c ou teor do aditivo superplastificante é realizada antes da mistura dos materiais, em função da escolha do traço intermediário. É determinado pela experiência do profissional responsável ou pela conjectura pretendida de projeto de acordo com as tabelas da NBR 6118.

A partir desse ponto, o procedimento seguinte consiste em ajustar a relação a/c e o teor do aditivo. O processo é experimental, após determinar a quantidade de cimento, determinam-se os outros componentes com base nas relações de mistura já citadas. Por conseguinte ajusta-se a relação a/c e o teor do aditivo até se determinar o teor de mistura ótimo. Não é recomendado utilizar o traço intermediário como parâmetro pra moldagem dos corpos de prova, no entanto, é através dele que são realizados ensaios de trabalhabilidade.

8.6.4 Traços ricos, pobre e intermediários.

Inicialmente a determinação dos teores seria mais eficaz se fossem analisados quatro pontos. Esse passo consiste na mistura de, no mínimo, três pontos para a determinação das equações de comportamento e coeficientes de

correlação, para a posterior confecção da curva de dosagem e, se desejado, da curva de desempenho. A constância do teor de aditivo superplastificante e as proporções entre todos os agregados é fator fundamental para a posterior determinação dos teores rico, pobre e intermediário. Os autores do método frisam que o teor de argamassa seca de todos os pontos não será constante. Assim sendo, Os outros traços serão medidos com base no traço intermediário, tal qual deve possuir um teor de aditivo e adições base. No entanto, cabe ressaltar que propriedades como a compacidade da mistura, são garantidas com a feição, apenas, do esqueleto granular. O Quadro abaixo ilustra muito bem um exemplo do que foi exposto acima.

Quadro 12 – Traços unitários do CAA empacotado com diversos materiais.

Família	Traço					a/c	H (%)	Adt (%)	α
	c	af	ar	b9	b19				
3	1	0,60	0,96	0,79	0,65	0,36	9,10	0,47	64,00
4	1	0,80	1,28	1,06	0,86	0,42	8,44	0,47	61,60
5	1	1,00	1,60	1,32	1,08	0,53	8,92	0,47	60,00
6	1	1,20	1,92	1,58	1,30	0,71	10,19	0,47	58,86
7	1	1,40	2,24	1,85	1,51	0,77	9,61	0,47	58,00

Legenda: c – cimento; af – areia fina; ar – areia regular; b9 – brita 9,5 mm; b19 – brita 19 mm; H – teor de umidade; adt – aditivo; α – teor de argamassa.

Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

Percebe-se que o teor de argamassa varia em função dos componentes granulométricos e aditivos. Através do consumo de cimento por m³, todos os consumos dos materiais constituintes da mistura do CAA são determinados. Durante a mistura dos traços, ensaios para a verificação das propriedades do CAA no estado fresco devem ser realizados. O Quadro abaixo mostra um exemplo do consumo de materiais em função da massa específica.

Quadro 13 – Exemplo do consumo dos materiais através da massa específica do concreto no estado fresco.

Família	Massa específica (kg/m ³)	Cimento (kg/m ³)	Areia fina (kg/m ³)	Areia regular (kg/m ³)	Brita 9,5 mm (kg/m ³)	Brita 19 mm (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo (kg/m ³)
3	2381	546	327	524	431	355	199	2.57
4	2367	437	349	559	463	375	184	2.05
5	2354	360	360	576	475	389	193	1.69
6	2342	304	364	583	480	395	216	1.43
7	2338	267	373	597	493	403	205	1.25

Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

No final dessa etapa, moldam-se os corpos-de-prova (CP's) a fim de se determinar as propriedades requeridas como os requisitos básicos de projeto. Segundo os autores do método, a moldagem dos CP's deve ser realizada pelo CAA fluindo pela força da gravidade, sem a ajuda de vibração mecânica ou qualquer outro tipo de compactação.

8.6.5 Propriedades Mecânicas em função da idade

Nesta fase são realizados os ensaios mecânicos de durabilidade outrora pré-determinados. Sendo, porém, os ensaios mecânicos os de maior relevância. Tutikian e Dal Molin (2008), afirmam:

[...] existem métodos de dosagem para o CAA que limitam a quantidade de agregado graúdo, prejudicando seriamente o módulo de elasticidade dos concretos. No entanto, o método supracitado, não afetar essa propriedade, pois não limita a quantidade de agregado graúdo. Sendo recomendável a realização do ensaio de módulo de elasticidade para confirmação.

O Quadro 14 abaixo ilustra resultados de algumas propriedades do CAA no estado endurecido das misturas consideradas nos quadros acima.

Quadro 14 – Exemplo de resultados de algumas propriedades do CAA no estado fresco e endurecido.

Traço l:m	a/c	Resistência à compressão (MPa)				Ec (GPa)	US (m/s)	CI (C)
		1 dia	7 dias	28 dias	91 dias			
1:3	0,36	43,1	63,9	73,3	95,0	40,6	4910	2825
		42,8	64,5	70,5	93,2	40,6	4860	3066
		-	-	-	-	40,0	4900	-
1:4	0,42	31,9	52,8	60,2	89,9	37,4	4897	3321
		33,1	53,0	59,5	94,2	38,3	4872	3054
		-	-	-	-	36,8	4835	-
1:5	0,53	21,7	40,1	44,7	69,5	35,9	4762	4091
		20,7	39,8	46,9	76,8	32,6	4774	3825
		-	-	-	-	34,6	4774	-
1:6	0,71	14,0	29,7	35,8	61,6	30,3	4680	4590
		15,9	28,2	36,9	57,4	28,5	4657	4617
		-	-	-	-	30,0	4668	-
1:7	0,77	10,6	24,1	27,3	42,7	24,1	4429	5451
		10,4	23,8	28,4	40,0	22,7	4424	5751
		-	-	-	-	20,9	4429	-

Legenda: Ec – módulo de elasticidade; US – propagação das ondas ultra-sônicas; CI – penetração de ions cloretos.

Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

8.6.6 Diagramas de Dosagem e Desempenho

Constitui-se na fase final do método. São calculadas as propriedades de cada material através de um modelo empírico de equações desenvolvidas com o auxílio de métodos anteriores, a exemplo tem-se: Tutikian (2004) e Helene e Terzian(1992). São determinados coeficientes de ponderação e/ou ajustamento e por conseguinte são desenhados os diagramas de dosagem e desempenho da mistura.

O Quadro 15 ilustra as equações de comportamento e os coeficientes de determinação para as famílias do CAA estudadas nos quadros anteriores. Nota-se que os valores de “r” são maiores que 0,90, sendo aferido a este valor um bom grau paramétrico.

Quadro 15 – Exemplo de equações de comportamento e coeficiente de determinação (r^2) para os CAA.

Propriedade	Equação de comportamento	R^2	
Resistência à compressão (Lei de Abrams)	1 dia	$f_{cj1d} = \frac{126,71}{22,67^{a/c}}$	0,97
	7 dias	$f_{cj7d} = \frac{141,22}{9,64^{a/c}}$	0,99
	28 dias	$f_{cj28d} = \frac{151,22}{8,20^{a/c}}$	0,97
	91 dias	$f_{cj91d} = \frac{195,704}{6,10^{a/c}}$	0,91
Traço unitário (m (lei de Lyse)	$m = 8,7958 * a/c + 0,0691$	0,97	
Consumo de cimento por m^3	$C = \frac{2066}{m + 0,7615}$	1,00	
Custo	$C_u = C * (0,467 + 0,0164 * m)$	1,00	
Teor de argamassa seca	$\alpha = 0,0214 * C + 53,324$	1,00	
Módulo de elasticidade	$E_c = \frac{\log(f_{cj28d}) - 0,8463}{0,0243}$	0,96	
Propagação da onda de ultrassom	$US = 29,245 * E_c + 3748,5$	0,97	
Penetração de íons cloretos	$Cl = -\frac{(US - 5493,9)}{0,1813}$	0,99	

Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

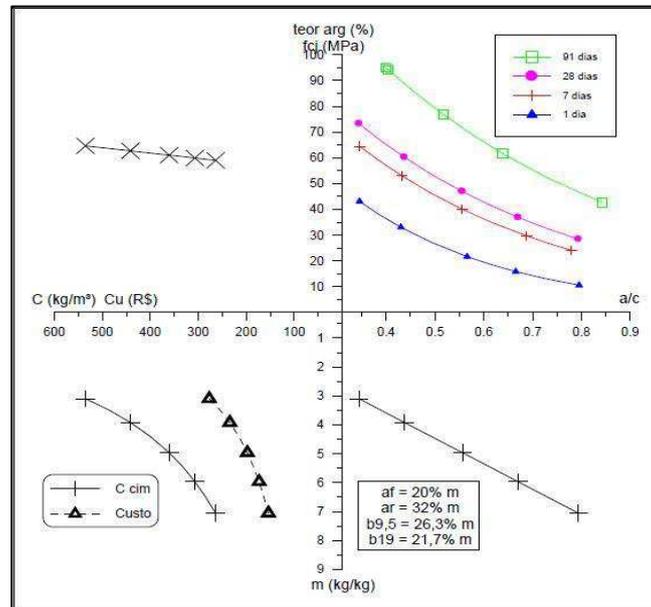
Tutikian e Dal Molin (2008, p. 62), afirmam:

O diagrama de dosagem consiste em relacionar a resistência à compressão nas várias idades ensaiadas com a relação a/c no primeiro quadrante; a relação a/c com a proporção 1:m no segundo quadrante; no terceiro, a proporção 1:m com o custo e com o consumo de cimento por metro cúbico de concreto. Como o teor de argamassa seca nesse método não é constante para toda a família, foi acrescentado um quarto quadrante no diagrama de dosagem, relacionando o teor de argamassa seca (que divide o eixo 'y' positivo com a resistência à compressão) com o consumo de cimento [...]

Por fim, salienta-se que a leitura de valores do diagrama de dosagem pode ser usado tanto no sentido horário quanto anti-horário. Já a curva de custo merece uma análise restrita, não podendo em instancia alguma determinar outra propriedade a não ser a que lhe é conveniente. É tácito apregoar, porém que o valores obtidos são meramente subjetivos, pois o diagrama não garante a proporção

entre consumo de cimento e custo. A seguir, no gráfico 1, tem-se um exemplo numérico.

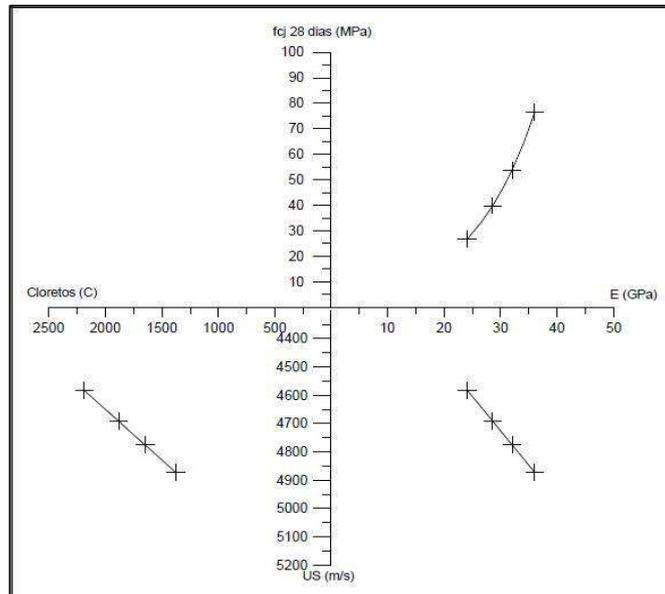
Gráfico 01—Exemplo de diagrama de dosagem com α variando.



Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

Assim como o diagrama de dosagem o diagrama de desempenho consiste em analisar as propriedades com do concreto com sua resistência mecânica. Para viabilizar o seu uso, são escolhidos ensaios não realizados outrora no diagrama de dosagem. Cabe ressaltar que este, diferentemente daquele, é usado apenas no sentido horário. O desenho do diagrama de desempenho não é obrigatório para a dosagem dos concretos, sendo utilizado em circunstâncias especiais. A seguir, o Gráfico 2 ilustra um exemplo numérico de diagrama de desempenho.

Gráfico 02–Exemplo de diagrama de desempenho.



Fonte: Tutikian; Dal Molin (2008).

9 RELEVÂNCIAS TÉCNICAS, ECONÔMICAS E SUSTENTÁVEIS

As assertivas, indagações e conceitos vistos nos capítulos que se antecederam neste fascículo, culminam nos pontos analisados no capítulo em análise. Foram abordados, até o presente momento, pontos de extrema importância para caracterização do Concreto Autoadensável. Os conceitos sobre os diversos concretos serviram para contrastar, o modelo usual destes, com relação ao CAA. As propriedades, materiais componentes bem como sua classificação reológica, serviram de filtro para análise do melhor traço e composição da mistura. Os métodos de dosagem são amplos, porém foram evidenciados, os mais importantes e usuais da atualidade, dando destaque ao método de Tutikian e Dal Molin(2008), usual em uma das análises que se segue.

Em tese os critérios analisados a seguir fornecem produtividade e custos reduzidos, bem como qualidade de execução e redução de impactos ambientais. Portanto, como redigidos no capítulo 1(um) deste fascículo, o concreto autoadensável representa uma grande evolução no que tange critérios econômicos, técnicos e sustentáveis.

9.1 Relevância Técnica

As técnicas construtivas têm sido aprimoradas ao longo dos anos. inúmeras tecnologias tem sido desenvolvidas. Concretos de alto desempenho, telhados sustentáveis, fôrmas de alumínio e EPS, mantas antirruídos, tijolos antiterremotos, pavimentos permeáveis, são algumas das inovações tecnológicas conquistadas nos últimos anos. Dentre estas, destaca-se o concreto autoadensável.

Com o anseio de novas descobertas o concreto autoadensável, ou ainda autonivelante, ganha espaço, pois alia a tecnologia de qualidade a alta produtividade, usando equipamentos simples e de fácil manuseio. Nakamura, Gomes, Tutikian, Dal Molin, Alencar, Helene, Repette, Melo e diversos autores desenvolveram métodos de dosagem ao longo das últimas décadas, que fizeram do CAA uma arma letal no combate a patologias estruturais e funcionais que assolavam a construção civil até meados da década de 70.

São listadas abaixo algumas relevâncias sobre o uso do CAA, dando destaque em cunho tecnológico, ao combate das patologias em estruturas de

concreto, bem como, combate a flechas em lajes e o ganho exaustivo de propriedades mecânicas e o no estado fresco:

9.1.1 Combate a patologias em estruturas

Existem diversas causas que qualificam a essência de patologias na construção civil. Incompatibilidade entre estrutura e arquitetura, divergência na especificação de projetos e materiais, detalhamentos insuficientes, insuficiências no que tange a execução da obra, são algumas das causas eminentes de patologias. A grande maioria dos autores considera em tese, 50% das patologias referentes a incompatibilidade e projetos, e posteriormente atribuem outra parcela relativamente grande, a falhas no quesito executivo. Assim sendo, como em um consultório médico, para se diagnosticar as patologias do concreto, é necessário conhecer, ou ao menos deduzir, os sintomas, o surgimento e agentes patológicos inerentes ao processo de degradação da estrutura.

Abaixo são listadas as patologias mais recorrentes em estruturas de concretos e, por conseguinte de que forma o CAA atua na remediação destas:

– Trincas e fissuras: as trincas e fissuras, denotam a maior abrangência dentre as patologias funcionais e estruturais do concreto. Existem trincas e fissuras diversas. Pode-se elencar, quanto a sua essência: fissuras devido a retração hidráulica, a variação térmica, punção, compressão, cisalhamento, torção e flexão. Ao passo que o CAA inibe a segregação, e torna ausente a exsudação, provém também com o uso de aditivos superplastificantes e promotores de viscosidade, a redução do calor de hidratação e abrupta redução do processo de cura, reduz drasticamente fissuras por retração hidráulica e térmica. Por possuir um peso específico menor, e propriedades mecânicas superiores o CCA ,gerara menos tensões internas nas armaduras, e propiciará um retardamento no alcance da máxima tensão de escoamento, proporcionando redução de fissuras e trincas por efeitos estruturais.

– Corrosão das armaduras: a corrosão é o processo de deterioração da armadura. Estruturas corroídas são provindas essencialmente, de agentes externos ao meio, e falhas executivas. Uma característica fundamental do CAA é a impermeabilidade. Sua estrutura molecular coesa e uniforme, lhe proporciona dentre outras características, a resistência a agentes externos ao meio. Sua feição não

requer mão de obra especializada, bem como número reduzido de trabalhadores, o que implica em maior segurança de execução.

– Desagregação e eflorescência: estas patologias são resultantes da atuação de agentes químicos, intempéries e infiltrações. Estas patologias são reprimidas com o CAA, pois o mesmo garante a impermeabilidade da estrutura devido a sua composição molecular. Há ainda as patologias motivadas pela ação da umidade, instabilidade do solo, ação excessiva dos ventos e sísmicas, dentre outras, tais quais, são retraídas com o uso do CAA.

9.1.2 Combate a flechas em estruturas

Existem lajes armadas em uma ou duas direções. Assim sendo o espessura de lajes é dado em função de sua armação e grau de agressividade do meio. Abaixo tem-se a formulação para o cobrimento nominal (C_{nom}): $C_{nom} = C_{mín} + \Delta c(\text{equação } X)$. Onde: C_{nom} é o cobrimento nominal; $C_{mín}$ é o cobrimento mínimo e Δc é a tolerância de execução.;

Sabe-se porém, que o pavimento de edificações é formado por quatro camadas distintas: a laje, o contrapiso, o piso e revestimento de teto (correspondente a camada inferior da laje). Assim sendo por conjectura, cabe avaliar que com o uso do CAA, são desprezíveis camadas de regularização e por vezes, em superfícies expostas, o uso de piso, devido ao refinado acabamento e elevada resistência ao meio. Convém ressaltar ainda que como o CAA dispõe de melhores características mecânicas e de desempenho, garantido ainda uma qualidade superior, é possível obter estruturas mais esbeltas, se comparado com o CCV. Assim sendo, há uma drástica redução no peso próprio da estrutura que é, calculado pela seguinte fórmula: $P_p = \gamma_{conc} \times h$ (equação XI) .

Onde: P_p é o peso próprio da estrutura; γ_{conc} é o peso específico do concreto; h é a altura final da laje em questão.

Desta forma, com a redução do peso próprio, é factível que a atuação de esforços de flexão, tração e torção serão reduzidos. A teoria das placas, que é regida pela variação elástica da estrutura, incide de forma significativa na determinação de flechas. Existem a princípio três tipos de flechas atuantes na estrutura: flecha imediata, flecha diferida no tempo e a flecha máxima admitida.

Todas três têm como objeto percussor a fluência e estado limite último de escoamento do concreto. Assim sendo, não há dúvidas que o uso do CAA, inibe e combate o aparecimento de flechas, por garantir propriedades inerentes a fluência e a excelsa resistência mecânica.

No entanto, convém ressaltar que a carga incidente na estrutura é aferida de forma complexa, mediante a solicitação de projeto. Assim sendo, o aparecimento de flechas é algo imprescindível. Cabe aferir que no processo de execução do CAA, além da execução de contra-flechas, a feição de obstáculos que direcionem a acomodação do CAA no pavimento em análise é de suprema importância.

9.1.3 Obtenção de elevadas propriedades.

Apesar factível invariância, o ganho na obtenção de propriedades no estado sólido e fluido é o maior avanço proposto pelo CAA.

– Durabilidade: esta propriedade é de total relevância na vida útil do elemento estrutural. É caracterizada por prover, estabilidade e segurança durante sua vida útil de serviço. O CAA promove como já dito, a redução de falhas de execução. A redução de falhas executivas implica em menores erros de concretagem, fôrma e desformas, armações e etc. A ausência destes induz a redução de bolhas de ar. A ausência de bolhas de ar, é fator preponderante no alcance das solicitações de projeto, pois influi na redução de vazios e por conseguinte na elevação da capacidade mecânica da estrutura. Outro fator de suma importância é, como já citado a impermeabilização da estrutura, esta evita graves patologias como desagregação, eflorescência e corrosão, contribuindo para um aumento efetivo da durabilidade.

– Resistências mecânicas, compressão e tração: a resistência mecânica do CAA é superior ao CCV. O uso de aditivos e adições neste concreto faz com que aja uma redução do fator água-cimento devido a um incremento parcial de finos, ação esta que resulta em maior resistência mecânica e maior fluidez, devido ao ganho coesivo da mistura. A cura acelerada, proveniente do uso de aditivos, resulta em aumento de produtividade, além de proporcionar redução da exsudação, segregação e fluência e, por conseguinte um realce nas propriedades mecânicas.

– Autoadensabilidade: o concreto autoadensável possui este nome, pois é capaz de favorecer sua acomodação em estruturas, mediante apenas, o efeito

gravitacional. A fluidez e habilidade escoante dentre obstáculos requerem destaque neste módulo. O concreto que possui tais características é capaz de vencer altas taxas de armadura, e ainda dispensar o auxílio de vibração. A vibração errônea acarreta em um dos maiores índices danosos na cotação de falhas executivas.

A capacidade de se autoadensar faz com que ele seja indicado para quaisquer tipos de estruturas, e inibe ainda, a porosidade e o surgimento de macro defeitos no concreto, ou seja, influi de forma significativa na durabilidade da estrutura.

9.1.4 Outras relevâncias técnicas.

- Proporciona uma superfície que granjeia a perfeição. Apresenta excelsa planimetria, superfície extremamente polida e inerente a defeitos;

- Proporciona devido a sua elevada fluidez, a redução de pressão nas fôrmas e equipamentos, reduzindo desgastes e resultando em maior vida útil para os mesmos;

- É diferentemente do CCV, indicado para concretagem de fôrmas pequenas, bem como estruturas com altas taxas de armadura, pois garante a fluidez e adensamento sem a necessidade de vibração, tal qual é extremamente prejudicial a pequenas estruturas quando executada de forma incorreta;

- O bombeamento vertical e horizontal são favorecidos. A alta fluidez do concreto permite, com sejam alcançados em cunho horizontal até 10 metros de espalhamento sem intervenção do operador. Já no que tange a verticalidade, o bombeamento executado é feito com maior rapidez e com menor necessidade de estações intermediárias;

- Sua composição mineralógica favorece a disjunção da condição opaca imposta pelo concreto convencional. O CAA possui superfície clara e que por conseguinte reflete melhor a luz. Assim sendo pode-se ter ganhos econômicos e ergonômicos com a aferição desta vantagem;

- Cabe ressaltar que o transporte do CAA, deve ser feito de forma rápida e a temperaturas adequadas, pois a ausência destes fatores, culminam em perda das propriedades do CAA logo na primeira hora após sua feição.

Assim sendo, pode-se dizer que a proposta tecnológica iminente ao uso CAA é digna aplausos. São inúmeras as vantagens tecnológicas alcançadas com o

uso do CCA. A maximização de propriedades estruturais e funcionais, a redução de patologias e compatibilização entre projeto e obra denotam a eficácia técnica proposta pelo método. Portanto, faz-se plausível indagar, que o CAA é mola a propulsora que impulsionará, e elevará a tecnologia vindoura na arte de engenhar das futuras gerações.

9.2 Relevância Econômica

Entende-se por orçamento, a metodologia analítica, eficaz de prever, e por conseguinte, prover os gastos iminentes a uma obra. A composição orçamentária é composta de custos diretos e indiretos. De forma simplória os custos diretos, são aqueles que correspondem a soma dos custos unitários de materiais e insumos, que serão necessários para realização da obra. Já os custos indiretos, contabilizados também, pelo chamado de BDI – Benefícios de Despesas Indiretas, são custo adicionais, responsáveis elencar os custos que estão a “margem” da obra, como : administração local, alojamento de operários, mobilização de equipamentos e materiais, entre outros. Assim sendo, faz-se primordial retratar a viabilidade econômica da obra, mediante uma imprescindível análise técnica.

Os parâmetros que promovem qualidade a obra, desencadeiam na sua propulsão econômica. Desta forma, o concreto autonivelante é sinônimo de nítida redução de custos e desperdícios, bem como um exemplo operante, do modelo usual de “construção enxuta”. São catalogadas abaixo algumas relevâncias sobre o uso do CAA, que destacam sua relevância em cunho econômico:

9.2.1 Redução de custos

– Otimização de Mão de Obra: a otimização da mão de obra se dá ao passo que, o incremento do CAA, requer menor quantidade de trabalhadores envolvidos no processo produtivo em questão. Com a redução do quadro de trabalhares para determinado serviço, pode-se aumentar a produtividade da obra, usando-os em serviços distinto.

O quadro abaixo evidencia em números, o êxito obtido, em otimização de mão de obra no Edifício Pateo, em São Paulo, no ano de 2004.

Quadro 16—comparativo entre o CCV E CAA na concretagem de Laje do Edifício Pateo em São Paulo

Concreto	Convencional							Auto-adensável						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
Caminhão betoneira														
Nº de lançadores	3	3	3	3	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1
Nº de espalhadores	5	4	5	5	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2
Nº de vibradores	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
Nº de acabadores	0	2	3	3	3	3	4	0	0	1	2	2	2	2
Nº de funcionários parados	3	2	0	0	1	1	1	8	9	8	8	8	8	8
Outros funcionários	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Total de funcionários	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Fonte: Téchne (2008).

Segundo Téchne (2008), o custo de mão-de-obra para a aplicação dos concretos foi de R\$ 7,18/m³ para o CCV e R\$ 0,70/m³ para o CAA. Sabe-se que foram concretado 250 m² de laje e usados 50m³ de concreto. Assim sendo de forma analítica, tem-se um consumo médio, no que se refere utilização de mão de obra, de R\$ 359,00 para o CCV e R\$ 35,00 para o CAA, denotando uma economia de R\$ 324,00, e provando em termos substancias que o CAA é economicamente mais viável.

– Redução do tempo de execução: o tempo de execução é um caractere de suma importância na redução de custos na obra. “Tempo é dinheiro”, frase esta difundida no ramo empresarial, como o ápice da economia capitalista vigente na atualidade. Ainda a respeito do edifício Pateo na cidade de São Paulo, com a otimização da mão de obra, permitiu alcançar uma redução do tempo de execução, de 4 h 40min para 2h e 20min.

Outro exemplo recorrente da atenuação do CAA é o Edifício Parthenon Residence, localizado em Novo Hamburgo no Rio Grande do Sul, citado no capítulo 2 deste fascículo. Os elementos concretados com CAA ,quando comparados ao CCV, apresentaram um acréscimo de 1,09% do valor total dos elementos analisados. No Entanto, o ganho produtivo foi 200% (duzentos por cento) vezes maior, uma vez que o CAA necessitou em sua concretagem, de apenas 75 h contra 156 h do CCV. Tal assertiva analisada afere a sublime vantagem temporal do uso do CCA em obras da construção civil.

A capacidade de adensamento, a qualificação e atenuação do processo de cura, a ausência de camadas de nivelamento e regularização, a redução na

manutenção de equipamentos e a facilidade de bombeamento, justificam a agilidade na concretagem de estruturas com o CAA.

– Redução de materiais e insumos: a feição do CAA requer em caráter prévio os mesmos componente do concreto convencional, com adição de aditivos superplastificantes e promotores de viscosidade, por vezes, associados ao incremento de finos na mistura final. Apesar do CAA apresentar acréscimo no custo dos materiais, que, segundo as literaturas é de 15 a 25% em relação ao CCV, a redução dos custos de mão de obra e dos prazos de execução são significativos.

Uma vez que o CAA dispensa o auxílio de vibração, viabiliza a produtividade de caminhões betoneiras, reduz gastos com energia, facilita o reuso de fôrmas, dispensa mão de obra e ainda reduz a manutenção de equipamentos é evidente a redução de custos. Portanto, os motivos que somados viabilizam o uso do CAA no que tange critérios referentes a materiais e insumos, são vastos.

9.2.2 Modelo de construção enxuta

A logística em canteiro de obras, é fator fundamental na feição de projetos que privem o êxito. A logística na construção civil, é a faculdade de gerenciar, planejar e controlar o fluxo de materiais e serviços no âmbito construtivo e as “margens” dele. Com o intuito de favorecer a qualidade na execução, perfeito gerenciamento e ausência de desperdícios, nasce no Japão uma política de construção baseado no modelo Toyotista, a “Construção Enxuta”. A Construção enxuta é um modelo econômico-industrial que visa a produção qualificada, mediante a redução de desperdícios.

No que tange o uso do CAA, a otimização de mão de obra, redução de materiais e insumos, redução do tempo de execução, bem como a maximização das propriedades do concreto, são fatores que promovem, a fomentação do modelo enxuto de produção. Com a otimização de mãos de obra, tem-se a redução da desordem e ineficiência em canteiros e setores administrativos, bem como, o desenvolvimento funcional de habilidades diversas por parte dos funcionários. A redução de materiais e insumos, faz com que o sistema ganhe maior credibilidade, visto que não haverá desperdícios, e a manutenção será reduzida e mais eficaz devido a menor demanda. O tempo de execução e a maximização das propriedades do concreto, promovem a busca continua pela qualidade, bem como a busca do

fluxo contínuo de produção. Assim sendo é visível que o modelo toyotista de “construção enxuta” está intrinsecamente ligado a produção e uso do CAA.

9.2.3 Outras relevâncias econômicas.

- Como o CAA aumenta a produtividade caminhões betoneira, ele é responsável por otimizar os ciclos de viagem, gerando assim um ganho logístico a empresa, por maior aproveitamento da frota;

- Dispensar além de vibradores, outros equipamentos, como por exemplo, estações de bombeamento intermediário, visando assim também, redução de custos;

- A elevada durabilidade e excelsa impermeabilidade, reduz gastos com a correção de futuras patologias;

- A melhoria das capacidades mecânicas, detonam estruturas mais esbeltas, e por conseguinte menor consumo de materiais e aditivos, resultando em redução de custos;

- Proporciona redução de gastos com futuras indenizações por acidentes trabalhistas, pois proporcionalmente, reduz o número de trabalhadores no canteiro;

- O aumento da produtividade, reduz gastos com horas extras provenientes de concretagens intermitentes;

- Com a redução do peso próprio da estrutura, as solicitações de projeto são atenuadas, e por conseguinte o projeto é beneficiado economicamente;

- Com a redução do peso próprio, é evidente que há redução quantitativa de cimbramento, o que por conseguinte, gera redução de custos;

- Devido a sua elevada fluidez, reduz desgastes e indefere por vezes, o processo de manutenção;

- Segundo Técne (2012), cerca de 25 a 30% do valor total da obra gasto com insumo são destinados a fôrmas de madeira, assim sendo, há redução neste quesito, pois o CAA fornece maior possibilidade de reuso;

- A capacidade autonivelante, dispensa camadas de regularização e por conseguinte, reduz gastos com insumos;

- A inserção de adições minerais desprezíveis ao meio, constitui um fator importante na redução do consumo de cimento, tal qual fomenta também a redução de custos.

Enfim são inúmeras as vantagens econômicas alcançadas com o uso do CCA, é importante, no entanto, destacar que todas as melhorias e ganhos econômicos, tem sua raiz no desenvolvimento tecnológico proporcionado pelo CAA.

9.3 Relevância Sustentável

A degradação ambiental é o grande desafio do mundo pós-moderno. Extinção de espécie animais e vegetais, deterioração de recursos energéticos, alterações climáticas, são alguns dos fatores que chamam atenção na atualidade. Neste contexto, nasce então a sustentabilidade, que é o ato proporcionar a união entre o presente e um futuro próspero, sem a degradação ao meio ambiente. Em tese, pode ser subdividida quatro módulos distintos: sustentabilidade ambiental, sustentabilidade ecológica, sustentabilidade social e sustentabilidade empresarial. Cabe ressaltar nesta pesquisa a sustentabilidade empresarial, tal qual, é responsável por gerir uma “gestão sustentável”, ou seja, uma perfeita união entre gestão de qualidade e sustentabilidade.

Até aqui observou-se as viabilidades e relevâncias, no que tange os critérios econômico e técnicos em caráter amplo, do uso do CAA na construção civil. No entanto, é tácito apregoar que a elevada produtividade associada ao refino técnico, proporciona redução de custos, mas que de nada valem, se forem réus ativos das futuras gerações. Assim sendo, são mencionados abaixo, pontos de extrema relevância, responsáveis por denotar, a viabilidade ambiental no uso do CAA.

9.3.1 Redução de impactos ambientais

– Reuso de Resíduos Industriais: a preservação dos recursos naturais, o gerenciamento da energia e combate ao lixo, são um ato de sustentabilidade. As adições minerais que compõem a estrutura molecular do CAA, por vezes, são formadas por resíduos industriais danosos ao meio. A sílica ativa, cinza volante e de casca de arroz e a escória de alto forno são algumas das adições minerais utilizadas pelo concreto. O uso de CAA com adições minerais realça ainda mais, a durabilidade dos materiais, tal qual influi na vida útil dos mesmos. Segundo

Neville(1997, p. 55), é factível a inserção destes materiais no cenário ambiental atual:

[...]a utilização desses materiais alternativos em substituição ao cimento se torna cada vez mais comum diante do custo de produção do cimento, já que o emprego desses materiais combinados também auxilia na questão da durabilidade e desempenho de argamassas e concretos .

Dessa forma, resíduos industriais que seriam danosos, mediante o uso do CAA, são reciclados, e usados incisivamente no uso do mesmo, reconfigurando a níveis estrondosos suas qualidades.

– Redução de Insumos: os componentes do concreto convencional, são em tese, semelhantes aos que compõem o CAA. Assim sendo, cabe destaque, ao cimento. No entanto, cabe ressaltar que os insumos não substanciam apenas materiais, mas sim, todos os componentes ativos de uma obra. O cimento é o grande vilão da feição do concreto. Segundo a ABCP sua feição é constituída de doze etapas, vão desde sua extração até sua comercialização. Cabe ressaltar que o seu processo de feição gera redução de recursos energéticos, pois fornos de alta magnitude, requerem consumo alto consumo de energia. No entanto o maior agravante do uso deste, se da no ato da clínquerização. A produção do clínquer constitui o ato mais danoso do concreto ao meio ambiente, pois segundo Hawken(1999), a cada toneladas produzidas, resulta em enorme quantidade de dióxido de carbono lançado na atmosfera. Assim sendo, o uso do CAA inibe a produção de dióxido de carbono, pois reduz drasticamente o consumo de cimento.

A exemplo tem-se uma laje fictícia de área de 500m² em uma obra fictícia. A laje tradicional tem em média dimensões de 12cm a 15cm de espessura, e consumo de concreto que varia de 60m³ a 75m³. No entanto, com o uso do CAA, considerando que o mesmo possui capacidade impermeabilizante, alto poder mecânico e ausência de camadas de regularização, é possível fazer uso de lajes com até 10cm de espessura, o consumo de cimento passa a ser então de 40m³, ressaltando ainda não é necessário regularizar e nivelar a mesmo. Considerando que haverá 10 lajes iguais a esta nessa obra , e 100 obras iguais a esta no período de 1(um) ano. O consumo médio de cimento, para laje tradicional, será de 75000m³, enquanto para lajes com CAA seria de 40000m³.

Assim sendo, tem-se uma efetiva redução de 35000m³ de concreto e por conseguinte, preservação das reservas de calcário(matéria prima do cimento,

protegidas em larga escala pelo CONAMA). Sabe-se que 1,80 kg de cimento Portland corresponde a um 1m³ do mesmo, e na produção de 1000 kg de cimento são consumidos 0,7m³ de calcário, tem-se no aferido exemplo uma perda de 44,1m³ de calcário. De igual forma, acontece com os outros componentes do concreto, obtido em jazidas naturais, como a areia, ou até mesmo a brita. Assim sendo, pode-se concluir que o uso do CAA é benéfico pois, materiais componentes e equipamentos que por vezes não são recicláveis, são reduzidos significativamente.

9.3.2 Promove qualidade de vida

– Reduz números de acidentes: os acidentes em tese, possuem três vertentes: organização, controle e produtividade. A organização se dá ao passo que ambientes insalubres expõem o trabalhador riscos em caráter físico. O controle se dá ao passo que o infértil direcionamento da classe dominante, sujeita o trabalhador a realizar funções que o mesmo encontra-se inapto. Já a produtividade, é recorrente da busca de recursos financeiros por parte de empregado e empregador.

O uso do CAA inibe tais práticas. O concreto autonivelante reduz o número de trabalhadores. Tal assertiva permite que aja maior controle, organização, e produção descentralizada no canteiro. O controle permite, por parte dos fiscais de obra, maior qualidade e análise da segurança nos envolvidos no processo produtivo. A organização induz adequação de materiais e equipamentos, o que permite alcançar segurança mediante a livre circulação no canteiro. Já a produtividade é garantida com o uso do CAA, pois ao passo que ele otimiza a mão de obra, induz a precariedade de horas extras, e por conseguinte, trabalho exaustivo mediante desatenção do operador.

Pesquisas do SINTRASCON – SP , evidenciam como exposto acima que, 73,39% dos acidentes de trabalho ocorrem por “descuido” , 7,49% por ausência de EPI(Equipamento de proteção Individual) , 7,22% ausência de condições de proteção diversas e 2,41% por falta de competência dos gestores de obra. Assim sendo, o CAA promove qualidade e segurança aos envolvidos no seu processo de aplicação.

– Favorece a ergonomia do trabalhador: a ergonomia é a ciência que promove o bem-estar entre máquina e ser humano, promovendo segurança, otimizando técnicas e aumentando a produtividade. Seu modo de execução permite

ao trabalhador postura adequada para realização das atividades, como evidencia a figura abaixo:

Figura 45 – Excesso da mistura retirado.



Fonte: Cerqueira (2013).

Assim sendo, ergonomicamente, o CAA é viável física e psicologicamente, pois proporciona ao trabalhador condições que favorecem a execução de tarefas, que primem o êxito e o bem estar pessoal.

9.3.3 Outras relevâncias sustentáveis

- A redução de consumo de energia, denota menor uso de recursos energéticos, por vezes, não renováveis;
- Por proporcionar o reuso de fôrmas, bem como a possibilidade de estruturas mais esbeltas com menor densidade de fôrmas, acarreta redução dos impactos ambientais provenientes do desmatamento;
- O uso do CAA inibe ainda a contaminação de lençóis freáticos em aterros irregulares, bem como a posterior contaminação humana por uso indevido de água;
- Por favorecer o cumprimento de cronogramas, há redução de horas extras, motivo este de total relevância em acidentes de trabalho;
- Por proporcionar um ambiente salubre e melhores qualidades de trabalho, reduz os níveis de stress;

- Diminuição de incidência de câncer de pele, resultante da exposição ao sol em longas concretagens, bem como doenças de pele;
- Inibe o aparecimento de DORT - Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho;
- Reduz o índice de amputações e Lesões acidentais permanentes e/ou temporárias por tornar o canteiro de obras mais salubre;
- Por proporcionar impermeabilidade ao concreto favorece a ausência de patologias no concreto e posterior ruptura prévia em estruturas concreto, inibindo desta forma o acontecimento de catástrofes;

Portanto, o concreto autoadensável é sem dúvida, um agente redutor de catástrofes ambientais. Reduz a inserção de dejetos danosos ao meio, viabilizando ainda a reciclagem em seu processo. E ainda, ao passo que, reduz os níveis de acidentes, promove qualidade de vida. Dessa forma, é indiscutível, a eficácia e eficiência sustentável, que potencializa o uso do CAA.

9.4 Análise de Dados

As análises técnica, econômica e sustentável tem como objetivo final a análise de dados pertinentes ao uso do CAA. No presente trabalho tem-se como objetivo confrontar a literatura exposta, à base real de dados do uso do CAA em estruturas de concreto. Vislumbra-se que o alcance da mistura ideal nas obras supracitadas, garantam as relevância expostas acima. Dessa forma, são expostas três análises que confrontam o uso do CAA em obras. A análise em questão refere-se ao estudo de “Aplicação de concreto autoadensável em lajes moldadas in loco – estudo de caso no setor de edificações”. O autor que realizou tal estudo foi Christopher Augusto Campos, no ano de 2013.

DADOS DO EMPREENDIMENTO:

- RESIDENCIAL MIRANTE BOULEVARD - Construtora SUPERMIX – Belo Horizonte
 - Item analisado: Pavimento tipo – 5 unidades, contendo 14 blocos com 20 apartamentos, totalizando 280 unidades,
 - Área do pavimento: 185m²

- Volume de CAA por Pavimento: 60m³ (Paredes, Laje e Escadas)
- Especificações Gerais do Concreto: Resistencia Almejada fck25MPa, Slump 65 +/- 5cm.

Consumo p/ m³:

- Cimento CPV ARI RS : 425
- Areia Natural / Artificial : 0,690 / 0,194
- Brita 0: 0,559
- Aditivos SIKA 5800 FTN/ D5 STABI 520: 3,421 / 0,880

9.4.1 Análise Técnica

O exemplo prático supracitado dispõe de dosagem feita pela empresa SUPERMIX em Belo Horizonte, sem, no entanto, a divulgação do método de dosagem aferido para a análise. O parâmetro técnico disponível para análise foi o Slump Flow, tal qual foi de 600mm a 700mm.

O ensaio disponibilizado em questão, avalia somente a capacidade de fluir do concreto sem segregar-se. Segundo a NBR 15823-1: 2010, como especificado no capítulo 5 deste fascículo, para os tipos de construções supracitados no caso acima, este ensaio deve ter para Lajes, classificação SF1, já para Paredes e Escadas classificação SF2. Assim sendo, o Slump Flow possui as aferidas características de espalhamento. No entanto, é factível afirmar, que apenas a disponibilidade deste dado torna inconveniente uma análise precisa dos parâmetros que fomentariam a viabilidade técnica do material em estudo. Contudo o resultado final da Obra evidencia a qualidade do CAA para as estruturas em análise.

9.4.2 Análise Econômica

O contexto econômico pode ser analisado da seguinte forma. Tendo em vista que com o CAA foram feito 5 pavimentos em 14 blocos, a área total do empreendimento em que usou o CAA foi de 12950 m². Adotando-se lajes de 12,7cm sabe-se que o consumo de concreto, para lajes foi de 23,5m³, restando outros,

36,5m³ divididos entre Paredes e Escadas, ou seja, não foram contabilizados pilares e vigas. Assim sendo o consumo total de concreto chegou a faixa de 4200m³.

A equipe alocada pra a produção do CAA foi composta de 1 eletricista, 1 armador , 2 carpinteiros, 1 encarregado , 1 mestre de obras e 1 engenheiro. O tempo de execução foi de 4 horas e 30min. Convém ressaltar, que não há dados do número total de integrantes do corpo técnico alocados na obra, assim sendo, a análise será feita de acordo com corpo técnico aferido pelo autor. Pode-se então, determinar a produtividade, tal qual foi:

$$Produtividade = \frac{\text{Taxa de Produção}}{\text{n}^\circ \text{ de trabalhadores}} = \frac{13,33 \text{ m}^3/\text{h}}{7 \text{ trabalhadores}} = \mathbf{1,9 \text{ m}^3/\text{h}/\text{trab}}$$

Pode-se denotar nesta perspectiva que para a feição de 12950m², composta pela utilização de 4200m³ de concreto, teve duração intermitente de 315,08 horas. Sabe-se que a produção da equipe é:

$$Produtividade \text{ diária} = 13,33 \times 8 \text{ horas diarias} = \mathbf{106,64 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$Produtividade \text{ meia diaria} = 13,33 \times 4 \text{ horas diarias} = \mathbf{53,32\text{m}^3/\text{dia}}$$

Tomando por base 44 horas semanais, tem-se produção semanal de 586,52 m³/semana. Então a duração total da obra, para as estruturas em análise, desconsiderando no calendário os feriados foi de:

$$Duração = \frac{\text{Total de Consumo}}{\text{Produção Semanal}} = \mathbf{7,16 \text{ semanas}}$$

Traduzindo teríamos uma duração total para a feição de lajes, paredes e escadas de 1 mês, 22 dias, 7horas e 12 min. Tendo em vista que o custo de CAA por m³ é R\$ 258,00, pode-se aferir que o custo total do empreendimento somente para a estas estruturas, levando em consideração somente, o CAA foi:

$$Custo = \text{Custo por m}^3 \times \text{Total m}^3 = 258 \times 4200 = \mathbf{R\$ 1083600,00}$$

Analisando agora a perspectiva relacionada a mão de obra direta na aplicação do CAA, desconsiderando as despesas indiretas, bem como, manutenção e aquisição de equipamentos, administração local, etc. Tem-se segundo o SINAP a seguinte aferição de preços por hora: servente ganha em média R\$/h 7,56; carpinteiros, eletricitas, armadores e pedreiros ganham em média R\$/h10,17; encarregado R\$/h 16,71; mestre de obras R\$/h 27,84 e engenheiro R\$/h 64,27. Assim sendo, a composição de preços recaí da seguinte forma:

$$\text{Preço por diaria} = [(10,17 * 4) + 16,71 + 27,84 + 64,27] * 8$$

$$\text{Preço por diaria} = \mathbf{R\$ 1196,00}$$

$$\text{Preço por meia diaria} = \frac{1196,00}{2} = \mathbf{R\$ 598,00}$$

Então tem-se que, o gasto total por mão de obra foi:

$$\text{Gasto total} = 1794,00 \times 23,12 \text{ dias} = \mathbf{41.477,28 R\$}$$

Então tem-se um gasto geral de mão de obra direta e materiais de:

$$\text{Gasto Geral} = 1083600,00 + 41477,28 \text{ dias} = \mathbf{1.125.077,28 R\$}$$

Já analisando o CCV como alvo de aplicação tem-se em primeira instância um aumento incisivo no quadro da equipe. A equipe então passa a ser composta por de 1 eletricitista, 1 armador , 2 carpinteiros, 1 encarregado, 1 mestre de obras e 1 engenheiro, 5 serventes. Considerando a ausência de controle na regularização do nível do pavimento e a menor capacidade mecânica adota-se para o CCV uma laje com 1,3cm a mais de espessura, tem-se então espessura de 14cm. Assim sendo o novo consumo de cimento para laje será 25,9m³, considerando ainda os mesmos consumos anteriores para escada e parede. Tem-se então um consumo por pavimento com o CCV de 62,4m³. Assim sendo o consumo total de concreto chegou-se a um novo consumo total de 4368,00 m³. Considerando a atual equipe e sabendo que o tempo de execução como demonstrado ao longo desta é ao menos duplicado, considera-se 9 horas para total execução de um pavimento. Cabe

ressaltar que a hora extra terá o mesmo preço da convencional. Assim sendo tem-se produtividade igual a:

$$Produtividade = \frac{\text{Taxa de Produção}}{\text{n}^\circ \text{ de trabalhadores}} = \frac{6,93 \text{ m}^3/\text{h}}{12 \text{ trabalhadores}} = \mathbf{0,57 \text{ m}^3/\text{h}/\text{trab}}$$

Pode-se detonar nesta perspectiva que para a feição de 12950m², composta pela utilização de 4368m³ de concreto, teve duração intermitente de 630,30 horas. Sabe-se que a produção da equipe é:

$$Produtividade \text{ diária} = 6,93 \times 8 \text{ horas diárias} = \mathbf{55,44 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$Produtividade \text{ meia diária} = 6,93 \times 4 \text{ horas diárias} = \mathbf{27,72 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

Tomando por base 44 horas semanais, tem-se produção semanal de 304,92 m³/semana. Então a duração total da obra, para as estruturas em análise, desconsiderando no calendário os feriados foi de:

$$Duração = \frac{\text{Total de Consumo}}{\text{Produção Semanal}} = \mathbf{14,32 \text{ semanas}}$$

Traduzindo teríamos uma duração total para a feição de lajes, paredes e escadas de 3 meses, 10 dias, 5 horas e 32 min. Tendo em vista que o custo de CAA por m³ é R\$ 240,00, pode-se aferir que o custo total do empreendimento somente para a estas estruturas, levando em consideração somente, o CAA foi:

$$Custo = \text{Custo por m}^3 \times \text{Total m}^3 = 240 \times 4368 = \mathbf{R\$ 1048320,00}$$

Conclui-se como já esperado que o CCV é mais “barato” que o CAA, no entanto, analisando agora apenas, a perspectiva relacionada a mão de obra direta na aplicação do CAA, desconsiderando as despesas indiretas, bem como, manutenção e aquisição de equipamentos, administração local, etc.

Assim sendo, a composição de preços recaí da seguinte forma:

$$\text{Preço por diária} = [(10,17 * 4) + 16,71 + 27,84 + 64,27 + (5 * 7,46)] * 9$$

$$\text{Preço por diária} = \mathbf{R\$ 1681,20}$$

$$\text{Preço por meia diária} = \frac{1681,20}{2} = \mathbf{R\$ 840,60}$$

Então tem-se que, o gasto total por mão de obra foi:

$$\text{Gasto total} = 2521,8 \times 100,24 \text{ dias} = \mathbf{252.785,23 R\$}$$

Então tem-se um gasto geral de mão de obra direta e materiais de:

$$\text{Custo Geral} = 1048320,00 + 252785,23 \text{ dias} = \mathbf{1.301.105,232R\$}$$

Comparando-se os dois modelos tem-se:

$$\text{Gasto CCV-CAA} = 1.301.105,232 - 1.125.077,28 = \mathbf{176.027,952R\$}$$

Assim sendo, percebe-se com clareza a economia provinda do uso do CAA. Cabe ressaltar que não foram contabilizados diversos fatores como expostos aqui. Caso fosse contabilizado a perda de fôrmas de madeiras, o preço do CCV seria ainda mais desastroso, se comparado com o CAA.

9.4.3 Análise Sustentável

A análise sustentável aqui explicitada se dá apenas no âmbito do consumo de materiais componentes, deliberação do uso de madeira e acidentes em obras. Faz-se notável observar, porém que devem ser considerados para a perfeita análise de impactos referentes consumo de recursos energéticos, contaminação de lençóis freáticos e deflagração do meio ambiente como um todo.

Como calculados acima, para o CAA o consumo foi de 4200,00 m³, já para o CCV 4368,00m³. Considerando que o CCA foi integralmente produzido com

cimento, areia, brita e água e aditivos, ou seja, sem a presença de finos minerais, e seu consumo é de 425 kg/m³, tem-se:

$$\begin{array}{l} 425\text{-----} 1\text{m}^3 \\ X\text{-----} 4200 \text{ m}^3 \\ \mathbf{x = 1785000 \text{ kg de Cimento}} \end{array}$$

Com isso, como já citado, para cada 1000 kg são consumido 0,7m³ de calcário, então tem-se:

$$\text{Cons. Calcário} = \frac{1785000}{1000} \times 0,7 = \mathbf{1249,5 \text{ m}^3}$$

Detonando que o CO₂ é um gás altamente danoso, dados apontam que 7% do total produzido de cimento se transformam em resíduos de CO₂ que destruirão a camada de ozônio, assim sendo tem-se:

$$\text{Produção de CO}_2 = 0,07 \times 1249,5 \text{ m}^3 = \mathbf{87,46\text{m}^3}$$

Com os outros componentes do concreto não será diferente. Os impactos ambientais, resultarão em destruição de depósitos naturais de areia e brita. O aferido exemplo assume um consumo de 690 kg de areia natural e 559 kg de brita 0. Assim sendo, tem-se:

$$\begin{array}{l} 690\text{-----} 1\text{m}^3 \\ y \text{-----} 4200 \text{ m}^3 \\ \mathbf{y= 2.898.000,00 \text{ kg de Areia Natural}} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 559\text{-----} 1\text{m}^3 \\ y \text{-----} 4200 \text{ m}^3 \\ \mathbf{y= 2.347.800,00 \text{ kg de Brita 0}} \end{array}$$

Agora, com o uso do CCV, considerando o mesmo traço, tem-se:

$$\begin{array}{l} 425\text{-----} 1\text{m}^3 \\ X\text{-----} 4368 \text{ m}^3 \\ \mathbf{x = 1856400 \text{ kg de Cimento}} \end{array}$$

Então, com o uso do CAA, tem-se redução do consumo de cimento da ordem de 3,84%. Assim sendo, tem-se:

$$\text{Cons. Calcário} = \frac{1856400}{1000} \times 0,7 = \mathbf{1299,48 \text{ m}^3}$$

$$\begin{array}{l} 690\text{-----} 1\text{m}^3 \\ y \text{-----} 4368 \text{ m}^3 \\ \mathbf{y= 3.013.920,00 \text{ kg de Areia Natural}} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 559\text{-----} 1\text{m}^3 \\ y \text{-----} 4368 \text{ m}^3 \\ \mathbf{y= 2.441.712,00 \text{ kg de Brita 0}} \end{array}$$

Provendo com o uso do CAA, uma redução de consumo de calcário na mesma proporção do cimento. Ambos, cimento, areia e brita 0 obtiverem redução na ordem de 3,84%. A emissão de CO₂, também reduz na ordem de 3,84%.

No que tange a feição de fôrmas, o CAA também é responsável por reduzir o impacto ambiental. Foi usado na obra chapa de compensado, com dimensões 2,2 metros de comprimento, 1,2 metros de largura e 2,54 centímetros de espessura. Considerando que cada pavimento tem 185m² de laje e que pode-se reaproveitar as fôrmas em até 5 aplicações, tem-se 14 renovações de fôrma, até o completar o décimo quarto bloco. Caso fosse usado o CCV, ter-se-ia no máximo 3 reaplicações, resultando em 24 renovações. Cada pavimento exige um consumo de madeira da ordem de:

$$\text{Cons. Madeira Pav.} = 185 \times 0,0254 = 4,69 \text{ m}^3$$

$$\text{Cons. Madeira Bloco.} = 4,69 \times 5 = 23,45 \text{ m}^3$$

$$\text{Cons. Madeira Total.} = 23,45 \times 14 = \mathbf{328,3 \text{ m}^3}$$

Assim sendo, pesquisas apontam que em média 8 árvores de tamanho médio, produzem 1m³ de madeira. Considerando que o CAA permite 5 reutilizações, tem-se:

$$Qtde\ Arvores = \frac{328,3}{5} \times 8 = \mathbf{526\ arvores}$$

Enquanto para o CCV, admite-se:

$$Qtde\ Arvores = \frac{328,3}{3} \times 8 = \mathbf{876\ arvores}$$

Então, percebe-se que impacto ambiental decorrente do uso do CAA é reduzido da seguinte forma:

$$Qtde\ Arv.\ Preservadas = 876 - 526 = \mathbf{350\ arvores}$$

Por fim analisa-se a viabilidade em decorrência do número de acidentes. No ano que foi executada a obra o SindusCon(Sindicato da Indústria da Construção Civil) fez um levantamento e chegou a um total de 2,7 milhões de trabalhadores residentes na construção civil. A média anual de acidentes foi de 2,42 a cada 100 operários na época em que foi realizada a construção. Assim sendo, tem-se que com o uso do CAA o número de trabalhadores diretamente relacionados a aplicação, diminui em 5 unidades. Se em 8 dias, 14 torres tivessem equipes como esta trabalhando o risco seria:

$$Risco\ CAA = 0,0242 \times (8 * 7) = \mathbf{2\ possíveis\ acidentes}$$

$$Risco\ CCV = 0,0242 \times (8 * 12) = \mathbf{3\ possíveis\ acidentes}$$

Comparando o risco de acidentes diminui na proporção de 33,33%. Sendo assim, viável também no modelo sustentável.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho em questão reuniu pontos de extrema relevância, que aferem o CAA, o título de maior e mais requintada arma da construção do último século. Suas propriedades e características são expostas do com perfeição de detalhes, fazendo com que aja uma nítida associação entre tecnologia, economia e sustentabilidade.

Ao longo deste estudo, verificou-se que o CAA não é um modelo recente de construção, ficando evidente, que um dos maiores empecilhos para sua massificação na indústria da construção civil, é a ausência de informações de caráter técnico e/ou econômico. Dessa forma, este trabalho contribui para a disseminação da nova técnica, pois avalia sob óticas distintas as vantagens e relevâncias do uso do CAA, exaurindo assim, qualquer mito proveniente de um acervo popular inconsistente.

Conheceu-se pontos distintos do uso do CAA. Em cunho probabilístico, mostrou-se que o CAA já foi densamente utilizado ao redor do mundo. Estruturas de formas variadas, armações diversas e arquitetura arrojada formam a grade curricular do CAA.

Em cunho científico pôde-se observar os ensaios referentes a caracterização de propriedades. Destacando-se a configuração fluída do material, ao passo que, sua fluidez e capacidade de adensamento, são os pontos chave desta técnica. Os principais ensaios de trabalhabilidade dentro dos parâmetros analisados, são os ensaios de Espalhamento (Slump Flow e Slump Flow T_{500}) e de capacidade de fluxo em meio a obstáculos (Anel J, Caixa L). Observou-se segundo a NBR 15823-1: 2010 os parâmetros permissíveis, de acordo com cada ensaio, para alocação do CAA em diferentes estruturas.

A assertiva mostrou ainda que a confecção e perfeita aplicação do concreto autonivelante, só é alcançada, mediante uma criteriosa análise dos materiais componentes, pois a mera incompatibilidade e/ou indiscrição de materiais, pode resultar em perda de toda mistura. No entanto, o âmago do CAA foi descoberto, somente após a indagação sobre a Reologia dos Materiais. A abordagem proporcionou conhecer a fundo características intrínsecas ao material, como tensão cisalhante, deformação e viscosidade, permitindo inferir na correta escolha da mistura ideal.

Fez-se primordial também, conhecer os métodos de dosagem do CAA, pois é através deles que se alcança o perfeito dimensionamento. Sobre a visão do autor deste fascículo o método de dosagem imposto por Tutikian e Dal Molin(2008), é o mais nobre entre todos, pois não discrimina o uso do CAA. Baseado no conceito de adequação granular, o método induz a produção do CAA com os materiais disponíveis em cada região, e ainda dá liberalidade, quanto ao uso de aditivos e adições minerais. Os resultados obtidos com seu uso são factíveis. Convém ressaltar apenas, que a formação do esqueleto granular ideal, é uma condição experimental exaustiva.

Após a incisiva fundamentação teórica, fez-se notório avaliar primeiramente, em cunho teórico e posteriormente em cunho quantitativo, as atribuições pertinentes ao uso do CAA. Verificou-se que o mesmo possui notórias relevâncias de cunho técnico, econômico e sustentável, referentes a sua produção e posterior aplicação. Em cunho técnico o CAA proporciona qualidade e agilidade, mediante ainda, o ganho de vida útil da estrutura. No que tange o módulo econômico, por ser um modelo de construção, com raízes orientais, o concreto autoadensável é um exímio módulo de construção enxuta. A redução de desperdícios e a maximização poder de execução são fatores que fomentam a produtividade e a viabilidade econômica do sistema. A sustentabilidade se dá ao passo que a união entre técnica e economia, resultam em um sistema não danoso ao meio ambiente. A reciclagem e a promoção de qualidade de vida são pontos que aferem ao modelo produtivo o mais alto grau de responsabilidade social.

Com o intuito de tornar prático toda a apreciação teórica, fez então a análise de dados. E compreendeu-se que o CAA é viável tecnológica, econômica e sustentavelmente. O caráter técnico da avaliação foi “garantida” pela análise substancial do teste de espalhamento que esteve dentro dos parâmetros normativos. A viabilidade econômica se deu em diversos aspectos. A produtividade quando comparada com o CCV, excedeu em 30%(trinta por cento).Fator este que influenciou de forma significativa, na drástica redução de 47,98%(quarenta e sete, noventa e oito por cento) se comparado com o tempo de execução do CCV. Por sua vez a junção entre otimização de mão de obra e posterior redução de custos, fez com que ao comparar o concreto autoadensável ao sistema convencional, houvesse uma redução de custo da ordem de 13,52%(treze, cinquenta e dois por cento), Tal assertiva permitiu, que a viabilidade econômica do sistema fosse garantida. Quanto

ao módulo sustentável, observou-se que, que o sistema com o uso do CAA reduziu o consumo de recursos naturais. O consumo de areia, calcário e brita caiu 3,84%,bem como a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. O consumo de fôrmas teve redução alarmante, o que implicou em preservação ambiental no que tange o desmatamento, na ordem de 39,95%(trinta e nove, noventa e cinco por cento).Já com relação a preservação da integridade do operário observou-se que a 12 operários o CAA promove inibe a ocorrência de 1 acidente de trabalho, o que por sua vez , pode causar invalidez, ou até mesmo morte.

Assim sendo, exaustivamente provou-se que o concreto autoadensável, principalmente quando produzido em larga escala, é superior ao concreto convencional. Além de aprimorar e enaltecer as característica técnicas, delibera maior rentabilidade e qualidade de vida aos envolvidos no seu processo de produção.

Como propostas para futuros trabalhos podemos aferir :

- Propor um modelo computacional de empacotamento granular, reduzindo assim, o exaustivo trado experimental que envolve o modelo abordado por Tutikian e Dal Molin(2008);

- Fazer o estudo comparativo dos métodos de dosagem, visando qual garante a melhor união entre tecnologia, economia e sustentabilidade;

- Avaliar a amplitude dos impactos ambientais sofridos com o uso do concreto convencional na região maranhense e comparar os dados obtidos, caso o mesmo consumo fosse realizado mediante a produção de CAA;

- Avaliar de que forma a redução do quadro de acidentes, infere no critério de reponsabilidade social, mediante o uso do CAA na região maranhense;

- Verificar de acordo com o método escolhido, uma dosagem com materiais tipicamente maranhenses, que se adeque ao diversos tipos de estruturas, fazendo ainda o uso de fibras de babaçu, verificando a alternância de propriedades com a inserção de fibras;

- Verificar a incoerência entre peças pré-fabricadas e moldadas *in loco* com o uso do CAA na região maranhense, dando ênfase as propriedades no estado fluido e posteriormente, no estado sólido.

REFERÊNCIAS

- AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. Tradução de Geraldo G. Serra. São Paulo: PINI, 2000.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211:2005. **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ALENCAR, R; HELENE, P. **Concreto autoadensável de elevada resistência – inovação tecnológica na indústria de pré-fabricados**. In: Concreto e Construções. Revista de Materiais do IBRACON, São Paulo, 2006.
- ALENCAR, R.S.A. **Dosagem do Concreto AutoAdensável: Produção de Pré-Fabricados**. Dissertação de mestrado, São Paulo, 2008.
- ARAUJO, J.L.; BARBOSA, N.P.; DOS SANTOS, S.B; REGIS, P.A. **Concreto autoadensável com materiais locais no nordeste brasileiro**. In: 45º Congresso Brasileiro do Concreto. CD-ROM, Vitória, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33**: concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998a.
- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone** - NBR NM 67, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 68**: concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff. Rio de Janeiro, 1998c.
- BANFILL. P. F. G. **Reological methods for accessing the flow properties of mortar and related materials**. Construction and Building materials, v. 8, n. 1, 1994.
- BARROS Mércia Maria S. Bottura de** Recomendações para a produção de contrapisos para edifícios // Boletim Técnico USP. - São Paulo : [s.n.], 1995.
- BARROS, M. M. S. B; SABBATINI, F. H. **Tecnologia de produção de contrapiso para edifícios habitacionais e comerciais**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991.
- BERNABEU; LABORDE. Production system for civil engineering. In: **Brite EuRam Program: Rational production and improved working environment through using self compacting concrete**. Task 8.3, p.1-40, 2000.
- BRASIL. **Instituto Nacional de Geografia e Estatística**. Downloads. Estatísticas. Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios (Pnad) . **Indexação**: 2014.
- CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. Tese de

mestrado [Mestrado em Engenharia Civil] - Universidade de Federal de Alagoas, Maceió,2006.

CHENG,Y.Y.; TSAI C.T.; HWANG, C.L. **The study on mixture proportion of gapgradation on agregate for SCC.** O. Wallevik and I, Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETE, 3st, 2003, Reykjavik. Proceedings. France: RILEM Publications, 2003.

EFNARC. **Specificacion and Guidelines for Self-Compacting Concrete.** EFNARC,2002.

ETCHEVERRY, A. et al. **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica do Uso de Concreto Auto Adensável.** Trabalho de conclusão do curso de gestão em estruturas de concreto, Curitiba, 2003.

FIORITO Antônio J.S.I. Manual de argamassas e revestimentos : estudos e procedimentos de execução [Livro]. - São Paulo : Pini, 2009.

GLUZENGENHARIA. **Contrapiso Autonivelante**, Jul. 2015. Disponível em: <<http://www.gluzengenharia.com.br/noticia/103>>. Acesso em: 05.mar.2016.

GOMES Paulo César Correia e BARROS Alexandre Rodrigues Métodos de dosagem de concreto autoadensável [Livro]. - São Paulo : Pini, 2009.

GOMES, P. C. C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L.; BERBARD, CAMILO. (2001) Experimental Optimization of High-Strength Self-Compacting Concrete. In: The Second International Symposium on Self-Compacting Concrete, 2002, Tokyo. Anais. Tokyo: University of Tokyo.

GOMES, P. C. C. **Optimization and characterization of high-strength self compacting concrete.** Catalunya, Espanha: Tese de Doutorado, Escola Tecnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politecnica de Catalunya, 2002.

HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland.** São Paulo, 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

HAWKEN, P.; LOVINS, E.; LEVINS, H. **Creating the Next Industrial Revolution**, Little Brown, 1999.

HELENE, P ; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto.** PINI, São Paulo,1992.

JATOBA, D. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** Tese de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, Maceio – AL, 2008.

KLUG, Y; HOLSCHEMACHER. **Comparison of the hardened properties of selfcompacting and normal vibrated**. Edicao: O. Wallevik and I, Nielsson. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON SELF-COMPACTING CONCRETEM, 3st, 2003, Reykjavik. Proceedingst France: Rilem Publications, 2003.

MARTINS Eliziane Jubanski Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante // Dissertação de Mestrado. - Curitiba : UFPR, 2009.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1.ed.SãoPaulo:PINI,1994.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1.ed. São Paulo: PINI, 2008.

MONTE, R. **Avaliação de metodologia de ensaios destinadas à verificação da eficiência de aditivos superplastificantes em pastas de cimento Portland**. São Paulo, 2003. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Construção Civil –Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos Autonivelantes. Propriedades e Instalações**. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador,1997.

NBR 15823-1 - **Classificação, controle e aceitação no estado fresco** – Parte 1. Rio de Janeiro, 2010.

NBR 15823-2 - **Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams** – Parte 2. Rio de Janeiro, 2010.

NBR 15900-1.Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro,2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

NUNES, S.C.B. **Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades**. Pos-Graduação em Estruturas de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto,Porto. 2001.

OKAMURA, H. **Self-Compacting High-Performance Concrete**. International Concrete, 1997.

OKAMURA, H.; OUCHI, M., **Self-compacting concrete**, Journal of Advanced Concrete Technology, v.1, n.1, 2003.

OLIVEIRA, I, R.; STUDART, A. R.; PILLEGI, R. G. ;PANDOLFELLI, V. C. **Dispersão e empacotamento de partículas; princípio e aplicações em processamento cerâmico**. 18 ed. Fazendo Arte Editora, 2000.

OLIVEIRA Ronaldo Sabino de Concreto autoadensável: solução ou modismo // Monografia Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG. - Rio de Janeiro.

PETERSSON, O. **Design of Self-Compacting Concrete, Properties of the Fresh Concrete.** In: Proceedings Seminar on Self-Compacting Concrete, Malmo/Copenhagen, 2000.

PILEGGI, R. G. **Efeito da distribuição granulométrica sobre o comportamento reológico de concretos refratários.** São Carlos, 1996. 210p. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos.

PILEGGI, R. G. **Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários.** São Carlos, 2001. 187p. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos.

REALMIX. **Informativo Técnico**, Abr. 2005. Disponível em: <http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/informativo_realmix.pdf>. Acesso em: 05.mar.2016.

ROONEY, M. J. **Assessment of the Properties of Fresh Self-Compacting Concrete with Reference to Aggregate Segregation.** Tese - University of Paisley/USA, 2002.

REPETTE, W. L. **Concretos de Última Geração: Presente e Futuro.** In: CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações / ed. G. C. Isaias. Vol. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

REPETTE, W. L.; ISAIA, GC. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** IBRACON, Foz do Iguaçu, 2001.

SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo do comportamento reológico e mecânico.** São Paulo, 2006. Dissertação em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SKARENDAHL, A; PETERSSON, Ö. **Self-compacting concrete State-of-the-Art.** In: Report of RILEM Technical Committee 174-SCC Self-Compacting Concrete. RILEM Publications, 2000.

SOUZA, N. C. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema tradicional.** Tese de mestrado [Mestrado em Engenharia Civil] - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SOUZA, P.S.L. et. al. **Avaliação da Produção de Concreto AutoAdensável (CAA) com Utilização do Seixo Rolado.** Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON, São Paulo, 2007.

SU, N. et al. **A Simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete.** Cement and Concrete Research no 31. 2001.

TECHNÉ REVISTA. **Abrço histórico.** In : Revista Técnica, edição 179, ano 20, fevereiro de 2012.

TECHNÉ REVISTA. **Estrutura premiada**. In : Revista Técnica, edição 179, ano 20, fevereiro de 2012.

TECHNÉ REVISTA. **Solução fluida**. In : Revista Técnica, edição 179, ano 16, março de 2008.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca et al. DAL MOLOI, Denise Carpena et al. **Concreto AutoAdensável**. São Paulo: PINI, 2008.

TUTIKIAN, B.F., **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

VERCOSA, E. J. **Materiais de construção**, Rio de Janeiro: 2003.

VON PAUMGARTTEN, M. D. **Concreto autoadensável com materiais encontrados na região de Belém**. Dissertação de mestrado [Mestrado em Engenharia Civil] – Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

WALRAVEN, J. **SCC applied in the precast concrete industry**. In: Cape town international concrete conference & Exhibition, 2007.

WOLENSKI, A. R. V. **“Estudos Teóricos e experimental do Concreto AutoAdensável frente ao emprego do cimento CP IV e da adição de Metacaulim”**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil, UNEMAT, Sinop, Mato Grosso, 2010.

**ANEXO – ACERVO FOTOGRÁFICO DA
OBRA**

Figura 46 – Aplicação do CAA em Lajes1.



Fonte : QRTZ Incorporações, Belo Horizonte.

Figura 47– Aplicação do CAA em lajes 2.



Fonte : QRTZ Incorporações, Belo Horizonte.

Figura 48 – Sistema de Fôrmas em Laje.



Fonte: Direcional Engenharia, Belo Horizonte.

Figura 49 – Sistema de Fôrmas para laje e paredes.



Fonte: Direcional Engenharia, Belo Horizonte.