



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

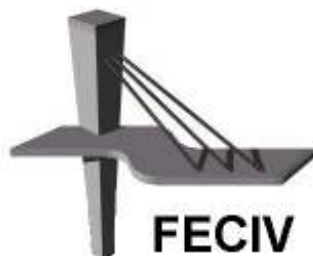
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

n.º 063

ANÁLISE DA LIGAÇÃO ENTRE O SUBSTRATO DE CONCRETO ANTIGO E CONCRETO AUTO ADENSÁVEL COM LANÇAMENTO SUBAQUÁTICO

HENRY SILVÉRIO MENDES

UBERLÂNDIA, 11 DE SETEMBRO DE 2009.



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



Henry Silvério Mendes

**ANÁLISE DA LIGAÇÃO ENTRE O SUBSTRATO DE CONCRETO
ANTIGO E CONCRETO AUTO ADENSÁVEL COM LANÇAMENTO
SUBAQUÁTICO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Turibio Jose da Silva

UBERLÂNDIA, 11 DE SETEMBRO DE 2009.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M538a

Mendes, Henry Silvério, 1973-

Análise de ligação entre o substrato de concreto antigo e concreto auto adensável com lançamento subaquático / Henry Silvério Mendes. - 2009.

102 f. : il.

Orientador: Turíbio Jose da Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programam Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Concreto - Reparos e reconstrução - Teses. I. Silva, Turíbio José da.
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624.012.4



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ATA Nº: 063/2009

CANDIDATO: Henry Silvério Mendes

ORIENTADOR: Prof. Dr. Turibio José da Silva

TÍTULO: "Análise da ligação entre o substrato de concreto antigo e concreto auto adensável com lançamento subaquático"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Estruturas e Construção Civil

LINHA DE PESQUISA: Construção Civil

DATA DA DEFESA: 11 de setembro de 2009

LOCAL: Sala de Reuniões da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 15:05 - 17:40

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

☒ APROVADO

☐ REPROVADO

OBS:

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Professor Orientador: **Prof. Dr. Turibio José da Silva – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof.ª Dr.ª Berenice Martins Toralles-Carbonari - UEL**

Membro: **Prof.ª Dr.ª Leila/Aparecida de Castro Motta – FECIV/UFU**

Uberlândia, 11 de SETEMBRO de 2009.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais, Ailton e Sebastiana,
à minha esposa Adriana e meu filho Pedro Henrique.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado mais uma vez a oportunidade de lutar por um objetivo e alcançá-lo, me oferecendo mais forças para a luta maior de minha vida.

Ao meu orientador Prof. Turibio José da Silva, pela paciência e compreensão de cada etapa deste trabalho devido as minhas limitações. E ainda pelos ensinamentos e ajuda na parte prática da pesquisa.

Ao amigo e colega de curso, Filipe Todeschini Viero, pelo apoio e grande ajuda no laboratório.

A amiga Vanessa Elizabeth dos Santos Borges, pela ajuda nas pesquisas bibliográficas e incentivo constante.

Aos meus pais e esposa, pelo apoio e exemplo de vida, que estiveram ao meu lado desde o primeiro momento desta etapa de minha vida.

Ao meu filho, que por sua existência me incentivou para realizar este trabalho e servir de incentivo para ele próprio no futuro.

Ao Laboratório de Engenharia Civil de Furnas, por ter me dado a oportunidade de iniciar o aprendizado em pesquisas, na pessoa do engenheiro Newton Goulart Graça, pelos ensinamentos e confiança no meu trabalho.

Ao engenheiro Rubens Bittencourt, pela oportunidade de continuar a pesquisa com concreto para aplicação subaquática iniciada por Furnas.

Aos colegas de Furnas, pelo apoio e ensinamentos compartilhados, em especial ao engenheiro e amigo José F. Farage pela paciência e amplos conhecimentos a mim passado nesta área de pesquisa.

Aos técnicos Wanderly e Veloso, pela grande colaboração na pesquisa em laboratório até fora de seus horários habituais de serviço.

A Luciana Machado Bastos, pela ajuda nas revisões do texto da dissertação.

Aos colegas do curso de graduação, pela convivência e aprendizado conjunto.

E por fim a Brasmix Engenheiros Associados Ltda pelo apoio material doado para a pesquisa, em especial ao engenheiro Ranieri.

MENDES, H. S. *Análise da ligação entre o substrato de concreto antigo e concreto auto adensável com lançamento subaquático*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2009. 86p.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados do estudo da ligação entre um substrato e o concreto auto-adensável com lançamento subaquático simulando a realização de reparos em estruturas de concreto submersas em diversas aplicações. Para tanto foram utilizadas amostras de concreto “antigo” provenientes de estruturas extraídas da Usina Hidrelétrica de Itumbiara no estado de Goiás, que foram considerados substratos, o concreto utilizado no presente trabalho segue os parâmetros de dosagens estabelecidos na pesquisa concluída em 2003 pelo laboratório de Furnas Centrais Elétricas e foi ajustado aos materiais (brita e areia) encontrados na região de Uberlândia do Estado de Minas Gerais.

Os resultados obtidos são provenientes de testemunhos das juntas verticais e horizontais dos corpos-de-prova prismáticos concretados com substratos e mantidos submersos e extraídos após um ano, portanto, a hidratação quase completa.

As análises relativas ao processo de lançamento do concreto indicam que é totalmente viável sua produção para pequenas aplicações. A visibilidade durante a concretagem foi dificultada pelo aumento de turbidez da água produzida pelo concreto, portanto deve-se diminuir a presença de um fluxo de água direto no concreto. As análises foram por comparação entre os resultados dos testemunhos e dos corpos-de-prova. Foi observado um aumento da resistência em relação direta ao diâmetro do testemunho. Nos testemunhos de 50 mm x 100 mm obteve-se um coeficiente de variação de 9% dando ao concreto uma variabilidade baixa. Os testemunhos compostos de concreto submerso e substrato de concreto (com junta inclinada) obtiveram uma resistência com valor 84% em relação os corpos-de-prova. A resistência à tração por compressão diametral dos testemunhos correspondeu a 54% do valor de referência. Também pode ser verificada a interface entre substrato e concreto após a ruptura.

Palavras chave: Concreto auto-adensável, Reparos estruturais, Lançamento subaquático, Ligação, Aditivo.

MENDES, H. S. *Analysis of the connection between the substrate of old concrete and self-compacting concrete casting underwater.* College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2009. 86p.

ABSTRACT

The objective of this paper is to present the results of the connection between a substrate and self-compacting concrete with underwater launch simulating the repairs to concrete structures submerged in various applications. Therefore, we used samples of "old" concrete structures extracted from the Power Plant Itumbiara the state of Goiás, which was considered substrates. The concrete used in this work follows the parameters established strengths in the research completed in 2003 by the laboratory of Furnas Centrais Elétricas and has been adjusted to the materials (gravel and sand) found in the city of the Minas Gerais.

The results are from the sample concrete of vertical and horizontal joints of the body-specimens prismatic concrete substrates and kept submerged and extracted after a year, so almost complete hydration.

The analysis relating to the launch of concrete indicate that it is entirely feasible production for small applications. Visibility during the concreting was hampered by increased turbidity of the water produced by the concrete, so you must reduce the presence of a direct flow of water in concrete. The analysis was by comparing the results of the testimonies and bodies-of-proof. We observed an increase in strength in direct relation to the diameter of the testimony. In the samples concrete of 50 mm x 100 mm was obtained a coefficient of variation of 9.00% giving the concrete a low variability. The testimonies of concrete compounds and submerged concrete substrate (with seal inclined) had a resistance value 84% over the bodies-of-proof. The tensile strength by diametrical compression of the testimony amounted to 54% of the reference value. Can also check the interface between substrate concrete and after the break.

Keywords: Self-compacting concrete, Structural repair, Dump through water, Interface, Admixtures.

SÍMBOLOS E SIGLAS

SÍMBOLOS

Letras romanas

a/c	Relação água/cimento
f/c	Relação finos/cimento
sp/c	Relação superplastificante/cimento
D _{máx}	Dimensão máxima dos agregados
RB	Resistência de bloqueio

SIGLAS

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
CAA	<i>Concreto Auto-adensável</i>
CADAR	<i>Concreto Auto-adensável de alta resistência</i>
CC	<i>Concreto Convencional</i>
EFENARC	<i>European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems</i>
EPUSP	<i>Escola Politécnica da Universidade de São Paulo</i>
IPT	<i>Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP</i>
VMA	<i>Aditivos Modificadores de Viscosidade</i>
UHE	<i>Usina Hidrelétrica</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Stop-log em usina inspecionada na África	14
Figura 1.2 - Detalhe de uma guia para Stop-log.....	14
Figura 2.1 - Preparação para o ensaio de <i>slump flow</i>	17
Figura 2.2 - Coolocação do concreto no cone de Abrams.....	17
Figura 2.3 - CAA após o ensaio do <i>slump flow</i>	17
Figura 2.4 - L-box com dimensões recomendadas pelo EFNARC	19
Figura 2.5 - U-box com dimensões recomendadas pelo EFNARC	20
Figura 2.6 - Comparação das dosagens de CC e CAA.....	22
Figura 2.7 - <i>Slump flow</i> para argamassas	22
Figura 2.8 - <i>V-funnel</i> para argamassas.....	22
Figura 2.9 - Diagrama do método de dosagem de Gomes.....	24
Figura 2.10 - Dimensões do cone de <i>Marsh</i>	25
Figura 2.11 - Aparato do mini slump	26
Figura 2.12 - Modelo de comportamento	28
Figura 2.13 - Passo-a-passo para dosagem do CAA	29
Figura 3.1 - Pilar exposto à mares	34

Figura 3.2 - Pilar com deterioração avançada	35
Figura 3.3 - Desenho esquemático do simulador (a) e simulador (b).....	39
Figura 3.4 - Esquema de concretagem submersa sob pressão	40
Figura 3.5 - Preparação da campânula superior:	40
Figura 3.6 - Campânula inferior durante e após a simulação	41
Figura 3.7 - Fôrma prismática e placa de concreto.....	41
Figura 3.8 - Deslocamento do concreto (a) simulador em fôrma prismática (b).....	42
Figura 3.9 - Variação de % antidispersante nas dosagens do GR18	47
Figura 4.1 - Curva granulométrica da Areia 1	51
Figura 4.2 - Curva granulométrica da Areia 2.....	52
Figura 4.3 - Amostras de concretos extraídas da UHE Itumbiara.	53
Figura 4.4 - Posição do reparo de concreto submerso ao substrato.....	54
Figura 4.5 - Plano de extração de testemunhos	54
Figura 4.6 - Tanque em acrílico com os moldes posicionados para concretagem	55
Figura 4.7 - Amostras de concreto antes da concretagem (esq.), após concretagem (dir.).	56
Figura 4.8 - Aspecto do concreto e slump flow.....	56
Figura 4.9 - Amostra de concreto preparada para concretagem da face lisa.....	56
Figura 4.10 - Amostras do substrato preparadas para a segunda etapa de concretagem.....	57
Figura 4.11 - Lançamento do concreto com tubo de 75 mm.....	57

Figura 4.12 – Testemunhos e prisma de concreto	58
Figura 4.13- Identificação dos testemunhos	59
Figura 4.14 - Testemunho com junta horizontal entre concreto e substrato (C2AM-H)	61
Figura 4.15 - Testemunho com junta horizontal entre concretos submersos (C1C2-H)	62
Figura 4.16 - Corpo-de-prova de concreto submerso	62
Figura 5.1 - Testemunho com substrato após o ensaio de compressão	67
Figura 5.2 - Testemunho com substrato após o ensaio de compressão	67
Figura 5.3 - Testemunho de concreto submerso com junta fora do plano de aplicação da força no ensaio de compressão diametral.....	71
Figura 5.4 - Análise visual na seção de ruptura de um testemunho após o ensaio da tração por compressão diametral	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Limites dos ensaios com o CAA	18
Tabela 3.1 - Composição do concreto no Terminal Portuário de Sergipe.....	43
Tabela 3.2 - Composição do concreto – UHE Barra Bonita	44
Tabela 3.3 - Composição do concreto para lançamento subaquático.....	44
Tabela 3.4 - Composição do concreto para lançamento subaquático Farage.....	45
Tabela 3.5 - Composição do concreto para lançamento subaquático de Graça 2003	45
Tabela 3.6 - Grupos de variação dos aditivos.....	46
Tabela 3.7 - Ar incorporado	46
Tabela 3.8 - <i>Flow</i> para diferentes grupos (cm).....	47
Tabela 4.1 - Granulometria do agregado graúdo	50
Tabela 4.2 - Granulometria do agregado miúdo – Areia 1	50
Tabela 4.3 - Granulometria do agregado miúdo – Areia 2	51
Tabela 4.4 - Dosagem de Referência de Furnas	52
Tabela 4.5 - Exemplo da nomenclatura dos testemunhos	58
Tabela 4.6 - Descrição dos códigos usados nos testemunhos.....	59

Tabela 4.7 - Testemunhos extraídos por bloco.....	60
Tabela 5.1 - Dosagem experimental	63
Tabela 5.2 - Dosagem de estudo.....	64
Tabela 5.3 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova	64
Tabela 5.4 - Resistência à compressão dos testemunhos de concreto submerso.....	65
Tabela 5.5 - Resistência à compressão dos testemunhos de concreto submerso com juntas	66
Tabela 5.6 - Aumento da resistência à compressão conforme aumento do diâmetro do testemunho.....	66
Tabela 5.7 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova e testemunhos produzidos com CP V	68
Tabela 5.8 - Resultados das médias de resistência à compressão em MPa.....	68
Tabela 5.9 - Corpos-de-prova e testemunhos de concreto submerso com CP II.....	70
Tabela 5.10 - Testemunhos de concreto submerso com juntas - CP II	70
Tabela 5.11 - Corpos-de-prova e testemunhos de concreto submerso com CP V.....	71
Tabela 5.12 - Análise visual na seção de ruptura	72

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	12
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo principal	14
1.2.2 Objetivos específicos	15
CAPÍTULO 2 - CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL	16
2.1 HISTÓRICO E CONCEITOS	16
2.2 ENSAIOS	18
2.2.1 ESPALHAMENTO (Slump-flow)	18
2.2.2 CAIXA EM L	18
2.2.3 U-BOX	19
2.3 MÉTODOS DE DOSAGENS	21
2.3.1 OKAMURA (1993)	21
2.3.2 GOMES (2002)	23
2.3.3 TUTIKIAN (2004)	27
CAPÍTULO 3 - CONCRETO PARA LANÇAMENTO SUBAQUÁTICO	31
3.1 INTRODUÇÃO.....	31
3.2 DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO SUBMERSAS.....	33
3.2.1 PRINCIPAIS CAUSAS DA DETERIORAÇÃO.....	35
3.3 PROCESSO DE LANÇAMENTO.....	38
3.4 SIMULADOR DE LANÇAMENTO	38
3.4.1 FÔRMA CILÍNDRICA	39
3.4.2 FÔRMA PRISMÁTICA.....	41
3.5 DOSAGEM	43
3.5.1 Dosagens Aplicadas.....	43
3.6 ESTUDO DE ADITIVOS	46

CAPÍTULO 4 - PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	48
4.1 INTRODUÇÃO.....	48
4.2 METODOLOGIA.....	48
4.3 MATERIAIS CONSTITUINTES	49
4.4 DOSAGEM	52
4.5 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	53
4.6 CONCRETAGEM DAS AMOSTRAS.....	55
4.7 EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS.....	58
4.8 ANÁLISE DA INTERFACE	61
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS	63
5.1 AJUSTE DA DOSAGEM	63
5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL	64
5.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL	69
5.4 ANÁLISE VISUAL	72
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES.....	73
6.1 SIMULAÇÃO DE CONCRETAGEM SUBAQUÁTICA.....	73
6.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL	74
6.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL	75
6.4 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	75
REFERÊNCIAS	77

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

O Brasil sempre teve um grande destaque no cenário mundial relativo à construção de barragens e grande parte de sua produção de energia é proveniente de usinas hidrelétricas. Como qualquer outra estrutura de concreto, a barragem, depois de um período de vida, necessita de reparos. Desta forma, é crescente a necessidade da utilização de concretos para aplicação subaquática, principalmente para reparos das estruturas nas usinas hidrelétricas em operação, como no caso da UHE Guri na Venezuela, a qual possui profundidade de até 90 m (GRAÇA *et al.*, 2003b). Este caso e outros têm motivado a realização de estudos cada vez mais específicos com concretagens subaquáticas.

Além das barragens, outros tipos de estruturas necessitam de reparos subaquáticos. Para a recuperação dos pilares da ponte do rio Tietê em SP, a empresa Falcão Bauer realizou um estudo para concretagem subaquática, indicando a necessidade de estudos com aditivos de ação coesiva (“antiwashout”), superplastificantes e incorporadores de ar.

Em estudo realizado para reparos em estruturas submersas Khayat *et al.* (1993), realizaram testes com concreto auto-adensável (sem aditivo de ação coesiva e *slump flow* entre 279 e 711 mm) e concreto subaquático (com aditivos coesivos e *slump flow* entre 51 e 457 mm). O concreto auto-adensável supriu as necessidades de aderência ao substrato e resistência, mas houve uma significativa perda com a lixiviação do concreto em cerca de 10% da sua massa inicial, e redução na qualidade do concreto conforme alcançava maiores profundidades, enquanto que no concreto subaquático não foi observada perda significativa, mas ficou limitado a pequenas profundidades.

A estabilidade requerida pelo concreto fresco para lançamento subaquático depende de suas propriedades reológicas e condições de lançamento. Com o aumento da consistência do concreto, para a realização de concretagens em locais mais restritos e estreitos, o que assegura sua ocupação total nas fôrmas e em torno dos reparos em determinadas estruturas, aumenta-se o risco de segregação (KHAYAT; GUIZANI, 1997).

Com a combinação de aditivos antidispersante e superplastificante, Khayat e Yahia (1997) conseguiram uma melhoria na plasticidade do concreto, sendo esta combinação o ponto de equilíbrio entre plasticidade e resistência mecânica a ser obtido.

No lançamento de concreto subaquático, o primeiro concreto a ser lançado, normalmente, protege os demais em relação à água, mas não é uma regra geral, dependendo para isto das características dos mesmos quando frescos e da composição granulométrica (GRAÇA *et al.*, 2003b). Após vários estudos de dosagens para minimização do problema de lavagem do concreto devido à penetração da água, concluiu-se que seria necessário o desenvolvimento de aditivos químicos que promovessem um aumento da coesão do concreto para que uma menor quantidade de água fosse incorporada ao mesmo, quando do lançamento submerso.

No primeiro estudo relacionado ao concreto subaquático no Laboratório de Concreto de Furnas, em setembro de 1999, (GRAÇA *et al.*, 2003b) definiu-se a utilização de aditivos de ação coesiva para concretagens submetidas a pressões de água equivalentes a 0,9 MPa, nas quais o concreto sem aditivos de ação coesiva apresentou uma grande segregação do material fino, responsável pela quebra dos testemunhos na extração, fato não observado nos concretos com aditivos coesivos.

Após testes realizados na UHE Funil, foram executadas concretagens de reparo nas guias dos *stop-logs* da UHE Porto Colômbia a uma profundidade de até 20 m. Aproveitando a estrutura e as condições favoráveis, foram realizados estudos complementares até a profundidade de 30 metros com um dispositivo diferente do utilizado nos reparos, com obtenção de resultados satisfatórios, o que evidencia a necessidade de estudos específicos complementares para concretagens com profundidades superiores a 30 m. Esses estudos foram realizados por Furnas e serão detalhados no Capítulo 3. Na Figura 1.1 e Figura 1.2 são apresentadas uma *stop-log* e o detalhe de sua guia.

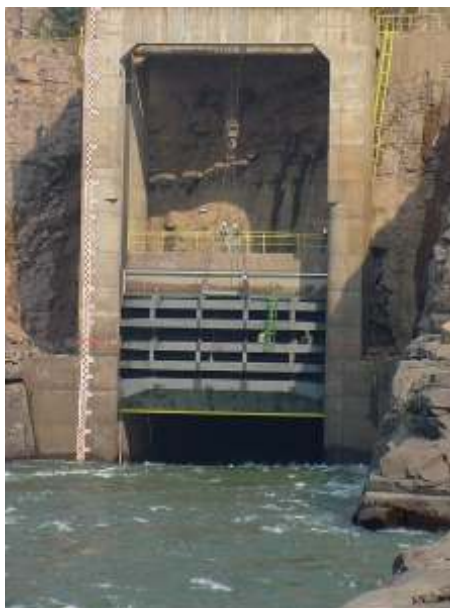


Figura 1.1 - Stop-log em usina inspecionada na África
(fonte: <http://www.nectonsub.com.br>, 2007)



Figura 1.2 - Detalhe de uma guia para Stop-log
(fonte: www.vicarelectric.com, 2007)

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho foi a caracterização mecânica e análise visual da interface do substrato (concreto “antigo”) com o concreto para aplicação subaquática.

1.2.2 Objetivos específicos

De acordo com o objetivo principal foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Adequar a dosagem de concreto a ser produzido com materiais da região de Uberlândia com as dosagens pré-determinadas nas literaturas pesquisadas;
- Avaliar o comportamento do aditivo antidispersante com a finalidade de impedir a lavagem do concreto e manter a fluidez e a viscosidade adequadas durante o lançamento;
- Comparar a ação do cimento CP V com o cimento utilizado na pesquisa, CP II-F, tanto no estado fresco como no endurecido.

CAPÍTULO 2

CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

2.1 HISTÓRICO E CONCEITOS

O concreto auto-adensável (CAA) foi desenvolvido na Universidade de Tóquio entre 1986 e 1988, devido à necessidade de manter a durabilidade e qualidade nas construções japonesas frente à sensível queda na quantidade de mão-de-obra qualificada (OKAMURA; OUCHI, 2003).

O CAA possui como principal característica a capacidade de preencher todos os vazios de uma fôrma, sem que ocorra segregação através de peso próprio, ou seja, com ausência total de vibração mecânica ou manual (OKAMURA; OUCHI, 2003). Esta característica foi fundamental para definição do tipo de concreto para lançamentos subaquáticos, mas a sua durabilidade e resistência à compressão uniaxial também são características importantes (GRAÇA *et al.*, 2003b).

O mecanismo de auto-compactação está ligado diretamente com a fluidez da pasta de cimento e a argamassa, enquanto que a resistência a segregação da argamassa com o agregado graúdo relaciona-se à presença de obstáculos, como por exemplo uma viga com alta taxa de armadura. Estes são os principais parâmetros na definição da dosagem do CAA, definindo uma alta deformabilidade, moderada coesão e viscosidade adequada (GOMES *et al.*, 2008).

Segundo Gomes *et al.*, (2008), os ensaios mais comuns para analisar estas propriedades são: o teste de espalhamento, com o cone de Abrams (*slump flow*); o do Funil-V, o da caixa-L e o teste tipo U. O *slump flow* é o mais utilizado, sendo, na maioria das vezes o único utilizado, seu uso representa um erro quando o concreto em seu lançamento

necessitar ultrapassar obstáculos. A Figura 2.1 e Figura 2.2 mostram a preparação do ensaio de *slump flow* e a Figura 2.3 o CAA após o ensaio.



Figura 2.1 - Preparação para o ensaio de *slump flow*
(fonte: RAVINDRA *et al.*, 2004)



Figura 2.2 - Colocação do concreto no cone de Abrams
(fonte: RAVINDRA *et al.*, 2004)



Figura 2.3 - CAA após o ensaio do *slump flow*
(fonte: TUTIKIAN, 2004)

A Tabela 2.1 apresenta os principais ensaios praticados e seus respectivos limites para a definição da auto-compactabilidade do concreto.

Tabela 2.1 - Limites dos ensaios com o CAA

Propriedades	Ensaio	Parâmetros	Faixa ideal
Capacidade de preenchimento	Teste de espalhamento	D_F	60 a 80 cm
		T_{50}	2 a 7 s
	Funil-V	T_V	3 a 15 s
Capacidade de passagem	Caixa-L	TL20	≤ 2 s
		TL40	≤ 4 s
		RB = H2 / H1	0,80 a 0,85
Estabilidade à segregação	Tubo-U	RS = M1 / M2	$\geq 0,90$
	T_V em 5 segundos	Segregação	> 3 s

(fonte: EFENARC, 2005; GOMES, 2002; RAVINDRA *et al.*, 2004)

2.2 ENSAIOS

2.2.1 ESPALHAMENTO (Slump-flow)

Segundo Ravindra *et al.* (2004), o *slump flow* foi adotado no Japão em 1990 como norma (JSCE-F503) e recomendado pelo EFNARC (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) em 2005. O objetivo deste ensaio é medir quantitativamente a capacidade de fluir do concreto (D_F , diâmetro final de espalhamento) sobre efeitos de seu peso próprio e, qualitativamente, a segregação com uma análise visual do concreto. O concreto ao se espalhar tende a segregar-se concentrando o agregado graúdo no centro e a presença de pasta e calda de cimento em todo o perímetro da amostra.

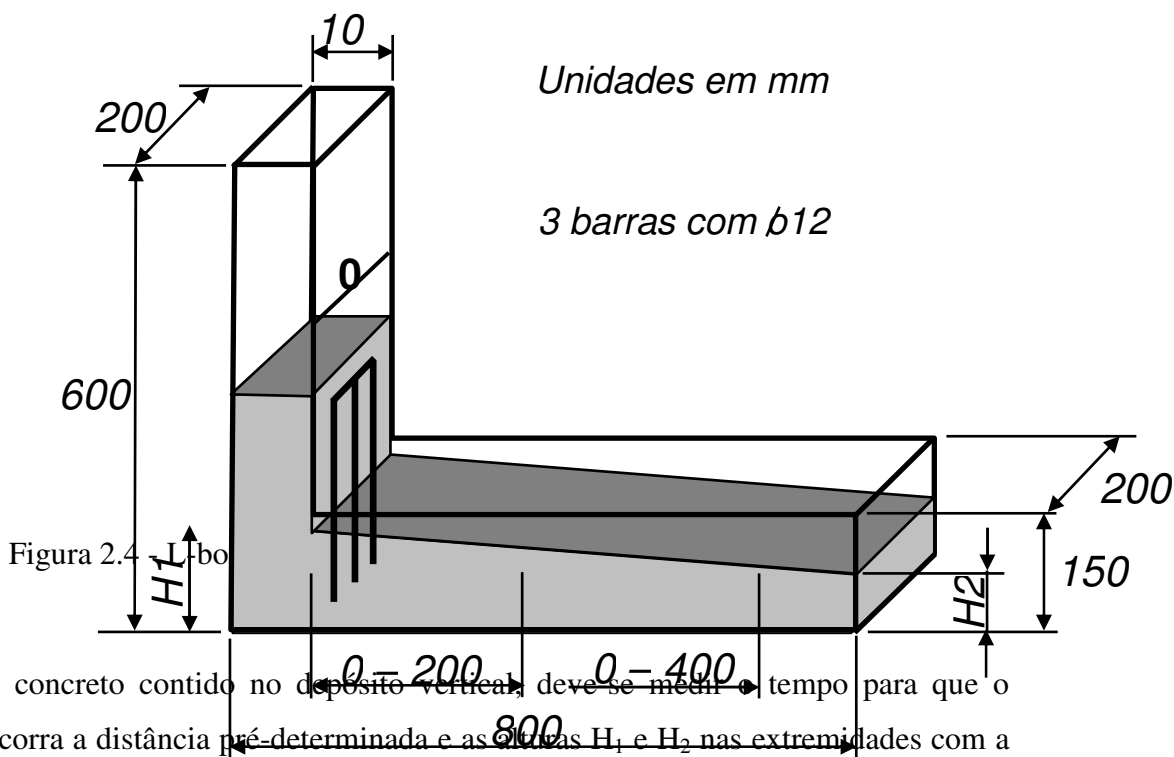
O tempo para que o concreto atinja um diâmetro de 500 mm é definido pelo tempo de escoamento (T_{50}), e seus valores devem estar no limite apresentado na Tabela 2.1. Esse tempo de escoamento (T_{50}) está diretamente relacionado com a viscosidade do concreto, enquanto que o D_F com a tensão de escoamento (SEDRAN; DE LARRARD, 1999).

2.2.2 CAIXA EM L

No ensaio com a caixa em L define-se a capacidade do CAA em ultrapassar obstáculos, mais precisamente barras de aço e foi recomendado pelo EFNARC em 2005. É um aparato bastante conhecido no meio técnico e permite determinar valores que qualificam a

dificuldade de ultrapassar obstáculos e a fluidez. As primeiras aplicações deste tipo de ensaios foram feitas em 1996 por Petersson (RAVINDRA *et al.*, 2004).

O aparato conforme representado na Figura 2.4, consiste em uma caixa em L com um depósito vertical e um canal horizontal. Entre essas duas partes existe uma comporta e em seguida, barras de aço com uma distribuição pré-determinada. Essa distribuição e o tipo de barras são definidas pela dimensão máxima do agregado ($D_{máx}$) e pelas condições reais onde o concreto será aplicado. A distância entre as barras são normalmente de três vezes o diâmetro do agregado graúdo (GOMES, 2002).



Liberando o concreto contido no depósito vertical, deve-se medir o tempo para que o concreto percorra a distância pré-determinada e as alturas H_1 e H_2 nas extremidades com a massa já em repouso. A razão H_2/H_1 define o coeficiente RB (resistência de bloqueio), que deverá ser superior a 0,80 (EFNARC, 2005; GOMES, 2002). Valores abaixo de 0,80 somente podem ser aceitos pelas particularidades de cada aplicação do CAA.

2.2.3 U-BOX

Segundo Ravindra *et al.*, (2004) este ensaio foi proposto por Hayakawa *et al.*, em 1993, e tem a finalidade principal de avaliar a capacidade do CAA em ultrapassar aberturas estreitas e a facilidade para ocupar toda a fôrma utilizando apenas seu peso próprio.

Este aparato consiste em um recipiente dividido em três partes, sendo duas verticais e outra horizontal, o que forma uma peça única no formato de um “U”, conforme a Figura 2.5. Na horizontal colocam-se as barras de aço, de acordo com a situação real a qual o CAA será aplicado (RAVINDRA *et. al.*, 2004 apud SKARENDAHL; PETERSSON, 2000). Querendo simplesmente analisar o concreto, EFNARC (2005) e Uomoto e Ozawa (1999), recomendam utilizar três barras de 13 mm de diâmetro separadas por 35 mm. Outra opção seria utilizar cinco barras de 10 mm de diâmetro mantendo os 35 mm entre as barras, o que é recomendado para peças de concreto com taxas de armaduras superiores 350 kg/m^3 , conforme as normas japonesas (RAVINDRA *et. al.*, 2004 apud SKARENDAHL; PETERSSON, 2000).

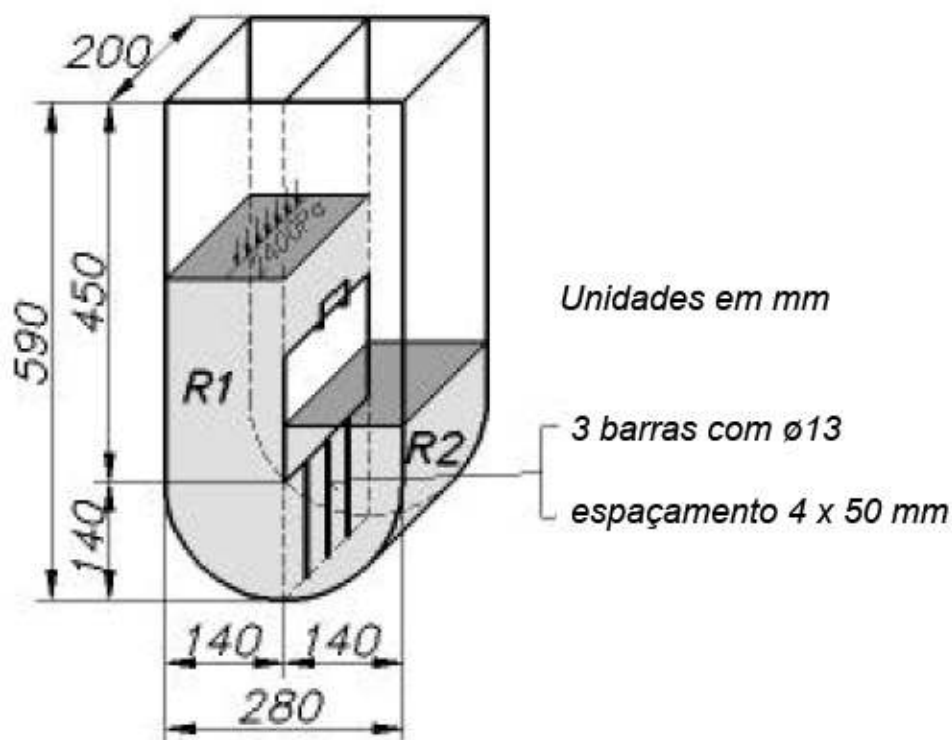


Figura 2.5 - U-box com dimensões recomendadas pelo EFNARC
(fonte: EFNARC, 2005)

Uma das partes verticais servirá de depósito de CAA, que será liberado para fluir pela parte horizontal com as barras de aço. Esta parte horizontal deve ter um lado construído com uma chapa de acrílico, para a análise final do CAA lançado.

A análise consiste em observar a presença de segregação. Na outra parte vertical deve-se medir a altura final que o CAA atingiu H_2 e a razão entre a altura da parte de depósito H_1 e H_2 define o coeficiente de bloqueio, conforme a equação abaixo:

$$RS = \frac{H_1}{H_2}$$

Observando ainda que o tempo do início do escoamento tenha que ser superior a 3 s e o CAA tem que estabilizar em no máximo 5 minutos.

2.3 MÉTODOS DE DOSAGENS

2.3.1 OKAMURA (1993)

Em 1995 com a diminuição da quantidade de mão-de-obra qualificada na construção civil e a necessidade de produzir estruturas de concreto com maior durabilidade, Okamura desenvolveu um método de dosagem baseado em seus estudos iniciados em 1986 (OKAMURA; OUCHI, 2003).

Neste método ele fixa a quantidade de agregado graúdo em 50% do volume total de sólidos da mistura e a quantidade de agregado miúdo em 40% do volume da argamassa.

Na Figura 2.6 estão ilustradas as composições da dosagem de um concreto convencional (CC) em comparação a um CAA sugerido por Okamura em 1988 (OKAMURA; OUCHI, 2003). Nota-se que a diferença entre ambas está no volume de finos (cinza volante, sílica ativa, metacaulin, fíler e outros).

CAA	a	água	finos	agregado miúdo	agregado graúdo
	r				
CC	a	água	cimen- to	agregado miúdo	agregado graúdo
	r				

Figura 2.6 - Comparação das dosagens de CC e CAA
(fonte: OKAMURA; OUCHI, 2003)

O ajuste da dosagem é realizado em dois parâmetros: na quantidade de superplastificante e nas baixas relações água/finos. A relação água/finos é dada em volume e assume valores entre 0,9 a 1,0 dependendo das características dos agregados, enquanto a dosagem de superplastificante é obtida através de tentativas até alcançar as propriedades do concreto fresco pretendidas (OKAMURA; OUCHI, 2003).

Para controle deste método de dosagem, Okamura sugere a aplicação dos ensaios *U-box*, *V-funnel* e *slump flow* para verificar se o concreto da estrutura a ser concretada é auto-adensável. Os ensaios de *slump flow* e *V-funnel* em escala reduzida, mostrados na Figura 2.7 e Figura 2.8 respectivamente, devem ser repetidos caso a mistura necessite de correções.

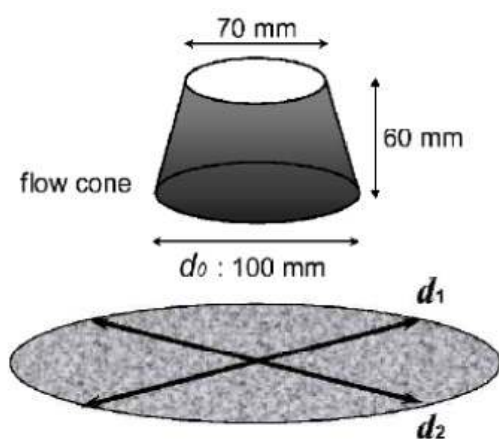


Figura 2.7 - *Slump flow* para argamassas
(fonte: OKAMURA; UCHI, 2003)

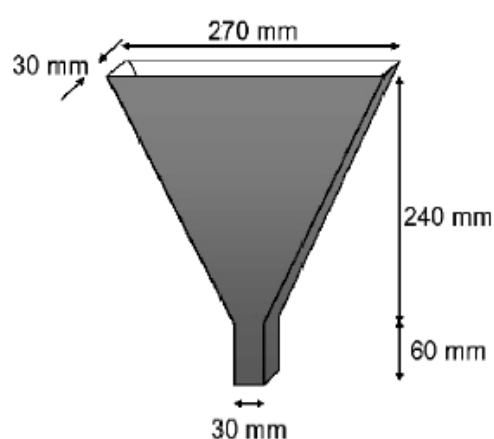


Figura 2.8 - *V-funnel* para argamassas
(fonte: OKAMURA; OUCHI, 2003)

2.3.2 GOMES (2002)

Na atual demanda do mercado da construção, onde os cronogramas das obras são apertados e a mão-de-obra de qualidade é escassa, as exigências das normas são mais rigorosas em virtude de mais segurança e melhor qualidade das estruturas de concreto. Tendo em vista ainda a busca em construir edifícios maiores com menor peso-próprio, Gomes em 2002 propôs um método de dosagem para o CAA de alta resistência, denominado de CADAR, que pode suprir a maioria ou todas as necessidades citadas.

Este método consiste na divisão e otimização da composição da pasta e do esqueleto granular dos agregados e fixa uma resistência 50 MPa aos 7 dias para que o CAA seja considerado de alta resistência. As definições relacionadas ao concreto de alta resistência são baseadas nas pesquisas anteriores realizadas por De Larrard em 1992 e Toralles-Carbonari *et al.*, em 1996 (GOMES, 2002). Gomes também define os seguintes parâmetros como necessários:

- Otimizar as relações superplastificante/cimento (sp/c) e finos/cimento (f/c) para que o CAA tenha maior fluidez possível e boa coesão;
- Determinar um esqueleto granular com menor vazio possível;
- Determinar uma pasta que atenda aos requisitos de CAA no estado fresco, como capacidade de preenchimento das fôrmas, capacidade de passar obstáculos, resistência à segregação e resistência à compressão no estado endurecido.

Quanto ao esqueleto granular, para ser considerado adequado é necessário que se atinja a maior densidade seca sem compactação numa relação entre o agregado miúdo e o agregado graúdo e menor índice de vazios possível (GOMES, 2002).

A Figura 2.9 descreve o diagrama do método de dosagem proposto por Gomes para a produção do CADAR.

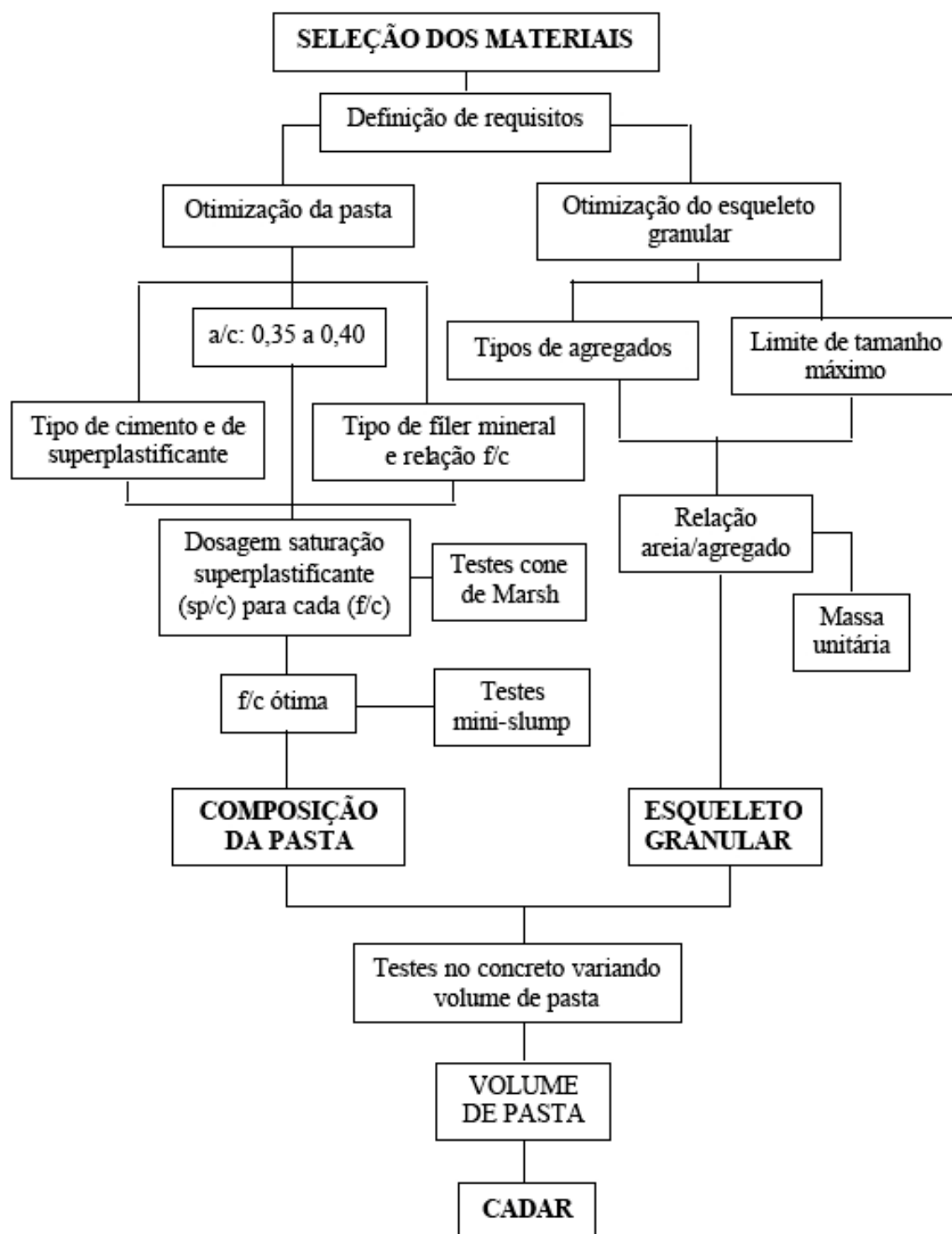


Figura 2.9 - Diagrama do método de dosagem de Gomes
(fonte: LISBOA, 2004)

A composição da pasta é feita com cimento, água, superplastificante, pozolanas e filler (material inerte), a relação a/c é fixada entre 0,35 e 0,40, conforme resistência e durabilidade desejada. A relação sf/c (sílica ativa/cimento) é fixa em 0,1 em relação a massa do cimento, enquanto que as relações sp/c e f/c são determinadas em relação às propriedades do concreto no estado fresco.

Para definição do ponto de saturação do superplastificante (sp/c) e a quantidade de finos (f/c), Gomes sugere dois tipos de ensaio, o teste com o cone de Marsh, ilustrado na Figura 2.10, e o *mini slump*, ilustrado na Figura 2.11. O ponto de saturação é aquele onde um acréscimo de aditivo não representa nenhuma melhoria na fluidez do concreto (GOMES, 2002).

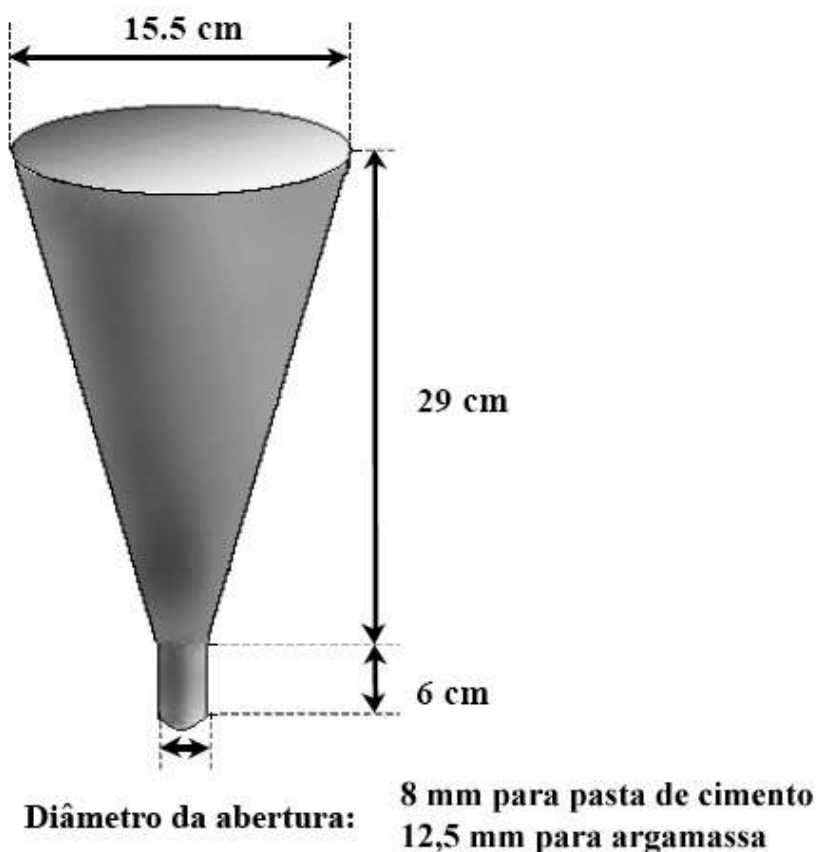


Figura 2.10 - Dimensões do cone de *Marsh*
(fonte: GOMES, 2002)

Gomes definiu seu estudo para determinação do ponto de saturação com valores obtidos em ensaios com a pasta de cimento, onde a abertura do diâmetro do cone de Marsh é de 8 mm. O procedimento segue orientações da EN 445 (Norma Européia – Grautes para bainhas de protendidos. Métodos de Ensaio, 1996) e consiste em determinar o tempo em que 500 ml de pasta percorre o funil a partir dos 1000 ml iniciais no ensaio (GOMES, 2002).

O ensaio com o *mini slump* consiste em se obter dois valores, o diâmetro final e o tempo em que a pasta leva para atingir 115 mm de diâmetro, denominado T_{115} . Com as relações de superplastificante determinadas anteriormente para percentagens de finos diferentes, a que tiver valores de diâmetro igual a 180 ± 10 mm e T_{115} entre 2 e 3,5 segundos será a relação escolhida de f/c e sp/s (GOMES, 2002).

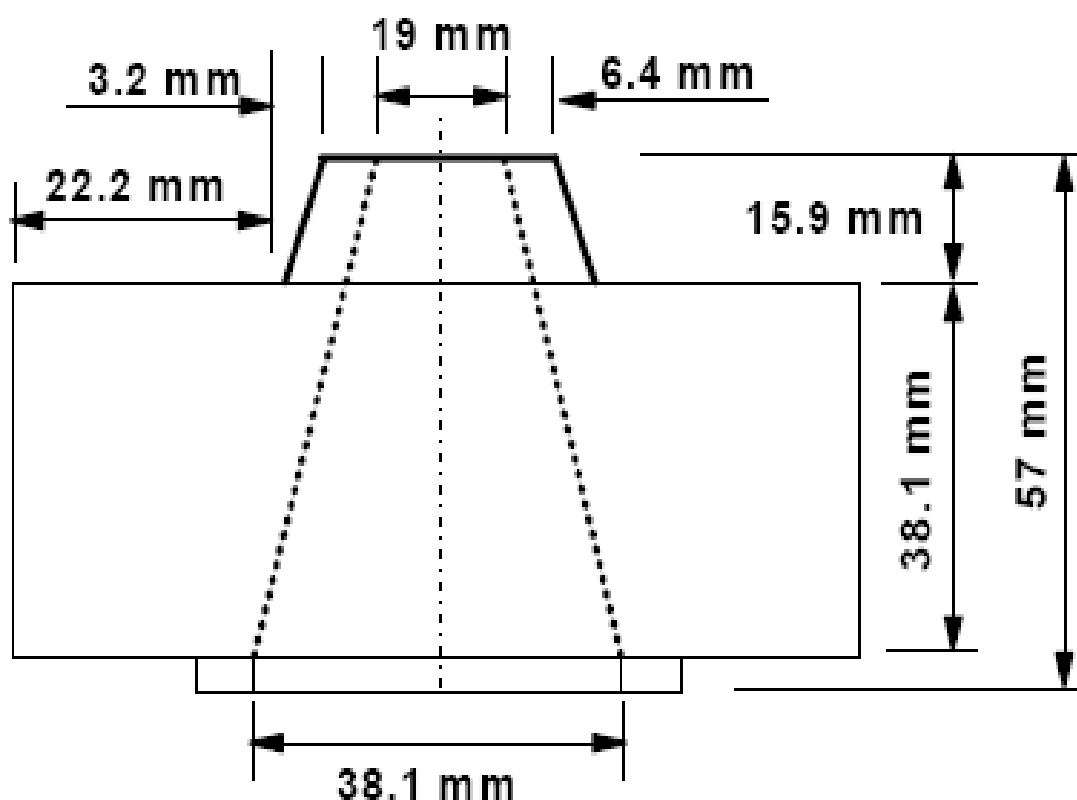


Figura 2.11 - Aparato do mini slump
(fonte: GOMES, 2002)

O quarto parâmetro a se determinar é o volume de pasta, cujo valor mínimo é o volume do índice de vazios determinado na formação do esqueleto granular descrito anteriormente e o valor desejado é aquele onde o concreto preencha toda a fôrma e ultrapasse todos os obstáculos (armaduras de aços, embutidos, etc.) contidos na(s) peça(s) a ser concretada(s).

2.3.3 TUTIKIAN (2004)

O objetivo principal do método proposto por Tutikian, baseado no método IPT/EPUSP para concretos convencionais, é desenvolver um método de dosagem que atenda aos requisitos necessários para a produção do CAA em qualquer região do Brasil, ou seja, independente do local da obra, utilizar os materiais disponíveis na região e no caso mais extremo trazer de fora um dos componentes necessários (TUTIKIAN, 2004).

Juntamente com esse objetivo vem a tentativa de proporcionar a todos os construtores uma alternativa na hora de decidir qual concreto utilizar em sua obra.

Outra opção na escolha do concreto a ser utilizado está na opção de estudo da composição da argamassa rica em finos. A possibilidade de utilização de resíduos de diversas indústrias, como os pozolânicos (cinza de casca de arroz, sílica ativa, metacaulim, escória alto forno e outros), ou não pozolânicos (cerâmica moída, fíler calcário e outros) desde que tenham uma área superficial maior do que a dos elementos que estão substituindo (TUTIKIAN, 2004).

O método IPT/EPUSP consiste em montar um modelo de comportamento conforme a Figura 2.12.

Através da trabalhabilidade determina a relação a/c, a quantidade de agregado (m), o consumo de cimento por m³ de concreto e a resistência do concreto.

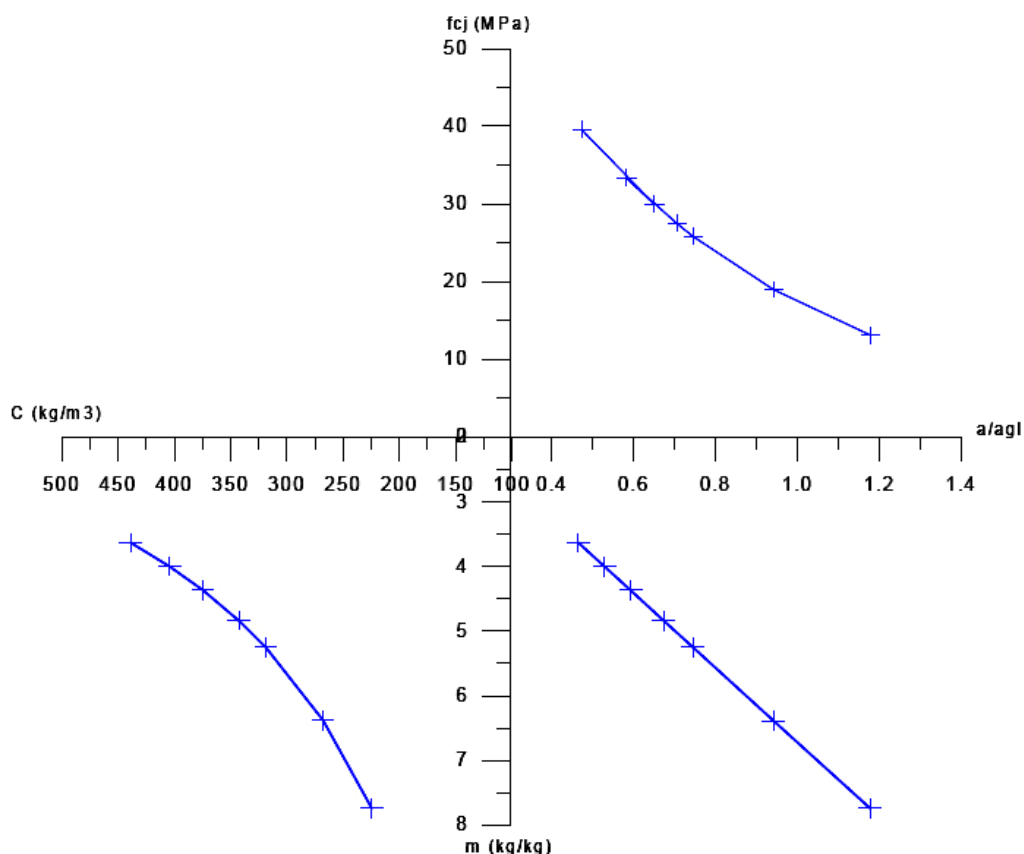


Figura 2.12 - Modelo de comportamento
(fonte: TUTIKIAN, 2004)

O método do IPT/EPUSP leva em consideração no estudo de dosagem quatro materiais: cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo. A determinação da quantidade certa é a maior dificuldade na montagem do modelo de comportamento (HELENE; TERZIAN, 1992) e quando este método é estendido para o CAA são adicionados mais dois componentes: finos e aditivos (TUTIKIAN, 2004). A Figura 2.13 mostra um resumo das etapas para a montagem de uma dosagem de CAA sugerida por Tutikian (2004).

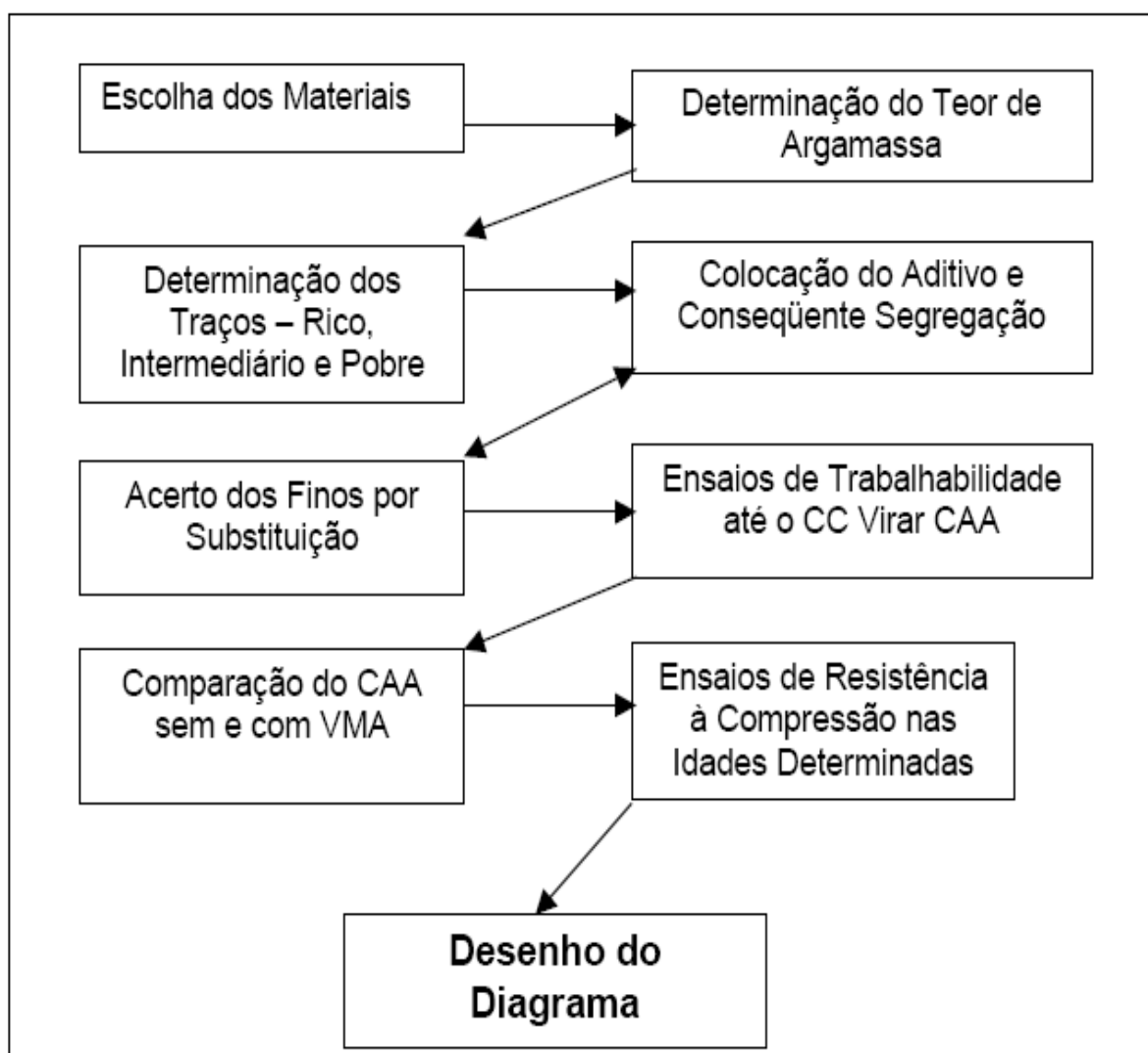


Figura 2.13 - Passo-a-passo para dosagem do CAA
(fonte: TUTIKIAN, 2004)

Segundo Tutikian (2004), na escolha do agregado graúdo deve-se limitar a $D_{\text{máx}}$ a 20 mm e no máximo a um terço do espaçamento das barras de aço da estrutura a ser concretada com CAA. Em modo geral deve-se optar por materiais abundantes na região e é vantajoso que o responsável pela dosagem já tenha um conhecimento de dosagens anteriores.

Na definição do teor de argamassa, determinado pela equação abaixo e apresentada pelo método IPT/EPUSP, deve optar-se pelo volume que preencha os vazios deixados pelo agregado graúdo para que o CAA seja viável economicamente e diminua as chances de manifestações patológicas. Nesta etapa não se faz uso de aditivos.

$$\alpha = \frac{(1 + a)}{(1 + m)}$$

onde:

α = teor de argamassa seca, deve ser constante para uma situação, em kg/kg;

a = relação agregado miúdo seco / cimento em massa, em kg/kg;

m = relação agregados secos / cimento em massa, em kg/kg.

Em seguida são executados os três traços básicos para determinação do diagrama de dosagem (Figura 2.12), o rico, o intermediário e o pobre. Com o diagrama montado o próximo objetivo é determinar o teor ideal de aditivo em relação a massa de cimento. Este valor é definido visualmente até que o concreto esteja bem fluido sem levar em conta a segregação do concreto.

Tutikian recomenda iniciar os estudos com teor de aditivo de 0,30%, e posteriormente a adição de finos. Quando os finos são pozolânicos, eles substituem o cimento no caso contrário substituem o agregado miúdo. Este fato é devido aos componentes pozolânicos reagirem com o Ca(OH)_2 composto químico lixiviável proveniente da hidratação do cimento, melhorando a durabilidade do concreto (TUTIKIAN, 2004).

O ponto ideal da adição de finos é definido nos ensaios de trabalhabilidade (descritos na seção 2.2 - Ensaios). A coesão do concreto deve ser definida também pela adição de finos, quando não for possível deve-se utilizar aditivos modificadores de viscosidade (VMA), mas deve ser evitado o uso dos VMA, pois influi diretamente na viabilidade econômica do CAA.

CAPÍTULO 3

CONCRETO PARA LANÇAMENTO SUBAQUÁTICO

3.1 INTRODUÇÃO

Considerando a necessidade cada vez maior da utilização de concretos para aplicação subaquática, principalmente para reparos das estruturas, e esses reparos serem realizados em alguns casos em uma profundidade superior a 30 m, tem sido realizadas pesquisas cada vez mais específicas com concretagens subaquáticas, em vez de utilizar somente os conhecimentos de profissionais com experiência na área.

Em estudo realizado, pela empresa Falcão Bauer, para recuperação dos pilares da ponte do rio Tietê com concretagem subaquática, foi determinado um *slump flow* para o concreto subaquático na faixa de 525 mm, indicando a necessidade de estudos com aditivos de ação coesiva (antiwashout), superplastificantes e incorporadores de ar (BAUER *et. al.*, 1997).

Para Khayat (1996) em estudo publicado no ACI Materials Journal, concretos com aditivos de ação coesiva e relações a/c situada abaixo de 0,45 provocam formação de grandes poros capilares e partículas não hidratadas de cimento, causando perdas de resistência à compressão uniaxial e de resistência à flexão, sendo a relação a/c ideal entre 0,45 e 0,60.

Em caso de reparos de pequeno porte, deve-se utilizar uma tremonha com posição inclinada (KHAYAT *et al.*, 1993a) o que reduz a velocidade de lançamento, diminuindo a possibilidade de segregação do concreto.

Em um estudo realizado para reparos em estruturas submersas (KHAYAT *et al.*, 1993) foram realizados testes com concreto auto-adensável (*slump flow* entre 279 e 711 mm) e concreto subaquático (com aditivos coesivos e *slump flow* entre 51 e 457 mm). O concreto auto-adensável supriu as necessidades, mas houve uma significativa perda com a lixiviação do concreto em cerca de 10% em relação à sua massa inicial e uma redução na qualidade do concreto conforme alcançava maiores profundidades, enquanto que no concreto subaquático não foi observada perda significativa, mas ficou limitado a pequenas profundidades.

A utilização dos aditivos antidispersantes, segundo Khayat (1995), além de aumentar a resistência à lixiviação (a redução é da ordem de 9% para 0,5%) traz benefícios às propriedades mecânicas do concreto, elimina a exsudação e reduz o risco de segregação e sedimentação, fato também observado na aplicação de concreto subaquático nos reparos da eclusa do rio St. Lambert no Canadá (KHAYAT; GAUDREULT, 1997).

A estabilidade requerida pelo concreto fresco para lançamento subaquático depende de suas propriedades reológicas e condições de lançamento. A realização de concretagens em locais mais restritos e estreitos exige um concreto com uma maior consistência, assegurando sua ocupação total nas formas e em torno dos reparos em determinadas estruturas. Esse concreto mais consistente tende a segregar-se, ou seja, uma separação da argamassa com o agregado graúdo (KHAYAT; GUIZANI, 1997).

Com a combinação de aditivo antidispersante e superplastificante, Khayat e Yahia (1997) conseguiram uma melhoria na plasticidade do concreto. Esta combinação resulta em um ponto de equilíbrio entre plasticidade e resistência a serem obtidas.

Na construção do Terminal Portuário de Sergipe, os Engenheiros Walton Pacelli de Andrade (Furnas Centrais Elétricas S.A.) e Marcus Felipe de A. Fernandes (Construtora Norberto Odebrecht S.A), buscando solução para o fluxo exagerado de água na superfície do concreto dos tubulões e partindo da afirmação de Gerwick (ANDRADE; FERNANDES, 1990) de que para lançamento de concreto subaquático o primeiro concreto a ser lançado protege os demais em relação à água, chegaram à conclusão de que esta afirmação não é válida para todo tipo de concreto, pois esta propriedade depende das características dos mesmos quando frescos (ANDRADE; FERNANDES, 1990).

No trabalho de Graça *et al.*, (2003b), após vários estudos de dosagens para minimização do problema de lavagem do concreto, conseguiu-se uma diminuição significativa da água de mistura na dosagem, ficando comprovado a necessidade de utilização de aditivos químicos que garantam um aumento de coesão ao concreto.

Segundo Graça *et al.*, (2003b), a utilização de aditivos de ação coesiva para concretagens submetidas a pressões de água equivalente a 9 kgf/cm² é fundamental e sua eficácia foi observada na extração de testemunhos, onde o CAA de referência apresentou uma grande segregação do material fino e conseqüente quebra dos testemunhos, fato não observado nos concretos com aditivos coesivos.

Na recuperação das guias de stop-logs da UHE Porto Colômbia, realizada por Furnas em 2000, considerando a plasticidade, a aderência e a resistência à compressão uniaxial como propriedades fundamentais, chegou-se à conclusão que o concreto com relação 1:3 (cimento:agregado) e relação a/c de 0,517 é eficiente para profundidades de até 20 m (GRAÇA *et al.*, 2003b).

Posteriormente, com o intuito de conhecer melhor este tipo de concreto, Furnas realizou testes com esta mesma dosagem na UHE Funil, mas na profundidade de 30 m, onde o concreto produziu resultado satisfatório, mas com aumento da lixiviação de sua massa, evidenciando a necessidade de estudos posteriores para realizações de concretagens com profundidades superiores a 30 m.

3.2 DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO SUBMERSAS

Segundo ACI Guide 546 (2006), a deterioração das estruturas de concreto submersas ocorre normalmente devido às condições ambientais agressivas, e os reparos nessas estruturas demandam concretos especiais compostos de materiais específicos que atribuem características de boa plasticidade e coesão para manter o concreto com boa trabalhabilidade e evitando a sua lixiviação. Sistemas especiais de lançamento e profissionais experientes são primordiais para o sucesso da execução dos reparos. Na Figura 3.1 é apresentado um pilar exposto à marés com deterioração avançada.



Figura 3.1 - Pilar exposto à mares
(fonte: ACI Guide 546)

O ACI Guide 546 faz as seguintes recomendações iniciais para que o reparo seja executado com sucesso aumentando ao máximo a vida útil da estrutura sem a necessidade de novas intervenções:

- Avaliar detalhadamente a situação atual da estrutura;
- Coletar dados da concretagem da estrutura;
- Histórico de avaliações e reparos anteriores;
- Determinar a causa da deterioração.

Na Figura 3.2 podemos observar um pilar com a armadura totalmente exposta devido ao desgaste erosivo do concreto.



Figura 3.2 - Pilar com deterioração avançada
(fonte: ACI Guide 546)

3.2.1 PRINCIPAIS CAUSAS DA DETERIORAÇÃO

3.2.1.1 DETERIORAÇÃO QUÍMICA

Os organismos marinhos conhecidos como *pholads* presentes em águas marinhas quentes como no golfo Pérsico, aderem ao concreto e quando conseguem penetrar atacam as rochas calcárias dissolvendo as mesmas, esta deterioração ocorre até em concretos densos considerados impermeáveis (ACI Guide 546, 2006).

Em águas contaminadas por ácidos normalmente provenientes de resíduos químicos de indústrias, provocam no concreto uma deterioração proveniente da reação do ácido com a

pasta de cimento Portland, diminuindo a alcalinidade no concreto e desequilibrando seus produtos de hidratação (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Outro ataque devido a substancias dissolvidas na água é o por sulfetos, formados por magnésio, potássio, cálcio ou sódio. O ataque ocorre na reação entre os íons do sulfeto e o cimento Portland formando compostos sólidos, que provocam a expansão do concreto aumentando a pressão interna. Formando no concreto um fenômeno conhecido como lascamento (ACI Guide 546, 2006).

O ataque por íons de magnésio ocorre pela reação deste íon com o silicato de cálcio hidratado, substituindo o cálcio pelo íon de magnésio diminuindo as propriedades do cimento Portland (ACI Guide 546, 2006).

O fenômeno conhecido como água-mole ou seja, água com pouca concentração de minerais, pode filtrar o cálcio presente na pasta de cimento ou no agregado. É comum em águas com correntes pequenas onde nunca é alcançado o equilíbrio químico (ACI Guide 546, 2006).

A reação entre agregados com sílica em sua constituição mineralógica, com os álcalis do cimento na presença de água gera produtos sólidos que numa fase inicial ocupa os vazios no concreto e em uma segunda fase, esses produtos ocasionam uma pressão interna e conseqüentemente fissuras no concreto devido ao aumento de volume (ACI Guide 546, 2006).

A corrosão do aço dentro das estruturas de concreto é o fenômeno causado pela permeabilidade, quando a água entra em contato com o aço na presença de oxigênio e uma diferença de potencial (ddp) formando as células de corrosão (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Nas usinas hidrelétricas as guias que direciona a comporta em sua abertura e fechamento são feitas de aço e presas ao concreto produzindo uma interface que com o passar do tempo devido aos esforços mecânicos produzidos pela movimentação da comporta aumentam sua permeabilidade iniciando ou acelerando o processo de corrosão (GRAÇA *et al.*, 2003b).

3.2.1.2 DETERIORAÇÃO MECÂNICA

Em rios e mares onde existe o trânsito de embarcações de médio e grande porte em uma eventual colisão dessas embarcações com uma estrutura de concreto, normalmente um pilar ou um píer de um porto, pode resultar em rachaduras na estrutura de concreto

iniciando ou acelerando os ataques por agentes biológicos e químicos. Essas rachaduras também podem ocorrer devido a recalques de fundação ou eventos sísmicos (ACI Guide 546, 2006).

EROSÃO

Segundo Mehta e Monteiro (2008) é o desgaste superficial da estrutura de concreto causado pela suspensão de sólidas (areia, rochas e detritos) na água, principalmente em galerias de esgoto. Em climas frios o gelo é o principal agente de erosão (ACI GUIDE 546, 2006). Para Neville (1994) a qualidade do concreto para resistir a erosão é determinada pelo ensaio de resistência à compressão e pela composição da mistura, onde concretos com agregados maiores são mais resistentes a erosão para o mesmo consumo de cimento.

CAVITAÇÃO

A cavitação ocorre em fluxos de água não lineares a velocidades acima de 12 m/s e 7m/s em condutos fechados (METHA; MONTEIRO, 2008). O fenômeno é devido à implosão de pequenas bolhas em contato com a superfície da estrutura de concreto, essas bolhas são formadas pela variação de pressão no movimento da água. Em um primeiro momento a superfície do concreto se torna áspera e como o fenômeno é cíclico a deterioração vai se tornando cada vez mais severa (ACI GUIDE 546, 2006).

Segundo Neville (1994), estruturas sujeitas a cavitação tem que serem construídas com concretos de alta resistência e com fôrmas absorventes, que retirem pequenas quantidades da água de amassamento reduzindo a relação água/cimento tornando a superfície da estrutura mais resistente.

CONGELAMENTO E DESCONGELAMENTO

Segundo Neville (1994), as causas de deterioração do concreto endurecido pela ação do congelamento podem ser relacionadas à complexa microestrutura do material; mas também às condições específicas do ambiente. Assim, um concreto que é resistente ao congelamento, sobre uma certa condição gelo-degelo, pode ser destruído sob uma condição diferente.

As estruturas mais afetadas com esse fenômeno são: pavimentos de concreto, muros de arrimo, tabuleiro de pontes e dormentes de ferrovias. O maior dano é a fissuração e destacamento do concreto causado pela expansão progressiva da matriz da pasta de cimento por repetidos ciclos gelo-degelo. Lajes de concreto expostas ao congelamento e

degelo na presença de umidade e produtos químicos para degelo são suscetíveis a descascamento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A incorporação de ar tem provado ser uma maneira efetiva de reduzir o risco de danos ao concreto pela ação do congelamento (NEVILLE, 1994).

3.3 PROCESSO DE LANÇAMENTO

Segundo Khayat *et al.*, (1993), a maior preocupação no lançamento é manter o fluxo de concreto contínuo para evitar a segregação e formação de camadas no próprio concreto criando uma estrutura não monolítica. Salles (1996) também faz o alerta para o fluxo de lançamento contínuo e relata que para consegui-lo é fundamental produzir o concreto no local de lançamento, além de um dispositivo para depósito do concreto. A ponta do tubo de lançamento (tremonha) deve estar sempre imersa no concreto (FARAGE, 2000b).

O processo de lançamento para concretagens de novas estruturas normalmente é realizado através de tremonhas com diâmetro de 200 mm feitas de tubos de aço ou PVC rígido, posicionadas verticalmente. A quantidade depende da extensão da estrutura a ser concretada e disposta a 2 m uma da outra, podendo chegar a no máximo 2,5 m. Para manutenção do fluxo contínuo é necessária a utilização de uma bomba de lançamento de concreto (SALLES, 1996; KHAYAT *et al.*, 1993; FARAGE, 2000b).

Quando a concretagem tem a finalidade de realizar reparos, o ideal é colocar as tremonhas inclinadas e utilizar tubos com diâmetros menores, aproximadamente 100 mm, e no local do reparo sempre utilizar fôrmas para diminuir a lixiviação e lançamento de concreto fora do local previsto, pois a água ficará turva dificultando o trabalho dos mergulhadores (KHAYAT *et al.*, 1993; ACI COMMITTEE 546, 2006)

3.4 SIMULADOR DE LANÇAMENTO

O equipamento para simulação de concretagem submersa a grandes profundidades foi desenvolvido no Laboratório de Concreto de FURNAS, em Goiânia, pelo técnico Guilherme Leroy sob supervisão do engenheiro Walton Pacelli de Andrade. Seu desenvolvimento ocorreu em duas etapas. Na primeira foi utilizada uma fôrma cilíndrica e na segunda uma fôrma prismática.

3.4.1 FÔRMA CILÍNDRICA

Na etapa inicial foram utilizadas duas campânulas separadas por um tubo com uma válvula para isolamento. Na parte superior foi instalada uma válvula para inserção do oxigênio para submeter pressão no concreto e um manômetro para controle da mesma. Na parte inferior foi instalada uma válvula de drenagem (“ladrão”), para escoamento da água, conforme ilustração na Figura 3.3.

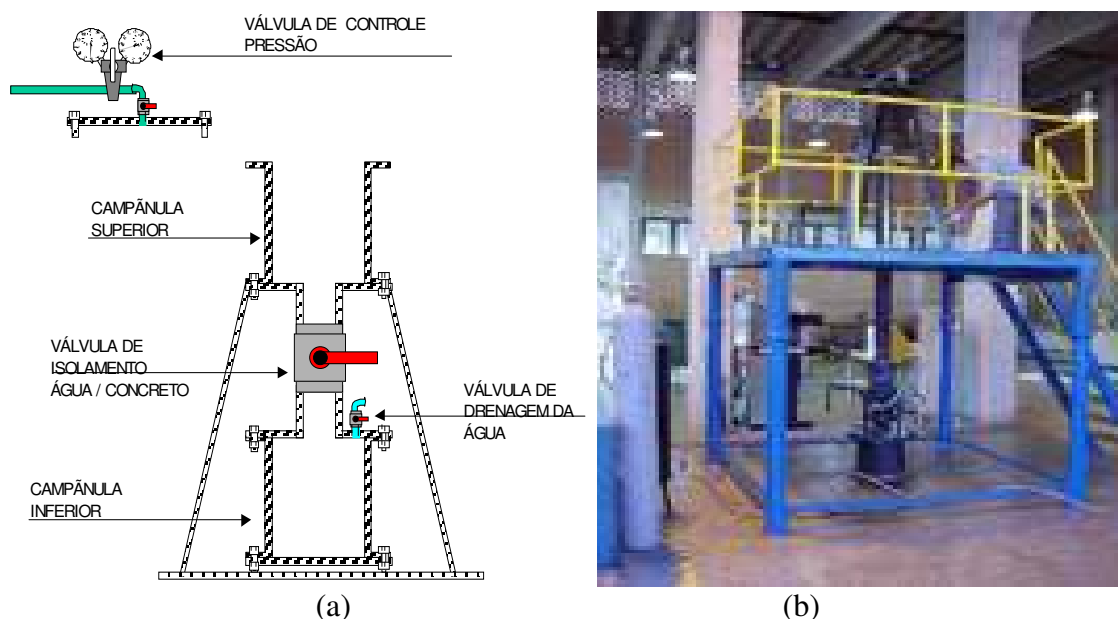


Figura 3.3 - Desenho esquemático do simulador (a) e simulador (b)
(fonte: GRAÇA, 2003b)

O procedimento de concretagem consistia em encher a campânula inferior com água, fechar a válvula de isolamento e, em seguida, preencher a campânula superior com concreto. Após aplicação da pressão desejada, a válvula de isolamento era aberta e o concreto escoava para parte inferior expulsando a água pela válvula de drenagem, conforme observado nas Figura 3.4 a Figura 3.6.

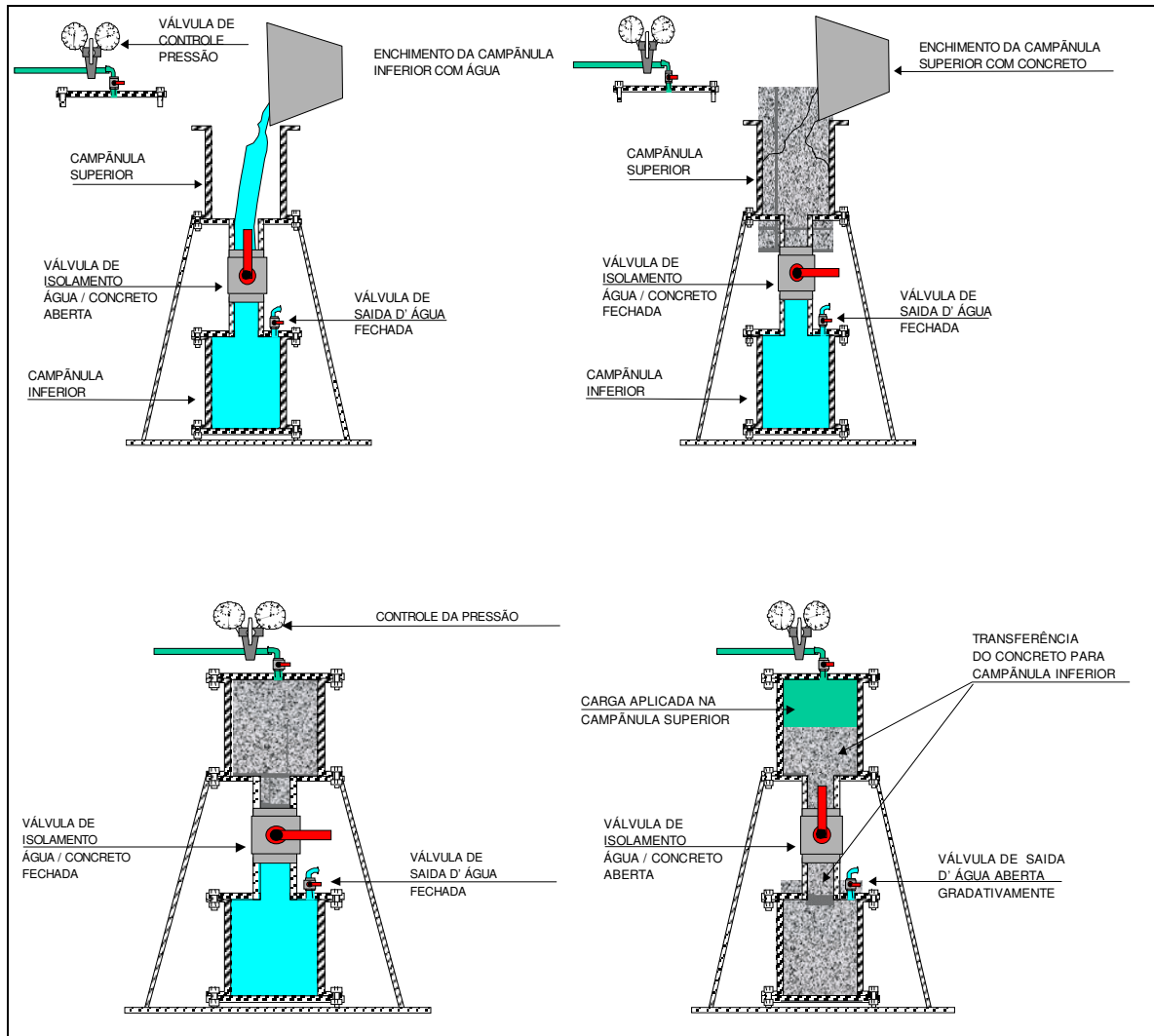


Figura 3.4 - Esquema de concretagem submersa sob pressão
(fonte: GRAÇA et al., 2003b)



Figura 3.5 - Preparação da câmpula superior:
O concreto à esquerda e a pressão à direita
(fonte: GRAÇA et al., 2003b)



Figura 3.6 - Campânula inferior durante e após a simulação
Água saindo pela válvula (esq.) e aspecto do concreto no final da concretagem (dir.)
(fonte: GRAÇA et al., 2003b)

3.4.2 FÔRMA PRISMÁTICA

Segundo Graça *et al.*, (2003b), nesta segunda etapa utilizou-se a mesma idéia de mecanismo da etapa anterior, onde a principal mudança foi a campânula inferior, que passou a ser prismática e abrigar uma placa de concreto moldada em laboratório com o objetivo de se estudar a aderência do concreto para lançamento subaquático com este substrato (Figura 3.7).

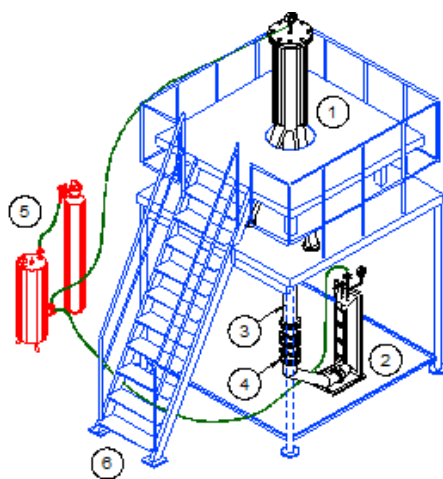


Figura 3.7 - Fôrma prismática e placa de concreto
(GRAÇA et al., 2003b)

Esta campânula também recebeu placas de acrílico na parte frontal para acompanhar a movimentação do concreto (Figura 3.8a) e a entrada do concreto passou a ser na parte inferior (Figura 3.8b), fato que segundo Graça *et al.*, (2003b), comprova a capacidade e eficiência do concreto em corresponder às expectativas desejadas. Com este equipamento realizaram-se simulações de concretagens a 90 m de profundidade com êxito.



(a)



(b)

- 1 – Campânulo superior
- 2 – Campânula inferior
- 3 – Tubulação de transporte
- 4 – Registro
- 5 – Ar comprimido e reservatório de água
- 6 – Acesso à plataforma

Figura 3.8 - Deslocamento do concreto (a) simulador em forma prismática (b)
(fonte: GRAÇA et al., 2003b)

3.5 DOSAGEM

3.5.1 Dosagens Aplicadas

No final da década de 80 foi construído o Terminal Portuário de Sergipe, onde a execução das fundações da ponte de acesso (com extensão de 1200 metros) consistia na cravação de camisas metálicas e posterior concretagem submersa preenchendo essas camisas. Foram realizados vários testes de dosagens, onde a composição final está descrita na Tabela 3.1 (ANDRADE; FERNANDES, 1990).

Tabela 3.1 - Composição do concreto no Terminal Portuário de Sergipe.

Materiais		kg/m ³
Cimento	CP 32 Pozolânico	468,00
Agregado miúdo	Areia natural	644,00
Agregado graúdo 1	Brita 12,5 mm	356,00
Agregado graúdo 2	Brita 25 mm	534,00
Água		215,00
Aditivo 1	Plastificante (l)	2,106
Aditivo 2	Incorporador de ar (l)	0,374
Relação a/c (água/cimento)		0,46

Fonte: Andrade e Fernandes (1990)

Na recuperação da tomada d'água da UHE Barra Bonita, localizada no estado de São Paulo, utilizou-se o concreto para lançamento subaquático pela primeira vez pela CESP (Companhia Energética de São Paulo). Segundo Salles (1996), o objetivo era produzir um concreto com boa homogeneidade, resistência adequada ao concreto já existente (com valores ligeiramente mais altos ao concreto existente), coesão e o fator economia.

A coesão era o fator mais crítico, pois na época não existia aditivos antidispersantes e pouquíssimas literaturas disponíveis. Para melhorar a aderência do concreto para lançamento subaquático com o substrato foi utilizada sílica ativa após os testes em laboratório onde o concreto foi lançado por um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro e 3 m de comprimento em uma caixa com água, chegando a uma dosagem final com abatimento de 200 ± 20 mm, apresentado na Tabela 3.2 (SALLES, 1996).

Tabela 3.2 - Composição do concreto – UHE Barra Bonita

Materiais		kg/m ³
Agregado graúdo	Seixo rolado D _{máx} 9,5 mm	486,00
Agregado miúdo	Areia natural	1153,00
Cimento	CPII E-32	456,30
Adição	Sílica Ativa	45,60
Água		219,00
Aditivo 1	Retardador	1,14
Aditivo 2	Superplastificante	6,84
Relação a/c (água/cimento)		0,48
Relação a/agl. (água/aglomerante)		0,44

Fonte: Salles (1996)

Uma das primeiras concretagens realizadas com aditivos antidispersantes descrita na literatura foi a construção de uma laje de reforço na Barragem de Chapéu D'Uvas, no município de Ewbanck da Câmara (MG) realizada por Furnas no ano de 1999 (FARAGE, 2000a). Esta laje foi construída em uma galeria de desvio da Tomada D'água e a dosagem utilizada está descrita na Tabela 3.3 com abatimento de 240 mm e slump-flow de 410 mm.

Tabela 3.3 - Composição do concreto para lançamento subaquático

Materiais		kg/m ³
Cimento Equivalente		484,00
Cimento	CP V-ARI	445,00
Adição	Sílica Ativa	27,00
Agregado Graúdo	Brita 9,5 mm	714,00
Agregado Miúdo	Areia Natural	873,00
Água		236,00
Aditivo 1	Retardador	1,92
Aditivo 2	Superplastificante	5,82
Aditivo 3	Antidispersante	2,18
Relação a/c (água/cimento)		0,45
Relação a/agl. (água/aglomerante)		0,38

Fonte: Farage (2000a)

Em obra complementar na UHE Marechal Mascarenhas de Moraes foi utilizado concreto para lançamento subaquático para execução de uma estrutura (FARAGE, 2000b). Os objetivos em relação a dosagem do concreto eram *slump flow* 550 mm e resistência de 20 MPa aos 90 dias. Com os objetivos alcançados a dosagem utilizada é descrita na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Composição do concreto para lançamento subaquático Farage

Materiais		kg/m ³
Cimento Equivalente		404,00
Cimento	CP III	371,00
Adição	Sílica Ativa	24,00
Agregado Graúdo	Brita 19 mm	892,00
Agregado Miúdo	Areia Natural	662,00
Água		186,00
Aditivo 1	Retardador	0,81
Aditivo 2	Superplastificante	10,07
Aditivo 3	Antidispersante	1,61
Relação a/c (água/cimento)		0,50
Relação a/agl. (água/aglomerante)		0,46

Fonte Farage/Furnas (2000b)

No desenvolvimento do equipamento para simulação de concretagens submersas, a dosagem estudada como referência foi baseada nas experiências anteriores de Furnas adequadas aos materiais da região de Goiânia (GO) e aos novos aditivos encontrados no mercado, principalmente o superplastificante de base policarboxilatos (GRAÇA *et al.*, 2003b).

O objetivo do estudo de dosagem era apresentar um concreto para lançamento subaquático que suportasse 90 m de profundidade, ou seja 9 kgf/cm².

Para definição da dosagem, conforme Tabela 3.5, foi realizado um estudo de aditivos apresentado na seção 3.6 . O ar incorporado foi de 10% e o slump-flow de 470 mm.

Tabela 3.5 - Composição do concreto para lançamento subaquático de Graça 2003

Materiais		kg/m ³
Cimento Equivalente		531,00
Cimento	CP II-F 32	488,00
Adição	Sílica Ativa	31
Agregado Graúdo	Brita 9,5 mm	756,00
Agregado Miúdo	Areia Natural	570,00
Água		222,00
Aditivo 1	Superplastificante	1,86
Aditivo 2	Superplastificante	5,31
Aditivo 3	Antidispersante	2,12
Relação a/c (água/cimento)		0,46
Relação a/agl. (água/aglomerante)		0,42

Fonte: Graça *et al.*(2003b)

3.6 ESTUDO DE ADITIVOS

Conforme descrito nos capítulos anteriores, a dosagem do CAA, independente do método de ensaio escolhido, tem que ser direcionada conforme a utilização final do concreto.

No que se refere ao concreto para lançamento subaquático, o diferencial está no aditivo antidispersante (*antiwashout*) e na obtenção do grau de saturação do superplastificante a base de policarboxilatos, conhecidos também como superplastificante de 3ª geração, denominação dada pelos fabricantes (GRAÇA *et al.*, 2003a).

Enquanto Khayat *et al.*, (1993) fixaram a percentagem de aditivo antidispersante em 10%, Furnas realizou um amplo estudo dos aditivos para o concreto para lançamento subaquático, em uma primeira fase com dois aditivos superplastificantes e em seguida com o antidispersante em função do slump-flow, os dados são indicados na Tabela 3.6, Tabela 3.7, Tabela 3.8 e Figura 3.9.

Tabela 3.6 - Grupos de variação dos aditivos

	Superplastificante Policarboxilato				
	0%	0,50%	0,80%	1,20%	1,50%
Superplastificante					
0%	GR1	GR2	GR3	GR4	GR5
0,65%	GR6	GR7	GR8	GR9	GR10
1,10%	GR11	GR12	GR13	GR14	GR15
1,60	GR16	GR17	GR18	GR19	GR20

(fonte: GRAÇA, 2003a)

Tabela 3.7 - Ar incorporado

	Superplastificante Policarboxilato				
	0%	0,50%	0,80%	1,20%	1,50%
Superplastificante					
0%	2,20	5,50	7,60	9,00	9,50
0,65%	2,5	8,50	8,00	8,50	9,00
1,10%	3,60	8,00	7,00	8,50	8,00
1,60	12,00	8,00	8,00	7,60	8,50

(fonte: GRAÇA, 2003a)

Tabela 3.8 - *Flow* para diferentes grupos (cm)

Superplastificante	Superplastificante Policarboxilato				
	0%	0,50%	0,80%	1,20%	1,50%
0%	20,00	24,00	38,00	49,00	49,00
0,65%	20,00	44,00	49,00	55,00	58,50
1,10%	21,00	41,00	50,50	55,00	54,50
1,60	38,00	50,50	59,50	58,00	59,00

(fonte: GRAÇA, 2003a)

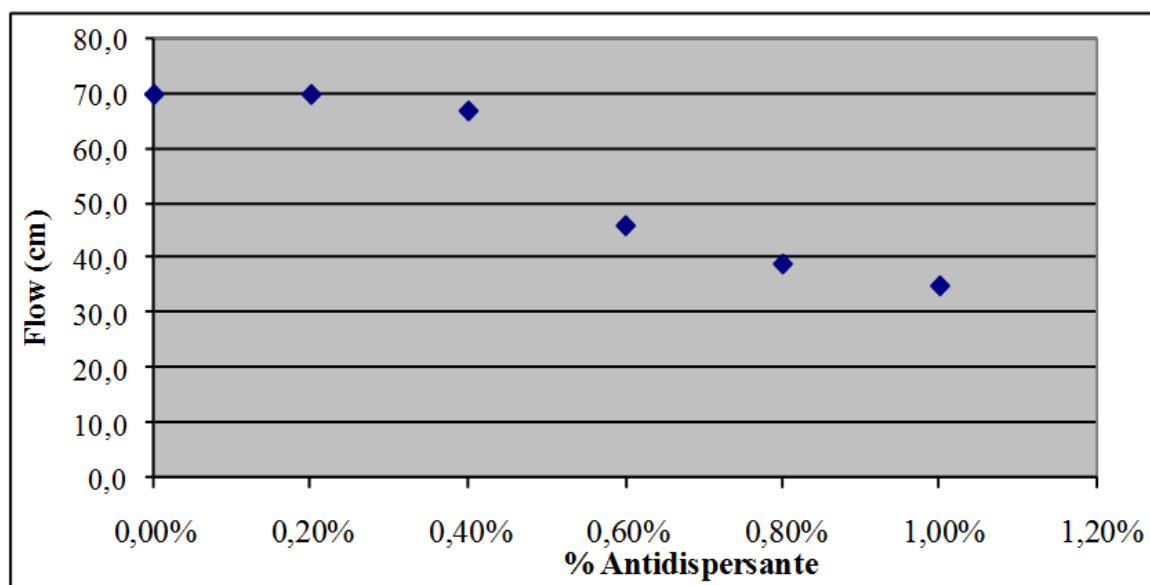


Figura 3.9 - Variação de % antidispersante nas dosagens do GR18

(fonte: GRAÇA, 2003a)

O grupo escolhido foi o que atendeu a premissa de 8% de ar incorporado e resistências acima de 30 MPa aos 28 dias, sendo assim a dosagem final ficou da seguinte forma:

- Antidispersante: 0,4%;
- Superplastificante (melanina): 1,6%;
- Superplastificante (policarboxilato): 0,8%.

CAPÍTULO 4

PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 INTRODUÇÃO

A análise mecânica e visual da interface formada entre um concreto antigo (substrato) e um concreto auto-adensável com resistência a lixiviação em contato com a água, denominado concreto para lançamento subaquático, é o objetivo principal deste trabalho. O concreto para lançamento subaquático possui resistência a lixiviação devido a uma dosagem rica em finos (coesa) e pela presença de aditivos modificadores de viscosidade conhecidos como VMA, que são polímeros derivados da celulose e acrílico (LACHEMI *et al.*, 2003).

O trabalho aqui apresentado é a continuação da pesquisa realizada pelo Laboratório de Concreto de Furnas descrita em Graça *et al.*, (2003a, 2003b e 2004), onde foi desenvolvido um concreto para simulações submersas em até 90 m de profundidade. Neste trabalho, utilizou-se substratos reais da usina hidroelétrica de Itumbiara (GO) e materiais para a produção do concreto para lançamento subaquático da região de Uberlândia (MG).

4.2 METODOLOGIA

A metodologia empregada para o estudo da ligação do concreto para lançamento subaquático com o concreto antigo foi a simulação, em laboratório, de um reparo de uma estrutura de barragem, mediante uma concretagem submersa com concreto auto-adensável, utilizando-se uma tremonha simplificada com uma coluna d'água de 50 cm.

As variáveis utilizadas para o estudo da interface foram a resistência à compressão diametral e o contato entre o substrato e o concreto novo. Foi realizada a comparação entre as resistências à compressão diametral de testemunhos extraídos das peças reparadas e

corpos-de-prova do concreto auto-adensável utilizado. A interface entre o concreto novo e o antigo foi analisado de forma visual com a utilização de uma lupa e câmeras com alta resolução.

Os procedimentos adotados para produção dos corpos-de-prova foram os seguintes:

- em moldes prismáticos de 150x150x500 mm, foram colocados blocos irregulares de concreto obtidos na Usina Hidrelétrica de Itumbiara (GO), construída no final da década de 70, apresentados na Figura 4.3, os quais foram usados como substratos;
- foi ajustado o traço do concreto auto-adensável utilizado por Graça *et al.*, (2003b) para os materiais disponíveis na cidade de Uberlândia;
- foram realizadas concretagens submersas inicialmente nas faces fraturadas e posteriormente nas faces lisas (escarificadas e limpas);
- após a cura submersa, foram extraídos testemunhos obtendo amostras das juntas, com idade de um ano;
- a análise da ligação do concreto auto-adensável com o substrato foi realizada mediante resultados dos ensaios de tração na compressão diametral (NBR7222/94) e análise visual.

4.3 MATERIAIS CONSTITUINTES

Para composição da dosagem, baseada na descrita por Graça *et al.*, (2003b), foram utilizados materiais comercializados na região de Uberlândia e os aditivos do mesmo fabricante utilizado por Graça *et al.* (2003b). A granulometria do agregado graúdo é apresentada na Tabela 4.1, e foi feita de acordo com o estabelecido na NBR NM 248 (ABNT, 2003c). Para estes ensaios, a amostra foi coletada conforme a NBR NM 26 (ABNT, 2001b).

Tabela 4.1 - Granulometria do agregado graúdo

Peneiras		1ª determinação			2ª determinação			% ret. acumul. média	Limites da NBR 7211		
No	mm	Massa retida (g)	% retida indiv.	% retida acumul.	Massa retida (g)	% retida indiv.	% retida acumul.		% retida acumulada		
1/2"	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0		
3/8"	9,5	181,0	12,1	12,7	132,6	8,8	8,8	10,5	0	-	10
4	4,8	1105,9	75,1	87,1	993,9	66,3	75,1	80,5	80	-	100
8	2,4	169,4	11,3	98,4	271,2	18,1	93,2	95,1	95	-	100
16	1,2	11	0,4	98,8	48,6	3,2	96,4	97,1			
30	0,6	3	0,1	98,9	16,8	1,1	97,5	98,1			
50	0,3	1,9	0,1	99,0	8,4	0,6	98,1	98,8			
100	0,15	2,6	0,2	99,2	16,2	1,1	99,2	98,8			
Fundo (g)		25,2	0,9	100	12,3	0,8	100	100			
Massa total (g)		1500,0			1500,0						
Módulo de finura		5,87			5,68						

Módulo de finura médio: 5,77

Foram utilizados dois tipos de areia, ambas naturais e lavada. O motivo de usar dois tipos diferentes, uma fina e a outra média-fina, foi simplesmente para ajustar a granulometria para atender ao módulo de finura do material de referencia, que foi de 2,13 (Graça *et al.*, 2003b).

Tabela 4.2 - Granulometria do agregado miúdo – Areia 1

Peneiras		1ª determinação			2ª determinação			% ret. Acumul. médio	Limites da NBR 7211
No	mm	Massa retida (g)	% retida indiv.	% retida acumul.	Massa retida (g)	% retida indiv.	% retida acumul.		% retida acumulada
3/8"	9,5	0	0	0	0	0	0	0	0
1/4"	6,3	3,9	0,4	0,4	1,3	0,1	0,1	0,3	0 - 17
4	4,8	31,2	3,1	3,5	40,9	4,1	4,2	3,9	0 - 10
8	2,4	134,4	13,4	16,9	146,3	14,6	18,8	17,9	0 - 15
16	1,2	205,7	20,6	37,5	206,7	20,7	39,5	38,5	0 - 25
30	0,6	270,1	27,0	64,5	268,8	26,9	66,4	65,5	21 - 40
50	0,3	227,9	22,8	87,3	220,2	22,0	88,4	87,9	60 - 88
100	0,15	105,6	10,6	97,9	95,7	9,6	98,0	97,9	90 - 100
Fundo (g)		21,2	2,1	100	20,1	2,01	100	100	
Massa total (g)		1000,00			1000,0				
Mód. de finura		3,08			3,15				

Módulo de finura médio: 3,12

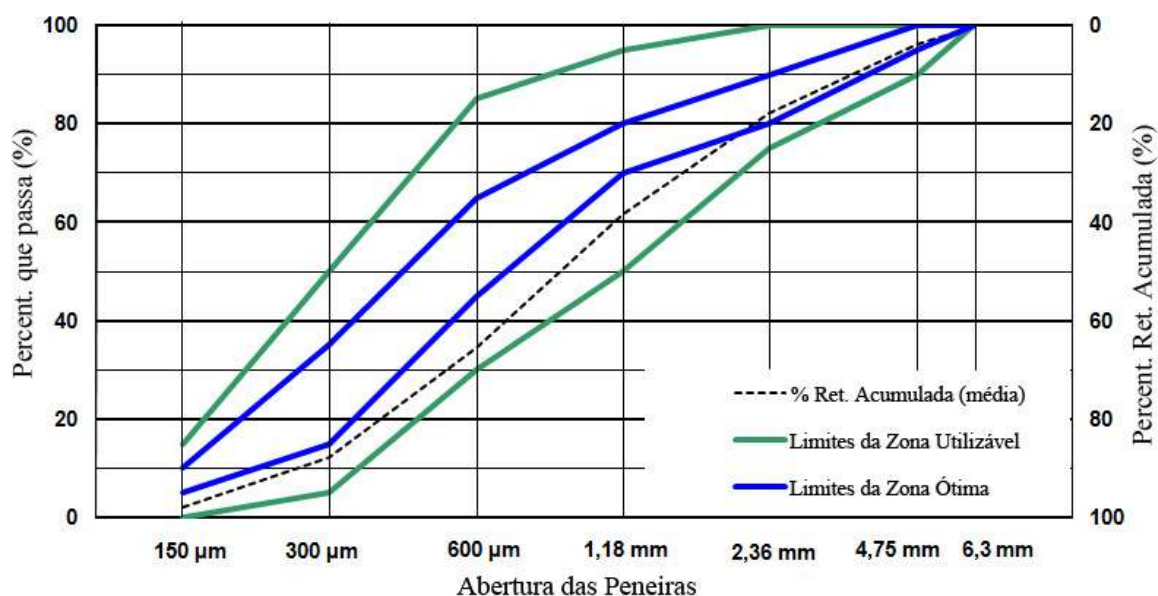


Figura 4.1 - Curva granulométrica da Areia 1

Tabela 4.3 - Granulometria do agregado miúdo – Areia 2

Peneiras		1ª determinação			2ª determinação			% ret. acumulado médio	Limites da NBR 7211
Nº	mm	Massa retida (g)	% retida indiv.	% retida acumul.	Massa retida (g)	% retida indiv.	% retida acumul.		% retida acumulada
3/8"	9,5	0	0	0	0	0	0	0	0
1/4"	6,3	0	0	0	0	0	0	0	0 - 17
4	4,8	3,1	0,3	0,3	2,4	0,2	0,2	0,3	0 - 10
8	2,4	9,3	0,9	1,2	5,6	0,6	0,8	1,0	0 - 15
16	1,2	9,8	1,0	2,2	8,6	0,9	1,7	1,9	0 - 25
30	0,6	47,4	4,7	7,0	51,7	5,2	6,8	6,9	21 - 40
50	0,3	303,7	30,4	37,3	354,7	35,5	42,3	39,8	60 - 88
100	0,15	534,2	53,4	90,7	463,4	46,3	88,6	89,7	90 - 100
Fundo (g)		92,5	9,3	100	113,6	11,34	100	100	
Massa total (g)		1000,0			1000,0				
Mód. de finura		1,39			1,41				

Módulo de finura médio: 1.40

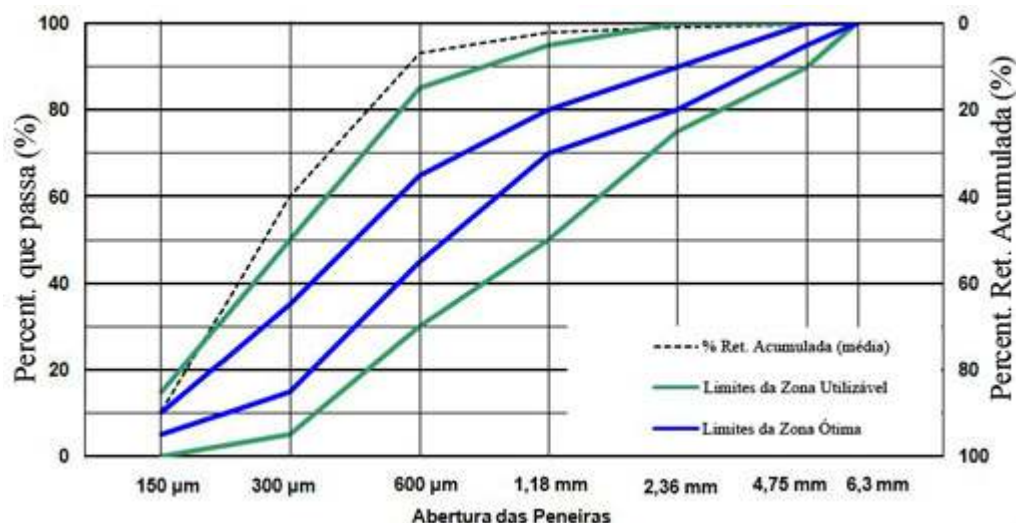


Figura 4.2 - Curva granulométrica da Areia 2

4.4 DOSAGEM

A dosagem de referência foi a definida pela pesquisa realizada por Furnas (GRAÇA *et al.*, 2003b) e adequada aos materiais disponíveis na região da cidade de Uberlândia (MG). A dosagem de referência é apresentada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Dosagem de Referência de Furnas

Traço em massa 1:2,5					
Dados de Composição	Cimento CP II-F				488,00
	Adição - Sílica				31,00
	Cimento equiv.				531,23
	Água				222,00
	Areia Natural				570,00
	Brita 9,5mm				756,00
	Relação a/c				0,42
	Superplastificante (carboxilatos)				5,31
	Superplastificante (melanina)				1,86
	Antidispersante				2,12
	Módulo de Finura				4,24
Propriedades do Concreto Fresco	Flow (mm)				470,00
	Ar incorporado (%)				10,00
	Massa Específica (kg/m³)				2082,00
	Temperatura (°C)				25,00
Resistência à compressão (MPa)	3	dias	3,50		
	7		25,20	20,20 (C.S)	
	28		37,70	34,60 (C.S)	45,80 (C.P)

Obs.: C.S – Cura Submersa, C.P – Cura Sob Pressão.

(fonte: GRAÇA *et al.*, 2003b)

4.5 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras de concreto a serem utilizadas como substrato foram obtidas na reparação da Usina Hidrelétrica de Itumbiara (GO), em 2007. Detalhes são ilustrados na Figura 4.3. A quantidade foi limitada, fato que impediu a realização de ensaios para determinar sua resistência mecânica.

Não foram informados os detalhes das amostras como: dosagem do concreto, resistência de projeto, local ou tipo de qual estrutura e idade.



Figura 4.3 - Amostras de concretos extraídas da UHE Itumbiara.

Como observado na Figura 4.3, as amostras possuem duas faces bem distintas, uma fraturada e outra lisa, proveniente de uma estrutura com face exposta ao ambiente.

Foram realizadas concretagens nas duas faces, na fraturada e na lisa, previamente escarificadas, escovadas e limpada, conforme procedimentos em Graça *et al.*, (2003b).

A Figura 4.4 ilustra como foi realizada a concretagem, na face fraturada (superior) em um processo nomeado de concretagem de primeira fase, e na face lisa, concretagem de segunda fase (no mínimo 7 dias após a de primeira fase).

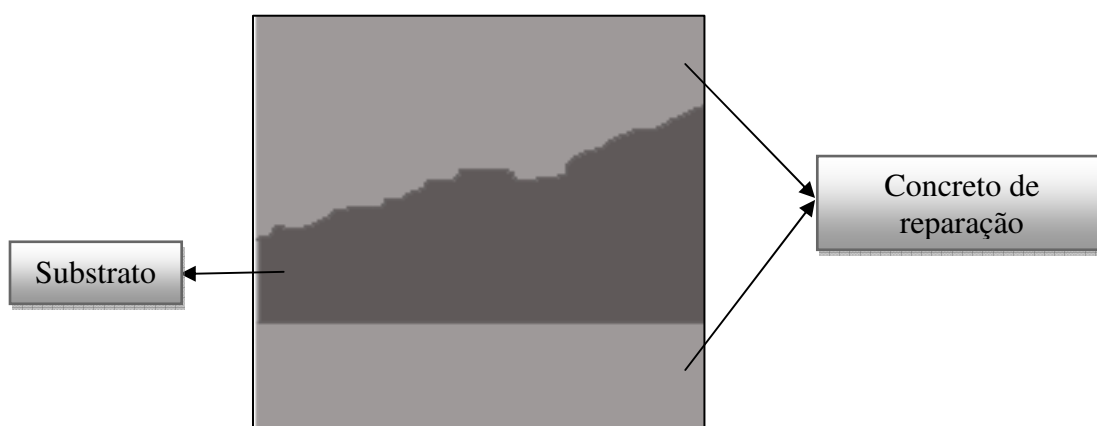


Figura 4.4 - Posição do reparo de concreto submerso ao substrato

Em seguida foram extraídos testemunhos em ambas direções, horizontal e vertical, obtendo amostras com juntas definidas conforme ilustração na Figura 4.5.

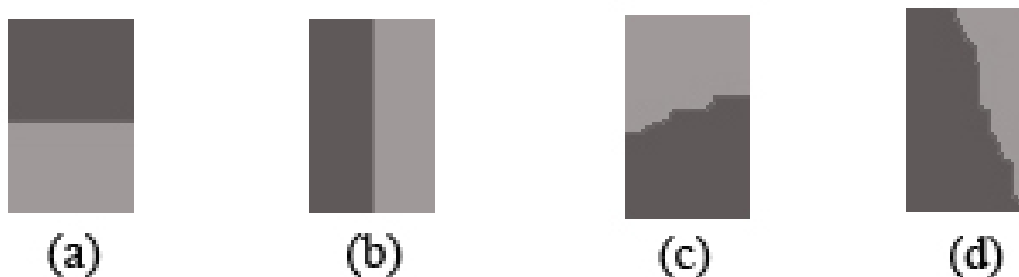


Figura 4.5 - Plano de extração de testemunhos
(a) vertical com junta reta, (b) horizontal com junta reta,
(c) vertical com junta inclinada e (d) horizontal com junta inclinada.

4.6 CONCRETAGEM DAS AMOSTRAS

Para a simulação da concretagem submersa foi utilizado um tanque de acrílico, o qual permitiu visualizar lateralmente o processo de concretagem, com dimensões de 92 x 400 x 95 cm (largura x comprimento x altura) com uma coluna de água de 50 cm sobre a região concretada, conforme Figura 4.6.



Figura 4.6 - Tanque em acrílico com os moldes posicionados para concretagem

Em todas as amostras foram realizadas duas concretagens. A primeira concretagem foi realizada nas superfícies fraturadas das amostras visando a obtenção de testemunhos com junta inclinada. Após o endurecimento do concreto, foi realizada a segunda concretagem nas partes planas das amostras, que permitiu a obtenção dos testemunhos para ensaio de compressão diametral.

As duas concretagens em cada amostra foram realizadas em três etapas. Na primeira etapa foi concretada uma amostra em uma fôrma prismática (150 x 150 x 500 mm), não submersa, com o concreto definido no primeiro ajuste de traço, com o agregado miúdo composto com 50% da Areia 1 e 50% da Areia 2. Na Figura 4.7 está ilustrado o posicionamento da amostra na fôrma prismática e o aspecto do concreto após a moldagem fora d'água.



Figura 4.7 - Amostras de concreto antes da concretagem (esq.), após concretagem (dir.).

Na segunda concretagem, foram ajustadas as percentagens das areias a fim de se obter uma melhor consistência medida pelo *slump-flow*, observado na foto à esquerda da Figura 4.8, que resultou em um concreto com a aparência apresentada na foto à direita da Figura 4.8.



Figura 4.8 - Aspecto do concreto e slump flow

Nesta etapa foram concretados submersos quatro prismas, sendo três com as amostras com as faces fraturadas voltadas para a concretagem para obtenção de juntas inclinadas e o prisma concretado na primeira etapa agora com a face plana da amostra voltada para a concretagem. A amostra com a face plana foi fixada na fôrma prismática de forma que a parte concretada ficasse com 10 cm de espessura, conforme a Figura 4.9.



Figura 4.9 - Amostra de concreto preparada para concretagem da face lisa

Após a colocação das amostras nas fôrmas prismáticas, elas foram inseridas no tanque de acrílico para realização da concretagem submersa conforme Figura 4.10.



Figura 4.10 - Amostras do substrato preparadas para a segunda etapa de concretagem.

A concretagem foi feita sob uma coluna d'água de 50 cm, com auxílio de um tubo de PVC de 75 mm (Figura 4.11), simulando o lançamento por tremonha, evitando contato do concreto direto com a água para diminuir a lixiviação do mesmo.



Figura 4.11 - Lançamento do concreto com tubo de 75 mm

4.7 EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS

A extração dos testemunhos foi executada conforme a NBR7680 (ABNT, 2007). Foram obtido testemunhos de 50 mm, 75 mm e 100 mm de diâmetro, conforme a Figura 4.12.



Figura 4.12 - Testemunhos e prisma de concreto

A identificação foi realizada conforme a Figura 4.13, de modo que se identifique o bloco e a situação da posição do testemunho na amostra. Pegando como exemplo o testemunho “D-C1AM-I”, os significados estão na Tabela 4.5, as demais condições estão na Tabela 4.6.

Tabela 4.5 - Exemplo da nomenclatura dos testemunhos

D	Bloco D (4°)
C1	Concreto submerso de primeira fase
AM	Substrato (usina hidrelétrica)
I	Junta inclinada

Tabela 4.6 - Descrição dos códigos usados nos testemunhos

Código	Testemunho
A-CS-H	Somente concreto submerso extraído horizontalmente
A-C2AM-H	Concreto submerso de segunda fase com substrato “liso” extraído horizontalmente
A-C1AM-I	Concreto submerso de primeira fase com substrato formando uma interface inclinada
D-C1C2-H	Concreto submerso de primeira e segunda fase extraído horizontalmente



Figura 4.13 - Identificação dos testemunhos

A quantidade de testemunhos, assim como o bloco de origem, a posição de extração e seus respectivos diâmetros estão na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Testemunhos extraídos por bloco

Elementos	Dimensões (mm)	Quantidade	Código
Bloco A (CP II)			
Concreto submerso	50 x 100	5	A-CS-H
Concreto submerso	75 x 150	1	A-CS-H
Concreto - substrato horizontal	100 x 200	1	A-C2AM-H
Concreto - substrato inclinado	75 x 150	1	A-C1AM-I
Total		8	
Bloco B (CP II)			
Concreto submerso	50 x 100	4	B-CS-H
Concreto - substrato horizontal	75 x 150	2	B-C2AM-H
Concreto - substrato inclinado	100 x 200	2	B-C1AM-I
Total		8	
Bloco C (CP II)			
Concreto submerso	50 x 100	2	C-CS-H
Concreto submerso	75 x 150	3	C-CS-H
Concreto - substrato horizontal	100 x 200	1	C-C2AM-H
Concreto - substrato inclinado	50 x 100	2	C-C1AM-I
Total		8	
Bloco D (CP II)			
Concreto submerso	50 x 100	5	D-CS-H
Concreto submerso - submerso	75 x 150	1	D-C1C2-H
Concreto - substrato horizontal	100 x 200	2	D-C2AM-H
Concreto - substrato inclinado	75 x 150	1	D-C1AM-I
Total		9	
Bloco E (CP V)			
Concreto submerso	50 x 100	2	E-CS-H
Concreto - substrato horizontal	75 x 150	1	E-C2AM-H
Concreto - substrato horizontal	100 x 200	1	E-C2AM-H
Concreto - substrato inclinado	100 x 200	1	E-C1AM-I
Concreto - substrato inclinado	75 x 150	1	E-C1AM-I
Total		6	

4.8 ANÁLISE DA INTERFACE

Após o ensaio de tração na compressão diametral foi realizada uma inspeção visual na seção de ruptura, com o objetivo de caracterizar o concreto submerso quanto a quantidade de vazios e possíveis fissuras. Nas Figura 4.14 à Figura 4.16 esta um exemplo de cada situação de extração e de um corpo-de-prova.



Figura 4.14 - Testemunho com junta horizontal entre concreto e substrato (C2AM-H)



Figura 4.15 - Testemunho com junta horizontal entre concretos submersos (C1C2-H)



Figura 4.16 - Corpo-de-prova de concreto submerso

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 AJUSTE DA DOSAGEM

A primeira dosagem produzida no laboratório da Universidade Federal de Uberlândia teve como objetivo analisar o comportamento do concreto para lançamento subaquático em suas propriedades no estado fresco (*slump-flow* e aspecto visual). Esta dosagem foi realizada sem a correção do módulo de finura dos agregados miúdos, utilizando a percentagem de 50% para cada areia e os resultados estão na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Dosagem experimental

Dosagem		Referência
Traço em massa 1: 2,5		
Dados de Composição	Cimento CP II-F	488,00
	Adição	31,00
	Água	222,00
	Areia Natural Fina (Areia 1)	285,00
	Areia Natural Média (Areia 2)	285,00
	Brita 9,5mm	756,00
	Relação a/c	0,42
	Superplastificante (carboxilatos)	5,31
	Superplastificante (melanina)	1,86
	Antidispersante	2,12
Propriedades do Concreto Fresco	Flow (mm)	412,00
	Ar incorporado (%)	---
	Massa Específica (kg/m³)	---
	Temperatura (°C)	26,2

Obs.: Não foi determinado o ar incorporado e a massa específica por falta do aparelho que estava para manutenção.

Na dosagem experimental ficou evidenciado a necessidade da correção pelo módulo de finura dos agregados, apesar do concreto aparentar boa fluidez e coesão, conforme a Figura 4.8. Essa necessidade foi devido ao *slump flow* de 412 mm.

Após a correção, o concreto alcançou os resultados esperados, como boa fluidez, trabalhabilidade e coesão. Na Tabela 5.2 esta descrita a dosagem final para o preparo do concreto e estudos da ligação do concreto subaquático com o substrato.

Tabela 5.2 - Dosagem de estudo

Dosagem		Referência
Traço em massa 1: 2,5		
Dados de Composição	Cimento CP II-F	488,00
	Adição	31,00
	Água	222,00
	Areia Natural Fina (Areia 1)	319,20
	Areia Natural Média (Areia 2)	250,80
	Brita 9,5mm	756,00
	Relação a/c	0,42
	Superplastificante (carboxilatos)	5,31
	Superplastificante (melanina)	1,86
	Antidispersante	2,12
Propriedades do Concreto Fresco	Flow (mm)	455,00
	Ar incorporado (%)	8
	Massa Específica (kg/m ³)	2229
	Temperatura (°C)	26,2

5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Na Tabela 5.3 constam os valores da resistência à compressão dos corpos-de-prova produzidos com cimento CP II 32F com um ano de idade.

Tabela 5.3 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova

(idade = um ano)

Amostra	Característica		d	h	Força (kgf)	Tensão (MPa)
CP II	100 x 200	1	10,00	20,00	40601,00	50,70
CP II	100 x 200	2	10,00	20,00	41422,00	51,72
CP II	100 x 200	3	10,00	20,00	34541,00	43,13
CP II	100 x 200	4	10,00	20,00	34802,00	43,45
Média						47,25

Na Tabela 5.4 são apresentados os valores de resistência à compressão dos testemunhos compostos somente de concreto submerso produzidos com cimento CP II F-32 com um ano de idade. Os valores obtidos para os testemunhos de 75 mm de diâmetro foram superiores aos de 50 mm e para ambos os diâmetros a variabilidade foi baixa. Foi observado o aumento da resistência conforme diâmetro, para os testemunhos de 50 mm de diâmetro a média de resistência à compressão foi de 50,62 MPa e nos testemunhos de 75 mm foi de 61,56 MPa, uma diferença de 21,6%.

Tabela 5.4 - Resistência à compressão dos testemunhos de concreto submerso
(idade = um ano)

Amostra	Característica		d	h	Força (kgf)	Tensão (MPa)
Concreto submerso	50 x 100	A-CS-H	4,97	11,45	9781,00	49,54
Concreto submerso	50 x 100	A-CS-H	4,96	11,61	8364,00	42,45
Concreto submerso	50 x 100	B-CS-H	4,98	9,77	11000,00	55,49
Concreto submerso	50 x 100	B-CS-H	4,96	9,75	10234,00	51,94
Concreto submerso	50 x 100	B-CS-H	4,99	10,89	10023,00	50,26
Concreto submerso	50 x 100	B-CS-H	4,96	11,63	9123,00	46,30
Concreto submerso	50 x 100	C-CS-H	4,97	11,43	9635,00	48,80
Concreto submerso	50 x 100	D-CS-H	4,97	9,28	10431,00	52,73
Concreto submerso	50 x 100	D-CS-H	4,97	10,11	10706,00	54,12
Concreto submerso	50 x 100	D-CS-H	4,94	10,41	11418,00	58,42
Concreto submerso	50 x 100	D-CS-H	4,96	10,35	9218,00	46,78
Concreto submerso	75 x 150	C-CS-H	7,54	15,90	27811,51	61,16
Concreto submerso	75 x 150	C-CS-H	7,53	14,65	27835,00	61,38
Concreto submerso	75 x 150	D-CS-H	7,55	15,92	28338,67	62,13

Na Tabela 5.5 contam os valores de resistência à compressão dos testemunhos com juntas produzidos com cimento CP II com um ano de idade. Pode-se notar a alta variabilidade dos

valores devido ao percentual do volume do substrato em relação ao total do testemunho, bem como da inclinação da junta.

Tabela 5.5 - Resistência à compressão dos testemunhos de concreto submerso com juntas (idade = um ano)

Amostra	Característica			d	h	Força (kgf)	Tensão (MPa)
Concreto - substrato inclinado	50 x 100	1	C-C1AM-I	4,97	12,79	5183,00	26,20
Concreto - substrato inclinado	50 x 100	2	C-C1AM-I	4,99	10,10	7377,00	36,99
Concreto - substrato inclinado	75 x 150	1	A-C1AM-I	7,56	15,11	15902,00	34,74
Concreto - substrato inclinado	75 x 150	1	D-C1AM-I	7,55	15,11	19543,00	42,77
Concreto - substrato inclinado	100 x 200	1	B-C1AM-I	10,04	19,98	35691,00	44,18
Concreto - substrato inclinado	100 x 200	2	B-C1AM-I	10,07	20,30	42303,00	52,09
CS-CS-H	50 x 100	1	B-C1C2-H	4,98	10,07	8023,00	40,47

Nos valores de resistência à compressão apresentados na Tabela 5.5 também foi observado o aumento da resistência conforme se aumenta o diâmetro, essa diferença é apresentada na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Aumento da resistência à compressão conforme aumento do diâmetro do testemunho

Dimensões mm	Resistência Média MPa	Diferença %
50 x 100	31,6	-
75 x 150	38,76	22,7
100 x 200	48,14	24,2

Nas figuras abaixo pode-se observar os testemunhos compostos de concreto submerso e substrato com junta inclinada após o ensaio de compressão, mostrando que as rupturas ocorreram nas juntas.



Figura 5.1 - Testemunho com substrato após o ensaio de compressão



Figura 5.2 - Testemunho com substrato após o ensaio de compressão

Os valores de resistência à compressão para os corpos-de-prova e testemunhos produzidos com cimento CP V, para a idade de um ano, estão apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Resistência à compressão dos corpos-de-prova e testemunhos produzidos com CP V

(idade = um ano)

Amostra	Característica			d	h	Força (kgf)	Tensão (MPa)
Concreto submerso	50 x 100	1	E-CS-H	4,99	10,74	12434,00	62,48
Concreto submerso	50 x 100	2	E-CS-H	4,98	10,62	12191,00	61,38
Corpo-de-prova	100 x 200	1		10,00	20,00	42022,00	52,47
Corpo-de-prova	100 x 200	2		10,00	20,00	32600,00	40,71
Concreto - substrato inclinado	75 x 150	1	E-C1AM-I	7,53	15,62	21509,00	47,37
Concreto - substrato inclinado	100 x 200	1	E-C1AM-I	10,07	20,19	40164,00	49,50

Comparando as resistências dos concretos produzidos com CP V em relação ao CP II em testemunhos com um ano de idade, em todas as situações o CP V obteve valores 22% maiores com exceção dos corpos-de-prova que o resultado foi praticamente o mesmo.

Na Tabela 5.8 consta os valores médios da resistência à compressão dos concretos aos 3 dias, 7 dias, 14 dias, 28 dias e um ano.

Tabela 5.8 - Resultados das médias de resistência à compressão em MPa

		Idade	3d	7d	14d	28d	1 ano	28d	1 ano
Concretos	Cimento	Junta	Resistência à compressão					Diametral	
Corpos-de-prova Referência	CP II	-	20,1	23,5	30,0	55,7	47,25	2,61	4,94
	CP V	-	32,9	52,4	53,4	58,2	47,51	2,31	4,60
CS	CP II		-	-	-	-	56,09	-	7,95
CS	CP V		-	-	-	-	61,93	-	-
CS-CS	CP II	vertical	-	-	-	-	40,47	-	5,31
CS-AM	CP II	horizontal	-	-	-	-	39,50	-	2,67
CS-AM	CP V	horizontal	-	-	-	-	48,43	-	3,65

Os testemunhos compostos de concreto submerso-substrato alcançaram uma resistência média à compressão de 39,50 MPa. Os corpos-de-prova uma média de 47,25 MPa, enquanto que os testemunhos concreto submerso uma média de 56,09 MPa, determinando que os testemunhos com junta alcançaram 84% da resistência dos corpos-de-prova e 70% dos testemunhos compostos somente de concreto submerso.

Analisando-se os valores para um ano, nota-se que as resistências dos corpos-de-prova com CP II e CP V foram muito próximas, porém ambas foram inferiores às dos testemunhos compostos somente de concreto auto-adensável e esses corpos-de-provas com idade de 1 anos obtiveram valores abaixo ao de 28 dias, indicando algum problema de operação da câmara úmida.

5.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

A resistência à tração na compressão diametral é obtida conforme procedimento da NBR 7222 (ABNT, 1994). O valor de resistência à tração direta é calculado sobre os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral conforme a NBR 6118 (ABNT, 2003) pode ser considerado igual a 0,9 do resultado do ensaio de tração na compressão diametral.

Os resultados dos testemunhos e dos corpos-de-prova compostos somente de concreto submerso com idade de um ano estão apresentados na Tabela 5.9. Os valores obtidos para os testemunhos com diâmetro de 50 mm foram muito superiores aos de diâmetro de 100 mm indicando que este diâmetro não previsto pela norma realmente não deve ser empregado. Para os testemunhos com 75 mm de diâmetro, apesar de serem superiores, aproximaram dos valores dos corpos-de-prova de 100 mm. Os testemunhos composto somente de concreto submerso tiveram resultados superiores em relação aos corpos-de-prova com um ano de idade, analisando a média da resistência a compressão diametral os corpos-de-prova alcançaram 62,1% do valor obtidos pelos testemunhos.

Tabela 5.9 - Corpos-de-prova e testemunhos de concreto submerso com CP II
(idade = um ano)

Amostras			d	h	Força (kgf)	Tensão (MPa)
Corpos-de-prova	100 x 200		10,13	20,02	17403,7	5,36
Corpos-de-prova	100 x 200		10,05	20,00	14542,3	4,52
Testemunho de concreto submerso	50 x 100	A-CS-H	5,00	10,39	7209,0	8,67
Testemunho de concreto submerso	50 x 100	A-CS-H	5,00	10,01	7425,0	9,27
Testemunho de concreto submerso	50 x 100	C-CS-H	4,97	10,05	6001,0	7,51
Testemunho de concreto submerso	50 x 100	D-CS-H	4,96	10,71	9346,0	10,98
Testemunho de concreto submerso	75 x 150	A-CS-H	7,52	12,39	8544,0	5,72
Testemunho de concreto submerso	75 x 150	C-CS-H	7,52	15,80	10598,0	5,57

Os testemunhos de concreto submerso com juntas planas compostos de concreto submerso-substrato e concreto submerso em ambas seções tem seus valores apresentados na Tabela 5.10 com idade de um ano. O testemunho com junta vertical (CS-CS) obteve um valor superior ao valor de referência. No mesmo grupo de testemunhos não foi observado uma tendência de variação dos valores em relação ao diâmetro dos testemunhos como observado no ensaio de resistência à compressão uniaxial.

Tabela 5.10 - Testemunhos de concreto submerso com juntas - CP II
(idade = um ano)

Amostras			d	h	Força (kgf)	Tensão (MPa)
Concreto - substrato horizontal	75 x 150	B-C2AM-H	7,55	14,98	4590,0	2,53
Concreto - substrato horizontal	75 x 150	B-C2AM-H	7,55	15,60	2890,6	1,53
Concreto submerso - submerso	75 x 150	D-C1C2-V	7,55	14,55	9345,8	5,31
Concreto - substrato horizontal	100 x 200	C-C2AM-H	10,08	19,99	10016,0	3,11
Concreto - substrato horizontal	100 x 200	A-C2AM-H	10,05	20,10	8429,6	2,61
Concreto - substrato horizontal	100 x 200	D-C2AM-H	10,05	19,97	13154,0	4,09
Concreto - substrato horizontal	100 x 200	D-C2AM-H	10,07	18,70	6509,8	2,16

Na Tabela 5.11 estão apresentados os resultados de resistência à compressão diametral dos corpos-de-prova e testemunhos produzidos com cimento CP V com um ano de idade. Os testemunhos e corpos-de-prova produzidos com cimento CP V não tiveram resultados superiores aos produzidos com CP II.

Tabela 5.11 - Corpos-de-prova e testemunhos de concreto submerso com CP V
(idade = um ano)

Amostras			d	h	FORÇA (kgf)	TENSÃO (MPa)
Concreto - substrato horizontal	75 x 150	E-C2AM-H	7,53	14,80	8784,8	4,92
Concreto - substrato horizontal	100 x 200	E-C2AM-H	10,07	20,59	7857,6	2,37
Corpos-de-prova	100 x 200		10,00	20,00	14107,0	4,40
Corpos-de-prova	100 x 200		10,00	20,00	15378,0	4,80

A amostra “D-C2AM-H” teve um resultado acima dos demais devido a sua junta não ter ficado posicionada no eixo longitudinal da amostra, fato que ocorreu por problemas na extração da amostra. A Figura 5.3 mostra o posicionamento da junta, pode ser observado a diferença nas larguras de cada metade, comprovando que a junta ficou fora da geratriz do testemunho. Pode ser observado ainda a posição do substrato no plano de ruptura.



Figura 5.3 - Testemunho de concreto submerso com junta fora do plano de aplicação da força no ensaio de compressão diametral

5.4 ANÁLISE VISUAL

Após o ensaio de tração na compressão diametral foi realizada uma inspeção visual na seção de ruptura de cada amostra ensaiada. Nos corpos-de-prova e no testemunho composto somente de concreto submerso foi feito o levantamento do número de bolhas formadas durante a produção do concreto e concretagem do bloco, como na maioria dos testemunhos houve fissuras na seção de ruptura, o número de amostras ficou limitado. Esse número de vazios corresponde a uma análise de seção, e não pode ser considerado uma característica do concreto no sentido geral. Os resultados estão na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Análise visual na seção de ruptura

Amostra	Número de bolhas	Área das bolhas	Área da seção	%
CS	29	0,52	109,80	0,48
CP1	35	0,65	202,74	0,32
CP2	38	0,98	200,93	0,49



Figura 5.4 - Análise visual na seção de ruptura de um testemunho após o ensaio da tração por compressão diametral

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1 SIMULAÇÃO DE CONCRETAGEM SUBAQUÁTICA

A utilização de tanques para a concretagem subaquática aproxima-se da concretagem real e poderá permitir a concretagem com fluxo de água. Mesmo com a lateral do tanque sendo transparente, a visibilidade durante a concretagem foi prejudicada, indicando que este também será um problema para a visibilidade dos mergulhadores que acompanharão a concretagem quando forem mudar a posição do tubo de lançamento.

Levando em consideração a diferença na mineralogia e, principalmente, a granulometria dos materiais utilizados na produção do concreto para lançamento subaquático em relação a dosagem de referência e pela utilizada neste estudo, os aditivos empregados foram eficientes, mas incorporaram uma porcentagem de ar de 10% que pode ser considerada alta e afetar a resistência. O aditivo VMA interfere diretamente no tempo de pega, impossibilitando a realização de ensaios de resistência à compressão na idade de um dia com o cimento CP V.

Os resultados do concreto no estado fresco e endurecido indicam que é totalmente viável sua produção para pequenas aplicações, principalmente se essa aplicação for um reparo em uma usina, tanques subterrâneos, elementos de fundação ou até mesmo em um pilar de uma ponte. Neste caso deve-se observar a presença de um fluxo de água direto no concreto que pode aumentar a lixiviação.

A apresentação dos passos e das dificuldades encontradas na pesquisa servirá para outros pesquisadores que se interessam pelo tema, permitindo a obtenção de um maior número de resultados que possam confirmar ou mudar as conclusões aqui obtidas.

6.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Na análise dos resultados dos testemunhos compostos de concreto submerso (sem junta) foi observado um aumento da resistência conforme o diâmetro do testemunho. Para os testemunhos de 50 mm o valor médio foi de 50,62 MPa, enquanto os testemunhos de 75 mm alcançaram 61,56 MPa. O resultado é 21,6% maior do que os de 50 mm, este fato também foi observado nos testemunhos de concreto submerso com junta onde os testemunhos de 100 mm foram 24,2% maior que os de 75 mm, e os de 75 mm foram 22,7% maior do que os de 50 mm, indicando que o diâmetro interfere diretamente nos resultados de resistência.

Nos testemunhos de concreto submerso de 50 x 100 mm, em um universo de 11 amostras com resultado médio de resistência à compressão de 50,62 MPa obteve-se um desvio padrão de 4,56 MPa e um coeficiente de variação (CV) de 9,00% dando ao concreto uma variabilidade baixa, com um valor próximo ao de obras com controle rigoroso de execução.

Os testemunhos compostos de concreto submerso e substrato de concreto (com junta inclinada) obtiveram 39,50 MPa, valor é bastante satisfatório comparando os corpos-de-prova com 47,25 MPa, o que resulta em um percentual de 84%, assim como aos valores dos testemunhos compostos apenas de concreto submerso que alcançaram 56,09 MPa.

Também pode-se concluir sobre os testemunhos compostos com substrato da usina que a ruptura sempre ocorre na junta com o concreto submerso, tornando a etapa de tratamento de superfície como crítica na execução dos reparos de estruturas. Este fato também é evidenciado no ensaio com o testemunho com junta composto de duas camadas de concreto submerso.

Comparando as resistências dos concretos produzidos com CP V em relação ao CP II em testemunhos com um ano de idade, em todas as situações o CP V obteve valores 22% maiores com exceção dos corpos-de-prova que o resultado foi praticamente o mesmo.

6.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL

Na superfície de ruptura no ensaio de tração na compressão diametral foi observada na parte que contém o substrato o preenchimento dos orifícios de apicoamento feitos no tratamento da superfície antes da concretagem, comprovando a boa aderência do concreto submerso ao substrato, lembrando que os valores de tração dessas amostras correspondem a 54% do valor de referência.

Todas as rupturas do concreto no ensaio de tração na compressão diametral ocorreram na junta conforme esperado. As duas amostras com a junta horizontal (CS-AM) e paralela a geratriz do corpo-de-prova tiveram resultados abaixo do valor de referência, conforme esperado.

Os testemunhos composto somente de concreto submerso tiveram resultados superiores em relação aos corpos-de-prova com um ano de idade, analisando a média da resistência a compressão diametral os corpos-de-prova alcançaram 62,1% do valor obtidos pelos testemunhos. Essa discrepância pode ser devido a problemas de operação da câmara úmida.

O testemunho com junta vertical (CS-CS) composto de concreto submerso em ambos os lados obteve um valor superior ao valor de referência. Fato que pode ser explicado pela condição de cura, a referência foi mantida em câmara úmida conforme a NBR 5738 (ABNT, 2008) e o testemunho submerso, ocasionando uma melhor hidratação do cimento.

Analisando os resultados de resistência à tração na compressão diametral no mesmo grupo de testemunhos não foi observado uma tendência de variação dos valores em relação ao diâmetro dos testemunhos como observado no ensaio de compressão uniaxial.

Os testemunhos e corpos-de-prova produzidos com cimento CP V não tiveram resultados superiores aos produzidos com CP II.

6.4 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

1. A principal aplicação do concreto para lançamento subaquático aqui citada é no reparo de estruturas de usinas hidrelétricas, mas outra aplicação comum seria em

reparos de pilares e blocos de fundações de pontes, onde se deve estudar até que velocidade da correnteza torna o lançamento viável, ou desenvolver processos de proteção visando reduzir o efeito da velocidade da água;

2. Embora existam métodos de dosagem para concretos auto-adensáveis, é importante desenvolver um método de dosagem para concreto para lançamento subaquático. Nesta mesma linha estudar o efeito da utilização de fibras no concreto;
3. Também se deve estudar a durabilidade do concreto submerso na presença de água com cloretos, ácidos e agentes biológicos, pois a utilização de aditivo policarboxilatos aumenta o teor de ar incorporado podendo deixar o concreto mais permeável.

REFERÊNCIAS

ALVES, EDUARDO F. ROCHA; LEROY, GUILHERME; BITTENCOURT, RUBENS M.; ANDRADE, WALTON P. *Estudo de concreto subaquático. Anais do 42º Congresso Brasileiro do Concreto*, Agosto/2000, Fortaleza, Brasil, publicado em CD, 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE *Guide to Underwater Repair of Concrete*, Reported by ACI Committee 546, November, 2006.

ANDRADE, W. P.; FERNANDES, M. F. de A. *Concretagens Submersas no Terminal Portuário de Sergipe - Problemas e Soluções*. 32ª REIBRAC Reunião Anual do IBRACON, Fortaleza, agosto de 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 18: cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001a.

_____. NBR NM 26: agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2001b.

_____. NBR NM 33: concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998a.

_____. NBR NM 52: agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. NBR NM 53: agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. NBR NM 67: concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1998b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003c.

_____. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7222: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. NBR 7680: Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

BAUER, R. J. F.; TAKASHIMA, S.; LEVY, L.; REINALD, E. *Concreto submerso de alto desempenho*. 39ª REIBRAC Reunião Anual do IBRACON, São Paulo, agosto de 1997.

EFENARC 2005 *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, Reino Unido, 2005;

EQUIPE DE FURNAS – Editor Walton Pacelli de Andrade – Concretos: Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo – Ensaios e Propriedades – Ed. Pini, São Paulo SP, 1997.

FARAGE, J. F. *Concretagem submersa da laje de reforço na galeria de desvio – Barragem de Chapéu D'uvas*. Relatório técnico. Furnas Centrais Elétricas, Goiânia, dezembro 2000a.

FARAGE, J. F. *Execução de estrutura de gravidade em concreto submerso na UHE Marechal Mascarenha de Moraes*. Relatório técnico. Furnas Centrais Elétricas, Goiânia, dezembro 2000b.

GOMES, P. C. C. *Optimization and Characterization of High-Strength Self-Compacting Concrete* - Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2002.

GOMES, P.C.C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L.; TENÓRIO, J.J.L. *Concreto auto-adensável um aliado ao desenvolvimento sustentável do concreto*. In: 45º Congresso Brasileiro do Concreto, CD-ROM, Vitória, 2003.

GOMES, P.C.C.; LISBOA E. M.; CAVALCANTI, J. H.; BARROS, A.R; BARROS, P. G. S.; LIMA, F. B.; BARBOZA, A. S. R. *Concreto Auto-Adensável:Obtenção, Propriedades e Aplicações*. IV Simpósio Internacional sobre Concretos Especiais – SINCO, Fortaleza, 2008.

GONDIM, F. L. *Estudo da Interface entre o Concreto e o Material de Reparo Mediante Microscopia*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, agosto de 2005.

GRAÇA, N. G.; MENDES, H. S. M.; GUERRA, E. A.; BITTENCOURT, R. M.; ANDRADE, W. P. *Estudo de aditivos para concreto de lançamento subaquático*. Anais do V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. Junho/ 2003, S. Paulo, S.P., CD, 2003a.

GRAÇA, N. G.; GUERRA, E. A. ; MENDES, H. S.; Nascimento, J. F. F.; ANDRADE, W. P. *Concreto para lançamento subaquático*. Anais do 45º Congresso Brasileiro do Concreto, Agosto/2003, Vitória, Brasil, publicado em CD, 2003b.

GRAÇA, N. G.; MENDES, H. S. M.; PAULA SILVEIRA, A. L. Z. *Estudo do comportamento do concreto para lançamento subaquático em diferentes profundidades*. Anais do 46º Congresso Brasileiro do Concreto, Agosto/2004, Florianópolis, Brasil, publicado em CD, 2004.

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

KHAYAT, K. H. *Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties*. In: ACI Materials Journal, V. 92, Mar/Apr 1995, p. 164 – 171.

KHAYAT, K. H. *Effects of Antiwashout Admixtures on Properties of Hardened Concretes*. In: ACI Materials Journal, V. 93, Mar/Apr 1996, p. 134 – 146.

KHAYAT, K. H.; GAUDREAU M. *Underwater Repair of the St. Lambert Lock*. In: Concrete International, V. 19, Mar. 1997, p. 36 – 40.

KHAYAT, K. H.; GERWICK, B. C.; AND HESTER, W. T. *Self-leveling and Stiff Consolidated Concretes for Casting High performance Flat Slabs in Water*. In: Concrete International, V. 15, Aug 1993, p. 36 – 49.

KHAYAT, K. H.; GUIZANI Z. *Use of Viscosity-Modifying Admixture to Enhance Stability of Fluid Concrete*. In: ACI Material Journal, V. 94, Jul. 1997, p. 332-340.

KHAYAT, K. H.; YAHIA A. *Effect of Welan Gum-High-Range Water Reducer Combinations on Rheology of Cement Grout*. In: ACI Material Journal, V. 94, Sep. 1997, p. 365-372.

LACHEMI, M.; HOSSAIN, K. M. A.; LAMBROS, V.; NKINAMUBANZI, P. C.; BOUZOUBAÂ, N. *Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement paste*. In: Cement and Concrete Research, 2453, 2003.

LISBÔA, E. M. *Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas*. 2004. 144p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2004.

MANUEL, P. J. M. *Estudo da Influência do Teor de Argamassa no Desempenho de Concretos Auto-Adensáveis*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo, IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*. São Paulo. Editora Pini, 1994.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. *Self-compacting concrete*. In: Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, n. 1, p. 5-15, 2003.

RAVINDRA GETTU; ZERBINO, R. L.; BARRAGÁN, B. E.; AGULLÓ, L. *Propuesta de Procedimientos Experimentales para la Evaluación de La*

Autocompactabilidad Del Hormigón Fresco. Informe C4745/2, Departamento de Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2004;

REPETTE, W.L. *Concretos de última geração: presente e futuro*. In: *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. Ed: G.C. ISAIA. São Paulo, volume 2, capítulo 49, p.1509-1550, 2005.

RIQUELME, B. P. *Aditivos Antiwashout para hormigonado Bajo Água*. In: X Jornadas Chilenas del Hormigón, Santiago, 1994.

SALLES, F. M. *Aplicação de concreto submerso na tomada d'água da UG3*. Relatório LEC-084/96, Companhia Energética de São Paulo, Ilha Solteira, 1996.

SEDRAN, T. and DE LARRARD, F. *Optimization of Self-Compacting Concrete Thanks to Packing Model*. In: 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Suécia, 1999. Disponível em 06/08/2008 <
http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=D4Vn96zmWuWC&oi=fnd&pg=PA321&dq=%22SEDRAN%22+%22OPTIMIZATION+OF+SELF+COMPACTING+CONCRETE+THANKS+TO+...%22+&ots=dpMWxIIdnZ&sig=ANbmGGM4HkpHc_ncxHs0_eG_8is#PPA329,M1>.

TUTIKIAN, B.F. *Método para dosagem de concretos auto-adensáveis*. 2004. 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

TUTIKIAN, B.F. *Proposição de um método de dosagem experimental para concretos autoadensáveis*. 2007. Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

UOMOTO, T. Y OZAWA, K. *Recommendation for Self-Compacting Concrete*. JSCE, Concrete Engineering Series 31, Japan Society of Civil Engineers, Tóquio, Japão 1999, 80p.