

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**DESEMPENHO DE CONCRETOS BOMBEÁVEIS
FABRICADOS COM ADITIVO ESTABILIZADOR DE
HIDRATAÇÃO**

Austen José Salvador

**Belo Horizonte
2011**

Austen José Salvador

DESEMPENHO DE CONCRETOS BOMBEÁVEIS FABRICADOS COM ADITIVO ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Materiais de Construção Civil. Linha de pesquisa: Resíduos como Materiais de Construção Civil.

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Maria Teresa Paulino
Aguilar

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2011

S182d

Salvador, Austen José.
Desempenho de concretos bombeáveis fabricados com aditivo estabilizador de hidratação [manuscrito] / Austen José Salvador. – 2011. xvi, 99 f., enc.: il.

Orientadora: Maria Teresa Paulino Aguilár.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: 91-97

1. Construção civil – Teses. 2. Materiais de construção – Teses. 3. Concreto - Teses. I. Aguilár, Maria Teresa Paulino. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 691(043)

AUSTEN JOSÉ SALVADOR

DESEMPENHO DE CONCRETOS BOMBEÁVEIS FABRICADOS COM ADITIVO ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 28 de junho de 2011

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Construção Civil

Banca Examinadora

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Maria Teresa Paulino Aguiar
DEMC/UFMG

Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes
DEMC/UFMG

Prof. Dr. José Marques Filho
Universidade Federal do Paraná - UFPR

Dedico

A Deus. Ele sabe a razão.

A meus pais, Helenice Iolanda Manoel Salvador e Sylvio Salvador,
com todo o meu carinho e afeto.

AGRADECIMENTOS

À Dr.^a Maria Teresa Paulino Aguiar, minha orientadora, pela competência científica e vivência prática, sem as quais teria sido difícil desenvolver e finalizar este trabalho.

À Dr.^a Adriana Guerra Gumieri, por todo seu empenho quando do início desta dissertação.

Ao Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG, pelo apoio durante o mestrado.

A todos os professores e funcionários da Universidade Federal de Minas Gerais, com os quais tive o prazer de conviver durante o curso.

Às indústrias fornecedoras do cimento e do aditivo utilizados neste projeto experimental nas pessoas de seus diretores e funcionários.

À diretoria da Supermix Concreto S.A., por ter compreendido minhas ausências e ter permitido a realização dos testes em suas dependências.

Enfim, a todas as pessoas que participaram de algum modo para a consecução deste trabalho, em especial minha colega de trabalho, Eng.^a Daniella Correa Rodrigues Serra.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE QUADROS.....	XIII
LISTA DE TABELAS	XVIII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XIVV
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS	19
CAPÍTULO 3 – ADITIVOS	20
3.1 – Generalidades	20
3.2 – Tipos	21
3.2.1 – Aditivo Incorporador de Ar.....	21
3.2.2 – Aditivo Acelerador de Pega	22
3.2.3 – Aditivo Retardador de Pega	24
3.2.4 – Aditivo Estabilizador de Hidratação (AEH)	25
3.2.4.1 – Mecanismos de ação	27
3.2.4.2 – Aplicação.....	27
3.2.5 – Aditivo Redutor de água (Plastificante e Superplastificante)	31
3.2.5.1 – Composição química	32
3.2.5.2 – Aplicações	34
3.2.5.3 – Mecanismo da ação defloculante	35
CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1 – Materiais	39
4.1.1 – Cimento	39
4.1.2 – Agregados	42
4.1.3 – Água	50
4.1.4 – Aditivo polifuncional.....	52
4.1.5 – Aditivo estabilizador de hidratação (AEH)	52
4.2 – Métodos	52
4.2.1– Dosagem experimental	54
4.2.1.1 – Matriz experimental	55
4.2.2 – Moldagem dos corpos-de-prova.....	56

4.2.3 – Cura dos corpos-de-prova.....	57
4.2.4 – Propriedades do concreto fresco.....	59
4.2.4.1 – Consistência.....	59
4.2.4.2 – Perda de consistência	61
4.2.4.3 – Calorimetria	61
4.2.4.4 – Tempo de pega	62
4.2.5 – Propriedades do concreto endurecido.....	62
4.2.5.1 – Resistência à compressão	63
4.2.5.2 – Módulo de elasticidade.....	64
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1 – Propriedades no Estado Fresco	66
5.1.1 – Perda de consistência	66
5.1.2 – Calorimetria.....	67
5.1.3 – Tempo de Pega.....	70
5.2 – Propriedades do Concreto Endurecido	71
5.2.1 – Resistência à compressão	71
5.2.1.1 – Concretos fabricados em laboratório.....	71
5.2.1.2 – Concretos fabricados em escala industrial.....	74
5.2.1.3 – Módulo de elasticidade.....	75
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	82
CAPÍTULO 7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	83
REFERÊNCIAS.....	84
ANEXO – CERTIFICADOS DE ANÁLISE	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 – Aditivo incorporador de ar	21
Figura 3-2 – Ilustração esquemática dos vários efeitos físico-químicos que podem ocorrer na interação dos aditivos com as partículas de cimento na interfase com a solução de poro.....	25
Figura 3-3 – Unidade estrutural de uma molécula de lignosulfonato.....	32
Figura 3-4 – Unidade de microgel de lignosulfonato	33
Figura 3-5 – Ação do aditivo redutor de água sobre a floculação e defloculação das partículas de cimento.....	34
Figura 4-1 - Curva granulométrica da areia natural utilizada nos concretos confeccionados em laboratório	43
Figura 4-2 - Curva granulométrica do pó de pedra de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório	45
Figura 4-3 – Curva granulométrica da brita de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório.....	48
Figura 4-4 – Esquematização do procedimento experimental.....	54
Figura 4-5 – Moldagem dos corpos-de-prova em campo.....	57
Figura 4-6 – Visões da câmara úmida em dois ângulos.....	58
Figura 4-7 – Coleta dos corpos-de-prova	58
Figura 4-8 – Corpo de prova etiquetado.....	59
Figura 4-9 – Conjunto de equipamento para slump test.....	60
Figura 4-10 – Medição do abatimento do concreto em laboratório	60
Figura 4-11 – Slump test em campo	61
Figura 4-12 – Retífica elétrica	63
Figura 4-13 - Planicidade	63
Figura 4-14 – Equipamento utilizado nos ensaios de compressão	64

Figura 4-15 – Equipamento para determinação do módulo de elasticidade em concreto.....	65
Figura 4-16 – Equipamento para determinar a frequência ressonante - Erudite MKII (Laboratório de Materiais - UFMG)	65
Figura 5-1 – Perda de consistência.....	67
Figura 5-2 – Curvas de calorimetria para as pastas de cimento contendo fator água/cimento de 0,45, aditivo polifuncional, com e sem aditivo estabilizador de hidratação.....	68
Figura 5-3 – Curvas de calorimetria para as pastas de cimento contendo diferentes fatores água/cimento, aditivo polifuncional e com aditivo estabilizador de hidratação.....	69
Figura 5-4 – Ensaio de tempo de pega – Agulha de Proctor.....	70
Figura 5-5 – Curva de Abrams para misturas confeccionadas com aditivo polifuncional no concreto referência – 3, 7 e 28 dias.....	72
Figura 5-6 – Curva de Abrams para misturas confeccionadas com aditivo polifuncional e AEH – 3, 7 e 28 dias	72
Figura 5-7 – Curva de Abrams para misturas confeccionadas com aditivo polifuncional, com e sem AEH aos 28 dias.....	73
Figura 5-8 – Resistência à compressão dos concretos referência e com aditivo AEH aos 7 dias.....	74
Figura 5-9 – Resistência à compressão dos concretos referência e com AEH aos 28 dias	75
Figura 5-10 – Módulo de elasticidade estático para o concreto de referência com a/c de 0,600	76
Figura 5-11 – Módulo de elasticidade estático para o concreto com AEH e a/c de 0,600	77
Figura 5-12 – Módulo de elasticidade estático para o concreto de referência com a/c de 0,500	78
Figura 5-13 – Módulo de elasticidade estático para o concreto com AEH e a/c de 0,500.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 4-1 – Características do cimento utilizado no projeto experimental – Teste no laboratório.....	41
Quadro 4-2 – Caracterização da areia natural utilizada nos testes industriais	44
Quadro 4-3 - Caracterização do pó de pedra de calcário utilizada nos testes industriais	47
Quadro 4-4 - Avaliação de agregado graúdo – Calcário – Teste industrial	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 – Requisitos especificados para os aditivos retardadores (a igual abatimento) de acordo com normas internacionais e NBR.....	24
Tabela 3-2 – Comparação entre requisitos de desempenho dos aditivos redutores de água de acordo com as normas americana e brasileira ...	32
Tabela 4-1 – Análise laboratorial do cimento utilizado no projeto experimental	40
Tabela 4-2 - Análise da granulometria da areia natural utilizada nos concretos confeccionados em laboratório	42
Tabela 4-3 – Porcentagem acumulada – Areia natural	43
Tabela 4-4 - Caracterização física da areia natural utilizada nos concretos confeccionados em laboratório	43
Tabela 4-5 - Análise da granulometria do pó de pedra de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório.....	45
Tabela 4-6 - Caracterização física do pó de pedra de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório	46
Tabela 4-7 - Análise granulométrica da brita de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório.....	48
Tabela 4-8 - Caracterização física da brita de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório.....	49
Tabela 4-9 - Resultado da qualidade da água – 01 a 12/2007 – Belo Horizonte	51
Tabela 4-10 - Características do aditivo polifuncional Tec Mult 444 (Rheotec) fornecidas pelo fabricante.....	52
Tabela 4-11 - Características do aditivo estabilizador de hidratação Recover (Grace) segundo o fabricante	52
Tabela 4-12 – Resumo dos concretos utilizados no teste de campo*	56
Tabela 5-1 – Determinação do tempo de pega do concreto por meio da resistência à penetração.....	71
Tabela 5-2 – Módulo de elasticidade dinâmico para o concreto de referência com a/c de 0,600	75

Tabela 5-3 – Módulo de elasticidade estático para o concreto de referência com a/c de 0,600	76
Tabela 5-4 – Módulo de elasticidade dinâmico para o concreto com AEH e a/c de 0,600	77
Tabela 5-5 – Módulo de elasticidade estático para o concreto com AEH e a/c de 0,600	77
Tabela 5-6 - Módulo de elasticidade dinâmico para o concreto de referência com a/c de 0,500	78
Tabela 5-7 - Módulo de elasticidade estático para o concreto de referência com a/c de 0,500	78
Tabela 5-8 - Módulo de elasticidade dinâmico para o concreto com AEH e a/c de 0,500	79
Tabela 5-9 – Módulo de elasticidade estático para o concreto com AEH e a/c de 0,500	79

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABESC - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEH - Aditivo Estabilizador de Hidratação

ASTM - American Society for Testing and Materials

CCR - Concreto Compactado com Rolo

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

RESUMO

A manutenção do concreto no estado fresco por um grande período seria de grande interesse das usinas de concreto, pois permite a reutilização direta do concreto retornado sem necessidade de lavagem de betoneiras e tratamento das águas de lavagem. O uso de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) poderia contribuir para tal procedimento. Neste trabalho avaliam-se os efeitos do AEH nas propriedades do concreto bombeável. Os materiais empregados na confecção dos concretos estudados foram: cimento CPV ARI RS, areia natural quartzosa, pó de pedra de calcário, brita de calcário e aditivo plastificante. Foram determinadas as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido em laboratório e em escala industrial. Os dados indicaram que a utilização do AEH promove no concreto bombeável, no estado fresco, alteração nos tempos de início e fim de pega e melhoria das propriedades do concreto no que se refere à perda de abatimento. Quanto às propriedades no estado endurecido constatou-se, que a utilização do AEH promove um acréscimo na resistência à compressão do concreto a partir dos 28 dias e que o módulo de elasticidade não é afetado pela adição do estabilizador de hidratação.

Palavras-chave: Concreto. Concreto bombeável. Aditivo estabilizador de hidratação

ABSTRACT

The maintenance of the fresh concrete for a longer period would be of great interest concrete plants, because it allows the direct reuse of returned concrete without washing concrete mixers and treatment of rinse water. The use of stabilizing additives hydration (AEH) would allow such a procedure. In this paper it is evaluated the effects of AEH on the properties of pumpable concrete. The materials used in the manufacture of it was concrete studied are CPV ARI RS cement, natural quartz sand, powdered limestone, crushed limestone. It was determined the properties of fresh and hardened concrete in the laboratory and industrial scale. The data indicated that the addition of AEH in pumpable concrete promotes change in the initial and end setting time and it also improves the properties of concrete in terms of loss relief. As for the properties in the hardened state it was found that the use of AEH promotes an increase in the compressive strength of concrete after 28 days and that the modulus of elasticity is unaffected by the addition of AEH.

Keywords: Concrete. Pumpable concrete. Hydration stabilizing additive.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

No contexto do desenvolvimento sustentável, a produção de compostos cimentícios que minimizem os impactos ambientais é uma necessidade (MEHTA, 2006). De modo geral, concretos produzidos em centrais impactam em menor grau o meio ambiente, na medida em que maximizam o uso dos aglomerantes e recursos naturais, e minimizam a geração de resíduos. Neste quesito, a redução de resíduos se dá comumente pelo reaproveitamento do concreto que sobra das concretagens na própria concreteira, assim como pelo reaproveitamento da água de lavagem dos caminhões betoneiras. Outra possibilidade para a minimização dos resíduos de concreto em centrais seria manter o concreto no estado fresco por mais tempo, de forma a ser utilizado em outra concretagem. Isto seria possível com a utilização do aditivo estabilizador de hidratação (AEH).

O AEH é um produto químico que atua sobre as moléculas de cimento, retardando sua hidratação de forma a manter o aglomerante estável por longos períodos. O tempo de estabilização é função da quantidade de produto adicionado em relação ao peso do cimento do concreto, podendo chegar a 72 horas (WEIDMANN et al., 2007). Os aditivos estabilizadores de hidratação são classificados conforme a norma American Society For Testing And Materials (ASTM C494, 1999) como tipo D ou retardador de pega de longa extensão, isto é, superior a 4 h. A norma brasileira EB-1763 (1992) sobre de aditivos para concreto de cimento Portland define apenas os aditivos retardadores, não fazendo referência aos estabilizadores de hidratação.

Trabalhos da literatura indicam que a utilização do AEH não provoca efeitos negativos às propriedades mecânicas do concreto (KINNEY, 1989; HODKINGSON, 1992; PAOLI e KHURANA, 1998; OKAWA ET AL., GUERREIRO, 2007). Estudos envolvendo calorimetria mostram que os retardadores convencionais afetam mais fortemente o desenvolvimento da resistência inicial, enquanto o aditivo estabilizador de hidratação atua na reologia do concreto, influenciando a perda de abatimento e o tempo final de pega. O AEH é um agente ativo de superfície que inibe a nucleação na superfície de hidratos ricos em íons cálcio. Desta forma, o mecanismo de ação

fundamenta-se na inibição da nucleação do C-S-H (silicato de cálcio) e CH (hidróxido de cálcio). Quando o AEH é adicionado juntamente com a água de amassamento, diminui a nucleação e formação do C-S-H. Se adicionado durante ou após o período de indução, diminui a nucleação e o crescimento destes compostos. Quando os núcleos já estão formados, o aditivo estabilizador, além de retardar o crescimento dos hidratos, altera a morfologia externa dos hidratos subseqüentemente formados. Isto significa que a capacidade do AEH de retardar o crescimento de núcleos já formados leva à estabilização do material algumas horas depois de misturado. O curso da hidratação é retomado quando um ativador é adicionado ou quando o estabilizador é completamente consumido, de maneira que o processo de hidratação recomeça regularmente com o endurecimento (PAOLINI e KHURANA, 1998; SOUZA, 2007).

Neste estudo se avalia comparativamente as propriedades em estado fresco e endurecido de concretos bombeáveis confeccionados com materiais da região de Belo Horizonte, com e sem a utilização de aditivo estabilizador de hidratação. Foram estudados concretos produzidos em laboratório e em escala industrial. O objetivo mais amplo do trabalho é avaliar a possibilidade de utilização do AEH para minimizar os resíduos de concreto originados do concreto retornado.

CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar os efeitos do aditivo estabilizador de hidratação (AEH) nas propriedades do concreto bombeável com resistências características de 15 a 30 MPa, confeccionado com agregados típicos de Minas Gerais e cimento CPV ARI RS, no estado fresco e endurecido. Para isto, os seguintes objetivos específicos deverão ser atingidos:

- avaliar a influência do AEH nas propriedades do concreto no estado fresco;
- avaliar a influência do AEH nas propriedades do concreto no estado endurecido;
- avaliar a possibilidade de utilização do AEH em escala industrial.

CAPÍTULO 3 – ADITIVOS

3.1 – Generalidades

Na confecção do concreto são utilizados adições e aditivos com o objetivo de conferir ao composto propriedades especiais, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Os principais objetivos da utilização de adições e aditivos em concretos são a melhora da trabalhabilidade, o aumento da resistência final e da impermeabilidade devido ao refinamento dos poros, a intensificação da resistência à ação do congelamento, a melhora da resistência à fissuração térmica devido ao baixo calor de hidratação, a resistência ao ataque por sulfato, a minimização da reação álcali-agregado e da corrosão das armaduras. A melhoria destas propriedades reflete diretamente no aumento da durabilidade do material, provocando, desta forma, efeitos permanentes no material (ISAIA, 2005; MENDES NETO, 2009; 2010).

As diferenças entre os aditivos e as adições são bastante sutis. Aditivo é um produto químico adicionado ao concreto com a finalidade de obter modificações específicas, ou modificações das propriedades normais do concreto. As adições podem se somar ou substituir parcialmente o cimento, dependendo das suas propriedades (NEVILLE, 1997). De acordo com Mehta e Monteiro (2006), as adições são normalmente adicionadas ao concreto em quantidades relativamente grandes, que variam de 20 a 70% por massa do material cimentício total.

Os aditivos carregam em si dois objetivos fundamentais, o de ampliar as qualidades de um concreto e o de minimizar seus pontos fracos. Além disso, sua utilização requer certos cuidados, tais como: o prazo de validade; a conservação; o momento certo da aplicação; a forma de se colocar o produto e a dose exata. Sua aplicação pode melhorar a qualidade do concreto nos seguintes aspectos: trabalhabilidade, resistência, deformabilidade, compacidade, durabilidade, bombeamento e fluidez (auto adensável). Por outro lado o uso de aditivo pode diminuir a permeabilidade, retração, calor de hidratação, tempo de pega (retardar ou acelerar) e a absorção de água (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

3.2 – Tipos

A NBR 11768 (Aditivos para Concreto de Cimento Portland) (ABNT, 1992) divide os aditivos em nove tipos: incorporador de ar, acelerador, superplastificante, superplastificante retardador, superplastificante acelerador, plastificante retardador, plastificante acelerador, plastificante, retardador.

3.2.1 – Aditivo Incorporador de Ar

Os aditivos incorporadores de ar propiciam a introdução de microbolhas de ar ao concreto, com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade do concreto, aumentar a durabilidade, diminuir a permeabilidade e a segregação. Dessa forma o concreto fica mais coeso e homogêneo. Os incorporadores de ar reduzem ainda a exsudação do concreto (Figura 3-1).

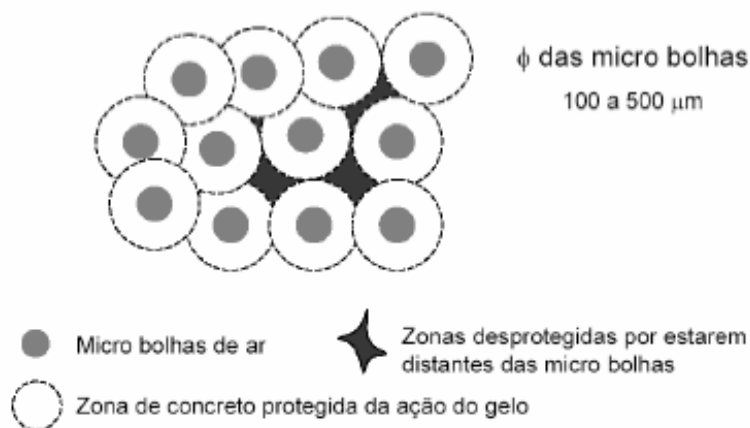


Figura 3-1 – Aditivo incorporador de ar
Fonte: NBR 11768, 1992.

Comumente na sua composição são empregados resina vinsol (aniônico), ácido abiético, ácido oléico, ácido cáprico, alquil-sulfonatos, alquil-fenóis etoxilados (não iônico) e sais de alquil-amônio.

Suas características são: resistência ao ciclo gelo-degelo, aumento da trabalhabilidade, aumento da coesão, pode retardar o tempo de pega do cimento, diminuição da exsudação, diminuição da resistência mecânica, e diminuição da massa específica. Suas características são: incorpora pequenas bolhas de ar no concreto, aumenta a durabilidade ao congelamento do concreto sem elevar o consumo de cimento e o conseqüente aumento do calor de hidratação, reduz o teor de água e a permeabilidade do concreto, bom desempenho em concretos de baixo consumo de cimento, necessidade de controle cuidadoso da porcentagem de ar incorporado e do tempo de mistura, aumento da trabalhabilidade pode ser inaceitável, efeitos iniciais significativos.

3.2.2 – Aditivo Acelerador de Pega

Os aditivos aceleradores de pega têm por objetivo de acelerar as reações de hidratação, proporcionando a desforma das peças em menor espaço de tempo (VARGAS, 2002). Em geral os aditivos aceleradores de pega afetam ou modificam as reações de hidratação do cimento, atuando de uma maneira especial a hidratação do cimento, atuando de uma maneira especial a hidratação das fases à base de aluminatos. A eficiência desse aditivo está relacionada com as características do cimento e do aditivo, sendo que, as suas dosagens podem variar conforme a natureza do cimento empregado (GUERREIRO, 2007).

São compostos orgânicos ou inorgânicos solúveis em água. Os sais de elementos alcalinos ou alcalinos-terrosos à base de cloretos, fluoretos, carbonatos, silicatos, fluorsilicatos, aluminatos, boratos, nitratos, nitritos, etc., fazem parte dos compostos inorgânicos. Para os compostos orgânicos destaca-se a trietanolamina (MARTIN, 2005). Os compostos inorgânicos atuam na cinética das reações de hidratação do cimento, proporcionando a formação de géis de hidróxido de cálcio e aumentando a área superficial dos silicatos hidratados. Os compostos orgânicos também atuam na composição e morfologia das fases hidratadas do cimento.

A atuação do aditivo acelerador de pega constitui em promover (acelerar) a dissolução dos cátions e ânions do cimento, especialmente daqueles com menor

velocidade de dissolução inicial. Seu mecanismo principal de ação é agir favorecendo e alterando os produtos da hidratação do C_3A , C_4AF e C_3S . As reações iniciais do cimento são a dissolução-precipitação e seus usos recomendados são para a desforma rápida (premoldados), clima frio e obras submersas.

O aditivo acelerador de pega possui as seguintes características: aumenta as resistências iniciais, reduz a segregação e exsudação, favorece a corrosão das armaduras, aumenta a retração, aumenta o risco de eflorescências, reduz as resistências finais e retarda a hidratação do C_3S em teores acima de 0,06%.

Suas desvantagens são: possível fissuração devido ao calor de hidratação e risco de corrosão de armaduras (cloretos).

3.2.3 – Aditivo Retardador de Pega

Tem por objetivo prolongar o tempo fluido do concreto. É comumente utilizado para produção de calda de cimento para injeção de bainhas de cabos de protensão, concretagem de grandes peças (manutenção da trabalhabilidade) e transporte de concreto por longo período.

Na Tabela 3-1 é apresentada uma comparação das especificações definidas em normas aplicáveis a aditivos retardadores de pega.

Tabela 3-1 – Requisitos especificados para os aditivos retardadores (a igual abatimento) de acordo com normas internacionais e NBR 11768

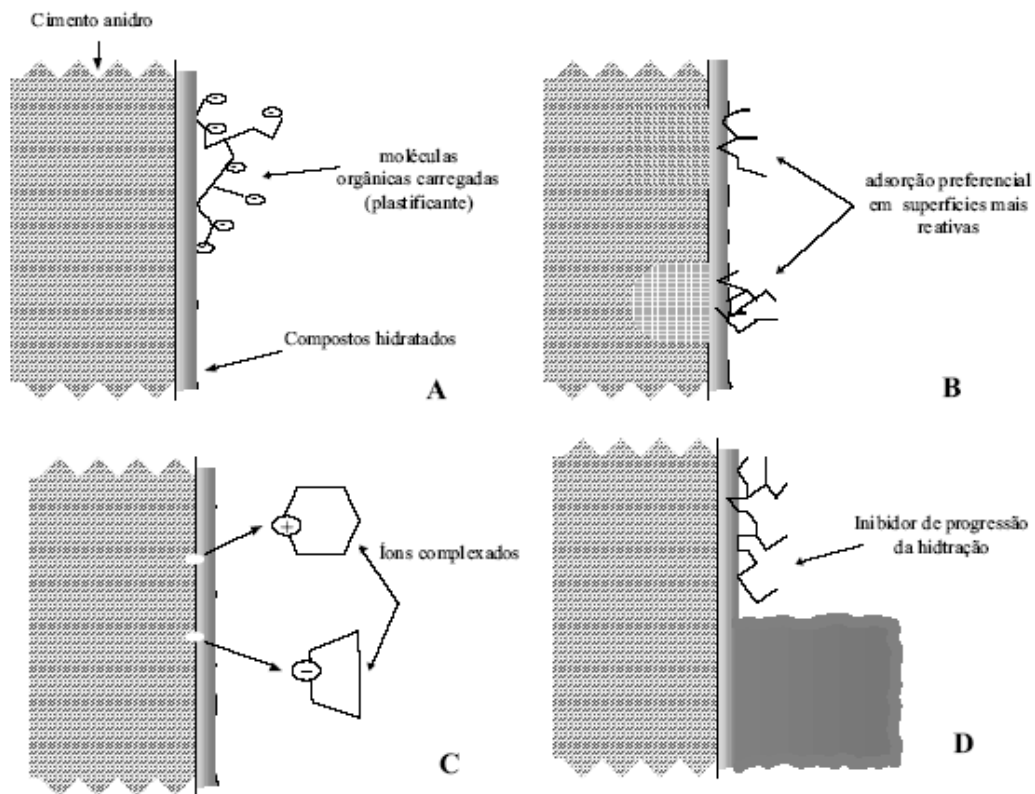
Norma	Classificação	Tempo de início de pega (em relação à mistura de controle)	Redução de água (% em relação à mistura de controle)	Resistência à compressão mínima (% sobre a mistura de controle)
ASTM D 494	Tipo C: Aditivo retardador	Min.: + 1 h Max.: + 3,3 h	-	≥ 90 (3,7, 28 dias)
ASTM D 494	Tipo R: Aditivo retardador de longa duração	Mín.: + 5 h	-	≥ 110 (3, 7, 28 dias)
CAN A266.2-M78	Tipo R: retardador moderado de pega	Mín.: + 1 h Max.: + 3 h	≥ 3%	≥ 110 (3, 7, 28 dias)
CAN A266.2-M78	Tipo Rx: retardador prolongado de pega	Mín.: + 5 h	≥ 3%	≥ 100 (3 dias) ≥ 110 (3, 7, 28 dias)
EN 934-2	Retardador de pega	Mín.: + 90 min	≥ 5%	≥ 100 (28 dias)
EN 934-2	Retardador de pega plastificante	Mín.: + 90 min	-	≥ 80 (7 dias) ≥ 90 (28 dias)
NBR 11768	Retardador de pega	Mín.: + 1 h Max.: + 3,3 h	-	≥ 90 (3, 7, 28, 90 dias)
NBR 11768	Retardador de pega plastificante	Mín.: + 1 h Max.: + 3,3 h	≥ 6%	≥ 110 (7, 28, 90 dias)

Legenda: ASTM - American Society for Testing and Materials
CAN – Canadian Procedures

Fonte: NBR 11768, ABNT 1992.

O aditivo retardador de pega atua retardando a dissolução dos cátions e ânions do cimento, especialmente aqueles com alta velocidade de dissolução inicial. Suas substâncias mais comuns são: carboidratos (açúcares), ácidos hidroxí-carboxílicos e dicarboxílicos, fosfatos e sais de chumbo e de zinco.

Vários mecanismos têm sido propostos para explicar como aditivos retardadores afetam a hidratação do cimento Portland. As teorias desenvolvidas em: adsorção dos compostos orgânicos sobre os grãos de cimento impedindo a hidratação; formação de precipitados salinos insolúveis sobre os grãos de cimento; complexação; controle sobre a nucleação dos hidratos, como ilustra a Figura 3-2.



Legenda:

- A) Adsorção de moléculas orgânicas na interfase cimento-solução.
- B) Adsorção preferencial dos aditivos orgânicos em superfícies específicas.
- C) Complexação e solubilização de espécies iônicas.
- D) inibição da nucleação dos hidratos e crescimento pela adsorção de aditivos orgânicos

Figura 3-2 – Ilustração esquemática dos vários efeitos físico-químicos que podem ocorrer na interação dos aditivos com as partículas de cimento na interfase com a solução de poro

Fonte: Adaptado de JOLICOEUR e SIMARD, 1998.

Suas características se resumem em: aumentar o tempo de início de pega, manter a trabalhabilidade a temperaturas elevadas, retarda a elevação do calor de hidratação, amplia os tempos de aplicação, pode promover exsudação e aumentar a retração plástica do concreto e retarda o tempo de pega.

3.2.4 – Aditivo Estabilizador de Hidratação (AEH)

Os aditivos estabilizadores de hidratação são classificados conforme a norma *American Society For Testing And Materials* (ASTM C494, 1999) como tipo D ou retardador de pega de longa extensão, superior a 4 h. Pela norma NBR 11768, Aditivos para Concreto de Cimento Portland (ABNT, 1992) são classificados como aditivos retardadores quando utilizados em teores muito reduzidos.

O aditivo estabilizador de hidratação consiste em um produto químico que atua sobre as moléculas de cimento, bloqueando a reação com a água, mantendo sua estabilidade por longo período. Elimina-se assim um dos inconvenientes para a reciclagem do concreto, que é a sua velocidade de endurecimento relativamente rápida, principalmente nas temperaturas médias do Brasil. O período de estabilização é determinado pela quantidade de produto adicionado ao peso do cimento do concreto ou argamassa, que pode chegar a 72 horas (WEIDMANN et al., 2007).

Estudos calorimétricos (PAOLINI; KHURANA, 1998) já evidenciaram que os retardadores convencionais exercem uma influência maior sobre as fases silicato. Portanto, estes compostos afetam mais o desenvolvimento da resistência inicial, em vez da reologia do concreto fresco, promovendo reduzida manutenção do abatimento e retardo de pega. Em contrapartida, o AEH é capaz de baixar a concentração de sulfato de cálcio na solução e retardar todos os minerais do clínquer.

Apesar das conhecidas vantagens do AEH, não se conhecem muito trabalhos referentes a esse aditivo na literatura.

3.2.4.1 – Mecanismos de ação

De acordo com um dos fabricantes do AEH (Grace), sua natureza química é composta por uma solução aquosa de sais ácidos hidrocarboxilados e carboidratos. Rickert (2004) destaca que aditivos de base ácido-fosfônico podem ser utilizados em altos teores, em aplicações detalhadas sobre a interação entre o cimento com este tipo de aditivo. O pesquisador sugere que o ácido fosfônico forma complexos com os íons cálcio. Assim, uma camada solúvel de fosfonato de cálcio é produzida na superfície da partícula bloqueando o acesso da água na superfície do cimento e, conseqüentemente, retarda as reações de hidratação do cimento.

Comumente o AEH é considerado um agente ativo de superfície designado para inibir a nucleação na superfície de hidratos ricos em íons cálcio. Desta forma, o mecanismo de ação fundamenta-se na inibição da nucleação do C-S-H (sulfato de cálcio) e CH (hidróxido de cálcio). Quando o AEH é adicionado juntamente com a água de amassamento, diminui a nucleação e formação do C-S-H; se adicionado durante ou após o período de indução, diminui o núcleo e o crescimento do C-S-H e CH quando os núcleos já estão formados (PAOLINE; KHURANA, 1998).

Em termos práticos, a capacidade do AEH de retardar o crescimento de núcleos já formados implica na possibilidade de o material ser estabilizado algumas horas depois de misturado. O curso da hidratação é retomado quando um aditivo ativador é adicionado, ou quando o estabilizador é completamente consumido, de maneira que o processo de hidratação recomeça regularmente com o endurecimento e consideráveis ganhos de resistência final do concreto estabilizado.

3.2.4.2 – Aplicação

Os aditivos retardadores são empregados nos materiais cimentícios, principalmente para prolongar o tempo de início de pega. Este efeito proporciona uma adequação das características reológicas das misturas, de acordo com o desejado, permitindo prolongar o tempo para aplicação do concreto. O retardo no tempo de início de pega decorre da variação na composição desses aditivos, principalmente dos lignossulfonatos que, por serem subprodutos, é difícil a remoção completa de

açúcares e outras impurezas, sendo que esses compostos interferem no processo de hidratação do cimento, inibindo a nucleação e o crescimento dos produtos de hidratação (JOLICOEUR et al., 2003).

O AEH é comumente utilizado para a produção de concreto compactado com rolo. A característica marcante do concreto compactado com rolo (CCR) é a baixa quantidade de água e o baixo consumo de aglomerante, por isso, o material é consolidado por meio de cargas vibratórias, de geralmente 10 toneladas. Nos CCR's convencionais, mesmo que a compactação das camadas seja realizada o mais breve possível, a presença de juntas frias é inevitável; portanto sua preparação requer que a superfície subjacente seja constantemente mantida em condição úmida. Se necessário, deve-se proceder a uma limpeza antes da colocação da própria camada. Além disso, a ligação entre as camadas requer a aplicação de argamassa com elevada fluidez e alto consumo de cimento, visando uma maior aderência entre as juntas, através do preenchimento dos poros na superfície (PAOLINI; KHURANA, 1998).

Pesquisas conduzidas pela *Water-ways Experimental Station* investigaram a possibilidade do uso de CCR estabilizado, sem a necessidade de tratamento excessivo de juntas e uso de argamassa, visando uma considerável economia na execução deste método construtivo. Resultados obtidos por Paolini e Khurana (1998) indicaram que o uso de AEH permite ao CCR um retardamento por longos períodos. Estudos em laboratório e em obra demonstraram que as resistências ao cisalhamento entre as camadas foram discretamente aumentadas quando eram mantidas frescas, em relação às camadas endurecidas que foram tratadas com argamassa.

Outra utilização do AEH é para a produção de concreto projetado via úmida. O uso de AEH em concreto projetado data dos anos de 90; seu emprego compreende túneis, mineração ou situações de reparo, onde o concreto projetado é especificado. A adição de estabilizadores em concretos projetáveis possibilita maiores períodos em que o concreto permanece fresco, permitindo um comportamento mais controlado quando à manutenção do abatimento, facilidade de bombeamento e projeção. Em virtude das melhorias nas características da mistura e, conseqüentemente, nos benefícios de aplicação, as propriedades no estado

endurecido do concreto projetado estabilizado são melhoradas (PAOLINI, KHRURANA, 1998)

O AEH ainda é usado quando as concretagens estão localizadas a longas distâncias da central. Sua utilização proporciona um controle mais previsível do retardo de pega desses concretos, principalmente em dias quentes, sem prejudicar propriedades futuras devido à adição de água para recuperar a perda excessiva de abatimento ou atraso de pega (BENINI, 2005).

O AEH também pode ser utilizado para a estabilização das águas de lavagem. O método consiste em adicionar determinada quantidade desse produto no resíduo da lavagem do caminhão para promover a estabilização da hidratação do cimento na mistura por uma noite ou um final de semana, pois o período de estabilização do concreto novo é misturado diretamente no interior do balão do caminhão betoneira. São efetuadas correções prévias no teor de água da nova mistura em função da quantidade de água com cimento estabilizado presente no balão.

Com o AEH, é possível obter economia na quantidade de água requerida na lavagem, alterando o consumo médio de 900 litros de água/dia/caminhão do processo de lavagem usual para 200 litros de água/dia/caminhão, com o propósito apenas de homogeneizar a sobra de concreto com o AEH. Para uma frota estimada em 60 caminhões betoneiras, o emprego de AEH pode possibilitar o reaproveitamento de aproximadamente 1 milhão de litros de água de lavagem dos balões.

Chatveera et al. (2006) estudaram o efeito de diferentes percentuais de substituição (0 a 100% em massa) de águas de lavagem por água potável, nas propriedades mecânicas e na durabilidade do concreto. Os pesquisadores concluíram que o aumento da porcentagem de substituição da água de lavagem sobre a água potável reduziu o abatimento, devido o aumento da quantidade de partículas sólidas, o que aumentou a demanda de água a ser adsorvida na superfície e adsorvida dentro das partículas. A partir de 40% de substituição da água de lavagem por água potável, houve uma diminuição da resistência à compressão, pois o aumento da alcalinidade da matriz contribuiu para o aumento da espessura da camada localizada na zona de

transição, causando o enfraquecimento da ligação entre agregado e pasta de cimento.

Su et al. (2002) investigaram a reutilização de águas de lavagem de caminhão-betoneira, provenientes de duas centrais diferentes, para a produção de concreto. Os resultados obtidos indicaram que a água de lavagem não afetou significativamente os tempos de pega, as propriedades mecânicas e a durabilidade de concreto obtidos pelo pesquisador.

Sandrolini e Franzoni (2001) variaram a concentração de sólidos das águas de lavagem, para verificar a influência de sua utilização nas propriedades mecânicas e microestruturais em concretos e argamassas. Os resultados no concreto indicaram uma ligeira redução no abatimento, o que foi atribuído à adição de finos e à redução da relação a/c. No entanto, a resistência à compressão não foi inferior ao limite recomendado pela ASTM C 94 (2004).

O uso do AEH possibilita o reaproveitamento de concretos retornados à central dosadora, através do controle da taxa de hidratação do cimento, refletindo na estabilização da mistura no estado fresco. De acordo com Paolini e Khurana (1998), as causas de devolução do concreto fresco podem ser devidas à: perda excessiva de abatimento durante o transporte, o vencimento do prazo de utilização do concreto (resultante de problemas como queda do equipamento de bombeamento) planejamento inadequado da encomenda pelo cliente, inadequação da consistência aos requisitos da obra e erro na requisição do volume total de concreto.

Pesquisas conduzidas por Borger et al. (1994) indicaram que a resistência à compressão de concretos estabilizados são tão boas ou melhores que as misturas de referência. Analogamente, Paolini e Khurana (1998) obtiveram valores de resistência à compressão em concretos co AEH não inferiores a 90% em relação à mistura de referência. Benini (2005) indicou que os resultados de resistência à compressão dos concretos estabilizados atingiram valores equivalentes aos concretos referência, a partir dos 7 dias de idade e, aos 28 dias, os resultados foram similares ao concreto de referência.

Em pesquisas publicadas sobre a praticidade do uso e a viabilidade econômica dos AEH (KINNEY, 1989; WILKINS; HODKINGSON, 1992; PAOLINI; KHURANA, 1998; HUAT, 1998; OKAWA, et al., 2000; GUERREIRO, 2007), houve consenso de que sua utilização não provoca efeitos negativos às propriedades mecânicas do concreto, quando devidamente empregados.

Apesar de o uso do AEH ser prática relativamente nova, tem obtido considerável aceitação entre as centrais dosadoras. Isto converge para o progresso do conhecimento do material e para o surgimento de diversas aplicações, dentre as quais Borger, Carrasquillo e Fowler (1994) destacam as aplicações à longa distância e a reutilização de concreto de bombeamento.

Chini e Mbwambo (1996) acrescentam que com a utilização desse método outras técnicas de eliminação de resíduos tornam-se desnecessárias. Assim, é possível obter economia pela reutilização de todo o resíduo do concreto, contribuindo, em muito, para a conservação ambiental.

Agregados recuperados de concreto fresco por lavagem podem ser usados como agregados para a preparação de um novo concreto se forem do mesmo tipo que o agregado primário desse mesmo concreto. Agregados recuperados não subdivididos quanto à sua granulometria não devem ser adicionados em quantidades maiores que 5% do total de agregados no concreto. Quantidades superiores a 5% podem ser adicionadas apenas se o agregado recuperado for classificado e separado nas diferentes frações e se atender aos requisitos da Norma NBR 7211 – Agregados para concreto - Especificação (ABNT, 2009).

3.2.5 – Aditivo Redutor de água (Plastificante e Superplastificante)

Os aditivos redutores de água permitem a redução da quantidade de água no concreto para a obtenção de um determinado abatimento, melhorando as propriedades mecânicas e de durabilidade. Comercialmente estes aditivos podem reduzir a água total de mistura entre 5% a 25%, quando comparados à mistura de referência sem aditivo redutor de água (COLLEPARDI, 1984).

Caso as proporções da mistura sejam mantidas, estes aditivos atuam como plastificantes, aumentando a fluidez da mistura. As possibilidades de sua utilização são refletidas no material cimentício de diferentes formas. Na Tabela 3-2 estão compilados alguns requisitos de desempenho em normas para este tipo de aditivo.

Tabela 3-2 – Comparação entre requisitos de desempenho dos aditivos redutores de água de acordo com as normas americana e brasileira

Norma	Classificação	Redução de água*	Tempo de início de pega	Tempo de fim de pega*	Resistência à compressão mínima
NBR 11768 (1992)	Plastificante	≥ 6%	Máximo: - 1h e + 1 h	Máximo: - 1h e 1,5h	≥ 110% (3, 7, 28, 90 dias)
ASTM C 494 (1999)	Tipo A: redutor de água	≥ 5%	Mínimo: 1h Máximo: 1,5h	Mínimo: 1h Máximo: 1,5h	≥ 110% (3, 7, 28 dias)

(*) Em relação à mistura de referência.

3.2.5.1 – Composição química

O lignosulfonato é o composto orgânico mais utilizado na produção dos aditivos redutores de água.

A estrutura molecular do lignosulfonato é muito complexa e desorganizada, e por ser um composto natural não há um controle sobre sua unidade química (Figura 3-3). Sua massa molecular é relacionada ao processo de refinamento na fabricação de lignosulfonato; esta característica indica o desempenho do aditivo e sua ação, pois interfere na distância de repulsão das partículas de cimento. Desta forma, aditivos com menor massa molecular apresentam menor eficiência, por serem facilmente incorporados pelos hidratos formados no início do processo de hidratação (ODLER, 1998).

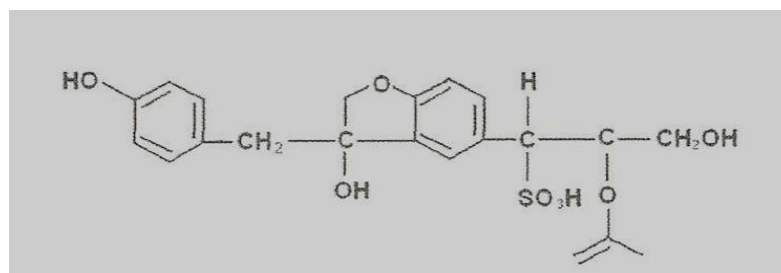


Figura 3-3 – Unidade estrutural de uma molécula de lignosulfonato

Fonte: SOUZA, 2007, p.28.

Os lignosulfônicos comercialmente usados são compostos por aproximadamente 70% de sais lignosulfônicos e 30% de açúcares (MILESTONE, 1979; JOELICOEUR et al., 2003).

Segundo Collepari (1984), é possível submeter a lignina a um processo de fermentação, para remover parte do açúcar, responsável pelo retardamento de pega. Após este tratamento, o composto passa por um processo de sulfonatação através da adição de sulfito ou ácido sulfúrico, para que haja a incorporação do grupo sulfônico.

Os sais de lignosulfonato mais utilizados nas formulações dos aditivos redutores de água são os de cálcio e sódio, os quais substituem o hidrogênio no grupo sulfônico (SO_3H^-) ou carboxílico (COOH^-), ou seja, através do processo de neutralização do ácido pela adição de álcalis, é formado o sal. Quando o sal entra em solução acontece a ionização, de maneira que os esferóides externos ficam dotados por cargas negativas e o metal por positivas (SOUZA, 2007). De acordo com Odler (1998), apenas os grupos carboxílicos e sulfônicos situados na superfície dos esferóides são ionizáveis (Figura 3-4).

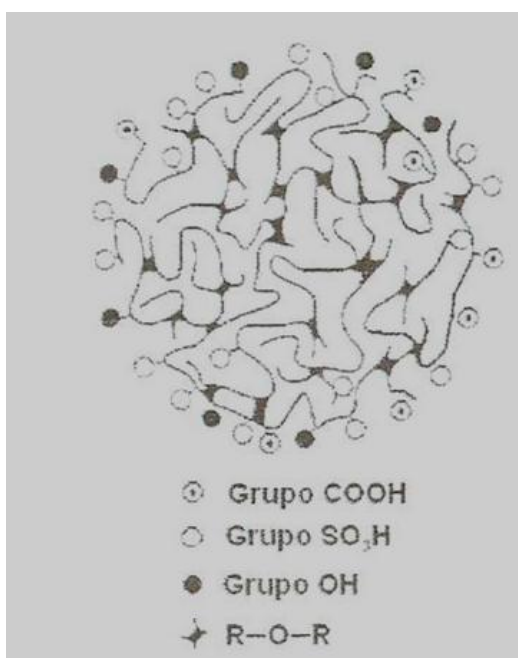


Figura 3-4 – Unidade de microgel de lignosulfonato
Fonte: SOUZA, 2007, p.29.

Além disso, o lignosulfonato de sódio apresenta maior grau de ionização na solução, em relação ao de cálcio. Isto justifica a maior demanda de concentrações de cálcio para obter a mesma redução de água de mistura, comparada com sal de sódio. Desta forma, o grau de ionização é indicador de qualidade do aditivo, já que possibilita a geração de cargas, e, com isto, a absorção na superfície do cimento e a repulsão eletrostática (ODLER, 1998; SOUZA, 2007).

3.2.5.2 – Aplicações

Segundo Collepardi (1984) e Mehta e Monteiro (2006), os aditivos redutores de água podem ser empregados em concreto visando três objetivos distintos: economizar o cimento, aumentar a fluidez, aumentar a resistência.

Quando o aditivo é incorporado a uma mistura cimentícia com a finalidade de economizar cimento, é necessário também a diminuição da quantidade de água para garantir ao concreto o mesmo desempenho nas características e resistência e fluidez em relação a mistura de referência. A redução do teor de cimento, além de resultar uma economia financeira, pode reduzir o calor de hidratação, característica relevante para concretagens realizadas em climas quentes ou em estruturas maciças.

A ação dispersante do aditivo aumenta a fluidez da mistura se a proporção dos materiais for mantida. Este efeito é causado pela adsorção do aditivo na superfície dos grãos de cimento dotando-os de carga negativas e conduzindo a repulsão das partículas (Figura 3-5).



Figura 3-5 – Ação do aditivo redutor de água sobre a flocculação e deflocculação das partículas de cimento

Fonte: SOUZA, 2007, p.30.

Mollah et al. (1995) consideram que a taxa de hidratação é melhorada na presença lignosulfonato, em virtude da ação defloculante do aditivo permitir o aumento da área de contato do cimento com a água. Contudo, a posterior hidratação do cimento não é significativamente afetada (ODLER, 1998). O concreto de alta fluidez é desejável quando seu lançamento é executado em locais que apresentam armaduras consideravelmente densas neste caso; o aditivo atua como plastificante.

Finalmente, a adição do composto possibilita a redução da relação a/c pra o mesmo nível de fluidez e um aumento do grau de hidratação, resultando em um melhoramento as propriedades mecânicas e de durabilidade. Entretanto, se o aditivo redutor de água aumentar ou diminuir consideravelmente o grau de hidratação em idades iniciais, será designado por aditivo plastificante acelerador ou retardador, respectivamente (COLLERPARDI, 1984). Em geral, a utilização dos redutores de água no concreto implica em um melhoramento de suas propriedades físico-químicas (MEHTA; MONTEIRO, 2006; WEIDMANN et al., 2007).

3.2.5.3 – Mecanismo de ação

Embora haja conhecimento que a presença de aditivo altere o curso das reações de hidratação do cimento, o modo de ação ainda não está completamente entendido. Muitos mecanismos têm sido sugeridos para explicar o efeito plastificante dos redutores de água no concreto. Collepardi (1984) reúne algumas proposições, baseado nos estudos dos pesquisadores identificados abaixo:

- a) redução da tensão superficial: o sistema disperso é termodinamicamente instável, comparado ao floculado, pois a tensão superficial é reduzida, com isto a dispersão é facilitada pelas moléculas absorvidas;
- b) absorção de multi-camadas¹ das moléculas orgânicas: a presença de uma camada adsorvida de diferentes espessuras, correspondente a diversas camadas de moléculas de água, que podem mudar a energia de interação interpartículas. Tais adsorções multicamadas podem promover uma

¹ Adsorção de moléculas em mais de uma camada sobre o substrato, neste caso sobre o produto anidro.

- estabilização estérica, menos importante na ação defloculante que a mudança no potencial zeta²;
- c) aumento do potencial eletro-cinético: medições em suspensões de água/cimento indicam que os grãos de cimento não migram em um campo elétrico, enquanto que em uma solução com lignosulfonato movem-se em direção ao ânodo, demonstrando a presença de uma carga negativa através da adsorção do aditivo na superfície das partículas de cimento. Esta carga negativa é atribuída aos ânions do lignosulfonato adsorvidos, e a dispersão do cimento a uma repulsão eletrostática mútua entre partículas;
 - d) formação de uma camada protetora de moléculas, o que dificulta a passagem de água: a carga negativa na superfície do cimento orienta o dipolo das moléculas de água, formando um hidrato protetor que previne a coagulação entre as partículas;
 - e) a liberação da água aprisionada entre as partículas de cimento floculadas: parte da água de mistura que estaria presa no flóculos é liberada, contribuindo para o aumento da fluidez da pasta, em virtude da dispersão do cimento;
 - f) efeito retardador da hidratação do cimento: a menor taxa de formação da etringita, causada pela presença de lignosulfonato, é responsável pela redução na demanda de água. Esta proposição é válida também para a redução da taxa de formação do aluminato hexagonal.
 - g) mudança na morfologia dos hidratos: uma diminuição do efeito de intertravamento da etringita foi observada na presença do lignosulfonato. Isto pode ser causada por uma redução no tamanho dos cristais de etringita, resultando num melhoramento do comportamento reológico (COLLEPARDI, 1984).

A presença de aditivos redutores de água pode modificar as propriedades reológicas do concreto. Fluidez, perda de abatimento, incorporação de ar, tempos de pega e a evolução da resistência à compressão ao longo do tempo. A mudança é principalmente devido aos efeitos físico-químicos das moléculas orgânicas dos aditivos na superfície do cimento.

² Representa o potencial elétrico no plano de cisalhamento. Quanto maior o potencial zeta positivo ou negativo maior a estabilidade da suspensão, superando a tendência natural de aglomeração (BETIOLI, 2007).

A ação dispersante do aditivo aumenta a fluidez da mistura desde que a proporção dos materiais seja mantida e é causada pela adsorção do aditivo na superfície dos grãos de cimento, dotando-os de cargas negativas e conduzindo à repulsão das partículas. O lignosulfonato presente no aditivo melhora a taxa de hidratação do cimento em função da ação defloculante do aditivo, permitindo o aumento da área de contato do cimento com a água (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

Não existe um consenso sobre efeito dos redutores de água na perda do abatimento. Historicamente, podem ser citados Tuthill et al. (1960), que não verificaram perdas de abatimento expressivas em concretos tratados com esses redutores. Em contrapartida, pesquisas citadas por Collepardi (1984) indicaram que em concretos com uma determinada relação a/c, apesar de o abatimento inicial aumentar com a adição de lignosulfonato, a taxa de perda de fluidez é maior na presença do aditivo.

Mailvaganam (1999) e Weidmann et al. (2007) sugerem, o desempenho de cada tipo e teor de aditivo depende de muitas variáveis e, assim, quando da seleção e definição de teor desse tipo de aditivo é imprescindível que sejam realizados estudos experimentais com os materiais que efetivamente serão empregados, levando-se em conta também as condições climáticas e de produção da sua aplicação real.

A redução na quantidade de água, proporcionada pelos aditivos redutores de água, conduz a um aumento na resistência. No entanto, é necessário fazer algumas considerações a respeito do ganho de resistência ao longo do tempo. O efeito retardador do lignosulfonato na hidratação do cimento, geralmente ocasiona uma diminuição na resistência à compressão no 1º dia do concreto, em relação à referência para a mesma relação a/c, devido ao efeito retardante desse aditivo na reação de hidratação inicial. Entretanto, aos 28 dias, a maior resistência à compressão dos concretos com lignosulfonato, em comparação à referência de mesma relação a/c, é consequência não apenas da redução de água proporcionada por esses aditivos, como também do maior grau de hidratação em idades avançadas, isto é, devido ao aumento da superfície de cimento disponível para hidratar. Desta forma, em virtude da melhoria no processo de hidratação, a resistência obtida em misturas com aditivo é maior para as mesmas relações a/c

hidratação, a resistência obtida em misturas com aditivo é maior para as mesmas relações a/c (COLLERPARDI, 1984; NEVILLE, 1997; JOLICOEUR et al., 2003; WEIDMANN et al., 2007).

CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi essencialmente experimental e elaborado de forma a caracterizar o desempenho de concretos bombeáveis confeccionados com e sem o uso de aditivo estabilizador de hidratação nos estados fresco e endurecido. A primeira parte do estudo foi desenvolvida no ambiente do laboratório e a segunda utilizando concreto produzido em escala industrial por uma empresa de concretagem sediada em Belo Horizonte, a Supermix Concreto S.A. (testes industriais ou de campo). Nestes, foram utilizadas amostras de características similares às utilizadas nos testes de laboratório.

4.1 – Materiais

Foram estudados concretos confeccionados com aditivo polifuncional, utilizando ou não aditivo estabilizador de hidratação. Os materiais empregados na confecção dos concretos, tanto no laboratório quanto nos testes de campo, foram cimento CPV ARI RS; areia natural, pó de pedra de calcário e brita de calcário; água da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA); e dois tipos de aditivos, um plastificante polifuncional e um estabilizador de hidratação.

4.1.1 – Cimento

Foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos, CP V-ARI RS, da marca Ciminas, produzido na fábrica Holcim, de Pedro Leopoldo - MG. Na Tabela 4-1 são apresentados os resultados de caracterização da amostra do cimento utilizado em laboratório.

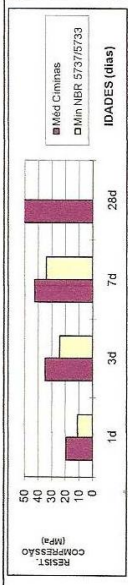
Tabela 4-1 – Análise laboratorial do cimento utilizado no projeto experimental

ENSAIO		RESISTÊNCIA				
Descrição	Resultados	Data	Idade	1ª Resistência (MPa)	2ª Resistência (MPa)	Média
Blaine cimento	442 m ² /kg	24.12.2009	1 dia	24,8	24,8	24,8
		26.12.2009	3 dias	36,9	36,9	36,9
Início de pega	02:25 Hs	30.12.2009	7 dias	44,1	44,4	44,3
Fim de pega	03:25 Hs	20.01.2010	28 dias	55,1	54,5	54,8

As características fornecidas pelo fabricante Ciminas para testes no laboratório constam no Quadro 4-1.

Quadro 4-1 – Características do cimento utilizado no projeto experimental – Teste no laboratório

Ref	Dia/Mês	FÍSICOS				QUÍMICOS											
		# 400 %	# 325 %	Blaine NBR 7224 cm ² /g	A/C %	Tempo Pegaj(mim) NBR 11551	Exp. Quente NBR 11582	Resistência à Compressão (MPa) NBR 7215				CO ₂ NBR 11593 %	PF 500 ° C IT 22 %	PF 1000 ° C NBR 5743 %	R.Ínsol. NBR 5744 %	SO ₃ NBR 5745 %	SULFETO %
1	24.09.2009	3,2	29,4	4553	29,4	165	205	20,4	37,2	42,2	53,1	2,79	0,79	3,41	0,95	2,49	
2	26.09.2009	3,3	29,1	4412	29,1	175	240	20,6	36,8	43,7	56,7	2,79	0,79	3,41	0,95	2,49	
3	29.09.2009	2,7	29,1	4412	29,1	170	230	18,4	35,9	44,2	56,9	2,86	0,66	3,38	1,00	2,43	
4	01.10.2009	2,7	29,3	4507	29,3	160	210	19,4	35,8	44,1	54,6	2,86	0,66	3,38	1,00	2,43	
5	03.10.2009	3,1	30,6	4483	30,6	155	210	19,6	33,8	41,7	54,1	2,86	0,66	3,38	1,00	2,43	
6	06.10.2009	3,5	30,1	4530	30,1	160	215	18,9	33,2	41,0	53,0	2,82	0,89	3,51	1,00	2,39	
7	08.10.2009	3,5	30,4	4485	30,4	140	190	19,7	34,1	42,0	51,3	2,82	0,89	3,51	1,00	2,39	
8	10.10.2009	3,5	30,3	4438	30,3	165	205	18,6	33,7	42,7	52,7	2,82	0,89	3,51	1,00	2,39	
9	13.10.2009	2,3	29,9	4575	29,9	155	210	22,5	36,4	44,3	54,5	2,82	0,89	3,51	1,00	2,39	
10	15.10.2009	3,3	30,0	4460	30,0	155	210	20,8	35,8	43,3	55,7	2,82	0,89	3,51	1,00	2,39	
11	17.10.2009	3,7	30,2	4340	30,2	160	225	17,9	33,0	41,0	51,2	3,00	0,63	3,29	0,95	2,43	
12	20.10.2009	3,7	29,8	4266	29,8	170	225	18,1	35,0	41,8	53,1	3,00	0,63	3,29	0,95	2,43	
13	22.10.2009	4,7	30,0	4190	30,0	150	215	19,8	33,4	41,3	52,8	2,85	0,81	3,54	1,00	2,45	
14	24.10.2009	4,9	29,7	4165	29,7	170	215	18,3	33,4	42,1	53,2	2,85	0,81	3,54	1,00	2,45	
15	27.10.2009	3,5	29,9	4266	29,9	175	230	18,7	35,0	42,2	54,3	2,85	0,81	3,54	1,00	2,45	
16	29.10.2009	4,0	29,8	4290	29,8	170	235	17,3	33,2	42,4	52,5	2,85	0,69	3,65	1,00	2,29	
17	31.10.2009	3,5	29,5	4340	29,5	150	215	18,7	34,4	43,7	52,4	2,85	0,69	3,65	1,00	2,29	
18	03.11.2009	3,7	30,3	4315	30,3	180	235	18,2	33,2	42,2	52,3	2,85	0,69	3,65	1,00	2,29	
19	05.11.2009	3,6	29,8	4412	29,8	175	230	18,4	36,2	43,6	52,3	2,85	0,74	3,84	1,00	2,38	
20	07.11.2009	3,6	29,6	4388	29,6	170	230	20,8	35,1	42,9	52,8	2,85	0,74	3,84	1,00	2,38	
21	10.11.2009	2,8	30,4	4266	30,4	165	230	20,8	34,7	44,4	52,8	2,85	0,59	3,39	1,00	2,48	
22	12.11.2009	3,8	29,4	4388	29,4	135	200	18,3	35,8	42,6	52,8	2,85	0,59	3,39	1,00	2,48	
23	14.11.2009	3,5	29,7	4369	29,7	155	200	19,3	36,1	42,1	52,8	2,85	0,59	3,39	1,00	2,48	
24	17.11.2009	3,0	29,3	4388	29,3	150	205	19,4	34,7	43,3	52,8	2,85	0,59	3,39	1,00	2,48	
25	19.11.2009	3,8	29,5	4364	29,5	175	240	19,7	35,4	40,5	52,8	2,85	0,52	3,59	1,00	2,41	
26	21.11.2009	3,6	29,2	4459	29,2	155	235	21,5	34,2	42,0	52,8	2,85	0,52	3,59	1,00	2,41	
27	24.11.2009	3,1	30,2	4436	30,2	160	240	18,0	35,0	40,8	52,8	2,85	0,56	3,52	1,00	2,25	
28	26.11.2009	2,6	29,4	4412	29,4	155	225	18,6	34,6	34,1	52,8	2,85	0,56	3,52	1,00	2,25	
29	28.11.2009	3,3	29,7	4507	29,7	150	215	18,8	34,1	34,1	52,8	2,85	0,56	3,52	1,00	2,25	
30	01.12.2009	3,9	29,9	4364	29,9	155	215	19,4	34,1	34,1	52,8	2,85	0,56	3,52	1,00	2,25	
31																	
32																	
MÉDIA		3,45	29,8	4393	29,8	161	220	19,3	34,8	42,5	53,6	2,88	0,69	3,51	0,99	2,40	
MÁXIMO		4,90	30,6	4575	30,6	180	240	22,5	37,2	44,4	56,9	3,00	0,89	3,84	1,00	2,49	
MÍNIMO		2,30	29,1	4165	29,1	135	190	17,9	33,0	40,5	51,2	2,70	0,52	3,29	0,95	2,26	
DESVIO		0,55	0,4	102	0,4	11	14	1,17	1,19	1,13	1,63	0,09	0,12	0,16	0,02	0,08	
% VARIACÃO		16,0	1,4	2,3	1,4	6,8	6,2	6,1	3,4	2,6	3,0	3,2	17,3	4,5	2,1	3,1	
Limite de Norma		≤6	≥3000	IT = Instrução de Trabalho	≥5	≥600	≥11	≥24	≥34	≤3	≤4,5	≤1,5	≤4,5	≤1,5	≤4,5		



Eng. Fabricio Carlos França
 Coordenador Técnico MG

PRQ_CPV_APLI_DE_VENDAS.MK

4.1.2 – Agregados

Foram utilizados dois tipos de agregados miúdos e um tipo de agregado graúdo. Os agregados miúdos utilizados foram areia natural e pó de pedra de calcário, cujas características são apresentadas a seguir. Considerando que as características dos agregados variam em função do lote, foram realizadas caracterizações em amostras retiradas do volume a ser usado nos ensaios de laboratório, e considerada a caracterização ao longo de 30 dias para os testes industriais.

A análise granulométrica da areia natural utilizada no concreto confeccionado em laboratório é apresentada nas Tabelas 4-2 e 4-3. A Figura 4-1 apresenta a curva granulométrica correspondente. Os demais ensaios de caracterização de areia natural são apresentados na Tabela 4-4. Os dados mostram ser areia de granulometria média e adequada para a confecção de concretos, na medida em que atende aos requisitos da NBR 7211 – Agregados para concreto.

Tabela 4-2 - Análise da granulometria da areia natural utilizada nos concretos confeccionados em laboratório.

PENEIRA	PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
		RETIDA	ACUMULADA
76			
64			
50			
38			
32			
25			
19			
12,5			
9,5			
6,3			
4,8	0,9	0,18	0,18
2,4	7,9	1,58	1,76
1,2	55,8	11,16	12,92
0,6	269,4	53,88	66,80
0,3	133,5	26,7	93,50
0,15	26,7	5,34	98,84
Fundo	5,8	1,16	100%
TOTAL	500	100%	

Os limites superiores e inferiores são mostrados na Tabela 4-3.

Tabela 4-3 – Porcentagem acumulada – Areia natural

Peneiras (mm)	Limite inferior	Limite superior
# 76	0,0	0,0
# 64	0,0	0,0
# 50	0,0	0,0
# 38	0,0	0,0
# 32	0,0	0,0
# 25	0,0	0,0
# 19	0,0	0,0
# 12,5	0,0	0,0
# 9,5	0,0	0,0
# 6,3	0,0	7,0
# 4,8	0,0	11,0
# 2,4	0,0	25,0
# 1,2	10,0	45,0
# 0,6	41,0	65,0
# 0,3	70,0	92,0
# 0,15	90,0	100,0

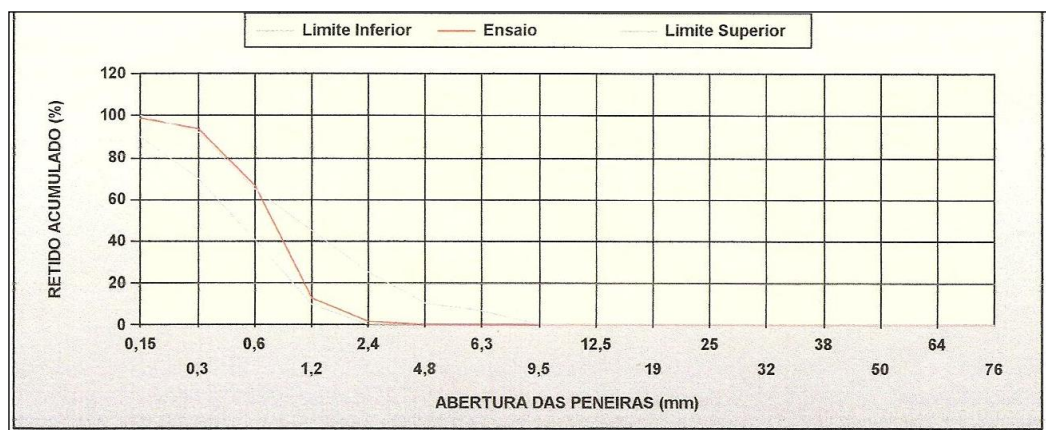


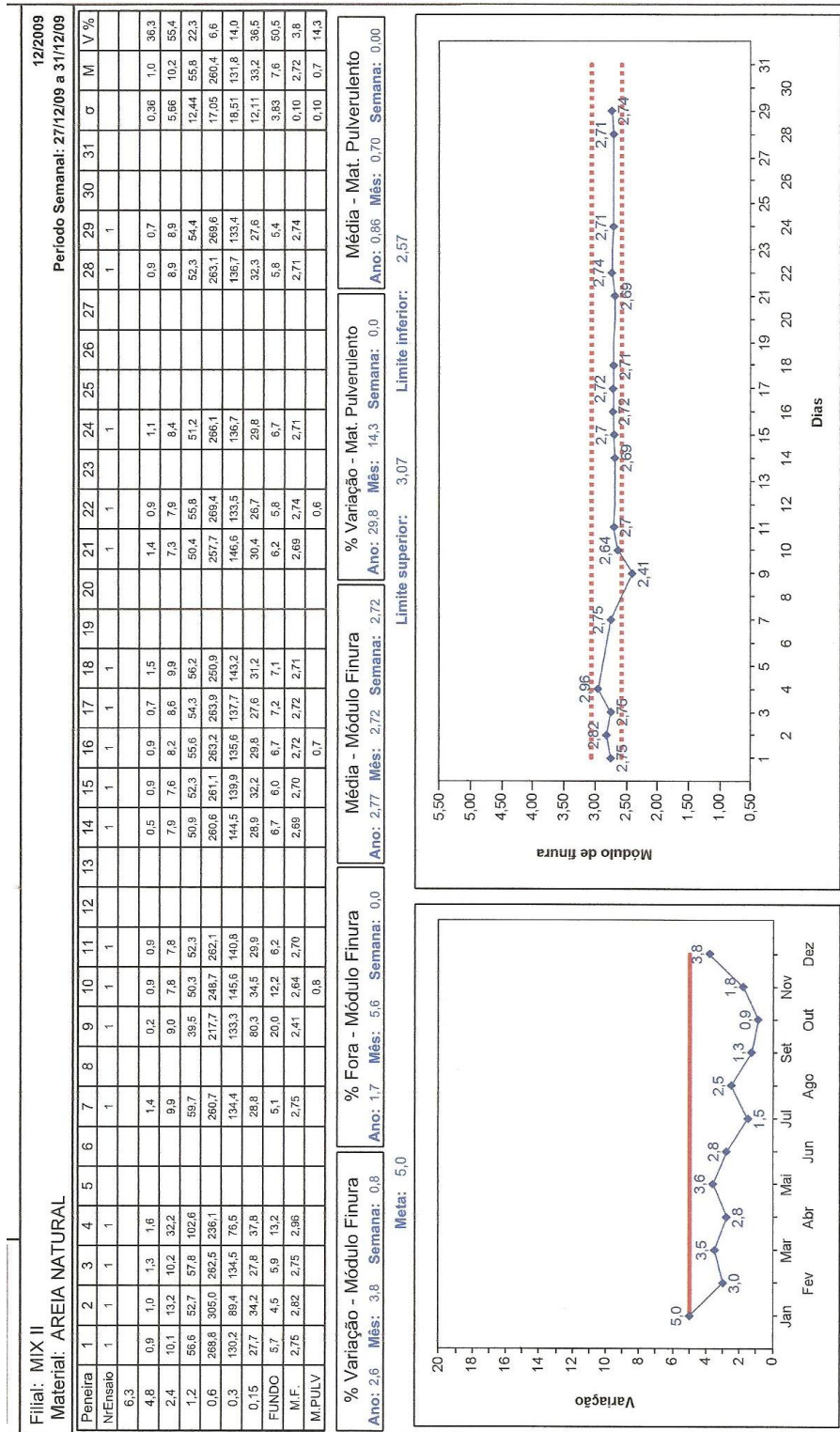
Figura 4-1 - Curva granulométrica da areia natural utilizada nos concretos confeccionados em laboratório

Tabela 4-4 - Caracterização física da areia natural utilizada nos concretos confeccionados em laboratório

DESCRIÇÃO	NORMA	RESULTADOS
Massa Unitária	NBR 7251	1,388 kg/dm ³
Massa Específica	NBR 9776	2,604 kg/dm ³
Teor Argila	NBR 7218	0,007%
Materiais Pulverulentos	NBR 7217	0,6%
Absorção	NBR 977/9937	
Impurezas Orgânicas	NBR 7220	< 300 ppm
Módulo de Finura	NBR 7217	2,740
Diâmetro Máximo	NBR 7217	2,4 mm
Coefficiente de Vazios		46,700%

No Quadro 4-2 são apresentadas as características obtidas para areia natural utilizada nos testes em escala industriais ao longo de um mês. Observa-se que a areia natural utilizada em laboratório e a dos testes industriais apresenta módulo de finura e materiais pulverulentos semelhantes.

Quadro 4-2 – Caracterização da areia natural utilizada nos testes industriais



Na Tabela 4-5 e na Figura 4-2 apresenta-se a análise granulométrica de pó de pedra de calcário utilizada para confecção de concretos em laboratório.

Tabela 4-5 - Análise da granulometria do pó de pedra de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório.

PENEIRA	PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
		RETIDA	ACUMULADA
76			
64			
50			
38			
32			
25			
19			
12,5			
9,5			
6,3			
4,8	21,2	4,24	4,24
2,4	123,4	24,68	28,92
1,2	89,3	17,86	46,78
0,6	74,4	14,88	61,66
0,3	26,7	5,34	67,00
0,15	22,4	4,48	71,48
Fundo	142,6	28,52	100%
TOTAL	500	100%	

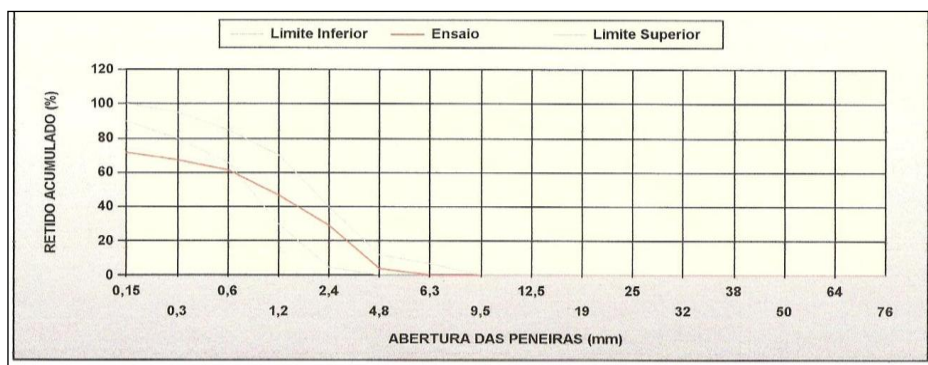


Figura 4-2 - Curva granulométrica do pó de pedra de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório

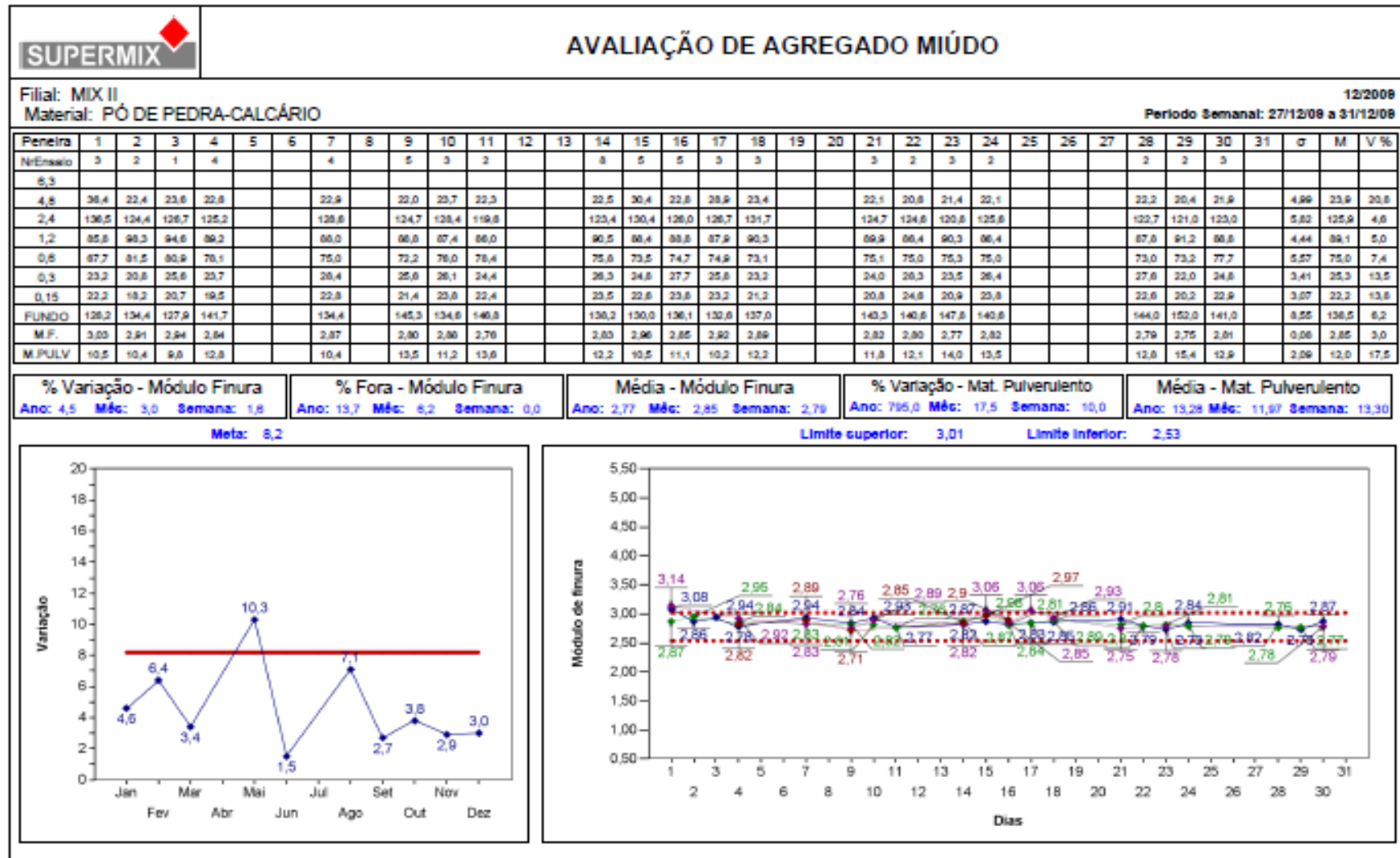
Os demais ensaios de caracterização são apresentados na Tabela 4-6. Os dados mostram ser areia de granulometria grossa e adequada para a confecção de concretos, na medida em que atende aos requisitos da NBR 7211 – Agregados para concreto.

Tabela 4-6 - Caracterização física do pó de pedra de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório

DESCRIÇÃO	NORMA	RESULTADOS
Massa Unitária	NBR 7251	1,702 kg/dm ³
Massa Específica	NBR 9776	2,703 kg/dm ³
Teor Argila	NBR 7218	
Materiais Pulverulentos	NBR 7217	13,8%
Absorção	NBR 977/9937	
Impurezas Orgânicas	NBR 7220	
Módulo de Finura	NBR 7217	2,801
Diâmetro Máximo	NBR 7217	4,8 mm
Coeficiente de Vazios		37,030%

O Quadro 4-3 mostra as características médias do pó de pedra de calcário utilizada no estudo ao longo de um mês. Observa-se que o pó de pedra utilizado em laboratório e o dos testes industriais apresenta módulo de finura e materiais pulverulentos semelhantes.

Quadro 4-3 - Caracterização do pó de pedra de calcário utilizada nos testes industriais



O agregado graúdo utilizado no projeto foi a pedra britada de calcário, proveniente da região de Pedro Leopoldo, Minas Gerais. Os dados da Tabela 4-7, Figura 4-3 e Tabela 4-8 mostram que a brita é do tipo 1 e atende aos requisitos da NBR 7211 – Agregados para concreto.

Tabela 4-7 - Análise granulométrica da brita de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório.

PENEIRA	PESO RETIDO	PORCENTAGEM	
		RETIDA	ACUMULADA
76			
64			
50			
38			
32			
25			
19	682,0	6,82	6,82
12,5	7423,0	74,23	81,05
9,5	1290,0	12,9	93,95
6,3	541,0	5,41	99,36
4,8	22,0	0,22	99,58
2,4			99,58
1,2			99,58
0,6			99,58
0,3			99,58
0,15			99,58
Fundo	42,0	0,42	100%
TOTAL	10.000	100%	

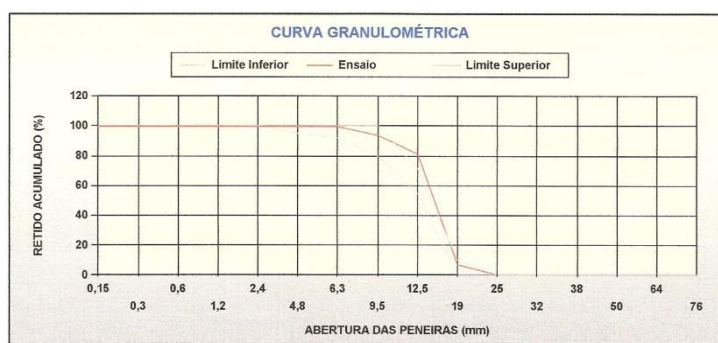


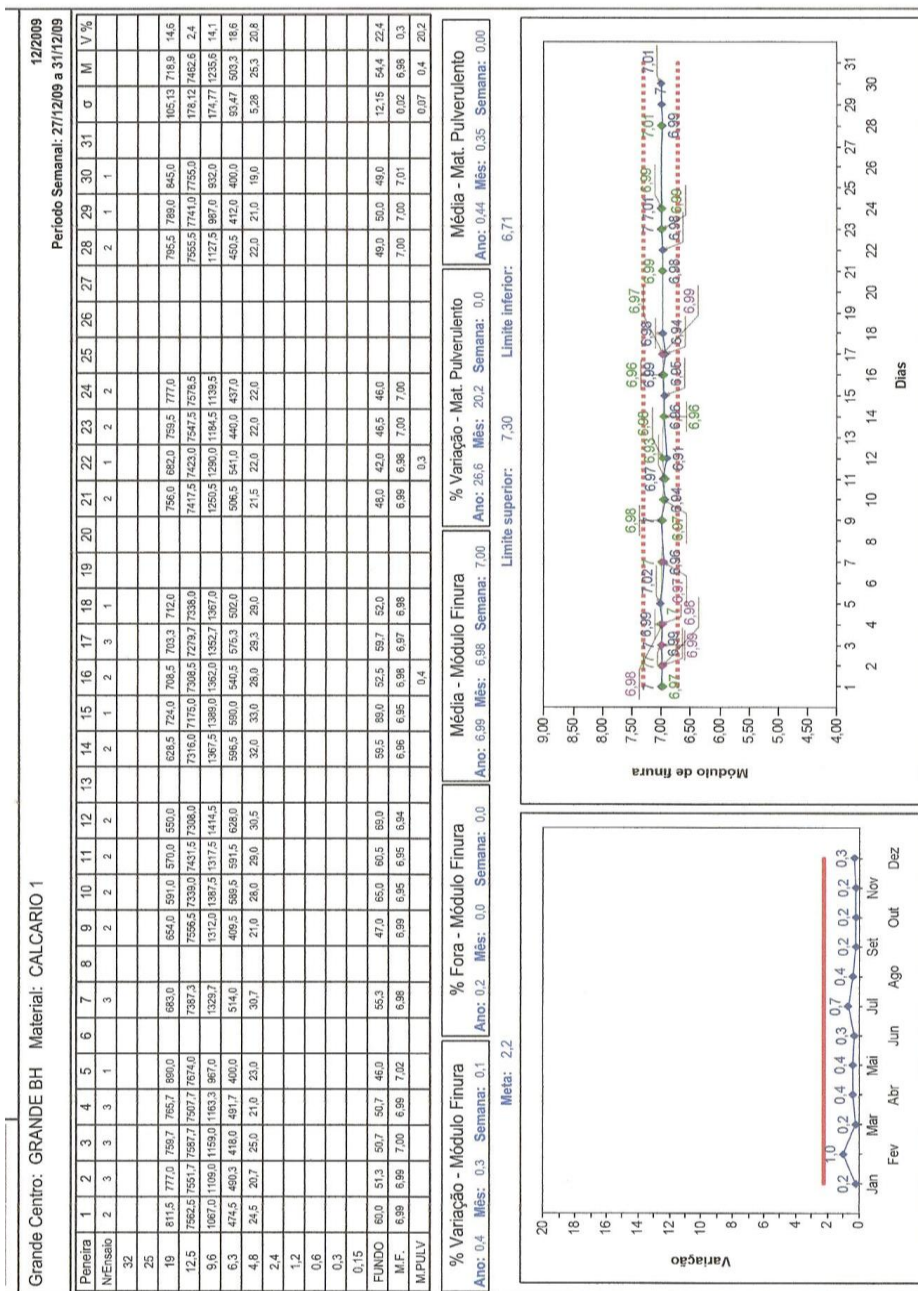
Figura 4-3 – Curva granulométrica da brita de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório

Tabela 4-8 - Caracterização física da brita de calcário utilizada nos concretos confeccionados em laboratório

DESCRIÇÃO	NORMA	RESULTADOS
Massa Unitária	NBR 7251	1.408 kg/dm ³
Massa Específica	NBR 9776	2.713 kg/dm ³
Teor Argila	NBR 7218	
Materiais Pulverulentos	NBR 7217	0,3%
Absorção	NBR 977/9937	
Impurezas Orgânicas	NBR 7220	
Módulo de Finura	NBR 7217	6,983
Diâmetro Máximo	NBR 7217	25 mm
Coeficiente de Vazios		48,100%

O Quadro 4-4 mostra a avaliação do agregado graúdo utilizado no teste industrial ao longo de um mês. Observa-se que a brita utilizada em laboratório e a dos testes industriais apresenta módulo de finura e materiais pulverulentos semelhantes.

Quadro 4-4 - Avaliação de agregado graúdo – Calcário – Teste industrial



4.1.3 – Água

A água utilizada no projeto foi a fornecida pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), cujas características são descritas na Tabela 4-9. A análise avalia quatro aspectos: (1) físico – verifica a cor, o cheiro e o sabor da água, além de sua turbidez, ou seja, alterações na sua transparência devido a resíduos não

eliminados; (2) químico – verifica a presença de materiais orgânicos ou inorgânicos que afetam a saúde das pessoas (pesticidas, ferro e alumínio); (3) bacteriológico – verifica a existência de coliformes totais e fecais, dentre outros microorganismos, indicativos da possibilidade da presença de outros microorganismos causadores de doença no homem; e (4) hidrobiológico – verifica a presença de microorganismos (vegetais e animais) que prejudiquem o tratamento da água ou que possam liberar substâncias tóxicas.

Tabela 4-9 - Resultado da qualidade da água – 01 a 12/2007 – Belo Horizonte

Parâmetro	Unidade	Número de amostras				Valor médio	Limites
		Mínimo	Realizadas	Fora dos padrões	Dentro dos padrões		
Cloro	MG/L Cl	7428	8011	60	7951	0,96	0,2 a 2
Coliformes Totais	NMP/100 ml	7428	8014	266	7748	96,68	Obs.
Cor	UH	1716	2078	10	2068	<2,5	15
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	273	9	264	-	Obs.
Fluoreto	MG/L F	864	1189	122	1067	0,76	0,6 a 0,85
Ph	-	1716	2078	2	2076	8,36	6 a 9,5
Turbidez	UT	1716	2078	4	2074	0,26	5
Observações:		Coliformes Totais:					
Para os parâmetros Coliformes Fecais e <i>Escherichia coli</i> , os valores médios não se aplicam. Referem-se ao percentual de amostras que atende aos padrões no período, sendo avaliados de acordo com os critérios ao lado.		- Sistemas que analisam 40 ou mais amostras/mês: ausência em 100 ml em 95% das amostras examinadas. - Sistemas que analisam menos de 40 amostras/mês: apenas uma amostra poderá apresentar resultado positivo em 100 ml.					
		<i>Escherichia coli:</i> Ausência em 100 ml.					

Fonte: COPASA, 2008, p.1.

Ressalta-se que a preocupação com as substâncias tóxicas e a qualidade da água se deve à responsabilidade ambiental dos profissionais que lidam com a tecnologia de concretos.

4.1.4 – Aditivo polifuncional

O aditivo polifuncional utilizado no projeto foi o Tec-mult 444, da marca Rheotec. Segundo o fabricante, o aditivo atende aos critérios da norma EB-1763 (ABNT, 1992). Suas características são as descritas na Tabela 4-10.

Tabela 4-10 - Características do aditivo polifuncional Tec Mult 444 (Rheotec) fornecidas pelo fabricante

Análises	Especificações	Resultados	Normas
Cor/Visual	Castanho Escuro	Ok	Rheotec
Aspecto/Visual	Líquido	Ok	Rheotec
Não Volátil/P%	39,90_44,10	43,20	Rheotec
Massa Específica g/cm ³	1,195_1,235	1,215	ASTM-D-1475 (2008)
PH	09,50_11,50	10,90	ABNT 10980 (1989)

4.1.5 – Aditivo estabilizador de hidratação (AEH)

O aditivo estabilizador de hidratação utilizado no projeto foi o Recover, da marca Grace, cujas características encontram-se explicitadas na Tabela 4-11. Segundo o fabricante, atende aos critérios da norma EB-1763.

Tabela 4-11 - Características do aditivo estabilizador de hidratação Recover (Grace) segundo o fabricante

Análises	Especificações	Resultados	Normas
Cor/Visual	Verde Claro	Ok	GMT 4001
Aspecto/Visual	Líquido	Ok	GMT 4001
Massa Específica g/cm ³	1,101_1,135	1,104	GMT 4003
PH	08,00_10,50	10,50	GMT 4004

4.2 – Métodos

Foram avaliados comparativamente concretos confeccionados com aditivo polifuncional. A dosagem de 0,6% sobre o peso do cimento (concreto de referência) e com aditivo estabilizador de hidratação à dosagem de 0,2% sobre o peso do cimento (concreto AEH).

Inicialmente foram feitos testes em laboratório, posteriormente completados com dados de usina comercial: após a aquisição dos materiais e sua caracterização segundo a normalização brasileira vigente, foram definidos os parâmetros para a confecção do concreto em função das características do mercado.

Conhecendo-se as características dos materiais, foram feitas as dosagens experimentais, confeccionado o concreto e determinadas suas propriedades no estado fresco e endurecido.

Posteriormente foram ensaiados concretos produzidos em escala industrial, com materiais similares, na empresa de serviços de concretagem Supermix Concreto S.A. durante o mês de dezembro de 2009 para as empresas Somatos, MASB, LSS Incorporações, Topus Empreendimentos, Inpar, MRV, Espaço Engenharia, e Habitare Construtora.

Os ensaios em escala industrial feitos no estado fresco (consistência) cumpriram o estabelecido na NM 67 (ABNT, 1998). Os testes de abatimento do concreto, calorimetria e início/fim de pega foram feitos em laboratório e não na escala industrial.

No estado endurecido, os procedimentos de moldagem e os de cura cumpriram o estabelecido na NBR 5738 (ABNT, 2003), e os ensaios de resistência à compressão obedeceram à NBR 5739 (ABNT, 2007).

Devido à constatação de que alguns dados obtidos nos testes de laboratório se assemelharam aos realizados em campo, alguns testes não foram reproduzidos em campo.

A Figura 4-4 ilustra o procedimento experimental adotado.

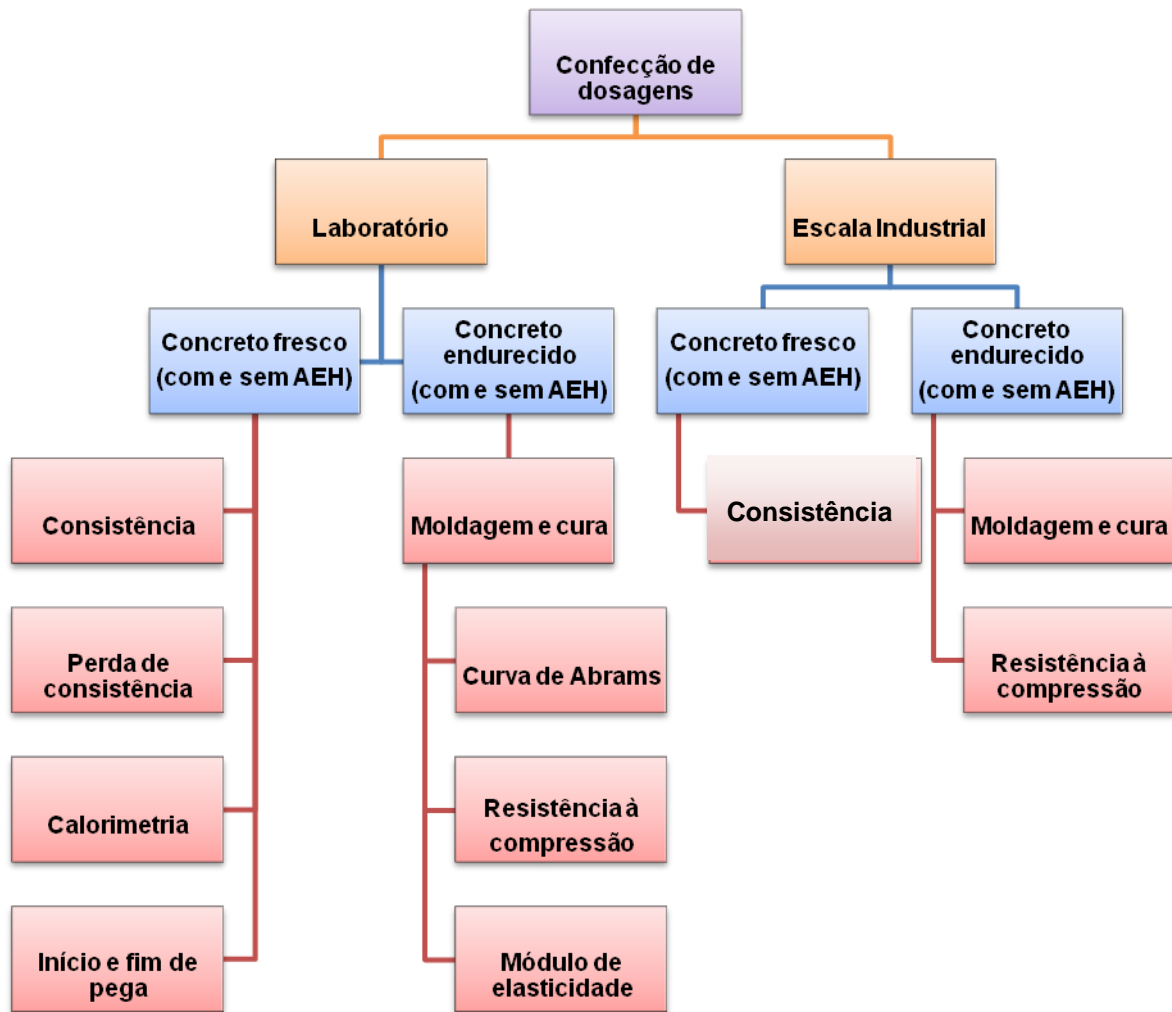


Figura 4-4 – Esquematização do procedimento experimental

A seguir, são detalhados os métodos utilizados.

4.2.1– Dosagem experimental

Em função do mercado, foram definidos os seguintes parâmetros de dosagem do caminho escolhido:

- (1) faixa de consistência 100 ± 20 cm;
- (2) diâmetro máximo da brita igual a 19 mm – brita 1 de calcário;
- (3) mescla de areias – 70% areia natural e 30% pó de pedra;
- (4) concreto para lançamento bombeável; e
- (5) resistência de característica (f_{ck}) variando entre 15,0 a 30,0 MPa.

4.2.1.1 – Matriz experimental

Foram confeccionadas 16 dosagens de concreto seguindo os critérios estabelecidos pelo método do Instituto Nacional de Tecnologia (INT)³ e procedimentos de adaptação da empresa prestadora de serviços de concretagem Supermix Concreto S.A. Foram realizadas 8 dosagens para a chamada mistura referência e 8 para mistura com utilização de AEH (0,6% aditivo polifuncional; 0,2% AEH).

Para cada dosagem foram moldados 6 corpos-de-prova cilíndricos com 10 de diâmetro por 20 cm de comprimento, de forma a se ter 2 corpos-de-prova para cada ensaio nas idades de 3, 7 e 28 dias. Essas dosagens foram dimensionadas com fatores água/cimento (a/c) variando entre 0,450 e 1,000 de forma a atender a faixa de consistência 10 ± 2 cm estabelecida como fator de controle.

As dosagens experimentais foram confeccionadas em laboratório com os agregados na condição saturada superfície seca, ou seja, isentos de umidade superficial de modo a se alcançar um volume em torno de 35 litros de concreto. Todo o material utilizado foi pesado em balanças eletrônicas e lançado na betoneira de eixo inclinado na seguinte seqüência: brita 1; areia natural; pó de pedra; cimento; água; e aditivos.

O tempo de homogeneização foi estipulado em 20 minutos, baseado na vivência profissional do autor deste estudo, considerado suficiente para a verificação da consistência e confecção da moldagem dos corpos-de-prova.

Após a obtenção dos resultados de resistência a compressão foram traçadas as curvas de Abrams que relacionam a resistência obtida ao fator água/cimento utilizado através do auxílio das equações exponenciais.

A partir do conhecimento dos dados pertinentes aos ensaios realizados em ambiente de laboratório, o estudo direcionou-se para a realização de fornecimentos de serviços em caráter de testes industriais. Inicialmente foram determinadas dosagens

³ Após determinada a relação água/cimento para uma dada resistência, a questão da determinação do traço é feita baseando-se na Lei de Lyse, segundo a qual a trabalhabilidade de um concreto (mantendo-se constantes os materiais) é função da quantidade de água total a ser empregada independentemente do traço adotado, para as proporções usuais (PETRUCCI, 2005).

racionais dos concretos dimensionados, de forma a atender as classes de resistência fck de 15,0; 18,0; 20,0; 25,0 e 30,0 MPa com e sem a utilização de aditivo AEH com consistência de 100+- 20 cm.

Durante um período de 35 dias, foram efetuados serviços de concretagem a oito clientes: Somatos; MASB; LSS Incorporações; Topus Empreendimentos; Inpar; MRV; Espaço Engenharia; e Habitare Construtora a partir de 138 partidas de concreto (comumente chamadas de 'viagens') homogêneas e transportadas por caminhões betoneira da empresa Supermix Concreto S.A., perfazendo um total de 927 metros cúbicos de concreto. A Tabela 4-12 apresenta um resumo dos concretos utilizados.

Tabela 4-12 – Resumo dos concretos utilizados no teste de campo*

Traço (MPa)	Volume/m ³	Nº de viagens	A/C	Volume/m ³	Nº de viagens
15,0	47	6	1,052	76	12
18,0	30	6	0,956	48	8
20,0	170	25	0,903	167	27
25,0	119	15	0,782	144	20
30,0	55	8	0,681	72	11
Total	Total	Total	Total	Total	Total
	420	60		507	78

(*) Somatos; MASB; LSS Incorporações; Topus Empreendimentos; Inpar; MRV; Espaço Engenharia; Habitare Construtora.

Os procedimentos relacionados à atividade de prestação de serviços de concretagem foram realizados de acordo com a norma NBR 7212 'Execução de concreto dosado em central' (ABNT, 1984).

4.2.2 – Moldagem dos corpos-de-prova

Foram moldados no laboratório 6 (seis) corpos-de-prova cilíndricos de concreto de cada uma das 16 dosagens executadas, conforme prescrito pela NBR 5738 (ABNT, 2003). Foram utilizadas formas plásticas de 10,0 cm de diâmetro e 20,0 cm de altura moldadas em duas camadas iguais e adensadas e regularizadas em seu topo com haste de aço e identificadas com etiqueta de papel (com identificação de série correspondente à dosagem confeccionada). Cada série de seis exemplares (após moldados) foi subdividida em 3 grupos, sendo cada um composto por 2 corpos-de-prova a serem rompidos aos 3, 7 e 28 dias de idade. Após 24 horas do momento da

moldagem, os corpos-de-prova foram desformados e encaminhados ao processo de cura.

Para cada partida ou viagem de concreto realizada em caráter de teste industrial foi coletada amostra do concreto no terço médio da descarga e moldados 3 corpos-de-prova (NBR 5738), cujos rompimentos foram programados para 7 dias (com um exemplar) e 28 dias (com 2 exemplares) (Figura 4-5).



Figura 4-5 – Moldagem dos corpos-de-prova em campo

4.2.3 – Cura dos corpos-de-prova

Após 24 horas, os 96 corpos-de-prova cilíndricos de concreto moldados em laboratório foram desformados e encaminhados ao processo de cura, realizado em câmara úmida, a uma temperatura constante de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar de 95%, como prescrito pela NBR 5738 (ABNT, 2003). Os corpos-de-prova permaneceram armazenados na câmara úmida, separadamente alocados em compartimentos, cuja data de rompimento encontrava-se devidamente identificada. Cabe ressaltar que somente foram retirados desse ambiente úmido e quente no dia de seu rompimento (Figura 4-6).



Figura 4-6 – Visões da câmara úmida em dois ângulos

Os corpos-de-prova relativos aos testes industriais foram moldados e, depois de 24 horas, foi realizada sua coleta e todos foram colocados em veículo adaptado, de modo a eliminar quaisquer ocorrências que pudessem prejudicar a integridade dos exemplares (Figura 4-7), como prescrito pela NBR 5738 (ABNT, 2003).



Figura 4-7 – Coleta dos corpos-de-prova

Ao chegar até as instalações da mencionada empresa, os corpos-de-prova foram retirados do caminhão de coleta e armazenados em local coberto, também protegido de intempéries até sua desforma. Logo após este procedimento, os corpos-de-prova foram registrados pelo leitor de código de barras para avaliar o tempo de coleta (Figura 4-8). A seguir, foram encaminhados para a câmara úmida (NBR 5738) (ABNT, 2003).



Figura 4-8 – Corpo de prova etiquetado

As formas plásticas foram limpas e untadas com a estopa molhada com desmoldante. Na desforma, alguns itens foram observados: presença de brocas; se os corpos-de-prova possuíam identificação por etiqueta (Figura 4-8); presença de materiais estranhos; desnivelamento ou qualquer outro tipo de anomalia que pudesse prejudicar o resultado final.

4.2.4 – Propriedades do concreto fresco

Os concretos com e sem AEH fabricados em laboratório foram submetidos a ensaios de consistência, perda de consistência, calorimetria, e início e fim de pega.

4.2.4.1 – Consistência

Após a homogeneização inicial de aproximadamente 20 minutos, em rotação constante da betoneira de eixo vertical, todas as 16 dosagens realizadas em laboratório tiveram sua consistência determinada através dos prescritos pela NBR NM 67 (ABNT, 1998). O método empregado mede o abatimento de um determinado volume de concreto, devidamente adensado em 3 camadas de volumes iguais em um tronco de cone, comumente chamado de Cone de Abrams (Figura 4-9).



Figura 4-9 – Conjunto de equipamento para slump test

Após o adensamento da última camada, o tronco é retirado em um tempo pré-estipulado (5s a 10s) quando então se faz a medição do abatimento do concreto denominado em inglês por “Slump Test.”. Todas as dosagens executadas foram ajustadas para o valor máximo admitido de 120 mm (Figura 4-10).



Figura 4-10 – Medição do abatimento do concreto em laboratório

Amostra de cada uma das partidas ou viagens de concreto executadas para teste em campo foi providenciada após a realização do ensaio de determinação da consistência, conforme o prescrito pela NBR NM 67 (ABNT, 1998) e a obtenção do valor máximo de 120 mm de abatimento (Figura 4-11).



Figura 4-11 – Slump test em campo

4.2.4.2 – Perda de consistência

Foram executados os ensaios de Perda de Consistência em laboratório sobre duas dosagens distintas, sendo uma chamada de 'referência', constituída dos insumos padrões e uma segunda, utilizando-se aditivo AEH. Ambas foram determinadas a partir de um fator água cimento igual a 0,700, escolhido em função de o mesmo representar a classe de concreto mais utilizada pelo mercado da construção civil, ou seja, resistência característica à compressão igual a 30,0 MPa.

Os procedimentos foram executados buscando demonstrar a manutenção da trabalhabilidade do concreto ao longo do tempo, característica importante para a indústria do concreto, em função da demanda de tempo dos processos de transporte e descarga do concreto nos canteiros de obra.

Os ensaios foram realizados conforme os prescritos pela NBR 10342 'Concreto _ Perda de Abatimento' (ABNT, 1992), que prevê medições de consistência no slump a cada 15 minutos até que o slump apresente abatimento compreendido na faixa de 20 ± 10 mm.

4.2.4.3 – Calorimetria

O ensaio de calorimetria fornece medidas proporcionais das taxas de reação durante a hidratação o que permite acompanhar a evolução contínua da reação exotérmica

nos sistemas cimentícios analisados. Utilizando um equipamento (marca Grace de quatro canais e medição semiadiabática) determinou-se a curva de calor de hidratação ao longo do tempo. A análise da curva permite identificar o início das reações de pega e de início do endurecimento, assim como a ocorrência de interações entre cimento e aditivos por meio da identificação de alguns fenômenos, como a pega instantânea (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

Os ensaios de calorimetria foram realizados em pastas de cimento onde foram avaliados o comportamento de duas misturas de fator água/ cimento igual a 0,450: a primeira delas considerada padrão (contendo aditivo polifuncional) e a segunda contendo, além de aditivo polifuncional A (Tec-Mult 444), o aditivo estabilizador de hidratação AEH. Também foi avaliado o comportamento de pastas contendo AEH e diferentes fatores água/cimento: 0,450; 0,650; 0,800; 0,850 e 0,900.

4.2.4.4 – Tempo de pega

Com o intuito de conhecer e comparar os tempos de início e fim de pega do concreto foram executados ensaios de determinação desses tempos conforme o prescrito pela NBR NM 65 (ABNT, 2003) intitulada 'Cimento Portland – Determinação do tempo de pega'.

Os ensaios foram executados em duas dosagens de fator água/cimento apenas igual a 0,700 (por opção pessoal e vivência profissional do autor), que representam a relação mais usual no mercado belo-horizontino, com a primeira contendo aditivo polifuncional, e a segunda aditivo polifuncional e aditivo AEH.

4.2.5 – Propriedades do concreto endurecido

As propriedades do concreto em seu estado endurecido foram observadas e monitoradas para identificar sua resistência à compressão. No caso das amostras de laboratório foram determinados os módulos de elasticidade estático e dinâmico para misturas com fator água/cimento iguais a 0,500 e 0,600.

4.2.5.1 – Resistência à compressão

Depois de retirar os corpos-de-prova moldados em laboratório do processo de cura, os mesmos foram retificados em uma máquina elétrica (Figura 4-12), conforme os prescritos pela NBR 5738 (ABNT, 2003), de forma a provê-los de elevado índice de planicidade e nivelamento (Figura 4-13).



Figura 4-12 – Retífica elétrica



Figura 4-13 - Planicidade

Os rompimentos foram realizados em amostras com idades de 3, 7 e 28 dias em prensa elétrica da marca Forney (Figura 4-14), com capacidade de 125 toneladas, dotada de mostradores analógico e digital em prazo de aferição vigente. Foram ensaiados dois corpos-de-prova por situação analisada. Os ensaios foram executados conforme os prescritos pela NBR 5739 (ABNT, 2007).



Figura 4-14 – Equipamento utilizado nos ensaios de compressão

Os corpos-de-prova moldados em campo, após o período de cura, foram submetidos aos mesmos procedimentos descritos acima para determinação da resistência à compressão aos 28 dias.

4.2.5.2 – Módulo de elasticidade

Foram medidos os módulos de elasticidade estático e dinâmico de 4 (quatro) dosagens de concreto, sendo duas confeccionadas com os insumos considerados 'padrão' e duas com utilização de AEH. As dosagens foram dimensionadas a partir dos fatores água cimento iguais a 0,600 e 0,500 (os mais utilizados no mercado de Belo Horizonte e baseado na vivência profissional do autor deste estudo), cujos módulos foram obtidos 28 dias.

O módulo estático tangente foi obtido fazendo uso equipamento extensômetro eletrônico marca Dinateste, $L_e = 50 - 100$ e $150 \text{ mm } \Delta L + 2,0 \text{ mm}$, com resolução de $0,5 \text{ } \mu\text{m}$, faixa de medição $0,05$ a $0,50 \text{ mm}$ – interface com o software TestMod e com as cargas sendo aplicadas em prensa Forney com capacidade para 125 toneladas (devidamente aferida), segundo a norma NBR 8522/2008 (Figura 4-15).



Figura 4-15 – Equipamento para determinação do módulo de elasticidade em concreto

Os ensaios para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico para o concreto foram baseados nas recomendações da norma *Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal and Torsional Frequencies of Concrete Specimens* da *American Society For Testing And Materials* (ASTM-C215, 2008) para determinação do módulo longitudinal. Os ensaios foram feitos a partir da determinação da freqüência natural de vibração do material utilizando ondas geradas eletromecanicamente, método de ressonância forçada (FIG. 4-16). Foram realizadas 10 medições em cada corpo-de-prova.



Figura 4-16 – Equipamento para determinar a freqüência ressonante - Erudite MKII (Laboratório de Materiais - UFMG)

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

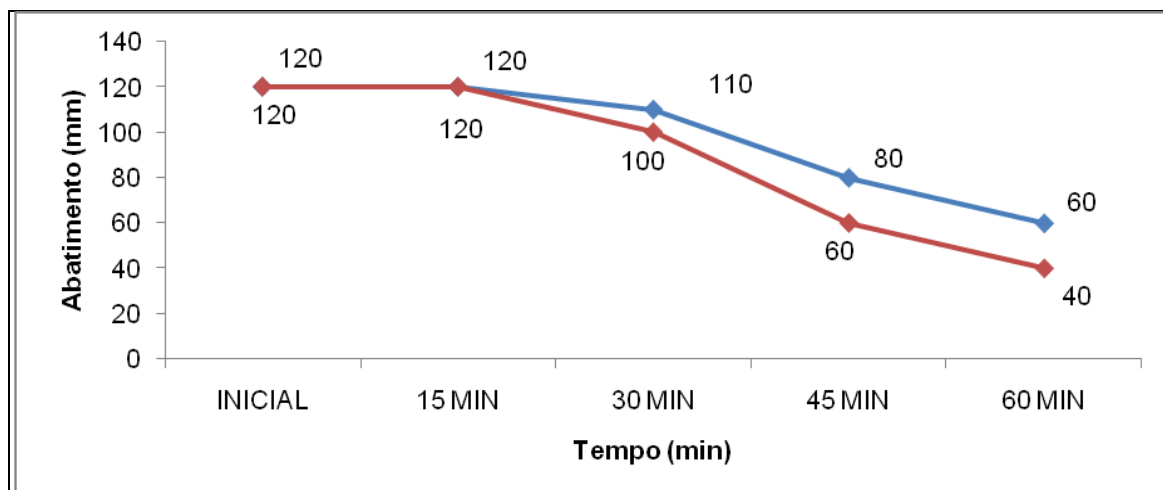
A seguir são apresentados os resultados obtidos.

5.1 – Propriedades no Estado Fresco

As propriedades no estado fresco são apresentadas a seguir.

5.1.1 – Perda de consistência

Os dados obtidos para o ensaio de perda de consistência dos concretos fabricados em laboratório são apresentados na Figura 5.1. A consistência inicial das dosagens de referência e com AEH foi de 12 cm, valor também encontrado no tempo de 15 minutos. A partir deste momento verificou-se uma perda de consistência mais branda na mistura em que se utilizou AEH: aos 30 minutos os valores apontados para o ensaio de Slump Test eram 11,0 cm para mistura com AEH e 10,0 cm para mistura de referência (a mistura com AEH apresentava uma perda de consistência 10% inferior à padrão). Essa diferença aumentou aos 45 minutos onde a mistura com AEH apresentava-se com 8,0 cm de consistência enquanto a padrão com 6,0 (diferença de 33%). O ensaio foi finalizado com os valores de consistência de 6,0 e 2,0 mm respectivamente, ou seja, uma diferença percentual favorável à mistura com AEH em 50%.



Legenda:

Concreto referência



Concreto + AEH

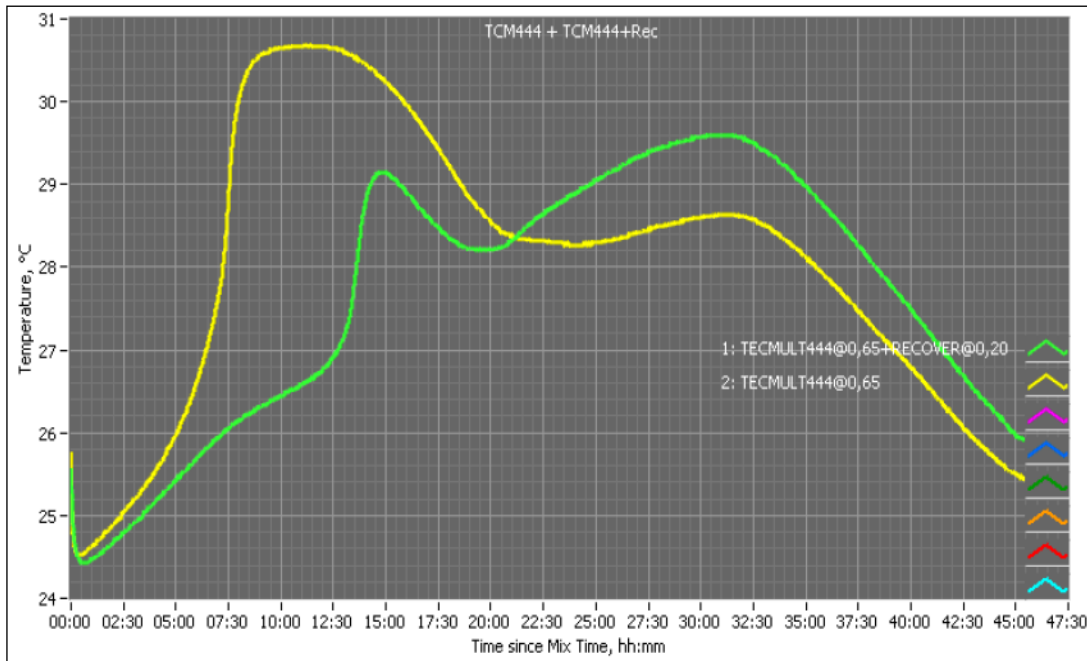


Figura 5-1 – Perda de consistência

Os dados do concreto de referência são consistentes com os comumente utilizados em concretos bombeáveis (BENINI, 2005). Observa-se que o AEH não compromete a consistência do concreto bombeável e que a menor queda de consistência a ele associada poderia ser um fator favorável no caso de maiores tempos de concretagem.

5.1.2 – Calorimetria

Os resultados dos ensaios de calorimetria das pastas de cimento contendo fator água/cimento de 0,450, aditivo polifuncional, com e sem aditivo estabilizador de hidratação, são apresentados no gráfico da Figura 5.2.



Legenda:

Concreto referência

Concreto + AEH

Figura 5-2 – Curvas de calorimetria para as pastas de cimento contendo fator água/cimento de 0,45, aditivo polifuncional, com e sem aditivo estabilizador de hidratação

Observa-se que o comportamento das duas misturas foi bastante diferenciado em termos de liberação de calor: a mistura padrão alcançou sua temperatura máxima de 30,6°C em aproximadamente 11 horas, após o contato dos grãos de cimento com a água, enquanto que a mistura contendo AEH alcançou seu pico de temperatura em aproximadamente 31 horas perfazendo valor de 29,5°C. A mistura padrão apresentou maior taxa de liberação de calor até o tempo de 21 horas, quando alcançou o valor de 28,4°C. A mistura contendo AEH passou a apresentar maior liberação de calor, mantendo esse cenário até o término do ensaio, ou seja, o momento de estabilização.

O ensaio também mostrou que com tempos superiores a 45 horas as duas misturas já apresentavam temperatura bastante semelhantes de 25,5° C e 26,0° C, respectivamente, com tendência de estabilização de dissipação de calor.

Pode-se inferir que a mistura padrão apresentou tempo de Início de Pega de aproximadamente 3 horas e Fim de Pega em 8 horas. Já o comportamento da mistura contendo AEH apresentou-se diferenciado: o Início de Pega se manifestou ao redor das 5 horas, ou seja, duas horas depois, e o Fim de Pega ocorreu em 13

horas, cinco horas mais que a mistura considerada padrão, ou seja, duas horas depois.

O concreto com AEH apresentou o tempo de início de pega 67% maior em relação ao concreto referência e 63% a mais de tempo de fim de pega. Tal fato era esperado já que a função do aditivo AEH é de estabilizar a hidratação do concreto retardando a pega. Sendo mais lenta nas primeiras idades, a reação de hidratação proporciona um acréscimo de resistência à compressão do concreto, mostrando-se benéfica.

A Figura 5-3 apresenta as temperaturas em pastas de cimento com fatores água cimento iguais a 0,450; 0,650; 0,800; 0,850 e 0,900 confeccionadas com a utilização de aditivo estabilizador de hidratação, durante a hidratação.

O ensaio mostrou comportamentos semelhantes entre as misturas envolvidas: todas as misturas apresentaram tempos de início de pega ao redor das 4:00 horas e dissipações de calor menores quanto maiores forem os fatores água/cimento correspondentes.

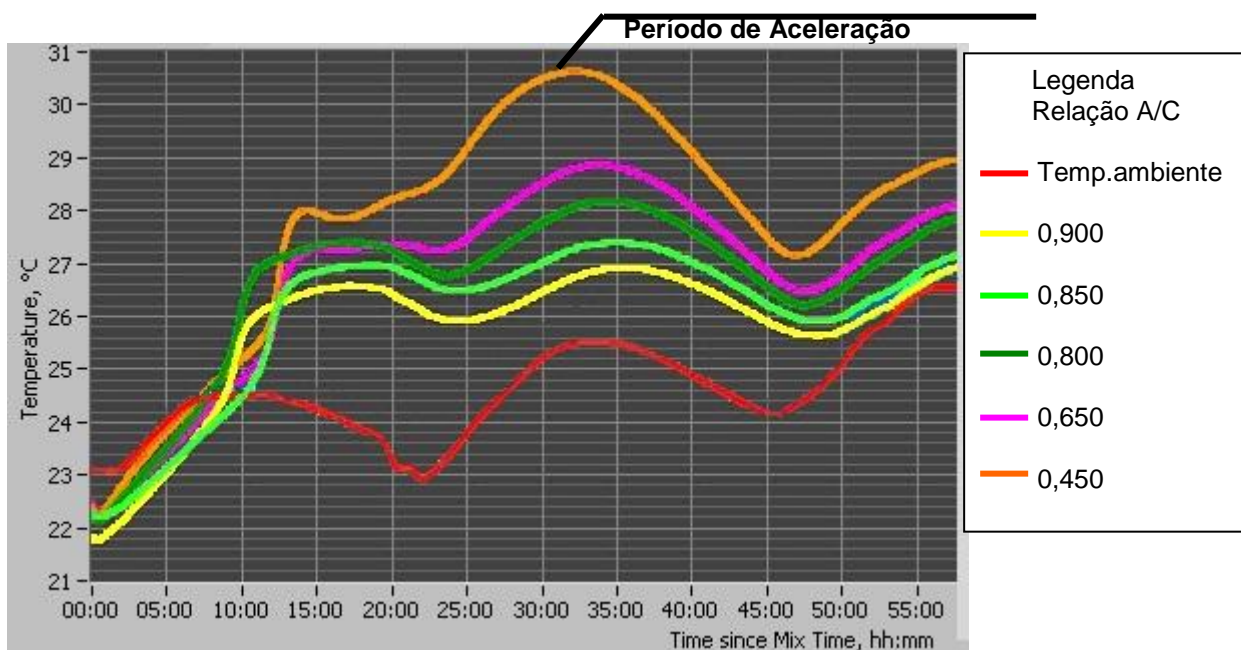


Figura 5-3 – Curvas de calorimetria para as pastas de cimento contendo diferentes fatores água/cimento, aditivo polifuncional e com aditivo estabilizador de hidratação

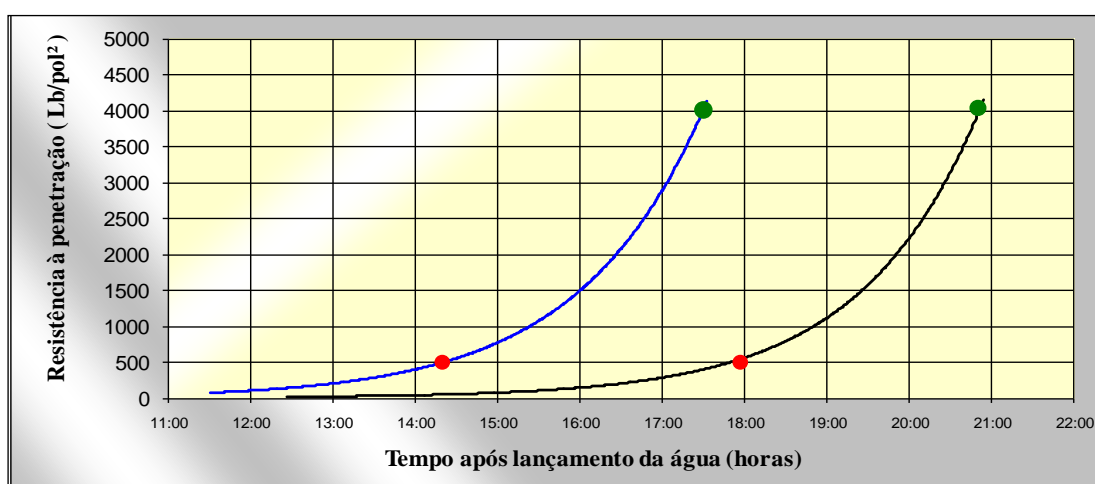
O valor máximo de temperatura foi de 30,8°C para pasta de fator água/cimento igual a 0,450 e o valor mínimo de 27°C para a pasta de fator água cimento de 0,900 com tempo em horas de 34:00 horas.

Tal fato nos mostra que o início e fim de pega não altera significativamente para fatores de água cimento diferentes. Já o calor liberado durante o processo de hidratação é maior para as relações água cimento menores. Conclui-se que a relação água cimento libera mais calor, mas demora o mesmo tempo para iniciar a pega em relação aos demais fatores.

5.1.3 – Tempo de Pega

Os tempos de início e fim de pega obtidos por meio da resistência à penetração (Agulha de Proctor) de duas misturas cimentícias com e sem AEH são apresentados na Figura 5.4 e na Tabela 5.1.

A mistura de referência apresentou tempo de Início de Pega de 14:20 (quatorze horas e vinte minutos) e Fim de Pega com 17:30 (dezessete horas e trinta minutos). A mistura contendo AEH apresentou tempo de Início de Pega de 18:10 (dezoito horas e dez minutos) e Fim de Pega de 20:50 (vinte horas e cinquenta minutos) (Figura 5.4). Portanto, a mistura contendo AEH apresentou tempo de inicio de pega maior que a mistura padrão em 3:50 (três horas e cinquenta minutos) ou 26,7% em porcentual, já o tempo de fim de pega dilatou-se em 3:30 (três horas e trinta minutos) do apresentado pela mistura padrão ou 19,05% em porcentual.



Legenda:
 Fim de Pega ●
 Início de Pega ●
 Concreto referência ■
 Concreto + AEH ■

Figura 5-4 – Ensaio de tempo de pega – Agulha de Proctor

As Tabelas 5-1 e 5-2 apresentam os valores obtidos como tensão de penetração pelas diversas agulhas utilizadas durante a realização dos ensaios.

Tabela 5-1 – Determinação do tempo de pega do concreto por meio da resistência à penetração

Agulha	Horário	Leitura (Lb)	Temperatura	Conversão
1"	20:00	90	24	90 Lb/Pol ²
1"	20:30	104	24	104 Lb/Pol ²
3/4"	21:05	106	24	141 Lb/Pol ²
1/2"	21:35	102	24	204 Lb/Pol ²
1/3"	22:05	106	24	318 Lb/Pol ²
1/4"	22:35	104	24	416 Lb/Pol ²
1/5"	23:00	104	23	520 Lb/Pol ²
1/10"	23:35	104	23	1040 Lb/Pol ²
1/20"	00:15	102	23	2040 Lb/Pol ²
1/40"	00:55	106	23	4240 Lb/Pol ²

Legenda:

Concreto referência 

Concreto + AEH 

OBS.: Horário de lançamento da água no concreto = 08:30

5.2 – Propriedades do Concreto Endurecido

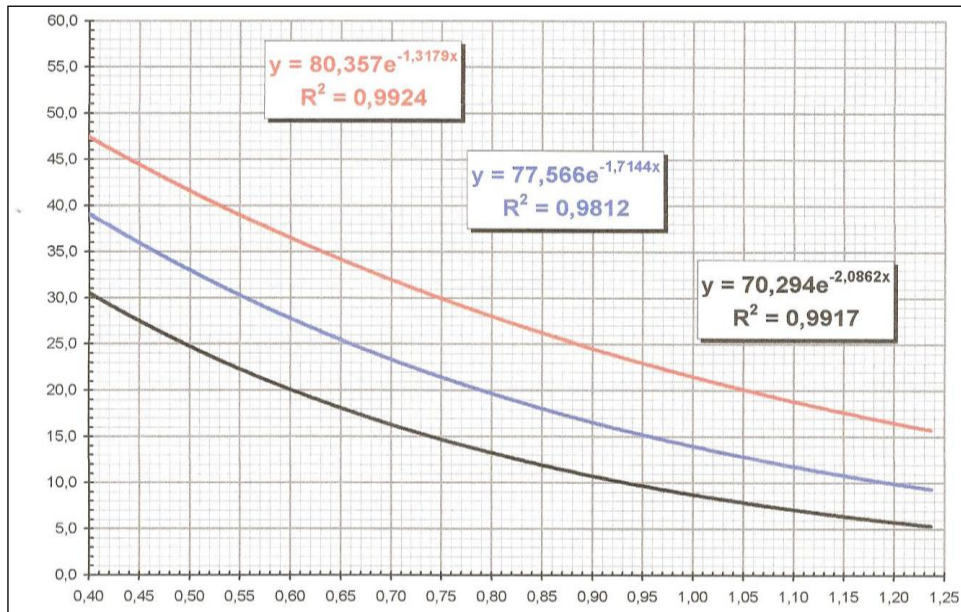
As propriedades no estado endurecido para os concretos confeccionados em laboratório e em escala industrial são apresentados a seguir.

5.2.1 – Resistência à compressão

5.2.1.1 – Concretos fabricados em laboratório

Os ensaios realizados em laboratório permitiram que fossem confeccionadas curvas de Abrams (Figuras 5-7 e 5-8) para as idades de 3, 7 e 28 dias das misturas confeccionadas com aditivo polifuncional com e sem AEH.

Os valores são médias aritméticas dos resultados de dois corpos-de-prova.



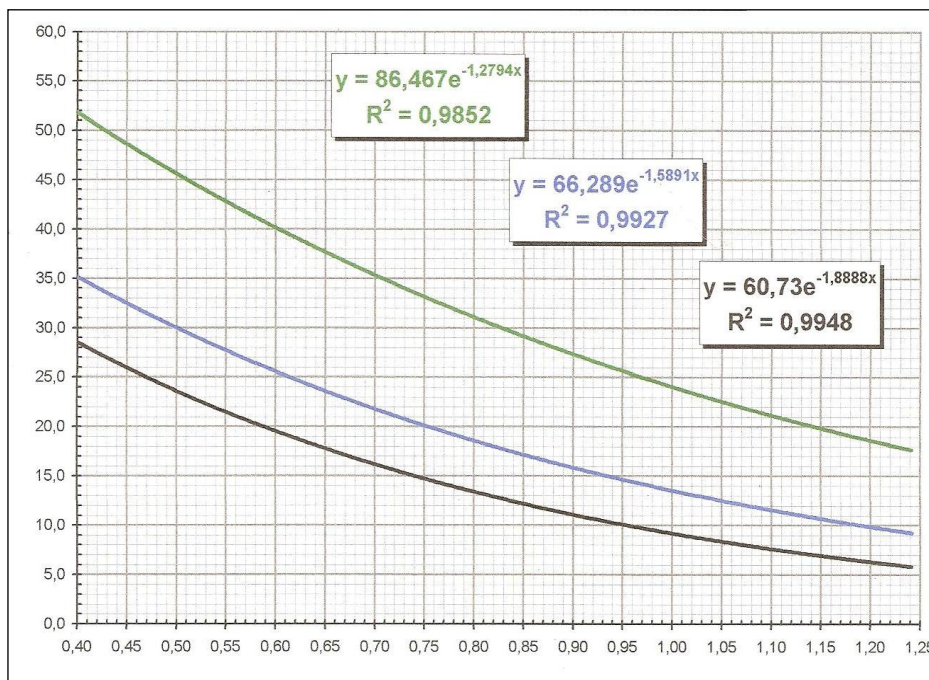
Legenda:

28 dias ■

7 dias ■

3 dias ■

Figura 5-5 – Curva de Abrams para misturas confeccionadas com aditivo polifuncional no concreto referência – 3, 7 e 28 dias



Legenda:

28 dias ■

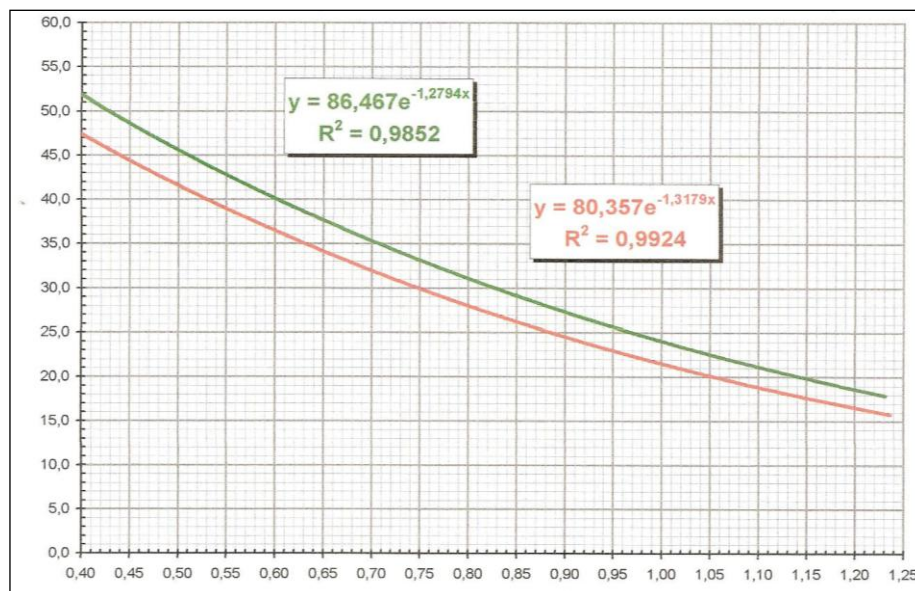
7 dias ■

3 dias ■

Figura 5-6 – Curva de Abrams para misturas confeccionadas com aditivo polifuncional e AEH – 3, 7 e 28 dias

Na Figura 5-9 podem ser analisados comparativamente os dados acima para a idade de 28 dias. Os dados mostram que para todos os fatores água/cimento e idades analisadas o uso do AEH juntamente com o aditivo polifuncional está associado a um aumento de resistência. Os resultados apontam que aos 28 dias a mistura contendo aditivo AEH alcançou em média 3,36 MPa acima da mistura considerada padrão, ou seja, um ganho de resistência à compressão médio de 10,36%.

A análise percentual demonstra que este ganho de resistência à compressão apresentou-se de forma homogênea: de 10,1% para a/c de 0,500, 10,4% para a/c de 0,600, 10,34% para a/c de 0,700, 10,35% para a/c de 0,800 e 10,61% para a/c de 0,900.

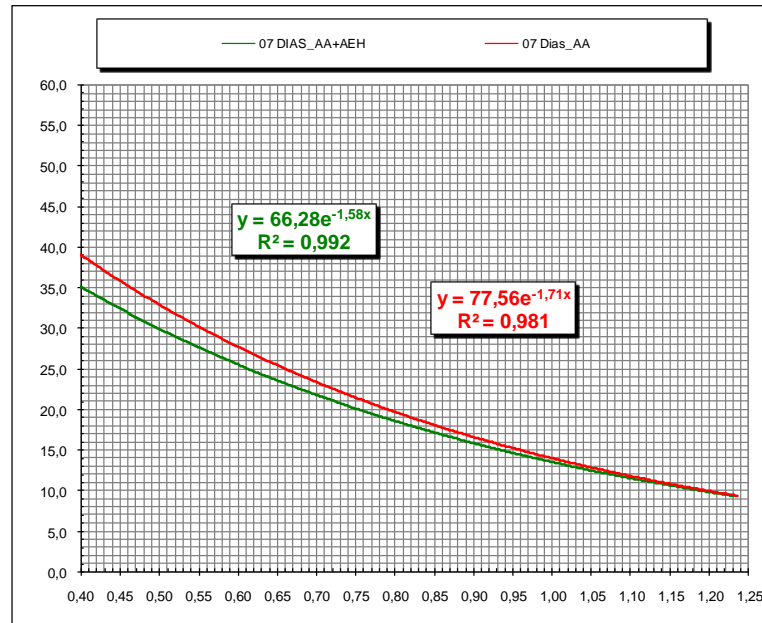


Legenda:

Concreto referência ■
 Concreto + AEH ■

Figura 5-7 – Curva de Abrams para misturas confeccionadas com aditivo polifuncional, com e sem AEH aos 28 dias

Na Figura 5-10 os dados de moldagem dos corpos-de-prova em campo podem ser comparados para a idade de 07 dias.



Legenda:

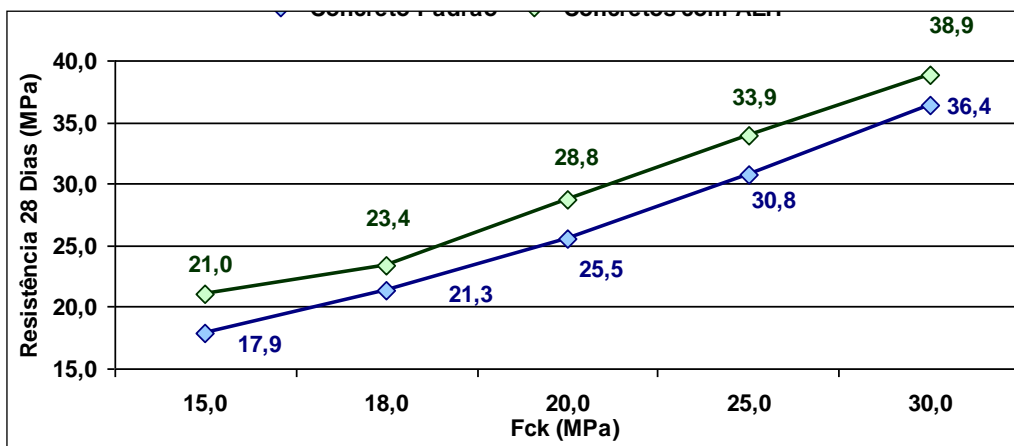
Concreto referência ■
 Concreto + AEH ■

Figura 5-8 – Resistência à compressão dos concretos ‘referência’ e com aditivo AEH aos 7 dias

Os valores mostram que concretos com aditivo AEH apresentam resistência à compressão inferior ao concreto ‘referência’ (sem aditivo AEH). Isto estaria relacionado ao fato de o aditivo AEH proporciona a estabilização da hidratação do cimento, o que leva a um retardo no crescimento da resistência à compressão.

5.2.1.2 – Concretos fabricados em escala industrial

A resistência à compressão axial na idade de 28 dias dos concretos produzidos em escala industrial para diferentes empresas é apresentada na Figura 5-11. Os valores são médias aritméticas dos resultados de dois corpos-de-provas na idade de 28 dias. Cabe lembrar que cada uma das classes de resistência analisadas foi dosada utilizando-se um mesmo fator água cimento.



Legenda:
 Concreto referência
 Concreto + AEH

Figura 5-9 – Resistência à compressão dos concretos (referência e com AEH) aos 28 dias

Os resultados apontam que a mistura contendo aditivo AEH alcançou em média 2,8 MPa acima da mistura considerada padrão, ou seja, um ganho de resistência à compressão médio de 11,55%. A análise porcentual demonstra que este ganho de resistência à compressão apresentou-se de forma não homogênea quando analisadas as classes de resistência à compressão utilizadas e seus fatores água/cimento correspondentes, sendo de 17,31% para $f_{ck} \geq 15,0$ com a/c de 1,052; 9,8% para $f_{ck} \geq 18,0$ com a/c de 0,956; 12,94% para $f_{ck} \geq 20,0$ com a/c de 0,903; 10,01% para $f_{ck} \geq 25,0$ com a/c de 0,782 e 6,87% para f_{ck} de 30,0 com a/c de 0,681.

5.2.1.3 – Módulo de elasticidade

Nas Tabelas 5-3 a 5-10 e nas Figuras 5-13 a 5-16 são apresentados os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade estático tangente (E_{ci}) e dinâmico (E_d) para dosagens dimensionadas com fatores água cimento iguais a 0,600 e 0,500, obtidos aos 28 dias.

Tabela 5-2 – Módulo de elasticidade dinâmico para o concreto de referência com a/c de 0,600

fr (Hz)	fl (Hz)	fh (Hz)	Desvio padrão (GPa)	E_d (GPa)
10115	9989	10693	o	38,2

Legenda:

fr = frequência ressonante; fl = frequência mais baixa obtida a 0,707 conforme curva de distribuição de amplitude de vibração; fh = frequência mais alta obtida a 0,707 conforme curva de distribuição de amplitude de vibração; Ed = Elasticidade Dinâmica

Tabela 5-3 – Módulo de elasticidade estático para o concreto de referência com a/c de 0,600

Concreto			
ϵ Med.	Var. ϵ CP1	Var. ϵ CP2	Var. ϵ CP3
0,00	0,00	0,00	0,00
0,02	0,00	0,00	0,00
0,22	-1,54	-1,54	3,08
0,33	-1,01	0,50	0,50
0,46	-1,81	-0,72	2,53
0,60	-1,39	0,28	1,11
0,76	-1,10	-2,42	3,52
0,96	-0,52	0,52	0,00
1,16	0,29	-0,57	0,29
Fc,ef.med (MPa)			34,1
Var. Fc,ef .med%			2,82
$\Delta\sigma$ (MPa)			10,0
$\Delta\epsilon$ (μm)			0,312
Eci (GPa)			32,214

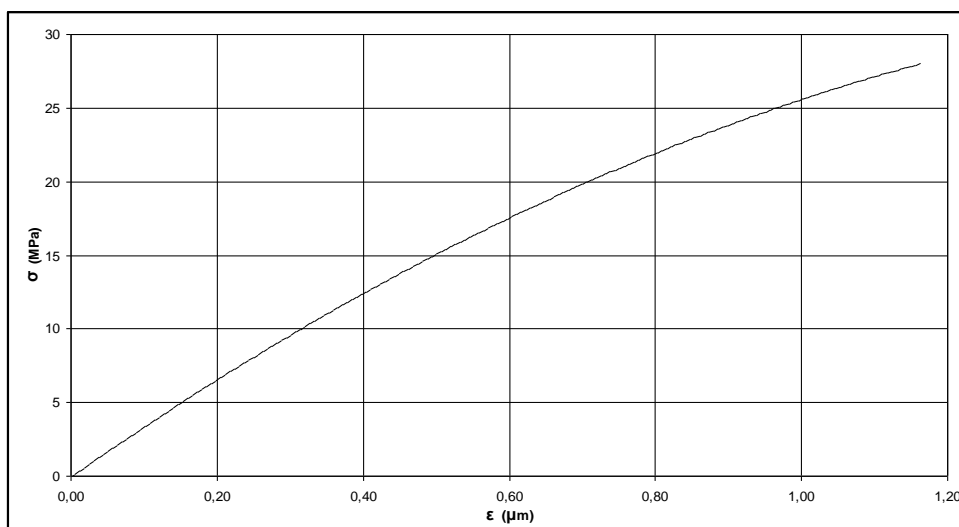


Figura 5-10 – Módulo de elasticidade estático para o concreto de referência com a/c de 0,600

Tabela 5-4 – Módulo de elasticidade dinâmico para o concreto com AEH e a/c de 0,600

fr (Hz)	fl (Hz)	fh (Hz)	Desvio padrão(GPa)	Ed (GPa)
10180	10040	10737	0	38,3

Tabela 5-5 – Módulo de elasticidade estático para o concreto com AEH e a/c de 0,600

Concreto			
ε Med.	Var. ε CP1	Var. ε CP2	Var. ε CP3
0,00	0,00	0,00	0,00
0,02	0,00	0,00	0,00
0,21	-0,80	-0,80	1,60
0,33	-1,02	0,51	0,51
0,45	-1,12	1,12	0,00
0,58	-0,58	0,29	0,29
0,71	-1,42	0,71	0,71
0,86	-1,56	0,78	0,78
1,03	-0,97	-0,49	1,46
		Fc,ef.med (MPa)	35,9
		Var. Fc,ef .med%	-4,84
		Δσ (MPa)	9,8
		Δε (μm)	0,307
		Eci (GPa)	31,873

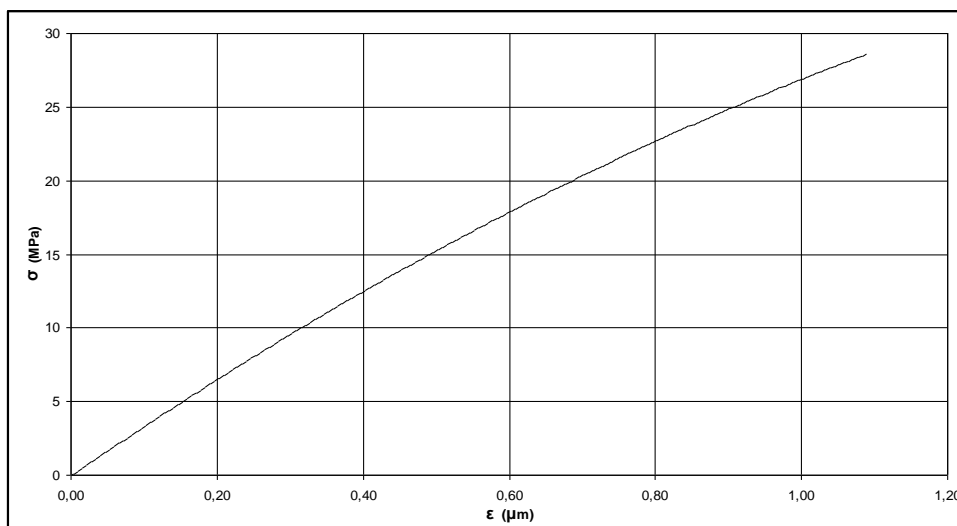


Figura 5-11 – Módulo de elasticidade estático para o concreto com AEH e a/c de 0,600

Tabela 5-6 - Módulo de elasticidade dinâmico para o concreto de referência com a/c de 0,500

fr (Hz)	fl (Hz)	fh (Hz)	Desvio padrão(GPa)	Ed (GPa)
10351	10200	10900	0	40,3

Tabela 5-7 - Módulo de elasticidade estático para o concreto de referência com a/c de 0,500

Concreto			
ε Med.	Var. ε CP1	Var. ε CP2	Var. ε CP3
0,00	0,00	0,00	0,00
0,02	0,00	0,00	0,00
0,24	1,37	1,37	-2,74
0,35	3,83	-0,48	-3,35
0,48	0,70	-0,35	-0,35
0,63	-1,59	2,38	-0,79
0,77	-1,96	2,61	-0,65
0,94	1,24	0,18	-1,42
1,11	0,00	0,00	0,00
Fc,ef.med (MPa)			40,3
Var. Fc,ef .med%			0,67
Δσ (MPa)			11,7
Δε (μm)			0,328
Eci (GPa)			35,578

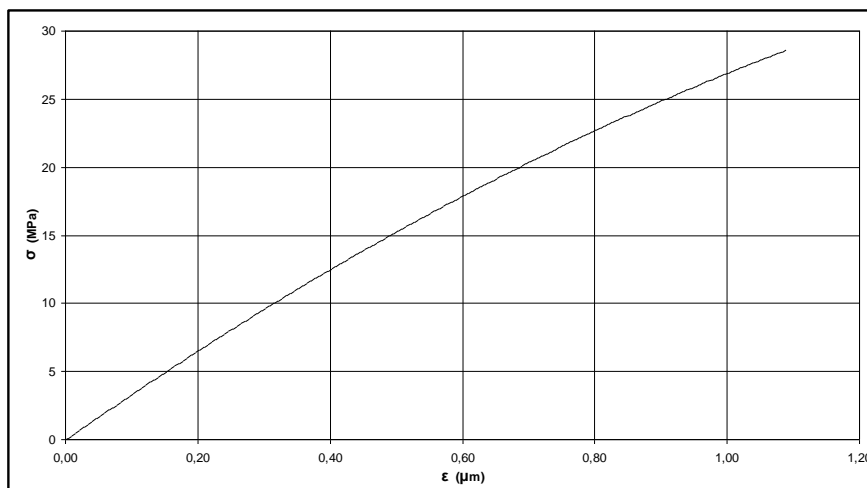


Figura 5-12 – Módulo de elasticidade estático para o concreto de referência com a/c de 0,500

Tabela 5-8 - Módulo de elasticidade dinâmico para o concreto com AEH e a/c de 0,500

fr (Hz)	fl (Hz)	fh (Hz)	Desvio Padrão(GPa)	Ed (GPa)
10260	10162	10833	0	39,9

Tabela 5-9 – Módulo de elasticidade estático para o concreto com AEH e a/c de 0,500

Concreto			
ε Med.	Var. ε CP1	Var. ε CP2	Var. ε CP3
0,00	0,00	0,00	0,00
0,02	0,00	0,00	0,00
0,23	2,22	-2,22	0,00
0,35	-0,48	-1,91	2,39
0,47	-1,08	-1,08	2,15
0,57	3,79	-3,21	-0,58
0,72	-1,85	-1,15	3,00
0,87	-1,91	-0,76	2,67
1,04	-1,60	-1,12	2,72
Fc,ef.med (MPa)			40,6
Var. Fc,ef .med%			1,16
Δσ (MPa)			11,8
Δε (μm)			0,328
Eci (GPa)			36,050

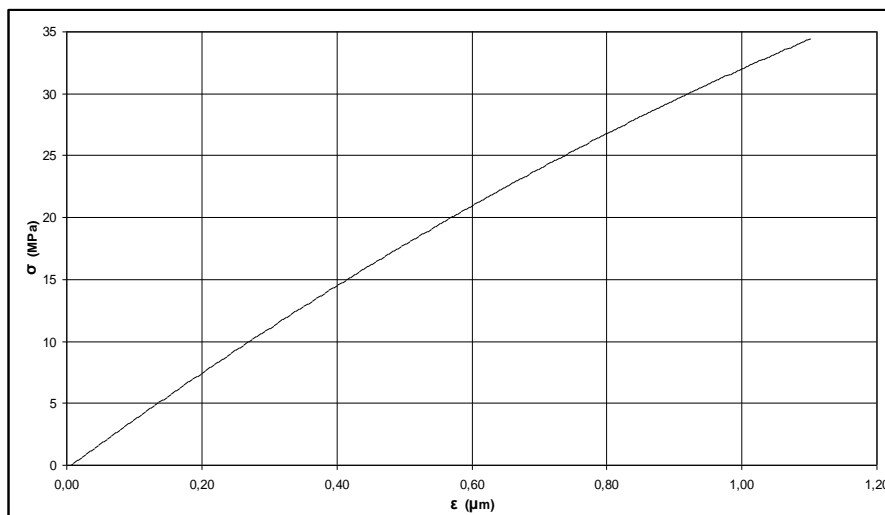


Figura 5-13 – Módulo de elasticidade estático para o concreto com AEH e a/c de 0,500

Constata-se para a relação 0,6 (padrão) que o módulo dinâmico é sempre superior ao estático. O AEH não afetou o módulo com 0,6. Com a diminuição do a/c, o módulo aumenta, mas o dinâmico continua mais alto (em torno de 5 MPa).

Os resultados mostram que com o uso de menor relação água/cimento o composto se torna mais rígido (MEHTA; MONTEIRO, 2006). A análise comparativa dos módulos estáticos e dinâmicos mostra que o módulo obtido por frequência ressonante é superior ao determinado no ensaio de compressão. Alguns autores (MEHTA; MONTEIRO, 2006) sugerem que o módulo de deformação dinâmico pode ser obtido a partir do módulo tangente calculado pela reta traçada desde a origem. Em função da forma da curva, verifica-se que esse módulo tangente inicial é maior, se comparado ao secante ou a qualquer outro tangente. Sendo assim, é de se esperar que os módulos calculados a partir de métodos dinâmicos sejam maiores que os estáticos de modo geral.

Segundo Mehta e Monteiro (2006), o módulo dinâmico se situa em torno de 20-40% maior do que o módulo estático de deformação para concretos de alta, média e baixa resistência. Essa diferença dependeria dos cuidados tomados durante a realização dos ensaios e do emprego de fatores de correção nas equações para o cálculo do módulo dinâmico. Para Coutinho e Gonçalves (1994), a razão entre o módulo tangente e o dinâmico é em torno de 0,5 para concretos de baixa resistência, crescendo para perto de 0,8 com o aumento da resistência.

A idade do concreto também afeta essa relação. Este resultado é coerente com o sugerido na literatura (MEHTA; MONTEIRO, 2006). Verifica-se que a diferença percentual do módulo de elasticidade estático entre a amostra considerada padrão e a amostra na qual foi utilizado aditivo estabilizador de hidratação foi de -1,05%.

Para o módulo de deformação dinâmico houve um acréscimo de 0,30%. Para o fator água cimento igual a 0,500, a diferença percentual em se tratando de módulo de elasticidade estático entre a amostra considerada padrão e a em que se utilizou aditivo estabilizador de hidratação foi de +1,37%.

Para o módulo de deformação dinâmico houve um acréscimo de -1,09%. Os percentuais citados estão dentro da faixa de erros da medição, ou seja, os resultados obtidos indicam que tanto para a relação água/cimento de 0,500 como para de 0,600 o uso de AEH não afeta a rigidez dos concretos aos 28 dias: os módulos dinâmicos e estáticos permanecem praticamente os mesmos nos concretos

referência e com AEH. Em outras palavras, as diferenças são provavelmente inferiores ao erro do ensaio.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

O uso do aditivo estabilizador de hidratação como insumo corrente em misturas bombeáveis de concreto promove alteração nos tempos de início e fim de pega. Este comportamento seria benéfico para a indústria do concreto, pois permite que as misturas cimentícias permaneçam com suas características de estado fresco por maior tempo, facilitando as atividades de transporte e descarga. Os resultados obtidos indicam que a utilização de AEH melhora também as propriedades do concreto no que se refere à perda de abatimento. Quanto às propriedades no estado endurecido os resultados indicam que o módulo de elasticidade não é afetado pela adição do AEH. A utilização do AEH promove uma diminuição da resistência à compressão do concreto nas primeiras idades. Na idade de 28 dias, ensaios de laboratório e de campo, indicam que o uso de AEH promove um aumento da resistência mecânica à compressão.

A partir desses resultados seria importante estudar a influencia do AEH na durabilidade dos concretos bombeáveis.

CAPÍTULO 7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos da viabilidade econômica dos concretos fabricados com AEH considerando o somatório das despesas relacionadas à geração de rejeitos advindos do processo convencional e às relacionadas às melhorias das propriedades do concreto.

Estudo da destabilização dos concretos com AEH.

REFERÊNCIAS

ABESC. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem. 2002. Disponível em <<http://www.abesc.org.br/main.htm>>. Acesso em 20 mar. 2009.

ABESC. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem. **Manual do Concreto dosado em central**. 2007. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/pdf/manual.pdf>>. Acesso em 11 mar. 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 977/9937 – Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004 – Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10342 – Concreto - Perda de abatimento - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10980 – Roldanas – dimensões e materiais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11768 – Aditivos para concreto de cimento Portland – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12654 – Controle tecnológico de materiais componentes do concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655 – Concreto – Preparo, controle e recebimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5732 – Condições exigíveis no recebimento dos cimentos Portland comuns (CPI e CPI-S), de classes 25, 32 e 40**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7212 – Execução de concreto dosado em central.** Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7216 – Amostragem de agregados.** Rio de Janeiro: ABNT, 1987. Substituída pela NM 26:2001.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7217 – Determinação da composição granulométrica dos agregados.** Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7218 – Determinação do teor de argila em torrões nos agregados.** Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7220 – Agregados - Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo.** Rio de Janeiro: ABNT, 2000. CANCELADA. Não possui substituição.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7251 – Agregado em estado solto. Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8953 – Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9211. Preparação de corpos-de-prova de refratários plásticos – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 1983. CANCELADA. SUBSTITUÍDA PELA NBR 10966/1989.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9776 – Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman - Método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1988. CANCELADA. NÃO POSSUI SUBSTITUIÇÃO.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9937 – Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo - Método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR EB 1763 – Aditivos para concreto de cimento Portland.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 52 – Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 53 – Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 65 – Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 67 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASTM C 94. American Society for Testing and Materials. **Standard specification for ready-mixed concrete.** ASTM International, West Conshohocken, PA, February 2004.

ASTM C 215. American Society for Testing and Materials. **08 Standard test method for fundamental transverse, longitudinal and torsional frequencies of concrete specimens.** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.

ASTM D 1475. American Society for Testing and Materials. **Standard test method for density of liquid coatings, inks, and related products.** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.

BENINI, Humberto. **Reaproveitamento de concreto fresco dosado em central com o uso de AEH.** Dissertação [Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, 2005]. São Paulo: USP, 2005.

BERHANE, Z. Heart of hydration of cement pastes, cement and concrete. **Research**, v.13, n.1, p.114-118, 1983.

BETIOLI, Andrea M. **Influência dos Polímeros MHEC e EVA na Hidratação e Comportamento Reológico de Pastas de Cimento Portland.** Tese [Doutorado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. 188p]. Florianópolis: UFSC, 2007.

BEZERRA, Augusto Cesar da Silva. **Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concretos** [manuscrito]: uma análise experimental e computacional. Dissertação [Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2007. 150p.]. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

BISHOP, M.; BOTT, S.G.; BARRON, A. R. A new mechanism for cement hydration inhibition: solid state chemistry of calcium nitrilotris (methylene) triphosphonate. **Chem Mater**, [s.l.], n.15, p.3074-3088, 2003.

BORGER, J.; CARRASQUILLO, R. L.; FOWLER, D. W. Use of recycled wash water and returned plastic concrete in the production of fresh concrete. **Advanced Cement Based Materials**, [s.l.], n.1, p.267-274, 1994.

BRUNAUER, S.; COPELAND, L. E. The chemistry of concrete. **Sci Am**, [s.l.], n.4, abril 1964.

CALIÇO, João Batista N. P. **Reciclagem da água de lavagem dos caminhões-betoneira utilizando um estabilizador de hidratação.** Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005].

CHATVEERA, B.; LIERTWATTANARU, P.; MAKUL, N. Effect os sludge water from ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete. **Cement & Concrete Composities**, p.1-6, 2006.

CHINI, A.; MBWAMBO, W. J. Environmentally friendly solutions for the disposal of the concrete wash water from ready mixed concrete operations. **CIB W89 Beijing International Conference**, Beijing, oct. 24-26, 1996.

COLLEPARDI, M. Concrete admixtures handbook – properties, science and technology. In: RAMACHANDRAN, V. S. **Concrete Admixtures Handbook**. 2nd ed. Ottawa: Kindle, 1984.

COPASA. Relatório. **Parâmetros medidos para avaliação da qualidade da água de Belo Horizonte**. 2007. Disponível em: <<http://www2.copasa.com.br/fotos/folders2008/B/BeloHorizonte.pdf>>. Acesso em 15 fev. 2010.

COUTINHO, A. S.; GONÇALVEZ, A. **Fabrico e propriedades do betão**. 2. ed, v.3. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1994.

GUERREIRO, M. R. F. **Utilização de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) como proposta de reciclagem dos resíduos de concreto usinado**. Dissertação [Mestrado em Qualidade Ambiental, Centro Universitário Feevale. 106p.]. Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2007.

HUAT, L. S. Recycling with hydration control admixture. **Advanced Concrete Technology Diploma Project**, Institute of Concrete Technology, United Kingdom, p.45-51, 1998.

ISAIA, G. C. (ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos da construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese [Doutorado em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo. 113p.]. São Paulo: USP, 2000.

JOLICOEUR, C.; SIMARD, M. A. Chemical admixture-cement interactions: phenomenology and physico-chemical concepts. **Cement and Concrete Composites**, v. 20, 1998.

JOLICOEUR, C. et al. Chemical admixtures: essential components of quality concrete. In: New Spiratos Symposium on Superplasticizers. **Proceedings of a Symposium Honouring...** Bucharest, Romania: CANMET/ACI, june 2003.

KINNEY, F. D. **Reuse of returned concrete by hydration control: characterization of a new concept**. In: Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, SP119. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute, 1989, p.19-40.

LERCH, W.; FORD, C. L. Long-time study of cement performance in concrete: chemical and physical tests of the cements. **J Amer Inst.**, [s.l.], n.44, p.743-795, april 1945.

MAILVAGANAM, N. P. Admixture Compatibility in Special Concretes. In: 2nd CANMET/ACI International Conference in High-Performance Concrete, Performance and Quality of Concrete Structures, 1999, Gramado. **Proceedings...** Gramado: ACI SP-186, 1999.

MARTIN, J. F. M. Aditivos para concreto: concreto, ensino, pesquisa e realizações. In: IBRACON. **Aditivos para concreto**. Vol.1, cap.13. São Paulo: IBRACON, 2005, p.381-406.

MENDES NETO, F. **Concreto estrutural I**. São José dos Campos: ITA, 2010.

MENDES NETO, F. **Concreto estrutural avançado**: análise de seções transversais sob flexão normal composta. São Paulo: Pini, 2009.

MEHTA, P. K. Concrete. **Concr Int**, v.23, n.10, p.61-66, 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J .M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete**: microstructure, properties and materials. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

MILESTONE, N. B. Hydration of tricalcium silicate in the presence of lignosulfonates, glucose and sodium gluconate. **Journal of American Ceramic Society**, v.62, n.7-8, p.321-324, jul.-aug. 1979.

MOLLAH, A. M. Y; PALTA, P.; HESS, T. R. Chemical and physical effects of sodium lignosulfonato superplasticizer on the hydration of Portland cement and solidification/stabilization consequences. **Cement and Concrete Research**, [s.l.], n.25, p.671-682, 1995.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1997.

ODLER, I. Hydration, setting and hardening of Portland cement. In: **Lea's chemistry of cement and concrete**. 4th ed. New York: Ed. Peter C. Hewlett, 1998, p.241-271.

OKAWA, Y., YAMAMIYA, H., NISHIBAYASHI, S. Study on the reuse of returned concrete. **Mag Concrete Res.**,[s.l.], v. 52, p. 109-115, 2000.

PAOLINI, M.; KHURANA, R. Admixtures for recycling of waste concrete. **Cement and Concrete Composites**, London, v. 20, p. 221-229, 1998.

PENEIROL, N. L. S. **Estudo para otimização do uso de aditivo estabilizador de hidratação visando a reciclagem de água na produção de concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006].

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 14 ed. São Paulo: Globo, 2005.

RAMACHANDRAM, V. S. Evaluation of concrete admixture using differential thermal technique. **ACI/RILEM Symposium Technology of concrete when pozzolans, slags and chemical admixtures are used**, Mexico, p. 35-52, 1985.

RAMACHANDRAN, V. S.; LOWERY, M. S. Conduction calorimetric investigation of the effect of retarders on the hydration of Portland cement. **Thermochemica Acta**, [s.l.], n.195, p.373-387, 1992.

REPETTE, W. L. Reciclagem de água de lavagem de caminhão betoneira para produção de concreto. Formulário pra apresentação de projeto, **Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica**, Florianópolis, 2005.

RICKERT, J. Influence of retarders on the hydration of clinker and cement. **Concrete Technology Reports 2001–2003**, Verlag Bau+Technik, Duesseldorf, 2004.

SANDROLINI, F.; FRANZONI, E. Waste wash water recycling in ready-mixed plants. **Cement and Concrete Research**, v.31, p.485-489, 2001.

SCRIVENER, K. L. Backscattered electron imaging of cementitious microstructures: understanding and quantification. **Cement & Concrete Composites**, [s.l.], n.26, p.935-945, 2004.

SOUZA, Aline F. **Otimização do uso de aditivo estabilizador de hidratação do cimento em água de lavagem dos caminhões-betoneira para produção de concreto**. Dissertação [Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. 182p.]. Florianópolis: UFSC, 2007.

STRUBLE, L.; KIM, T. Y.; ZHANG, H. Setting of cement and concrete. **Cement, Concrete and Aggregates**, v. 23, n. 2, p. 88-93, 2001.

SU, N.; HSU, K. C.; CHAI, H. W. A simple mix design method for SCC. **Cement and Concrete Research** n.31, p.1799-1807, 2002.

TUTHILL, L. H.; ADAMS, R. F.; HEMME JR., J. G. Observations in testing and use of water-reducing retarders. **ASTM Special Technical Publication**, n.266, p.97-117, 1960.

VARGAS, A. S. de. **Estudo da Viabilidade do Uso do Pó de Aciaria Elétrica a Arco na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VERBECK, G. J.; FOSTER, C. W. Proceedings. **Am Soc Test Mat**, n.50, p.1235, 1950.

WEIDMANN, Denis Fernandes; OLIVEIRA, Alexandre Lima; SOUZA, Joelcio; PRUDÊNCIO JR., Luiz Roberto; BIANCHINI, Mauricio. Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água para uso em centrais de concreto: estudo de caso. 49º Congresso Brasileiro de Concreto CBC, 2007, Bento Gonçalves, RS. **Anais**. 16p. Disponível em: <<http://www.markengenharia.com.br/artigos/49CBC0497.pdf>>. Acesso em 14 maio 2011.

WILKINS, T.; HODKINGSON, L. **Washout elimination from ready mix concrete plants**. Grace Construction Products, UK, 1992.

ANEXO – Certificados de Análise





ISO 9001:2000

Certificado de Análise

Cliente: SUJEPMIX CONCRETO S/A Produto: HECOMIX Fabricação: 14/07/10 Quantidade: 5100 KG	NF: 10613 Lota nº: YZC 105 Validade Até: 14/07/10 Embalagem: BOMBONAR
---	--

Descrição do Teste	ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO		Capacidade		Valor Crítico
	Valor	Unidade	litro	litro	
Acidez	0,01	kg/l	1,27	1,35	0K
Res. Específica R300	0,01	kg/l	1,27	1,35	1,100
Cl @ 300	0,01	kg/l	1,27	1,35	1,200

Certificamos que os resultados relacionados acima foram obtidos através da execução dos testes especificados em amostra representativa do lote na data da sua fabricação.
 Maiores informações sobre o produto podem ser obtidas em nosso BULETIN TÉCNICO e HIGHWAY-SEGURANÇA.



Laboratório da Garantia de Qualidade
 Responsável: Michael Apureddi Barreto
 Tel. (15) 3235-4756 / Fax (15) 3235-4732



Certificado de Análise

Prova de: **TECNOLOGIA DE CIMENTO** Data: **27/04/2014**
Local: **LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**
Nome do Aluno: **XXXXXXXXXX** Matrícula: **XXXXXXXXXX**

Questão	Resposta	Nota	Comentário
1	Resposta correta	1,0	
2	Resposta incorreta	0,0	
3	Resposta correta	1,0	
4	Resposta incorreta	0,0	
5	Resposta correta	1,0	

Aprovado em: **27/04/2014** Nota: **4,0** de **5,0**

[Assinatura]

Prof. Dr. XXXXXXXX

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO
R. Mendonça, 120 - 13560-970 - São Carlos - SP