

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Romulo Augusto Rigon Fracalossi**

**ADITIVOS À BASE DE POLICARBOXILATOS: INFLUÊNCIA  
NOS TEMPOS DE PEGA E NA MANUTENÇÃO DO  
ABATIMENTO EM PASTAS DE CIMENTO PORTLAND**

Porto Alegre  
julho 2011

**ROMULO AUGUSTO RIGON FRACALOSSI**

**ADITIVOS À BASE DE POLICARBOXILATOS: INFLUÊNCIA  
NOS TEMPOS DE PEGA E NA MANUTENÇÃO DO  
ABATIMENTO EM PASTAS DE CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientadora: Angela Borges Masuero**  
**Coorientadora: Carine Toso Hartmann**

Porto Alegre  
julho 2011

**ROMULO AUGUSTO RIGON FRACALOSSI**

**ADITIVOS À BASE DE POLICARBOXILATOS: INFLUÊNCIA  
NOS TEMPOS DE PEGA E NA MANUTENÇÃO DO  
ABATIMENTO EM PASTAS DE CIMENTO PORTLAND**

Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 18 de julho de 2011

Profa. Angela Borges Masuero  
Dr.a pela UFRGS  
Orientadora

Carine Toso Hartmann  
Mestre pela Escola Politécnica da USP  
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Angela Borges Masuero (UFRGS)**  
Dr.a pela UFRGS

**Profa. Fernanda Macedo Pereira (CIEN TEC)**  
Dr.a pela UFRGS

**Prof. Maurício Mancio (UFRGS)**  
PhD pela University of California, Berkeley

Dedico este trabalho a meus pais, Roberto Paulo e Margaret Mari, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família pelo apoio e consideração.

Agradeço à minha namorada, Andressa, pelo companheirismo nesse final de Curso.

Agradeço à Profa. Angela Borges Masuero, minha orientadora, à Eng. Carine Toso Hartmann, minha coorientadora, e à Profa. Carin Maria Schmitt, coordenadora deste trabalho, pela paciência, dedicação, apoio e ensinamentos que me proporcionaram ao longo deste trabalho.

Agradeço à minha colega Sílvia Ximeno pelo apoio nos ensaios para a conclusão do trabalho e aos colegas do laboratório do NORIE, pelo espaço cedido durante os testes.

Agradeço a colaboração dos meus colegas de trabalho da GRACE Brasil Ltda.

Agradeço a todas as empresas onde trabalhei pelos momentos de auxílio e trabalho em conjunto, especialmente a CIENTEC (DEMACC) e a CONCRETUS.

Agradeço especialmente ao Eng. Fernando Antônio Piazza Recena e ao Eng. Fábio André Viecili pelos ensinamentos e orientações fornecidas ao longo de minha vida acadêmica.

A vida só pode ser comprendida, olhando-se para trás,  
mas só pode ser vivida, olhando-se para frente.

*Soren Kierkegaard*

## RESUMO

FRACALOSSI, R. A. R. **Aditivos à base de policarboxilatos:** influência nos tempos de pega e na manutenção de abatimento em pastas de cimento Portland. 2011. 68 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho visa aprofundar conhecimentos sobre aditivos à base de policarboxilato, mais especificamente analisar a influência desse produto frente às características das pastas de cimento no estado fresco. Para esse estudo foram avaliadas pastas de cimento Portland em relação aos tempos de pega e a manutenção de abatimento, pois essas duas propriedades têm apresentado variabilidade nos ensaios de controle tecnológico. A avaliação dos tempos de pega foi realizada com a utilização de calorímetro semi-adiabático chamado de AdiaCal<sup>1</sup>, enquanto nos ensaios de manutenção de abatimento foi utilizado o método do miniabatimento em pasta, visto representar bem situações em concreto. O programa experimental do presente trabalho foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa do estudo foram realizados os ensaios de calorimetria, onde foram medidos os tempos de pega das pastas de cimento Portland (tipo CP IV e CP V), para diferentes dosagens dos aditivos de diferentes fabricantes (0,4% a 1,3%). Em um segundo momento, foram realizados os ensaios de manutenção de abatimento, porém nesta fase houve apenas um teor de aditivo utilizado (0,4%). Os resultados para cada aditivo testado foram diferentes para cada ensaio. O aditivo que apresentou melhor desempenho em relação ao ensaio de calorimetria não foi o mesmo que apresentou melhor desempenho nos ensaios de manutenção de abatimento. Integrando as informações de ambos ensaios, foi possível considerar que dois produtos apresentam condições técnicas equivalentes para aplicações em concretos.

Palavras-chave: pastas de cimento Portland; aditivos; policarboxilato; tempos de pega; manutenção de abatimento.

---

<sup>1</sup> Equipamento desenvolvido e comercializado pela empresa GRACE *Construction Products*, utilizado em campo para ensaios de medição de tempos de pega.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: esquema da ação dos aditivos redutores de água, comparativo ao método tradicional de adição de água e cimento.....	13
Figura 2: diagrama de relacionamento de etapas.....	18
Figura 3: estrutura molecular de um lignosulfonato.....	25
Figura 4: ação eletrostática sobre os grãos de cimento.....	26
Figura 5: estrutura molecular de um naftaleno.....	28
Figura 6: representação de uma molécula de um policarboxilato.....	30
Figura 7: estrutura química de um aditivo policarboxilato.....	30
Figura 8: (a) flocculação do sistema cimento/água (b) dispersão do sistema com a adição de um superplastificante.....	34
Figura 9: curva de condução calorimétrica.....	36
Figura 10: minicone para o ensaio de miniabatimento.....	38
Figura 11: demonstração do ensaio de miniabatimento em andamento.....	39
Figura 12: representação esquemática dos ensaios de calorimetria.....	41
Figura 13: representação esquemática dos ensaios de miniabatimento.....	42
Figura 14: (a) quantidade de cimento; (b) quantidade de água.....	47
Figura 15: aditivos superplastificantes utilizados no trabalho.....	47
Figura 16: (a) mistura do aditivo com água; (b) colocação do cimento junto com os demais materiais; (c) mistura da pasta manualmente; (d) identificação do experimento; (e) colocação do teste no aparelho Adia Cal.....	48
Figura 17: (a) calorímetro semi-adiabático Adia Cal; (b) canais de entrada para as amostras.....	49
Figura 18: (a) mistura do aditivo com água; (b) colocação do cimento junto com os demais materiais; (c) mistura da pasta manualmente; (d) colocação da pasta no minicone; (e) retirada do minicone; (f) medição de dois diâmetros.....	52

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: requisitos de normas para o uso de aditivos plastificantes e superplastificantes.....	21
Quadro 2: tolerâncias admissíveis para ensaios em aditivos.....	23
Quadro 3: benefícios conseguidos pelo emprego de aditivos redutores de água.....	27
Quadro 4: estudo comparativo, analisando a influência da utilização de aditivo superplastificante.....	29
Quadro 5: classificação dos aditivos em função da redução de água, dosagem típica e incremento na resistência à compressão de concretos.....	32
Quadro 6: principais compostos do cimento Portland.....	34
Quadro 7: caracterização química dos cimentos utilizados.....	44
Quadro 8: caracterização física dos cimentos utilizados.....	45
Quadro 9: caracterização mecânica dos cimentos utilizados.....	45
Quadro 10: aditivos superplastificantes utilizados na pesquisa.....	46
Quadro 11: teores de dosagem e quantidade dos aditivos superplastificantes.....	47
Quadro 12: valores das curvas calorimétricas com cimento CP IV – 32 RS.....	60
Quadro 13: valores das curvas calorimétricas com cimento CP V – ARI RS.....	60
Quadro 14: ensaios de manutenção de abatimento com CP IV – 32 RS.....	62
Quadro 15: ensaios de manutenção de abatimento com CP V – ARI RS.....	63

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: modelo de uma curva calorimétrica.....	50
Gráfico 2: determinação do pico de temperatura da curva calorimétrica.....	50
Gráfico 3: determinação da taxa de calor liberado para hidratação do cimento.....	51
Gráfico 4: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 0,40% com cimento CP IV – 32 RS.....	54
Gráfico 5: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 0,40% com cimento CP V – ARI RS.....	54
Gráfico 6: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 0,70% com cimento CP IV – 32 RS.....	55
Gráfico 7: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 0,70% com cimento CP V – ARI RS.....	56
Gráfico 8: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 1,00% com cimento CP IV – 32 RS.....	57
Gráfico 9: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 1,00% com cimento CP V – ARI RS.....	57
Gráfico 10: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 1,30% com cimento CP IV – 32 RS.....	58
Gráfico 11: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 1,30% com cimento CP V – ARI RS.....	59
Gráfico 12: tempos de início de pega dos aditivos com cimento CP IV – 32 RS.....	61
Gráfico 13: tempos de início de pega dos aditivos com cimento CP V – ARI RS.....	61
Gráfico 14: manutenção de abatimento dos aditivos com cimento CP IV – 32 RS.....	64
Gráfico 15: manutenção de abatimento dos aditivos com cimento CP V – ARI RS.....	64

## LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM: *American Society for Testing Materials*

CP: cimento Portland

D: teor de dosagem do aditivo

LS: aditivo à base de lignossulfonato

NS: aditivo à base de naftaleno

PC: aditivo à base de policarboxilato

RS: resistente à sulfato

T: temperatura

U: umidade relativa do ar

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USP: Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	15
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	15
<b>2.2.2 Objetivos Secundários</b> .....	16
2.3 PRESSUPOSTO .....	16
2.4 PREMISSA .....	16
2.5 DELIMITAÇÕES .....	16
2.6 LIMITAÇÕES .....	17
2.7 DELINEAMENTO .....	17
<b>3 ADITIVOS PARA CONCRETO</b> .....	19
3.1 DEFINIÇÕES .....	19
3.2 NORMATIZAÇÃO .....	20
3.3 USO DE ADITIVOS .....	22
3.4 CONTROLE DE QUALIDADE .....	23
3.5 TIPOS DE ADITIVOS .....	24
<b>3.5.1 Lignosulfonatos</b> .....	24
<b>3.5.2 Naftalenos</b> .....	27
<b>3.5.3 Policarboxilatos</b> .....	30
3.6 DOSAGEM E MODO DE ADIÇÃO .....	31
<b>4 CIMENTO PORTLAND</b> .....	33
4.1 DEFINIÇÕES .....	33
4.2 CALOR DE HIDRATAÇÃO E TEMPOS DE PEGA .....	35
4.3 PERDA DE ABATIMENTO .....	37
4.4 INCOMPATIBILIDADE CIMENTO – ADITIVO .....	39
<b>5 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	41
5.1 VARIÁVEIS .....	42
<b>5.1.1 Variáveis Independentes</b> .....	42
<b>5.1.2 Variáveis Dependentes</b> .....	43
5.2 MATERIAIS .....	44
<b>5.2.1 Cimentos</b> .....	44
<b>5.2.2 Aditivos Superplastificantes</b> .....	45

<b>5.2.3 Água</b> .....	46
<b>5.3 MÉTODOS</b> .....	46
<b>5.3.1 Determinação dos tempos de pega e calor de hidratação</b> .....	46
<b>5.3.2 Determinação da manutenção de abatimento</b> .....	51
<b>6 RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	53
6.1 DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE PEGA .....	53
6.2 DETERMINAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE ABATIMENTO .....	62
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	66
7.1 DETERMINAÇÃO DE TEMPO DE PEGA .....	66
7.2 MANUTENÇÃO DE ABATIMENTO .....	67
REFERÊNCIAS .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

O aquecimento do setor da construção civil na economia nacional tem causado maior procura por novas tecnologias em concretos. Nos últimos anos houve um aumento considerável no consumo de cimento e, conseqüentemente, um maior volume de concreto utilizado em obras, principalmente daqueles concretos dosados em centrais de concreto.

A grande competitividade do mercado contribuiu para as empresas buscarem novas opções além do concreto convencional. O construtor muitas vezes necessita de maiores vãos e estruturas mais esbeltas, buscando mais opções de vagas para automóveis e ambientes com maiores áreas ou ainda desformas e carregamentos de estruturas mais rápidos, por exemplo. As concreteiras, além de atender ao que o seu cliente solicita, buscam um menor custo/benefício para a produção do seu concreto. Essas necessidades resultaram na formulação de concretos especiais como os concretos:

- a) leve;
- b) de alta resistência;
- c) autoadensável;
- d) de alto desempenho
- e) projetado.

A forma usual de lançar o concreto no seu local de aplicação é através de bombas, processo conhecido como bombeamento do concreto, método mais rápido e muitas vezes mais econômico quando comparado com a descarga convencional. Com isso, o advento dos aditivos redutores de água facilitou o processo, conferindo ao concreto plasticidade, fluidez e bombeabilidade adequadas a esse tipo de aplicação. Os aditivos são formulados através de uma estruturação química, gerando diversas opções deste material para ser empregado no mercado da construção civil. Hartmann (2002, p. 2) afirma que “[...] seu aperfeiçoamento resultou em benefícios técnicos e econômicos efetivos à qualidade e desempenho dos concretos.”.

Os aditivos plastificantes são utilizados de diversas maneiras no concreto, podendo ser empregados para diferentes funções, como aumentar a trabalhabilidade, mantendo o consumo

de água; podem manter a trabalhabilidade e resistência, reduzindo a quantidade de cimento, o que gera a redução de custo do concreto; ou podem reduzir a quantidade de água, aumentando a resistência e durabilidade do concreto (HARTMANN, 2002, p. 4). A figura 1 apresenta um esquema das ações dos aditivos redutores de água comparativamente ao método convencional de adição de água. Porém, em certos casos, a utilização equivocada do produto pode gerar diversos problemas tais como: incorporação excessiva de ar, retardo exagerado na pega e perda rápida de abatimento.

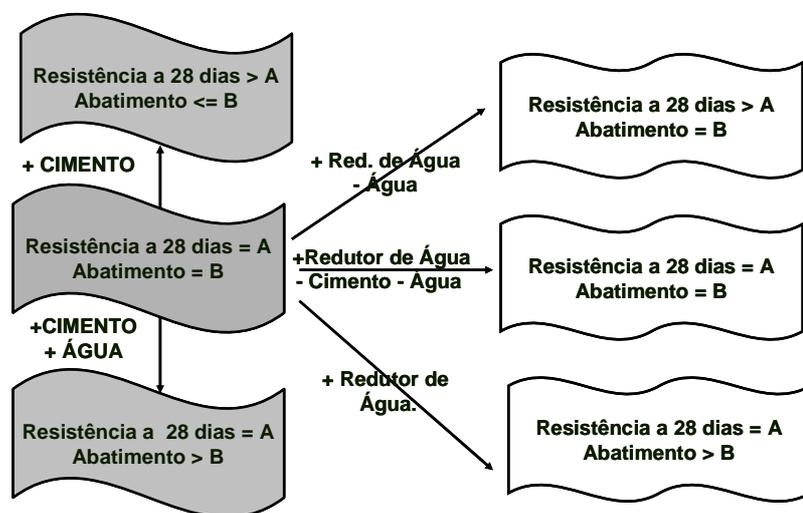


Figura 1: esquema da ação dos aditivos redutores de água, comparativo ao método tradicional de adição de água e cimento (RIXOM<sup>2</sup>, 1998 apud HARTMANN, 2002, p. 165)

Os aditivos plastificantes e superplastificantes são usados em todo o mundo com as seguintes finalidades, como exemplificado na figura 1:

- a) reduzir o consumo de água para uma mesma consistência, aumentando assim a resistência e a durabilidade do concreto;
- b) aumentar a fluidez sem alterar o consumo de água;
- c) reduzir a quantidade de cimento do concreto, mantendo a consistência e a resistência à compressão, com o objetivo de reduzir custos e ainda reduzir a retração, fluência e tensões térmicas.

<sup>2</sup> RIXOM, R. The economic aspects of admixture use. **Cement and concrete composites**, Orlando, v. 20, p. 141-147, Mar. 1998.

O teor ideal de aditivo necessário para aperfeiçoar as propriedades do concreto é encontrado através de diversos testes experimentais, uma vez que a dosagem de aditivo está diretamente relacionada com o tipo e teor de cimento, teor de água, tipo e teor de agregado, presença de outros materiais cimentícios e temperatura (WEIDMANN et al., 2007, p. 3). Até hoje, o teor de aditivo a ser adicionado em uma mistura gera bastante discussão. Há consenso no meio técnico quanto à necessidade de um método confiável para determinar esse teor. Dois métodos de ensaios são aplicáveis para essa determinação: o miniabatimento e o funil de Marsh, os quais são utilizados para definir a perda de fluidez ao longo do tempo (MONTE, 2003, p. 10).

O presente trabalho foi realizado através de testes experimentais com diferentes aditivos superplastificantes, testados com dois tipos de cimento e variados teores de dosagem de aditivos. Em todos os casos foram medidos os tempos de pega e taxa de calor liberado para hidratação, através do software AdiaLog<sup>3</sup>. Na dosagem de 0,4%, foi realizado também o ensaio de miniabatimento com cada aditivo, a fim de identificar o melhor desempenho em relação ao espalhamento e manutenção de abatimento. Segundo Monte (2003, p. 23), quanto ao ensaio de dispersão de pastas, o método do miniabatimento apresentou melhores resultados quando comparado ao método do funil de Marsh.

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos. No capítulo 2 está definido o método de , no qual apresenta todas as condições e objetivos do trabalho, assim como suas limitações. No capítulo 3, há explicações sobre aditivos; os tipos, definições, dosagem adequada e controle de qualidade. No capítulo 4 o assunto abordado é cimento, onde são apresentadas maiores informações sobre suas características, calor liberado para hidratação do cimento, tempos de pega, perda de abatimento e incompatibilidade cimento-aditivo.

No capítulo 5 é apresentado o programa experimental, explicando suas variáveis, materiais e métodos de ensaios. A apresentação e análise dos resultados dos experimentos de calorimetria e miniabatimento encontram-se no capítulo 6. No capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho, obtidas através da análise dos resultados. Por fim são apresentadas as referências bibliográficas.

---

<sup>3</sup> Software desenvolvido e comercializado pela empresa GRACE *Construction Products*, utilizado em campo para ensaios de medição de tempos de pega.

## **2 MÉTODO DE PESQUISA**

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram estabelecidas diretrizes, que orientaram a elaboração do trabalho, descritas nesse capítulo.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa deste trabalho é: como aditivos de mesma base molecular, porém de distintos fornecedores, interferem nas propriedades do concreto no seu estado fresco através de um estudo em pastas de cimento Portland?

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação do desempenho de diferentes aditivos para concreto, todos com estrutura química à base de policarboxilato, em pastas de cimento Portland, considerando a dosagem desses produtos sobre a quantidade de algerante.

### **2.2.2 Objetivos secundários**

O objetivo secundário deste trabalho é analisar a influência do teor de aditivo nas seguintes características:

- a) tempos iniciais e finais de pega do cimento;
- b) abatimento da pasta de cimento;
- c) perda de abatimento da pasta de cimento ao longo do tempo.

### **2.3 PRESSUPOSTO**

O trabalho tem por pressuposto que a leitura dos tempos de pega através do equipamento calorímetro semi-adiabático AdiaCal realizado em pastas de cimento Portland, e determinação da manutenção de abatimento através do teste de mini-slump, sejam coerentes e aplicáveis com situações do cotidiano, pois são métodos conhecidos no meio técnico, de fácil realização, sendo viável a sua correlação com estudos em concretos.

### **2.4 PREMISSA**

O trabalho tem por premissa que profissionais que atuam na área de tecnologia de dispersantes para concreto têm encontrado problemas de retardo de pega quando do uso de aditivos superplastificantes.

### **2.5 DELIMITAÇÕES**

O trabalho delimita-se à utilização de aditivos superplastificantes formulados com estruturas químicas à base de policarboxilatos.

## 2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho as seguintes situações:

- a) utilização apenas de cimento CP IV 32 RS e CP V ARI RS para a realização dos testes;
- b) utilização de quatro fornecedores de aditivos disponíveis no mercado da Região Sul;
- c) ensaios em pasta de cimento Portland;
- d) método do miniabatimento para a análise de desempenho quanto à manutenção de abatimento;
- e) utilização de apenas um calorímetro semi-adiabático, para definição de tempos de pega.

## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 2 e detalhadas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição do programa experimental, escolha dos produtos e determinação do teor de aditivos;
- c) dosagem das pastas, realização dos ensaios de calorimetria e leitura de dados do software;
- d) ensaios de manutenção de abatimento;
- e) avaliação do desempenho;
- g) análise final e conclusões.



Figura 2: diagrama de relacionamento de etapas

A pesquisa bibliográfica foi realizada até o final do trabalho, pois sempre houve atualizações com novas informações e, conseqüentemente, novas referências. A partir desse maior conhecimento sobre o problema, foi feita a definição do programa experimental, mas a escolha dos produtos e determinação do teor aplicado ocorreram após investigação de como estes têm sido aplicados na prática. Foram identificados os produtos e dosagens mais utilizados no Rio Grande do Sul e os limites recomendados pelos fabricantes.

As dosagens das pastas com aditivos à base de policarboxilatos foram realizadas em nove datas distintas, assim como as leituras de dados coletadas no equipamento de calorímetro semi-adiabático. Essas leituras foram realizadas em um período de 24 a 48 horas após a mistura dos componentes. Os ensaios de manutenção de abatimento foram realizados em duas datas distintas, em laboratório com temperatura e umidade controladas, sendo medidas as perdas de abatimento no período de 15 e 30 minutos.

A avaliação do desempenho foi obtida através de uma análise entre os resultados dos dois ensaios realizados. A partir deste momento a análise final e conclusões foram as últimas etapas do trabalho.

### 3 ADITIVOS PARA CONCRETO

Neste capítulo serão abordados os tipos de aditivos mais utilizados, alguns requisitos necessários para que aditivos para concreto atendam suas finalidades, bem como a importância da dosagem do aditivo, assim como o momento dessa adição e a maneira como deve ser feito o controle de qualidade desses produtos.

#### 3.1 DEFINIÇÕES

O emprego de aditivos em concretos e argamassas é tão antigo quanto o próprio cimento ou outros aglomerantes hidráulicos. Durante o Império Romano e durante a construção da Muralha da China, foram utilizadas claras de ovo na fabricação de concreto. Acompanhando a constante evolução da construção civil, a indústria química tem colocado à disposição da indústria de concreto uma série de produtos capazes de modificar características e propriedades do concreto, conforme o desejo do usuário, bem como produzir concretos mais duráveis e aumentar o rendimento de sua produção (MARTIN, 2005, p. 381).

A NBR 11.768 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 1-2) define aditivos como “Produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições.”. Segundo Neville (1997, p. 252):

Os aditivos podem ser usados tanto no estado sólido como no estado líquido. Este último é mais comum, pois um líquido pode ser dispersado mais rapidamente de modo uniforme durante a mistura do concreto. Usam-se dosadores adequadamente calibrados, sendo os aditivos descarregados na água de amassamento, geralmente durante a parte final da descarga da água. Os superplastificantes devem ser incorporados à mistura com procedimentos especiais.

Hartmann (2002, p. 10) afirma que:

Hoje os aditivos já são parte integrante de concretos e argamassas e suas vantagens podem ser observadas em função dos inúmeros benefícios oferecidos por eles, entre os quais se podem citar maiores viabilidade e agilidade de execução pelo uso de concretos mais fluidos e capacidade de atender a classe de resistência e durabilidade maiores com viabilidade técnica e econômica.

Porém não se pode esquecer que os aditivos não podem ser considerados a solução para transformar uma má formulação de concreto em uma formulação correta. Os aditivos são um meio suplementar para melhorar a qualidade do concreto (MARTIN, 2005, p. 381-383):

### 3.2 NORMATIZAÇÃO

As classificações dos aditivos plastificantes e superplastificantes, no Brasil, são dadas como (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 1):

- a) SP: Superplastificantes;
- b) SPA: Superplastificantes Aceleradores;
- c) P: Plastificantes;
- d) PR: Plastificantes Retardadores;
- e) PA: Plastificantes Aceleradores.

No quadro 1 estão alguns requisitos preconizados pelas normas brasileira, britânica e americana. A norma americana ASTM C 494 classifica os aditivos superplastificantes como *Type F* e *Type G*, sendo que o primeiro reduz a água em 12% ou mais e o outro além de reduzir 12% ou mais promove o retardo na pega do concreto. A ASTM C 1017 classifica os superfluidificantes como *Type I – Plasticizer* e *Type II – Plasticizer and Retarder*. A norma britânica BS 5075 especifica os requisitos e métodos de ensaio para os aditivos que podem ser usados para modificar uma ou mais propriedades do concreto (HARTMANN, 2002, p. 13).

Norma	NBR 11768-92		ASTM C 494-92		ASTM C 1017-92		BS 5075-85	
	P	SP	Tipo A	Tipo F	Tipo I			
Tipo de Aditivo	Plastificante	Superplastificante	Redutor de água	Superplastificante	Plastificante	Superplastificante	Redutor de água	
Característica	x	x	x	x	x	x	x	15
Abatimento (mm)								
Exsudação máxima	Nada consta							
Ar incorporado	< 3,0 %		< 3,0 %		< 3,0 %		x	
<b>Alteração dos tempos de pega (em relação ao concreto de referência)</b>								
Inicial (h:min)	( <sup>1</sup> ) + 1:00 a 1:30	x	até 1h					
Final (h:min)	( <sup>1</sup> ) + 1:00 a 1:30	x	até 1h					
<b>Resistência à compressão mínima (% da referência)</b>								
1 dia	x	x	x	140	x	x	x	140
3 dias	110	140	110	125	90	x	x	x
7 dias	110	125	110	115	90	90	90	125
28 dias	110	115	110	110	90	90	90	115
6 meses	x	100	100	100	90	x	x	x
1 ano	x	x	100	100	90	x	x	x
Redução de água (%) abat. Constante.	6	12	x	12	x	x	x	x

Quadro 1: requisitos de normas para uso de aditivos plastificantes e superplastificantes (HARTMANN, 2002, p. 14)

### 3.3 USO DE ADITIVOS

Uma das propriedades fundamentais do concreto é a trabalhabilidade, pois condiciona seu lançamento em obra, sua compacidade e, conseqüentemente, sua resistência mecânica e durabilidade. Porém, a trabalhabilidade depende das características e do tipo de cimento, da forma e natureza dos agregados, da quantidade de água e do traço do concreto (MARTIN, 2005, p. 385-387).

Quando o concreto é produzido, existem diversas características físicas, que influenciam na trabalhabilidade, difíceis de serem medidas. Entre essas características, pode-se citar o atrito interno entre diversos componentes sólidos, que pode ser modificado por vibração, pela adição de água ou de aditivos adequados. Outro fator que causa grande influência na trabalhabilidade dos concretos é a temperatura: aumento de temperatura ambiente, geralmente aumenta a demanda de água dos concretos. A adição de água é um meio eficiente para melhorar a trabalhabilidade, porém dificilmente manterá a homogeneidade do concreto, além de causar redução da resistência mecânica (MARTIN, 2005, p. 387).

O emprego de aditivos é considerado a solução mais adequada, pois melhora a trabalhabilidade e algumas vezes reduz a relação água/cimento, reduzindo a porosidade e o diâmetro médio dos poros remanescentes e dificultando a migração de íons. Com menor porosidade, os cristais se formam em um espaço reduzido.

Na maioria dos casos, os aditivos não representam um custo adicional, pois a sua utilização resulta em economia, como redução do custo do trabalho para adensamento, redução do teor de cimento, aumento da durabilidade. São formas de economizar que, com ajustes no traço após a implantação de aditivos, são vistas rapidamente (NEVILLE, 1997, p. 251).

Segundo Sponholz (1998, p. 12), “A consistência é provavelmente a propriedade do concreto que tem maior número de pesquisas relativas ao uso de superplastificante”. O fator mais preocupante em relação ao abatimento do concreto, é a sua perda em função do tempo. A alta taxa de perda de abatimento, comparada aos concretos convencionais, sempre dificultou a propagação do uso de aditivos superplastificantes.

### 3.4 CONTROLE DE QUALIDADE

O controle de qualidade dos aditivos superplastificantes é feito através da avaliação de algumas características; as principais são:

- a) pH;
- b) teor de sólidos;
- c) massa específica;
- d) teor de cloretos.

Esses ensaios são realizados com o objetivo de verificar a uniformidade de aditivos sólidos ou líquidos de um lote ou de diferentes lotes de uma mesma procedência (ABNT, 2008, p. 1)

Para garantir o bom desempenho dos aditivos, é indicado que sejam realizados ensaios nos produtos, formando três lotes de um litro a cada 2.000 quilos de aditivo. Os ensaios nas amostras devem atender às tolerâncias apresentadas no quadro 2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 4).

Ensaio		
Ph		$\pm 1$
Teor de Sólidos	Líquidos	$\pm 5\%$
	Não líquidos	$\pm 4\%$
Massa Específica		$\pm 0,02 \text{ g/cm}^3$
Teor de Cloretos		$\pm 10\%$ (a)
(a) Esta tolerância aplica-se apenas no caso em que o teor do cloreto de aditivo for maior que 0,1 %.		

Quadro 2: tolerâncias admissíveis para ensaios em aditivos  
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 4)

Quando o lote de aditivo atender totalmente as exigências da NBR 11768, o mesmo é aceito. Porém quando o aditivo apresenta, no momento da entrega, embalagem com avarias ou, quando ensaiado, não atender algum requisito solicitado pela NBR 11768, o mesmo deve ser rejeitado. Aditivos estocados por mais de seis meses devem ser reensaiados, para garantir a manutenção da qualidade do produto (ABNT, 1992, p. 4).

### 3.5 TIPOS DE ADITIVOS

Nos próximos itens os principais tipos de aditivos serão apresentados com maior ênfase, explicando-se algumas de suas características. As principais matérias-primas dos aditivos são:

- a) lignosulfonatos;
- b) naftalenos;
- c) policarboxilatos.

#### 3.5.1 Lignosulfonatos – LS

De acordo com Hartmann (2002, p. 15):

Os lignosulfonatos são conhecidos como aditivos plastificantes de primeira geração e utilizados como redutores de água normais e em alguns casos também como superplastificantes. O lignosulfonato é obtido a partir do rejeito líquido do processo de extração da celulose da madeira.

Os LS têm dois estágios de beneficiamento, que são realizados para eliminar os açúcares e carboidratos existentes. Algumas vezes, esse tipo de aditivo passa por fracionamento para aumentar a massa molecular média (HARTMANN, 2002, p. 15). O peso molecular no lignosulfonato é dependente da forma e da condição de refinamento que a molécula, representada na figura 3, sofreu. Três métodos são utilizados (RIXOM; MAILVAGANAM, 1986, p. 6):

- a) ultra-filtração;
- b) tratamento térmico em um pH especificado;
- c) fermentação.

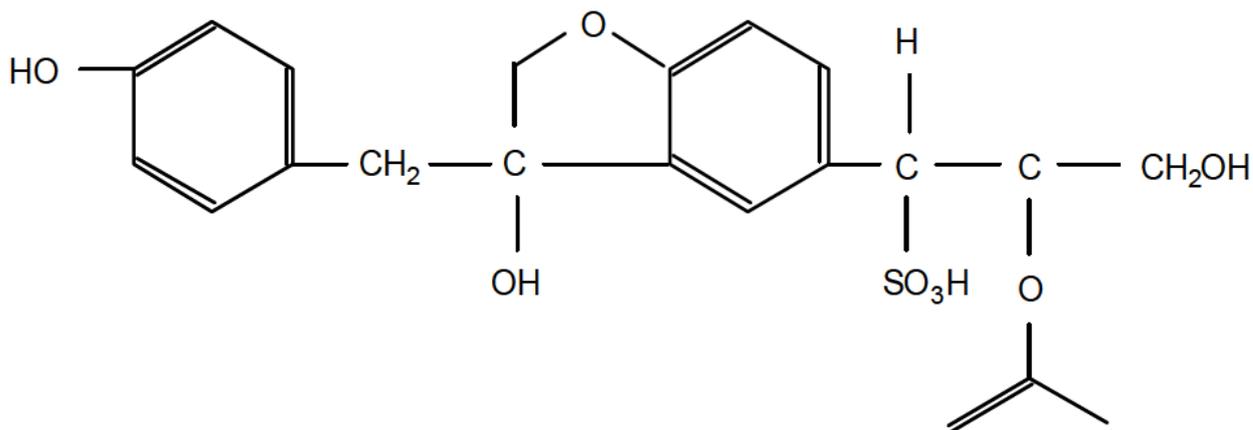


Figura 3: estrutura molecular de um lignosulfonato  
(RIXOM; MAILVAGANAM, 1986, p. 6)

Com alguns cimentos, a influência desses aditivos é muito pequena, mas de uma maneira geral, esses produtos são eficientes com todos os tipos de cimento Portland e também com cimentos aluminosos. A eficiência real de um redutor de água depende do teor de cimento, do teor de água, do tipo de agregado utilizado, da presença de adições minerais ou de aditivos incorporadores de ar e, também, da temperatura. Portanto, é necessária a realização de testes experimentais, para definir o tipo e a quantidade de aditivos utilizados para determinada situação (NEVILLE, 1997, p. 263).

A função básica dos lignosulfonatos no concreto é a dispersão das partículas coloidais, suas moléculas se ligam à essas partículas existentes em suspensão, gerando cargas negativas às mesmas, causando um efeito repulsivo entre as partículas, conforme indica a figura 4. Mehta e Monteiro (1994, p. 280) explicam que “Camadas de moléculas de água dipolares circundam as partículas hidrófilas de cimento, e como resultado, evitam a sua floculação e um sistema com boa dispersão é obtido”. Todo esse processo influencia propriedades do concreto, tanto no estado fresco, como no estado endurecido.

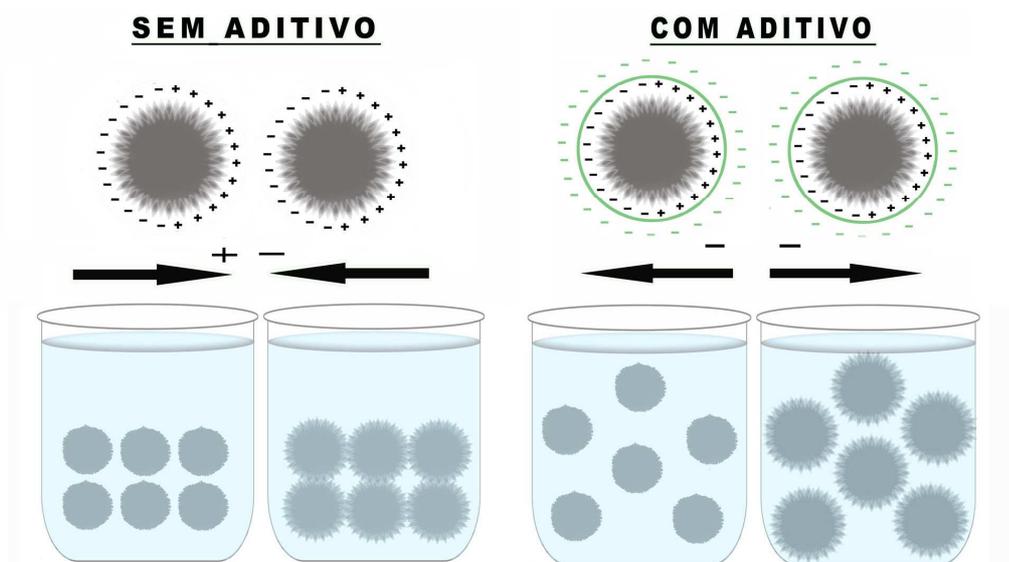


Figura 4: ação eletrostática sobre os grãos de cimento (trabalho não publicado<sup>4</sup>)

Esse tipo de aditivo geralmente apresenta boa manutenção de trabalhabilidade, porém há diferenças nessa manutenção entre os tipos de lignosulfonatos disponíveis no mercado. Para ilustrar os benefícios conseguidos utilizando os aditivos redutores de água, o quadro 3 apresenta os resultados de um estudo comparativo de traços de concreto. O estudo parte de um concreto de referência (série A) sem aditivos, e busca vários objetivos, como aumento de fluidez (série B), aumento da resistência à compressão (série C) e redução do consumo de cimento (série D). Em todos os casos os objetivos foram alcançados, sem comprometer outras propriedades do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 280-281).

Os polifuncionais ou redutores de água com base de lignosulfonatos são os aditivos mais utilizados em centrais dosadoras de concreto, pois para um determinado abatimento, utilizando até elevadas dosagens de polifuncionais, obtém-se menores teores de água sem ter grandes consequências para os tempos de pega (trabalho não publicado<sup>5</sup>).

<sup>4</sup> Informação obtida no Trabalho de conclusão de Estágio de Engenharia: Estudo da Superdosagem de Plastificante em Concreto através da Técnica de UV-VIS, elaborada na GRACE Brasil Ltda, por Célio Santana Santos sob a orientação de Danila Fabiane Ferraz, 2010. Sorocaba/SP.

<sup>5</sup> Informação obtida na apostila do Curso Técnico: Aprimoramento da Capacitação Laboratorial do Corpo Técnico da Engemix, elaborada por Luiz Roberto Prudêncio Júnior e Denis Fernandes Weidmann no Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland, da Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

Série de Consumo	Consumo de Cimento	Relação Água/Cimento	Abatimento	Resistência à Compressão (MPa)	
				7 dias	28 dias
(A) Concreto de referência (sem aditivo)	300 kg/m <sup>3</sup>	0,62	50 mm	25,0	37,0
(B) Aumento de fluidez	300 kg/m <sup>3</sup>	0,62	100 mm	26,0	38,0
(C) Aumento de resistência	300 kg/m <sup>3</sup>	0,56	50 mm	34,0	46,0
(D) Redução do consumo de cimento	270 kg/m <sup>3</sup>	0,62	50 mm	25,5	37,5

Quadro 3: benefícios conseguidos pelo emprego de aditivos redutores de água (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 281)

### 3.5.2 Naftaleno – NS

Os naftalenos, também conhecidos como superplastificantes de segunda geração, são cadeias de tamanho médio de compostos orgânicos que também se ionizam em contato com a água, causando repulsão eletrostática (trabalho não publicado<sup>6</sup>). Hartmann (2002, p. 16) explica que os NS são “[...] uma resina obtida por meio da polimerização do ácido naftalenossulfônico com formaldeído. Os passos para sua fabricação são a sulfonatação, a condensação, a neutralização e a filtração.”. A sua estrutura molecular esta representada na figura 5.

<sup>6</sup> Informação obtida na apostila do Curso Técnico: Aprimoramento da Capacitação Laboratorial do Corpo Técnico da Engemix, elaborada por Luiz Roberto Prudêncio Júnior e Denis Fernandes Weidmann no Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland, da Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

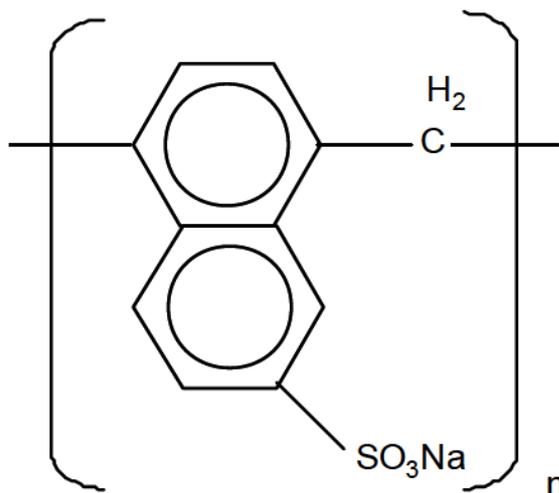


Figura 5: estrutura molecular de um naftaleno  
(RAMACHANDRAM; MALHOTRA<sup>7</sup>, 1998 apud HARTMANN, 2002, p. 17)

Desenvolvidos na metade do século passado no Japão, os condensados de naftaleno apresentam na forma sólida (pó) uma coloração de castanho claro, e em dissolução com 40% de concentração, uma coloração mais escura. Esse tipo de aditivo tem um bom comportamento com a maior parte dos cimentos, porém em altas dosagens causa retardamento de pega. Em dosagens normais, os naftalenos incorporam pouco ar ao concreto (MARTIN, 2005, p. 389).

De uma maneira geral, os aditivos NS apresentam manutenção de abatimento por média de cerca de 40 minutos, podendo ser influenciada de acordo com a temperatura ambiente, com o consumo de cimento do traço utilizado e até mesmo com variações na formulação ou na matéria-prima do aditivo. Por esse motivo é recomendada a dosagem desse produto no momento da aplicação do concreto ou em rápidas descargas, devendo ser misturado por cerca de 10 minutos (MARTIN, 2005, p. 389).

Neville (1997, p. 267) explica que:

Como a atuação do superplastificante tem duração limitada, pode ser vantajoso adicionar o aditivo em duas ou mesmo três operações. Essa adição repedita, ou redosagem, é possível quando se usam caminhões agitadores para entrega de concreto na obra. Se a trabalhabilidade deve ser restaurada depois da mistura inicial, a quantidade de superplastificante deve ser suficiente para atuação tanto sobre as partículas de cimento como sobre os produtos de hidratação.

<sup>7</sup> RAMACHANDRAM, V. S.; MALHOTRA, V. M. Superplasticizers. In: RAMACHANDRAM, V.S (Ed.). **Concrete admixture handbook: properties science and technology**. Canada: Noyes Publication, 1998, p. 410-517.

Os aditivos à base de naftaleno têm as seguintes características que agradam seus usuários (AITCIN, 2000, p. 194):

- a) maior teor de sólidos, causando melhor relação custo-benefício para se obter determinada trabalhabilidade;
- b) pequeno retardo de pega, sendo possível controlar mais facilmente a reologia do concreto;
- c) são facilmente obtidos, gerando maior poder de barganha e conseqüentemente torna-se mais barato.

No quadro 4 pode ser visto exemplo de situações nas quais foram simulados traços sem aditivos (Série A), com aditivo superplastificante, reduzindo o consumo de água (Série B), e sem superplastificante e com mesmo consumo de água utilizado na Série B (Série C). Observa-se uma redução de água e conseqüentemente aumento de resistência na Série B em relação à Série A. Também se observa considerável redução de abatimento da Série C em relação a Série B (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 282).

Série de Consumo	Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Relação Água/Cimento	Abatimento (mm)	Resistência à Compressão (MPa)			
				1 d	3 d	7d	28 d
(A) Concreto de referência (sem aditivo)	360	0,60	225	10,0	21,0	32,0	45,0
(B) Concreto com a mesma consistência de (A), com menos água e 2% de superplastificante, em massa de cimento	360	0,45	225	20,0	35,0	43,0	55,0
(C) Concreto com mesma relação a/c de (B), mas sem superplastificante e com menor abatimento.	360	0,45	30	16,0	28,0	37,0	52,0

Quadro 4: estudo comparativo, analisando influencia da utilização de aditivo superplastificante (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 282-283)

### 3.5.3 Policarboxilatos – PC

Também conhecidos como superplastificantes de terceira geração, os policarboxilatos atuam principalmente por repulsão estérica, pois sua ionização não é suficiente para promover repulsão elétrica considerável. Possuem moléculas mais longas, conforme mostra a figura 6, mais robustas e com ramificações que auxiliam na dispersão das partículas de cimento, ou seja, quanto maior for o tamanho da cadeia, mais fluida é a mistura e menor é o tempo de pega (HARTMANN, 2002, p. 19).

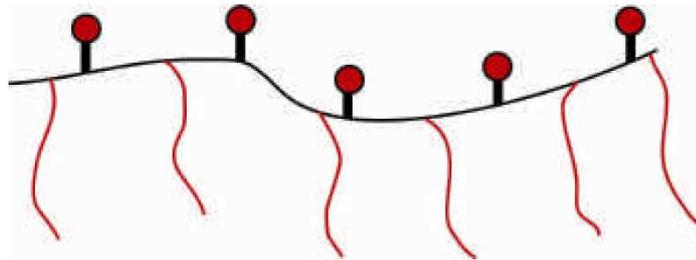


Figura 6: representação de uma molécula de um policarboxilato (LEIDHODT et al.<sup>8</sup>, 2000 apud HARTMANN, 2003, p. 20)

Por serem de estruturas químicas complexas, esse tipo de produto é compatível com um número limitado de outras matérias-primas, e caso não sejam bem formulados têm tendência a incorporar ar (MARTIN, 2005, p. 390). A estrutura química de um aditivo policarboxilato está representada na figura 7.

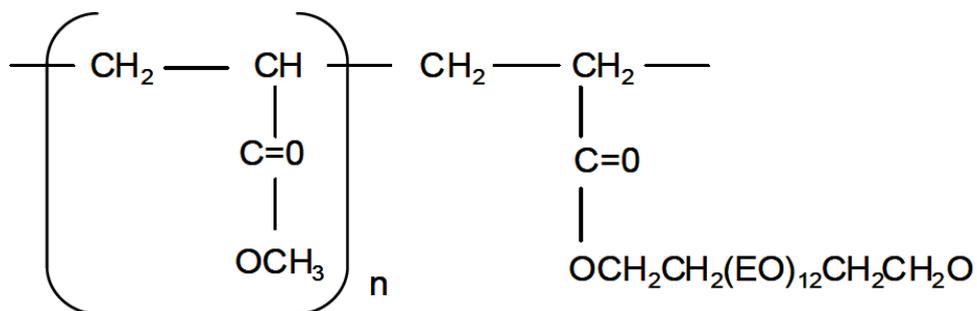


Figura 7: estrutura química de um aditivo policarboxilato (RAMACHANDRAM; MALHOTRA<sup>9</sup>, 1998 apud HARTMANN, 2002, p. 19)

<sup>8</sup> LEIDHODT, C.; NMAI, C.; SCHLAGBAUM, A. Effectiveness of a polycarboxilate-based high range water-reducer in a precast/prestressed. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HIGH PERFORMANCE CONCRETE, 2000, Orlando. **Proceedings...** Orlando: PCI/FHWA/FIB, 2000. p. 24-32.

Esse tipo de aditivo permite considerável aumento no abatimento do concreto, reduzindo a quantidade de água e tornando possível a utilização de concretos fluidos ou autoadensáveis. A redução de água possibilita o emprego de concretos mais resistentes e duráveis (HARTMANN, 2002, p. 19). Prudêncio Júnior (2005, p. 1235) afirma que “Os aditivos à base de policarboxilatos são atualmente os de melhor eficiência, permitindo reduções de água superiores a 20% e tempos de atuação entre 30 e 60 minutos. Em concretos de resistência característica acima de 40 MPa, seu uso é praticamente inevitável”. Os policarboxilatos, também chamados de redutores de água de alta eficiência, pois são capazes de reduzir o teor de água de 3 a 4 vezes em determinados traços.

### 3.6 DOSAGEM E MODO DE ADIÇÃO

A dosagem necessária para obter uma melhora nas propriedades de concretos e argamassas dependerá do tipo e da dosagem dos aditivos empregados. Existem no mercado vários tipos e composições químicas de aditivos e, ainda, variações na concentração dos seus compostos ativos.

Geralmente a dosagem empregada para os aditivos plastificantes é em torno de 0,3 a 0,5% sobre a massa de material cimentício. Normalmente recomenda-se a dosagem dos polifuncionais em torno de 0,6 a 1,0%, enquanto que as dosagens usuais de superplastificantes variam entre 0,6 a 1,5%, sempre em relação a massa do material cimentício (informação oral<sup>10</sup>). O quadro 5 apresenta os tipos de aditivos e suas aplicações.

---

<sup>9</sup> RAMACHANDRAM, V.S.; MALHOTRA, V.M. Superplasticizers. In: RAMACHANDRAM, V.S. **Concrete admixture handbook**: properties science and technology. Canada: Noyes Publication, 1998, p. 410-517.

<sup>10</sup> Informação obtida, no Treinamento Tecnologia do Concreto, ocorrido no dia 17/01/2011, na sede da empresa GRACE Brasil Ltda, Sorocaba/SP, proferida pela Engenheira Carine Toso Hartmann.

Tipo de Aditivo	Redução de água	Dosagem Típica	Aumento de resistência
Plastificantes	5 – 10%	0,2 a 0,5%	≈ 10%
Polifuncionais	8 – 18%	0,4 a 1,0%	≈ 25%
Superplastificantes	15 – 40%	0,6 a 2,0%	≈ 25%

Quadro 5: classificação dos aditivos em função da redução de água, dosagem típica e incremento na resistência à compressão de concretos (trabalho não publicado<sup>11</sup>)

A adição dos aditivos a concretos e argamassas deve ser realizada sempre após a mistura do cimento com a água, e nunca aos materiais secos. O modo de adição dos aditivos superplastificantes pode modificar algumas propriedades do concreto, principalmente no estado fresco, tais como manutenção de consistência e incorporação de ar (NEVILLE, 1997, p. 252-253).

---

<sup>11</sup> Informação obtida, no Treinamento Tecnologia do Concreto, ocorrido no dia 17/01/2011, na sede da empresa GRACE Brasil Ltda, Sorocaba/SP, proferida pela Engenheira Carine Toso Hartmann.

## 4 CIMENTO PORTLAND

Neste capítulo serão abordadas as principais propriedades do cimento Portland que são influenciadas pela adição de aditivos. Serão apresentadas características como: calor liberado para hidratação do cimento e tempos de início e fim de pega. Também serão mostradas as consequências que a incompatibilidade cimento-aditivo pode causar na qualidade de concretos, argamassas e pastas.

### 4.1 DEFINIÇÕES

Neville (1997, p. 23) indica que:

O emprego de cimentos é bem antigo. Os antigos egípcios usavam gesso impuro calcinado. Os gregos e romanos usavam calcário calcinado e aprenderam, posteriormente, a misturar cal e água, areia e pedra fragmentada, tijolos ou telhas em cacos. Foi o primeiro concreto da História.

O cimento Portland é um produto obtido através da mistura do clínquer, com uma pequena quantidade (aproximadamente 5%) de gipsita (sulfato de cálcio) que é adicionada para controlar o tempo de pega. Entre as principais propriedades do cimento estão o calor de hidratação e o tempo de pega.

As reações de hidratação do cimento ocorrem em dois estágios, conhecidos como dissolução-precipitação e indução, respectivamente (QUARCIONI, 2008, p. 4-6). Os principais constituintes do cimento são os quatro compostos que estão descritos no quadro 6. Esses compostos, em contato com água, formam produtos de hidratação que, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente, a pasta de cimento endurecida (NEVILLE, 1997, p. 29-33).

Nome do Composto	Composição em óxidos	Abreviação
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

Quadro 6: principais compostos do cimento Portland (NEVILLE, 1997, p. 29)

Mehta e Monteiro (1994, p. 198) explicam que:

O cimento Portland anidro não aglomera com areia e agregado graúdo; ele só adquire a propriedade adesiva quando mistura à água. Isto acontece porque a reação química do cimento com a água, comumente chamada de hidratação do cimento, gera produtos que possuem características de pega e endurecimento.

Quando se utilizava somente cimento e água, para atingir certo nível de trabalhabilidade, era necessária mais água do que o necessário para hidratar todas as partículas de cimento. Essa água adicional gerava porosidade dentro da pasta hidratada de cimento e resultava em uma menor resistência e durabilidade. Para melhorar a hidratação foram desenvolvidos os aditivos químicos capazes de reduzir a tendência natural à floculação do cimento e reduzir a quantidade de água de mistura (AITCIN, 2000, p. 134).

O aditivo superplastificante proporciona melhor homogeneidade e distribui mais uniformemente os espaços entre os grãos (HARTMANN, 2002, p. 27). A figura 8 apresenta a micrografia de partículas de cimento floculadas em uma suspensão de água-cimento sem aditivo presente (a) e a micrografia de um sistema após ser disperso com adição de um superplastificante (b) (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 282).

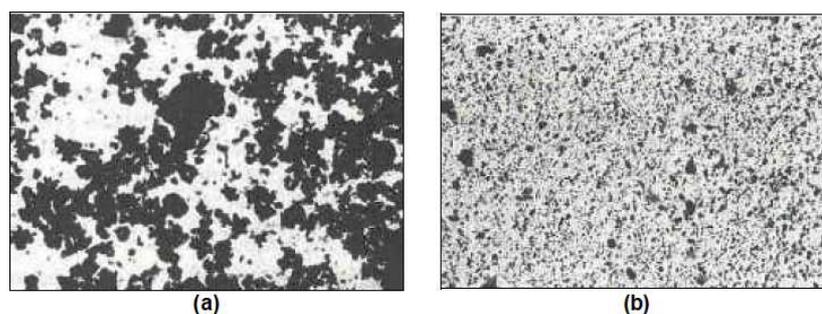


Figura 8: (a) floculação do sistema cimento-água (b) dispersão do sistema com a adição de um superplastificante (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 283)

Os aditivos acrescentam complexidade extra ao estudo de hidratação do cimento, pois sua adição pode interferir no processo de nucleação e formação de hidratos, que ocorrem na fase inicial de hidratação (HARTMANN, 2002, p. 21-22).

Cinco estágios, respectivos, correspondem ao processo de hidratação do cimento, eles são (MAILVAGANAM, 1999, p. 616-630):

- a) hidratação inicial (0 – 15 minutos);
- b) adaptação e dormência (15 minutos – 4 horas);
- c) aceleração e definição (4 – 8 horas);
- d) desaceleração e endurecimento (8 – 24 horas);
- e) cura (1 – 28 dias).

## 4.2 CALOR DE HIDRATAÇÃO E TEMPOS DE PEGA

Quarcioni (2008, p. 5) explica que “O termo hidratação, por definição, indica a reação química de uma dada espécie com água convertendo-se em hidrato, pela introdução de água em sua molécula”. A hidratação do cimento ocorre através de uma reação exotérmica, com liberação de calor.

O calor de hidratação pode ser determinado por vários métodos. Mais recentemente, o uso do teste do calorímetro, pelo monitoramento do calor de hidratação pelo tempo, tem sido frequentemente adotado preferencialmente em laboratórios e centros tecnológicos.

Os dados de estudo de calor de hidratação podem ser usados para caracterizar o comportamento de pega e endurecimento do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 206). Para empresas produtoras de concretos, cimentos, aditivos e de controle tecnológico, os calorímetros são muito úteis, pois permitem que sejam realizadas várias determinações como:

- a) interação cimento/aditivo;
- b) seleção de materiais;
- c) previsibilidade do concreto (estado fresco e endurecido);
- d) uniformidade de lotes entregues;
- e) liberação para acabamento e corte de juntas de pisos e pavimentos de concreto.

Existem dois tipos de testes de calorimetria: o isotérmico e o adiabático. Neste trabalho será utilizado um calorímetro semi-adiabático, no qual o calor de hidratação é medido pelo monitoramento do fluxo de calor da amostra, enquanto que esta é mantida sob uma condição de isolamento térmico ideal com mínima perda de calor para o ambiente (SANDBERG; BENINI, 2008, p. 23-24). Os mesmos autores explicam que: “[...] o uso de calorímetros em campo como uma ferramenta de controle da qualidade permite o estudo de reatividade de um aglomerante com outros materiais (agregados e aditivos), considerando as condições de aplicação, [...]”.

Alguns aditivos podem alterar a hidratação do cimento, como no caso dos redutores de água ou superplastificantes, causando retardo nos tempos de pega. A figura 9 mostra curvas de condução calorimétrica de testes realizados com aditivo superplastificante e com teste sem aditivo. No ensaio que não contém aditivo, o pico de elevação do calor acontece entre 8 e 9 minutos. Na amostra na qual foi adicionado 2% de superplastificante, a quantidade total de calor gerada até 30 minutos e a amplitude são menores, quando comparadas com a amostras sem aditivo (HARTMANN, 2002, p. 23-24).

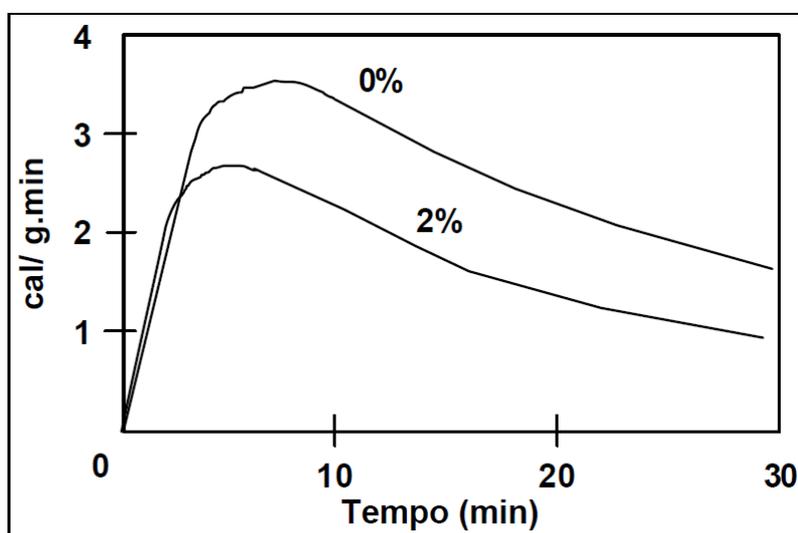


Figura 9: curva de condução calorimétrica  
(RAMACHANDRAM; MALHOTRA<sup>12</sup>, 1998 apud HARTMANN, 2002, p. 19)

O tempo de pega que tem como definição ser o início da solidificação da mistura fresca, pode ser afetado pela incompatibilidade cimento-aditivo e também por um possível uso indevido de

<sup>12</sup> RAMACHANDRAM, V.S.; MALHOTRA, V.M. Superplasticizers. In: RAMACHANDRAM, V.S. **Concrete admixture handbook: properties science and technology**. Canada: Noyes Publication, 1998, p. 410-517.

aditivo. Segundo Neville (1997, p. 39) “[...] na prática, os termos início de pega e fim de pega são usados para descrever arbitrariamente estados escolhidos da pega”.

O começo da solidificação é chamado de início de pega, e indica quando a pasta não está mais trabalhável, dificultando lançamento, compactação e acabamento do concreto. Quando a pasta fica totalmente solidificada tem-se o ponto de fim de pega (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 208). Alguns aditivos superplastificantes podem retardar os tempos de pega. O efeito de retardo aumenta conforme aumenta a dosagem do aditivo. Tanto para argamassas quanto para concretos e pastas, com relações água/cimento baixas o retardo de pega é menor do que em relações água/cimento maiores (HARTMANN, 2002, p. 44).

É importante ressaltar que as velocidades de pega e de endurecimento, ou seja, os aumentos da resistência são independentes entre si. Por exemplo, os tempos de início de pega especificados para um cimento de alta resistência inicial não são diferentes daqueles especificados para o cimento Portland comum, apesar de os dois cimentos terem diferentes velocidades de endurecimento (NEVILLE, 1997, p. 69).

### 4.3 PERDA DE ABATIMENTO

Neste trabalho os ensaios de perda de abatimento serão realizados através do método de miniabatimento. Monte (2003, p. 24) explica que:

O método de miniabatimento foi desenvolvido por Kantro<sup>13</sup> (1980) e adotado em algumas pesquisas nacionais e internacionais para a determinação da consistência de pastas de cimento com aditivos superplastificantes. Esse método é composto por um molde tronco-cônico em acrílico (Figura [...] 10) e uma placa de vidro.

---

<sup>13</sup> KANTRO, D. L. Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste: a miniature slump test. **Cement, Concrete and Aggregates**, Orlando, v. 2, p. 95-108, 1980.

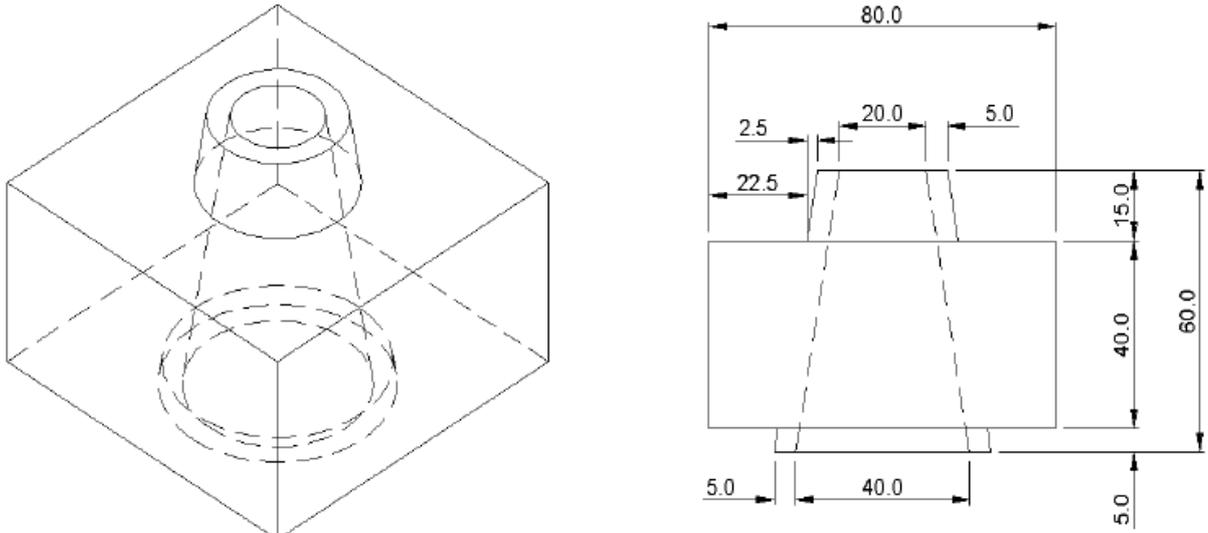


Figura 10: minicone utilizado para o ensaio de miniabatimento (MONTE, 2003, p. 95)

Sob a placa de vidro, é posicionada uma folha de papel milimetrado, utilizada para medir dois diâmetros ortogonais da pasta após a remoção do molde, conforme mostra a figura 11. Calcula-se a média dos dois diâmetros medidos, e após obtêm-se a área de espalhamento da pasta (MONTE, 2003, p. 23-95).

A perda de abatimento já foi motivo de estudo de vários pesquisadores, que indicaram que os fatores que afetam o abatimento com o passar do tempo são (HARTMANN, 2002, p. 33):

- a) teor e tipo de aditivo utilizado;
- b) instante que o produto foi adicionado a mistura;
- c) abatimento inicial da mistura;
- d) procedimento de mistura;
- e) temperatura do ambiente e do concreto.



Figura 11: demonstração do ensaio de miniabatimento em andamento (MONTE, 2003, p. 25)

Segundo Neville (1997, p. 267):

A eficiência dos superplastificantes para impedir a reaglomeração das partículas de cimento persiste apenas quando houver moléculas de superplastificantes disponíveis para envolver as superfícies expostas das partículas de cimento. Como parte das moléculas de superplastificante ficam aprisionadas pelos produtos de hidratação do cimento, diminui a disponibilidade de superplastificante e a trabalhabilidade da mistura também diminui rapidamente.

#### 4.4 INCOMPATIBILIDADE CIMENTO-ADITIVO

Hartmann (2002, p. 31-32) explica que:

Com a utilização de relações água/cimento cada vez menores, percebe-se, em determinadas situações, que algumas combinações entre cimento e aditivo apresentam comportamento inesperado e indesejado, fenômeno conhecido como incompatibilidade cimento-aditivo.

A incompatibilidade cimento-aditivo provoca problemas como rápida perda de abatimento e baixa fluidez do concreto fresco, comprometendo outros serviços como bombeamento, adensamento e acabamento do concreto. Além dos problemas acima, esse fenômeno indesejado pode interferir nos tempos de pega (pega rápida, falsa pega) e na resistência inicial. Para evitar as falhas citadas, profissionais na tecnologia de concreto buscam soluções. Entre elas pode-se citar o uso de um aditivo retardador junto com o aditivo superplastificante ou uma redosagem do aditivo utilizado no traço especificado (HARTMANN, 2002, p. 31-32).

Alguns ensaios para determinação da compatibilidade entre aditivo e concreto são apresentados na literatura, mas os mesmos são apresentados como procedimentos para determinação do teor de saturação de aditivos. Esses ensaios são baseados na comparação de fluidez em pastas de concreto (HARTMANN, 2002, p. 33). O método do miniabatimento, como seu nome indica, consiste em fazer um abatimento com uma pequena quantidade de pasta, como apresentado na figura 11. Mehta e Monteiro (1994, p. 198) indicam que “[...] normalmente, o abatimento é medido aos 10 min, 30 min, 40 min, 60 min, 90 min e 120 min, para dar uma idéia da perda de abatimento da pasta com o tempo.”. Para o presente trabalho foi simulado uma situação de campo, onde foram medidos os abatimentos iniciais da pasta de cimento Portland, com 15 min e 30 min.

## 5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Tendo como objetivo principal a avaliação de desempenho de aditivos para concreto de estrutura química à base de policarboxilato, o presente programa experimental foi desenvolvido a partir da seleção dos materiais e métodos a serem empregados. Foram escolhidas duas amostras de diferentes cimentos (CP IV – 32 RS e CP V – ARI RS), porém de um mesmo fornecedor do mercado do Rio Grande do Sul, e quatro amostras de aditivos à base de policarboxilato (PC 1 a PC 4) de diferentes fornecedores da Região Sul.

A pesquisa desenvolveu-se em duas etapas distintas de experimentos. Num primeiro momento, foram ensaiadas pastas de cimento Portland para a determinação dos tempos de pega e calor hidratação no equipamento de calorimetria semi-adiabático AdiaCal A figura 12 representa esquematicamente esta parte do programa experimental.

As pastas de cimento Portland, em todos os ensaios, foram misturadas com relação água/cimento de 0,4, e os aditivos foram utilizados em dosagens de 0,4%, 0,7%, 1,0% e 1,3%. Estes valores foram escolhidos aleatoriamente, visando comparar o desempenho dos dispersantes através da variação do teor de dosagem, mantendo a relação a/c.

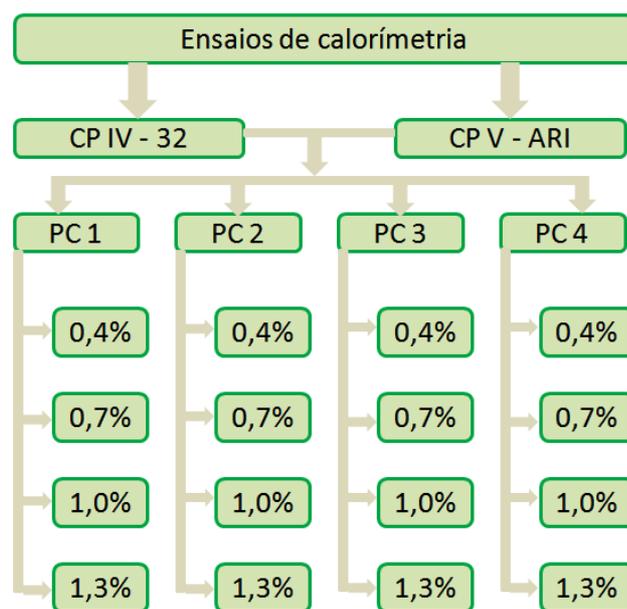


Figura 12: representação esquemática dos ensaios de calorimetria

Posteriormente, foram realizados os ensaios de manutenção de abatimento em pastas de cimento Portland, através do método de miniabatimento, desenvolvido por Kantro<sup>14</sup>. Nestes testes foram ensaiados todos os aditivos, porém com apenas um teor de dosagem, 0,4%, valor adotado, pois visualmente, apresentou um limite de segregação das pastas de cimento Portland. A representação esquemática do teste de miniabatimento está representada na figura 13.

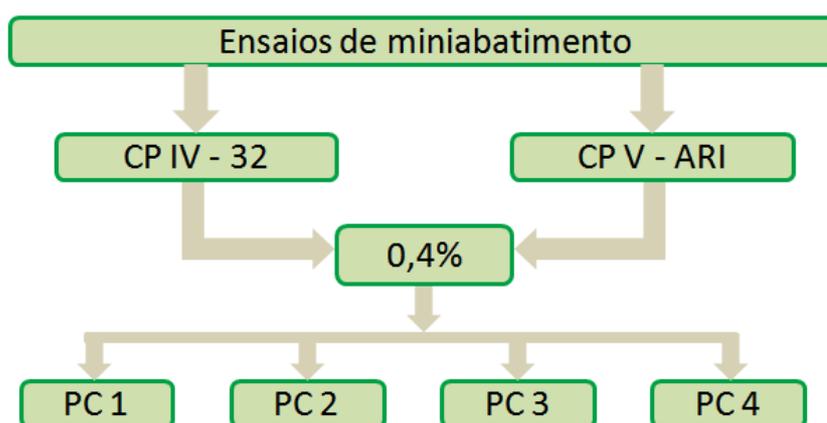


Figura 13: representação esquemática dos ensaios de miniabatimento

## 5.1 VARIÁVEIS

As variáveis independentes e dependentes estabelecidas para a realização do trabalho são apresentadas a seguir.

### 5.1.1 Variáveis independentes

Como o foco do trabalho é a avaliação de desempenho de aditivos para concreto à base de policarboxilato, procurou-se estabelecer parâmetros adequados que possibilitassem a sua verificação. Foram definidas como variáveis independentes:

- a) tipos de cimento;

<sup>14</sup>KANTRO, D. L. Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste: a miniature slump test. **Cement, Concrete and Aggregates**, Orlando, v. 2, p. 95-108, 1980.

- b) relação água/cimento;
- c) teor de dosagem dos aditivos.

Os tipos de cimento utilizados nos ensaios se apresentam como fatores relevantes devido à diferença de características físicas e químicas existentes entre eles. Para a pesquisa, procurou-se eleger diferentes cimentos em função do seu uso na produção de concretos na Região. Desta maneira, foram utilizadas duas amostras fornecidas por uma concreteira da cidade de Porto Alegre. Sendo os cimentos coletados no mesmo dia, constituindo um lote distinto para cada cimento, ou seja, cimento de mesma procedência, fábrica e data de fabricação.

A relação água/cimento é um parâmetro importante para a avaliação da compatibilidade-cimento-aditivo, pois conforme se modifica esta relação, as consistências das pastas também são alteradas. Neste trabalho, foi estabelecida a relação água/cimento de 0,40.

Os teores dos aditivos são fatores fundamentais para o programa experimental, visto que através das dosagens desses produtos pode-se estabelecer uma relação entre os tempos de pega medidos. Foram então fixados teores de 0,4%, 0,7%, 1,0% e 1,3% sobre a quantidade de cimento do experimento.

### **5.1.2 Variáveis dependentes**

As variáveis dependentes, respostas dos ensaios realizados, são necessárias para a avaliação das variáveis independentes nos retardos de pega e manutenção de abatimento do concreto. Portanto, para possibilitar a avaliação do desempenho dos aditivos estudados, definiram-se como variáveis dependentes:

- a) diâmetro de espalhamento;
- b) tempos de pega e variação de temperatura.

O espalhamento foi determinado pelo ensaio de miniabatimento, enquanto que os tempos de pega e a variação de temperatura foram determinados através de uma curva estabelecida pelo software AdiaLog, desenvolvido especificamente para o calorímetro AdiaCal.

## 5.2 MATERIAIS

As caracterizações dos cimentos, dos aditivos e da água utilizados no estudo são contempladas nos itens a seguir.

### 5.2.1 Cimentos

Para analisar o comportamento dos aditivos superplastificantes em pastas, foram utilizados dois tipos de cimento nessa pesquisa, que são:

- a) CP IV – 32 RS;
- b) CP V – ARI RS.

As amostras foram coletas no dia 12 de abril de 2011 e foram considerados para cada ensaio os valores médios, obtidos no mês de abril de 2011, conforme fornecimento da cimenteira. A caracterização química dos referidos cimentos são apresentadas no quadro 7.

Determinação	CP IV – 32 RS (% em massa)	CP V – ARI RS (% em massa)
Óxido de cálcio (CaO)	42,34	53,51
Óxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	31,50	23,08
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	9,54	5,15
Óxido de Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,43	3,25

Quadro 7: caracterização química dos cimentos utilizados

Assim como os ensaios de caracterização química, os ensaios de caracterização física e mecânica do cimento foram fornecidos pelo seu fabricante, sendo apresentados os valores médios nos quadros 8 e 9.

A superfície específica Blaine, a massa específica e a resistência à compressão foram determinadas, respectivamente, pela NBR NM 76/98<sup>15</sup>, NBR NM 23/00<sup>16</sup> e NBR 7215/96<sup>17</sup>.

Determinação	CP IV – 32 RS	CP V – ARI RS
Superfície específica Blaine (g/cm <sup>3</sup> )	5470	4661
Massa específica (cm <sup>2</sup> /g)	2,84	3,03

Quadro 8: caracterizações físicas dos cimentos utilizados

Determinação		CP IV – 32 RS	CP V – ARI RS
Resistência à compressão (MPa)	1 dia	16,4	21,0
	3 dias	29,3	36,7
	7 dias	33,5	41,6
	28 dias	*	*

Quadro 9: caracterizações mecânicas dos cimentos utilizados

Os resultados de 28 dias de ambos cimentos não haviam sido obtidas até a conclusão deste trabalho.

### 5.2.2 Aditivos superplastificantes

Foram utilizadas para o presente trabalho, quatro amostras de aditivos superplastificantes à base de policarboxilato de quatro fornecedores diferentes. Os aditivos serão denominados a partir de agora de PC 1, PC 2, PC 3 e PC 4. O quadro 10 apresenta as principais características de cada produto, fornecidas pelos fornecedores de cada produto.

<sup>15</sup> Norma brasileira de cimento Portland **ABNT NBR NM 76: 1998** utilizada para determinar a finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine).

<sup>16</sup> Norma brasileira de cimento Portland **ABNT NBR NM 23: 2000** utilizada para determinar a massa específica do cimento.

<sup>17</sup> Norma brasileira de cimento Portland **ABNT NBR 7215: 1996** utilizada para determinar a resistência à compressão.

Identificação	Densidade (kg/L)	Dosagem recomendada	pH	Teor de Cloretos (%)	Teor de Sólidos (%)
PC 1	1,06	0,4% a 1,2%	*	*	*
PC 2	1,06	0,2% a 5,0%	*	< 0,1%	*
PC 3	1,06	0,2% a 1,0%	5,0 a 7,0	*	28,5% a 31,5%
PC 4	1,10	0,3% a 2,0%	4,5 a 6,5	*	*

Quadro 10: aditivos superplastificantes utilizados na pesquisa

As características que foram preenchidas com (\*), são valores que não foram fornecidos pelos fabricantes de aditivos.

### 5.2.3 Água

A água utilizada nos ensaios é proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Porto Alegre.

## 5.3 MÉTODOS

Nos próximos itens são explicados os procedimentos utilizados nessa pesquisa experimental.

### 5.3.1 Determinação dos tempos de pega e calor de hidratação

As quantidades dos materiais utilizadas nos ensaios foram definidas para que o volume de pasta atendesse a capacidade dos canais receptores do calorímetro. Portanto fixou-se a quantidade de cimento em 200 g (figura 14a) e relação água/cimento em 0,4. Assim, a quantidade de água para todos os testes foi de 80 g (figura 14b). Os teores de dosagem e quantidade dos aditivos superplastificantes (figura 15) utilizados no estudo estão apresentados no quadro 11.

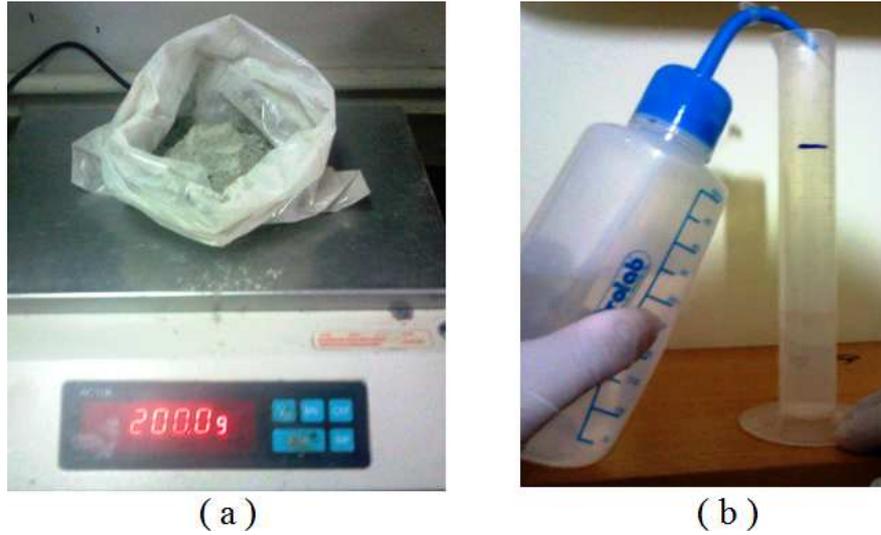


Figura 14: (a) quantidade de cimento; (b) quantidade de água



Figura 15: aditivos superplastificantes utilizados no trabalho

Identificação	Teores utilizados (% sobre a quantidade de cimento)							
	0,40 %		0,70%		1,00%		1,30%	
	g	ml	g	ml	g	ml	g	ml
PC 1	0,80	<b>0,75</b>	1,40	<b>1,32</b>	2,00	<b>1,89</b>	2,60	<b>2,45</b>
PC 2	0,80	<b>0,75</b>	1,40	<b>1,32</b>	2,00	<b>1,89</b>	2,60	<b>2,45</b>
PC 3	0,80	<b>0,75</b>	1,40	<b>1,32</b>	2,00	<b>1,89</b>	2,60	<b>2,45</b>
PC 4	0,80	<b>0,73</b>	1,40	<b>1,27</b>	2,00	<b>1,82</b>	2,60	<b>2,36</b>

Quadro 11: teores de dosagem e quantidade dos aditivos superplastificantes

O procedimento de mistura das pastas foi mantido constante para todos os experimentos. A sequência dos ensaios foi realizada da seguinte maneira:

- a) mistura do aditivo com a água (figura 16a);
- b) colocação do cimento após os demais materiais já estarem misturados (figura 16b);
- c) mistura manual por um minuto (figura 16c);
- d) identificação da mistura (figura 16d);
- e) colocação da pasta de cimento Portland no aparelho AdiaCal (figura 16e);
- f) início das medições. As leituras dos dados ocorreram por um período de 24 a 48 horas.

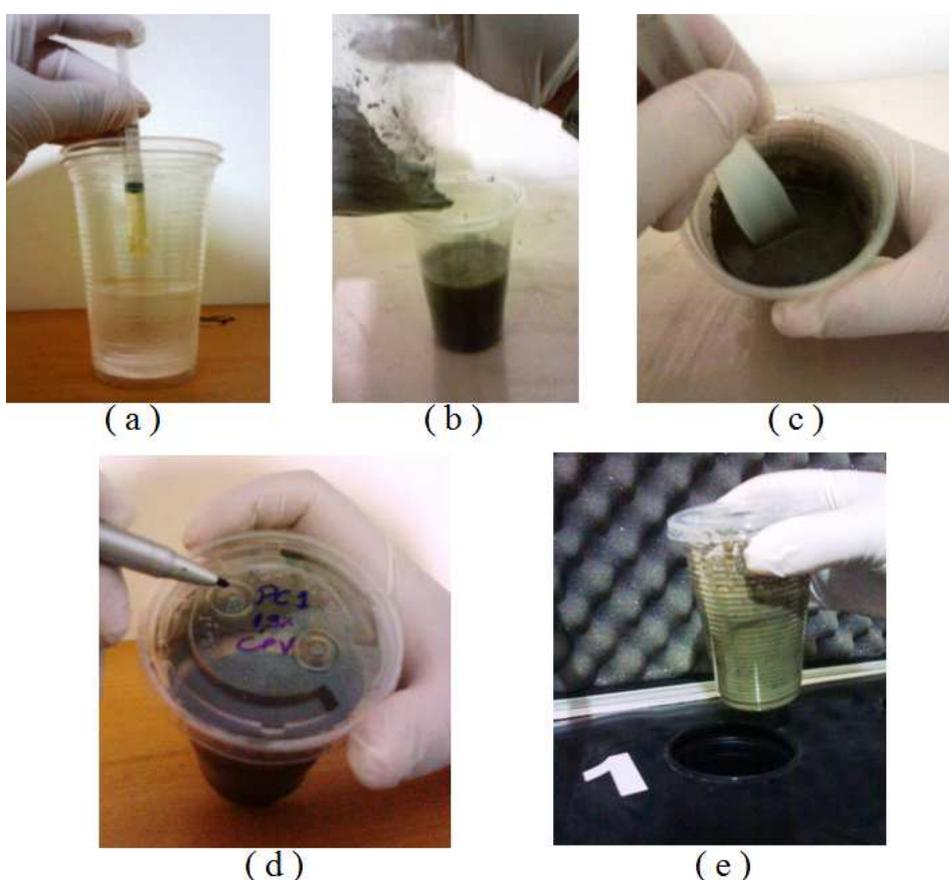


Figura 16: (a) mistura do aditivo com água; (b) colocação do cimento junto com os demais materiais; (c) mistura da pasta manualmente; (d) identificação do experimento; (e) colocação do teste no aparelho AdiaCal

As determinações dos tempos de pega e da variação de temperatura de cada pasta de cimento Portland foram realizadas através de uma curva calorimétrica estabelecida pelo software AdiaLog, este desenvolvido especificamente para o calorímetro AdiaCal. O equipamento de calorimetria semi-adiabático AdiaCal, apresentado na figura 17a, foi criado para ensaios

comparativos através da coleta e armazenamento dos dados de temperatura liberada pela reação de hidratação do cimento.

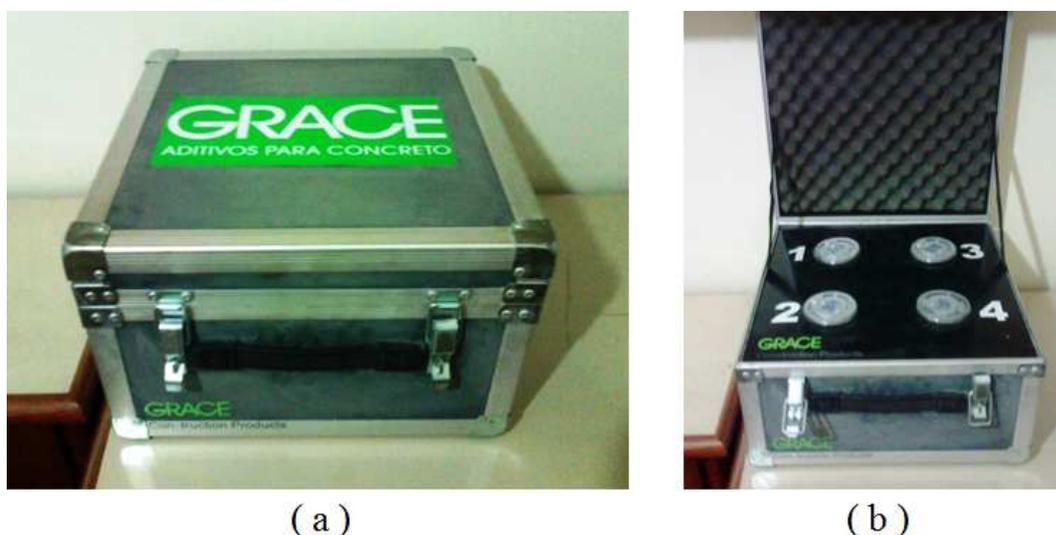


Figura 17: (a) calorímetro semi-adiabático AdiaCal;  
(b) canais de entrada para as amostras

Esse aparelho contém quatro canais de entrada para as amostras (figura 17b), todos equipados com um termopar coletor de temperatura. Após a verificação da temperatura, os dados são enviados para a memória interna do equipamento, sendo esta leitura realizada minuto a minuto. O AdiaCal tem fonte de energia própria e necessita ser conectado ao computador apenas no momento de iniciar os testes e na coleta de dados, através do software AdiaLog.

Após o período de coleta de dados elaborou-se uma curva calorimétrica de onde foram extraídos os tempos de pega e calor de hidratação. A seguir está descrito detalhadamente o processo para a obtenção dos resultados dos ensaios:

- a) curva calorimétrica obtida após coletas de dados, conforme gráfico 1. Os pontos E e F representam início e fim de pega, respectivamente (SANDBERG; BENINI, 2008, p. 38);
- b) determinação do pico de temperatura máxima (gráfico 2);
- c) determinação da taxa de calor liberado (gráfico 3);

Apesar de constar no trabalho de Sandberg e Benini (2008), é recomendado ter cuidado ao citar tempos de início e fim de pega. O calorímetro utilizado no trabalho é extremamente útil para comparativo de materiais, porém não é exato nas determinações de tempos de pega.

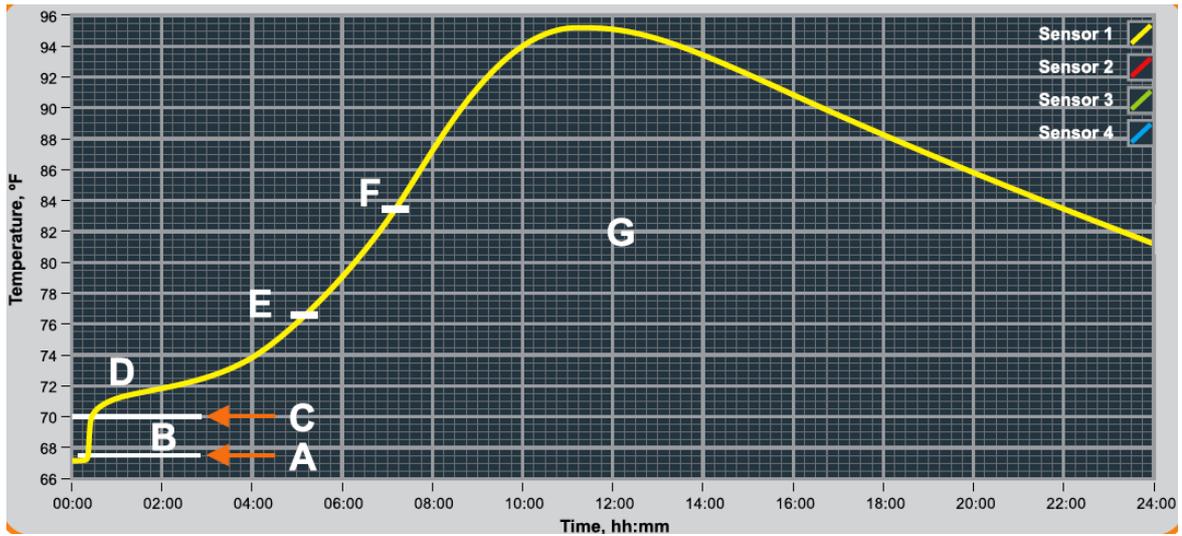


Gráfico 1: modelo de uma curva calorimétrica (SANDBERG; BENINI, 2008, p. 38)

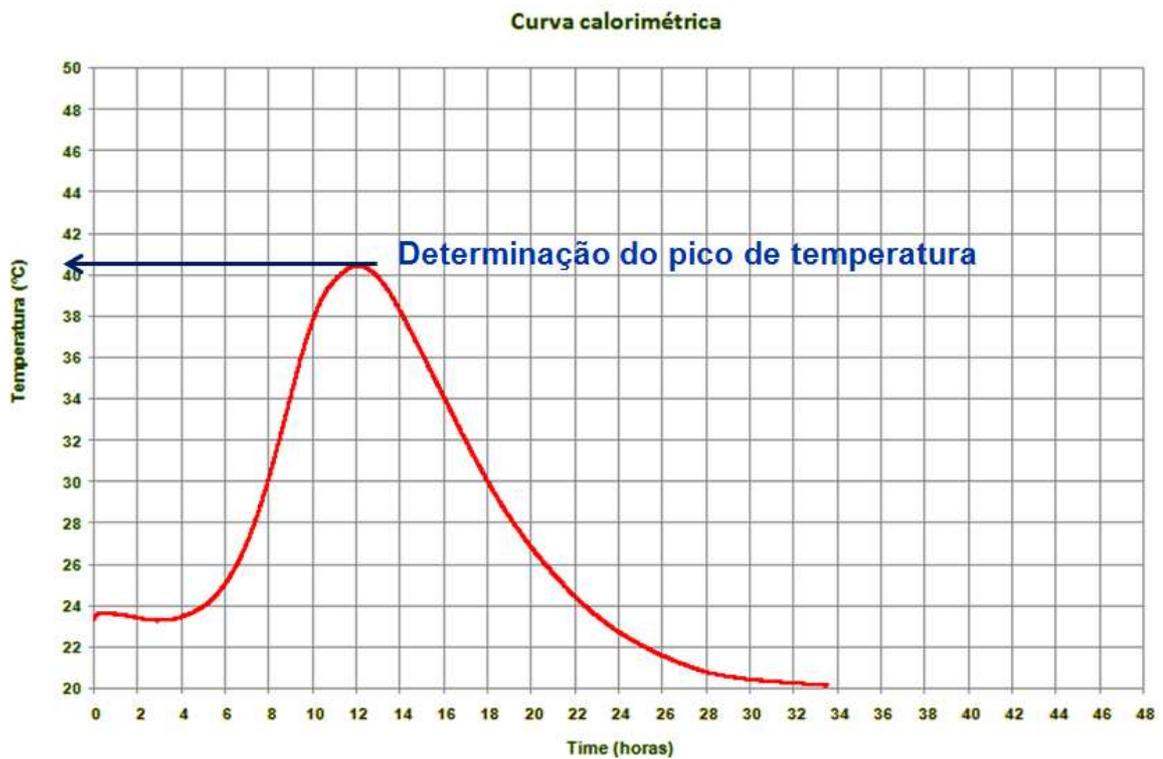


Gráfico 2: determinação do pico de temperatura da curva calorimétrica

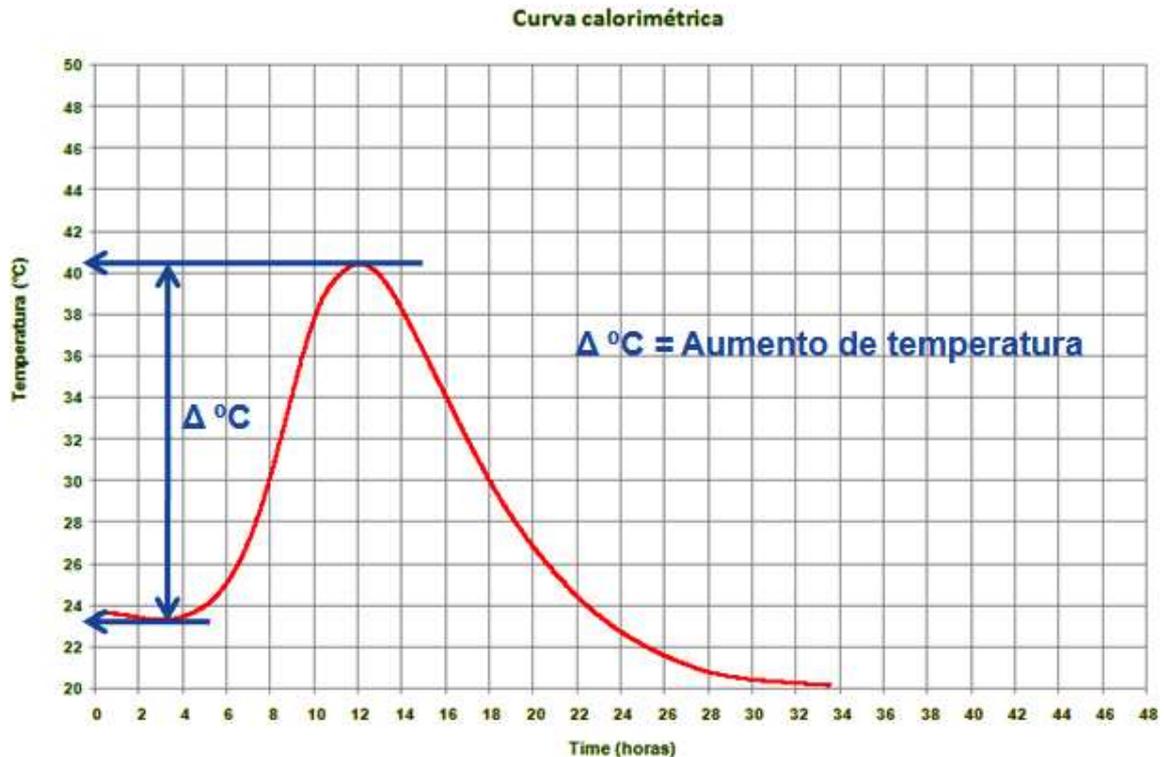


Gráfico 3: determinação do aumento de temperatura da curva calorimétrica

### 5.3.2 Determinação da perda de abatimento

A manutenção do abatimento em pastas de cimento Portland com aditivos superplastificantes foi determinada através do método de miniabatimento. Fixou-se a mesma relação água/cimento utilizada nos experimentos de calorimetria ( $a/c = 0,40$ ), porém os testes de miniabatimento foram realizados com apenas um teor de dosagem de cada aditivo, 0,40% sobre a quantidade de cimento. Este teor de dosagem foi definido através de análise visual, na qual constatou-se limite de segregação para esta dosagem. O procedimento utilizado neste ensaio foi o descrito a seguir:

- a) pesagem de todos os materiais utilizados na mistura da pasta;
- b) mistura da água e do aditivo (figura 18a);
- c) colocação do cimento com os demais materiais (figura 18b);
- d) mistura manual por um minuto (figura 18c);
- e) preenchimento do minicone com a pasta (figura 18d);
- f) retirada do minicone de forma constante e vertical (figura 18e);

g) medição de dois diâmetros de espalhamento (figura 18f).

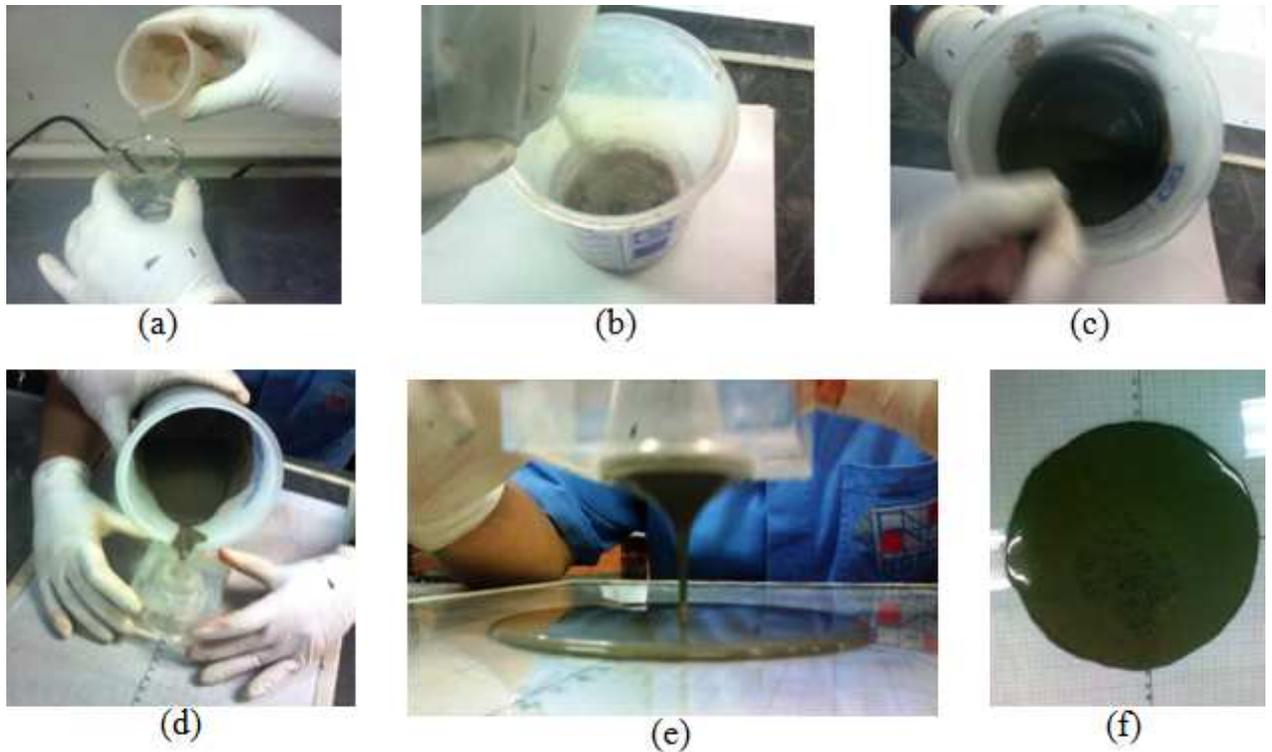


Figura 18: (a) mistura do aditivo com água; (b) colocação do cimento junto com os demais materiais; (c) mistura da pasta manualmente; (d) colocação da pasta no minicone; (e) retirada do minicone; (f) medição de dois diâmetros

## 6 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios, assim como suas análises, para a determinação das curvas calorimétricas e manutenção de abatimento.

### 6.1 DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE PEGA

Os resultados obtidos através dos ensaios no calorímetro semi-adiabático AdiaCal<sup>18</sup> são apresentados a seguir. As amostras identificadas nos gráficos como **referência**, são referentes às amostras sem aditivos. Os resultados são mostrados em pares de gráficos, sempre para os cimentos CP IV – 32 RS e CP V – ARI RS. Nos gráficos 4 e 5 são apresentados os resultados na dosagem de 0,40% de cada aditivo sobre a quantidade de cimento.

---

<sup>18</sup> Equipamento desenvolvido e comercializado pela empresa GRACE *Construction Products*, utilizado em campo para ensaios de medição de tempos de pega.

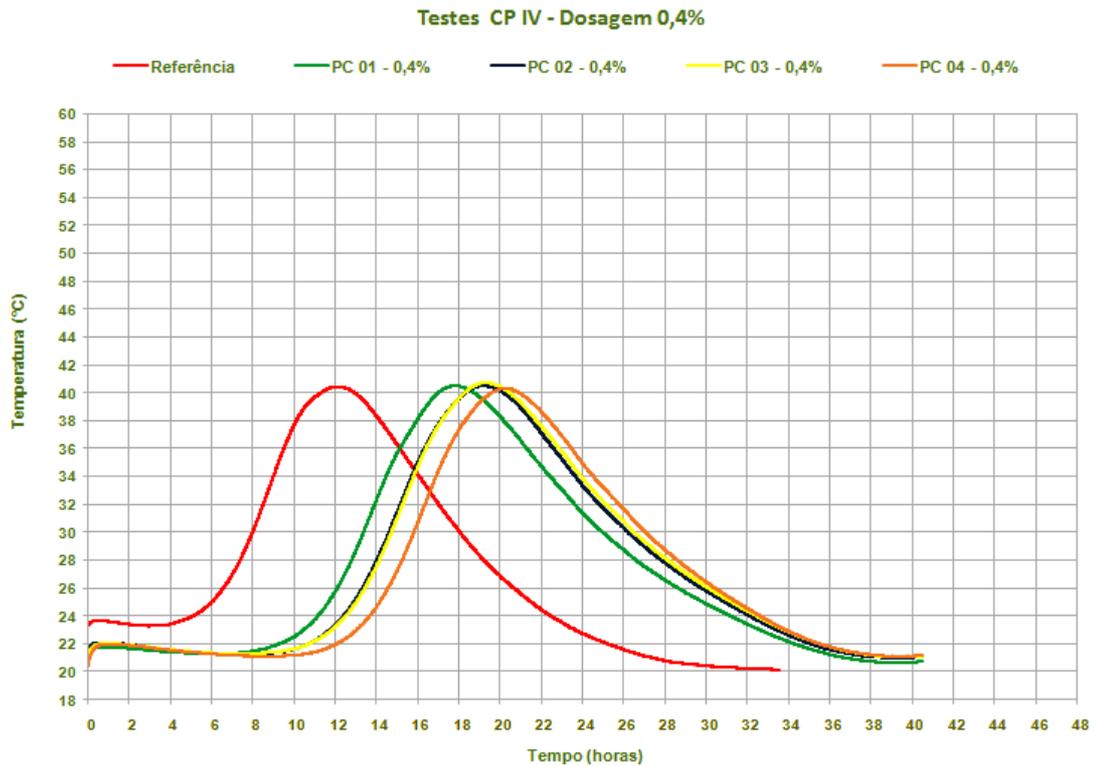


Gráfico 4: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 0,40%  
com cimento CP IV – 32 RS

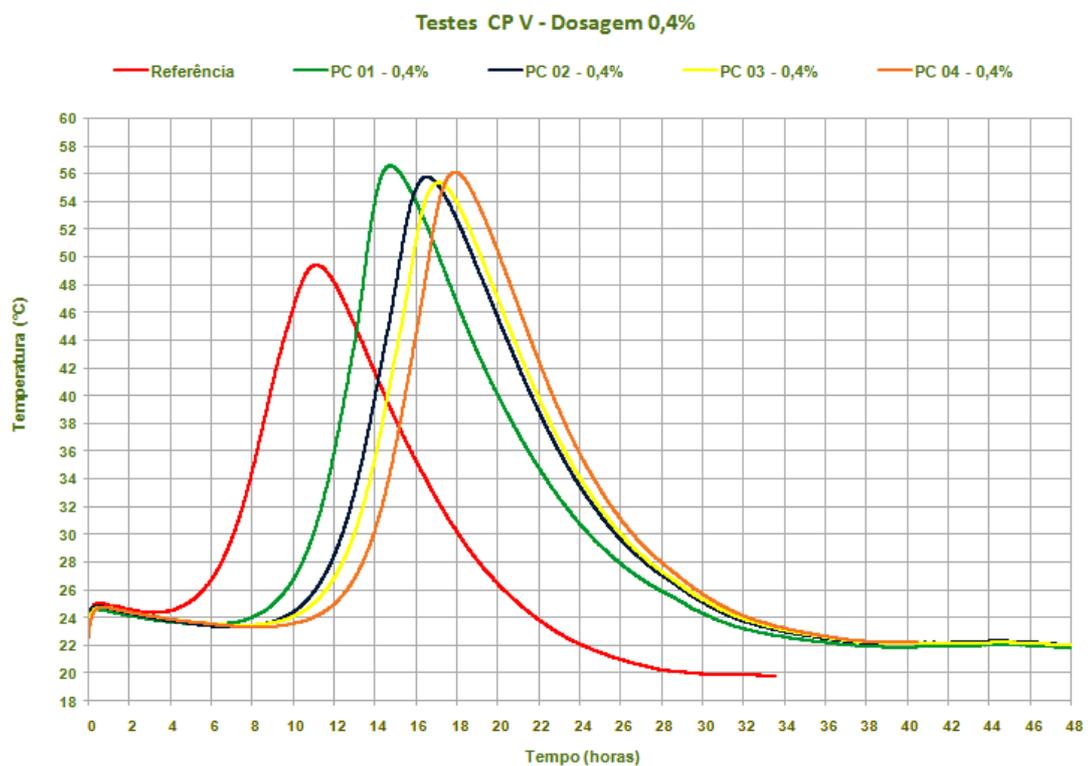


Gráfico 5: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 0,40%  
com cimento CP V – ARI RS

Os valores dos tempos de pega, determinados a partir das curvas calorimétricas, são apresentados nos quadros 12 e 13, na página 60. Observando os gráficos 4 e 5 e os quadros 12 e 13, pode-se verificar que para os dois tipos de cimento os aditivos apresentaram comportamentos similares nos tempos de pega. O aditivo PC 1 foi o de melhor desempenho, ou seja, menor retardo. Os aditivos PC 2 e PC 3 apresentaram curvas praticamente idênticas e o PC 4 levou a um maior tempo de início de pega. Como era de se esperar, o calor liberado para hidratação do cimento no CP V, para todos os aditivos, foi superior do que no cimento CP IV, característica desse tipo de cimento.

Os gráficos 6 e 7 apresentam o comportamento das curvas calorimétricas com dosagens de aditivo a 0,7% sobre a quantidade de cimento.

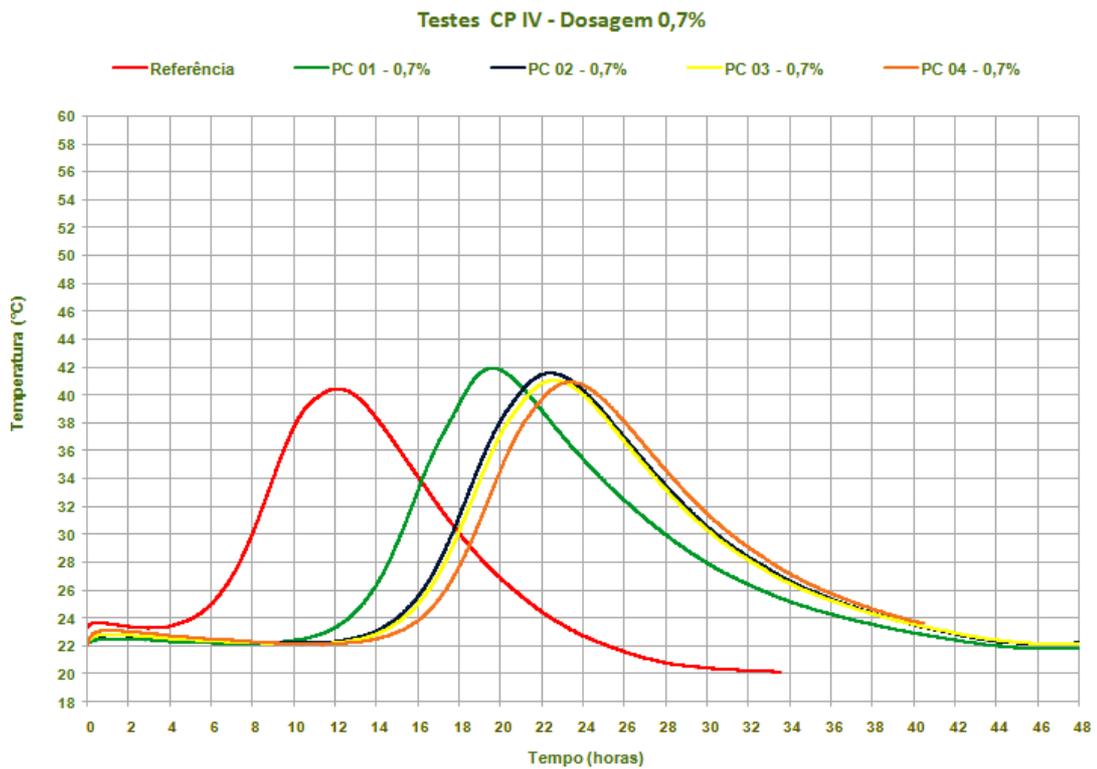


Gráfico 6: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 0,70% com cimento CP IV – 32 RS

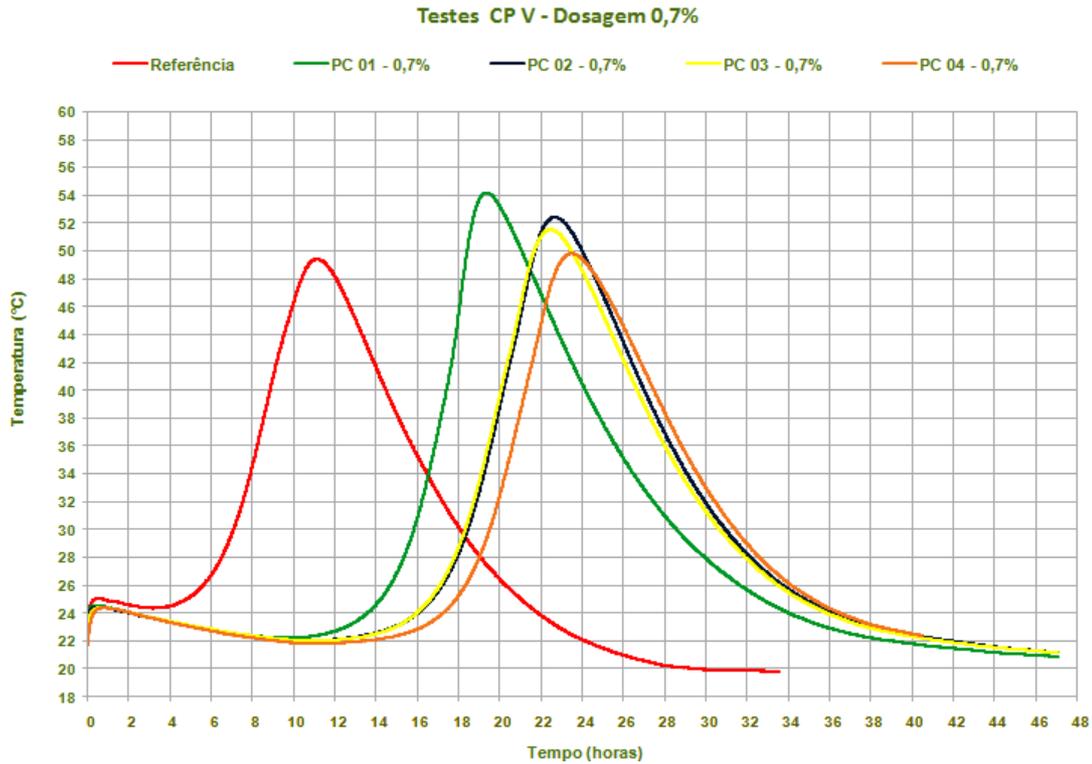


Gráfico 7: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 0,70% com cimento CP V – ARI RS

O gráfico 6 indica que os aditivos continuam apresentando comportamentos similares à dosagem de 0,40%, com o aumento da dosagem de aditivos, sendo que o retardo no aditivo PC 1 é menor do que nos outros três aditivos, também informados nos quadros 12 e 13. No gráfico 7, assim como no gráfico 5, observa-se que há variação nos calores liberados para a hidratação do cimento e o PC 1 apresenta novamente um retardo menor que nos demais aditivos.

Os gráficos 8 e 9 apresentam curvas calorimétricas de pastas com aditivos dosados a 1,00% sobre a quantidade de cimento.

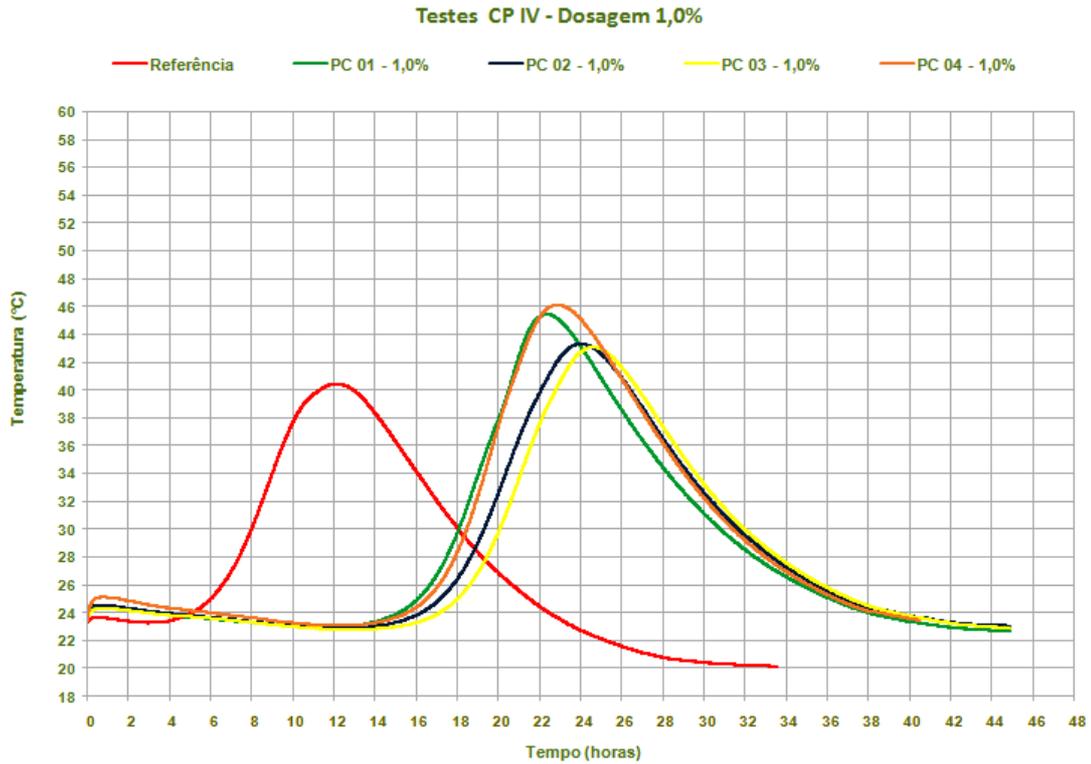


Gráfico 8: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 1,00%  
com cimento CP IV – 32 RS

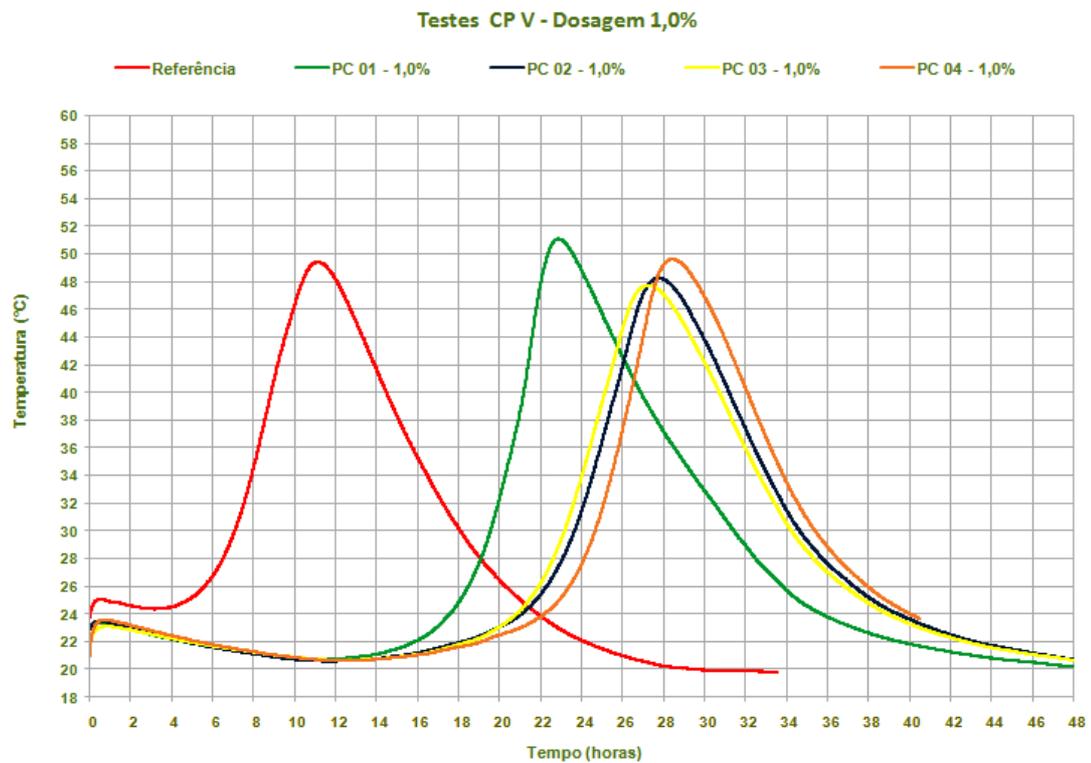


Gráfico 9: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 1,00%  
com cimento CP V – ARI RS

O gráfico 8 mostra que o aditivo PC 1 apresentou desempenho diferente do que vinha apresentando nas outras dosagens (0,40% e 0,70%), enquanto que os aditivos PC 2 e PC 3 continuam apresentando curvas semelhantes. No gráfico 9 observa-se comportamentos dos policarboxilatos semelhantes aos do gráfico 7, apenas há inversão no calor liberado para hidratação do cimento do PC 4 com PC 2 e PC 3, e também há o aumento esperado, em função do aumento da dosagem do produto, do retardo no tempo de pega de todos os aditivos. Os quadros 12 e 13 apresentam um resumo geral do resultados.

Os gráficos 10 e 11 apresentam os desempenhos dos aditivos com dosagens de 1,30% sobre a quantidade de cimento.

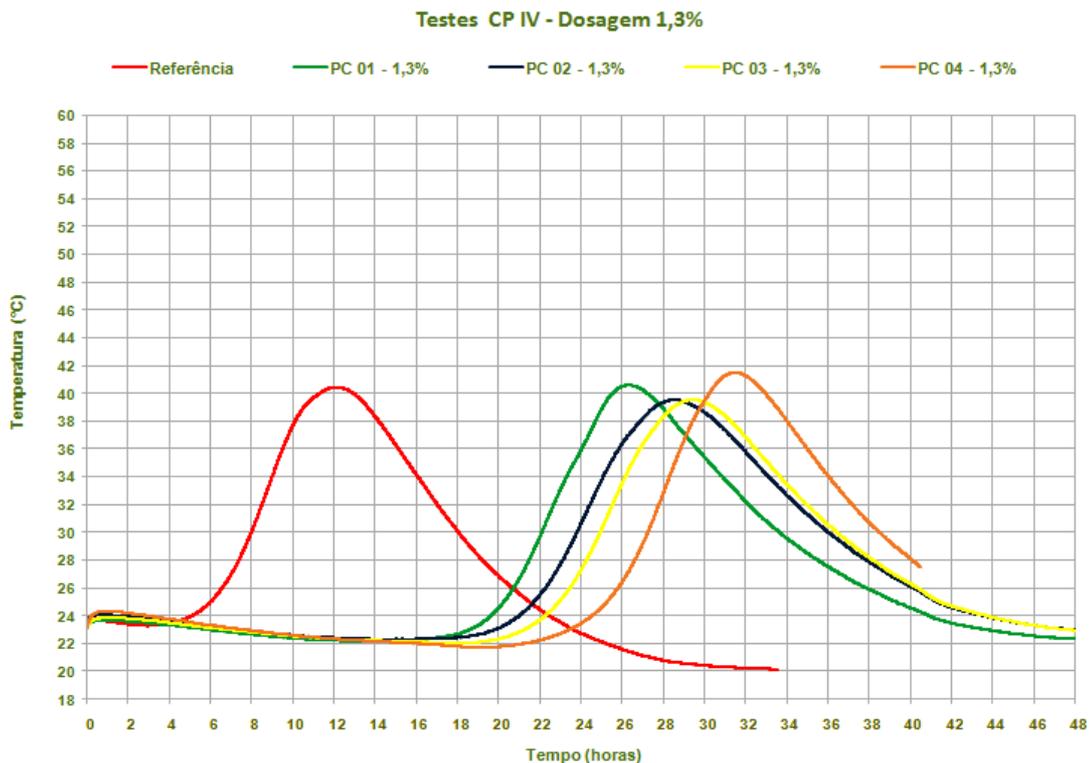


Gráfico 10: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 1,30% com cimento CP IV – 32 RS

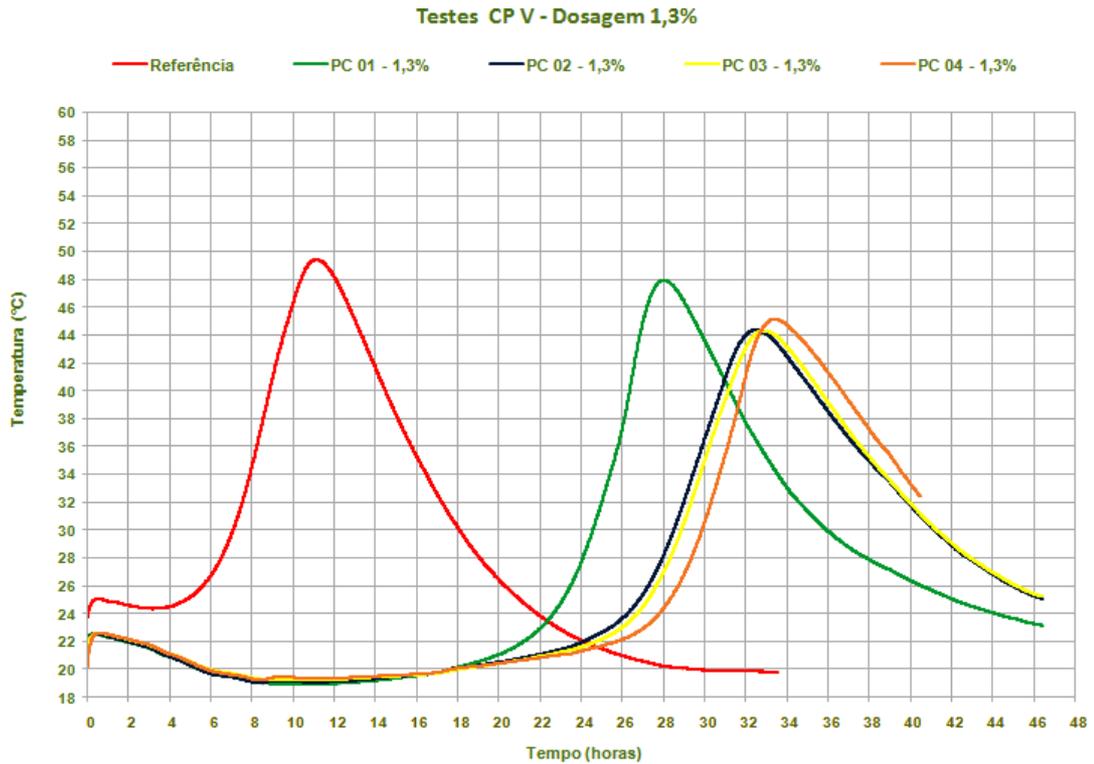


Gráfico 11: curva calorimétrica na dosagem de aditivo a 1,30% com cimento CP V – ARI RS

Analisando o gráfico 10, pode-se observar que novamente o retardo do policarboxilato PC 4 é maior do que os demais aditivos. Os produtos PC 2 e PC 3 apresentam curvas similares, porém no aditivo PC 2 há o retardo na pega menor do que o aditivo PC 3. Também pode-se analisar que nestas dosagens os tempos finais de pega passam de 24 horas, chegando a 28 horas em um dos casos, tornando inviável a utilização de alguns produtos em concretos com alta resistência inicial, pois nestes casos um retardo nos tempos de pega altera também as resistências iniciais.

No gráfico 11 novamente o produto PC 1 apresenta menor retardo de pega e maior calor liberado do que os demais produtos. No caso do CP V – ARI RS, os retardos nos tempos de pega foram ainda maiores. Com dosagem de 1,30%, o tempo final de pega chegou a 31,6 horas.

Através do método estabelecido por Sanderg e Benini (2008), foi possível realizar as leituras nos experimentos realizados no aparelho AdiaCal. O quadro 12 apresenta um resumo geral dos resultados dos ensaios com CP IV – 32 RS enquanto que o quadro 13 apresenta os resultados dos testes com CP V – ARI RS.

Ident.	T (°C)	U (%)	D (%)	Temp. (°C)		$\Delta$ (°C)	Tempos de Pega (h)			Retardo de Pega (h)	
				Inf.	Sup.		Inicial	Final	Intervalo	Inicial	Final
Ref.	21	81	x	23,2	40,7	17,5	<b>6,4</b>	8,4	2,00	<b>x</b>	x
PC 1	19	81	0,40	21,0	40,7	19,7	<b>11,3</b>	13,8	2,50	<b>4,9</b>	5,4
PC 2				21,0	40,7	19,7	<b>13,0</b>	15,0	2,00	<b>6,6</b>	6,6
PC 3				21,0	40,8	19,8	<b>13,0</b>	15,0	2,00	<b>6,6</b>	6,6
PC 4				20,8	40,3	19,5	<b>14,0</b>	16,2	2,20	<b>7,6</b>	7,8
PC 1	22	81	0,70	22,2	42,2	20,0	<b>13,8</b>	16,0	2,20	<b>7,4</b>	7,6
PC 2				22,3	41,7	19,4	<b>16,2</b>	18,0	1,80	<b>9,8</b>	9,6
PC 3				22,3	41,2	18,9	<b>16,4</b>	18,2	1,80	<b>10,0</b>	9,8
PC 4				22,0	41,0	19,0	<b>17,2</b>	19,2	2,00	<b>10,8</b>	10,8
PC 1	21	80	1,00	23,0	45,4	22,4	<b>16,0</b>	19,0	3,00	<b>9,6</b>	10,6
PC 2				22,9	43,3	20,4	<b>16,7</b>	20,2	3,50	<b>10,3</b>	11,8
PC 3				22,8	43,1	20,3	<b>18,2</b>	20,5	2,30	<b>11,8</b>	12,1
PC 4				23,1	46,1	23,0	<b>17,8</b>	19,2	1,40	<b>11,4</b>	10,8
PC 1	20	80	1,30 %	22,2	40,6	18,4	<b>20,0</b>	22,5	2,50	<b>13,6</b>	14,1
PC 2				22,3	39,5	17,2	<b>21,5</b>	24,0	2,50	<b>15,1</b>	15,6
PC 3				22,1	39,5	17,4	<b>22,5</b>	25,2	2,70	<b>16,1</b>	16,8
PC 4				21,7	41,5	19,8	<b>24,2</b>	27,8	3,60	<b>17,8</b>	19,4

Quadro 12: valores das curvas calorimétricas com cimento CP IV – 32 RS

Ident.	T (°C)	U (%)	D (%)	Temp. (°C)		$\Delta$ (°C)	Tempos de Pega (h)			Retardo de Pega (h)	
				Inf.	Sup.		Inicial	Final	Intervalo	Inicial	Final
Ref.	21	81	X	24,3	49,3	25,0	<b>6,6</b>	8,4	1,80	<b>x</b>	x
PC 1	21	80	0,40 %	23,3	56,6	33,3	<b>9,5</b>	11,5	2,00	<b>2,9</b>	3,1
PC 2				25,0	55,6	30,6	<b>11,0</b>	13,7	2,70	<b>4,4</b>	5,3
PC 3				23,3	55,3	32,0	<b>11,5</b>	14,0	2,50	<b>4,9</b>	5,6
PC 4				23,0	56,3	33,3	<b>12,8</b>	15,4	2,60	<b>6,2</b>	7,0
PC 1	19	79	0,70 %	22,3	54,3	32,0	<b>15,0</b>	17,0	2,00	<b>8,4</b>	8,6
PC 2				22,1	52,6	30,5	<b>17,2</b>	19,5	2,30	<b>10,6</b>	11,1
PC 3				22,0	51,3	29,3	<b>17,4</b>	19,7	2,30	<b>10,8</b>	11,3
PC 4				21,3	49,7	28,4	<b>18,5</b>	20,5	2,00	<b>11,9</b>	12,1
PC 1	18	78	1,00 %	20,9	51,3	30,4	<b>18,5</b>	20,8	2,30	<b>11,9</b>	12,4
PC 2				20,6	48,7	28,1	<b>22,1</b>	24,9	2,80	<b>15,5</b>	16,5
PC 3				20,6	47,7	27,1	<b>21,9</b>	24,6	2,70	<b>15,3</b>	16,2
PC 4				20,6	49,6	29,0	<b>23,3</b>	25,5	2,20	<b>16,7</b>	17,1
PC 1	20	83	1,30 %	18,7	48,0	29,3	<b>22,5</b>	25,8	3,30	<b>15,9</b>	17,4
PC 2				19,3	44,3	25,0	<b>26,0</b>	29,0	3,00	<b>19,4</b>	20,6
PC 3				19,2	44,3	25,1	<b>26,4</b>	29,4	3,00	<b>19,8</b>	21,0
PC 4				19,0	45,3	26,3	<b>28,0</b>	31,6	3,60	<b>21,4</b>	23,2

Quadro 13: valores das curvas calorimétricas com cimento CP V – ARI RS

Os gráficos 12 e 13 apresentam os tempos de início de pega para os dois cimentos analisados em função dos distintos teores e tipos de aditivos. O tempo de início de pega indica que o referênci com cimento CP IV – 32 RS foi de 6,4 horas, enquanto que com cimento CP V – ARI RS foi de 6,6 horas.

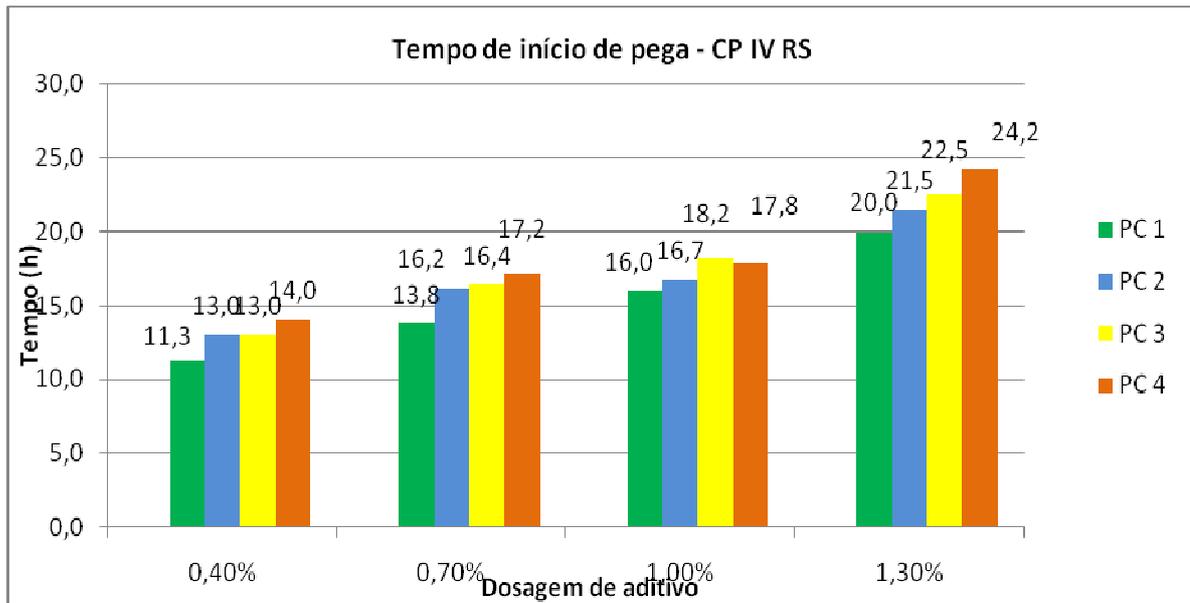


Gráfico 12: tempos de início de pega dos aditivos com cimento CP IV – 32 RS

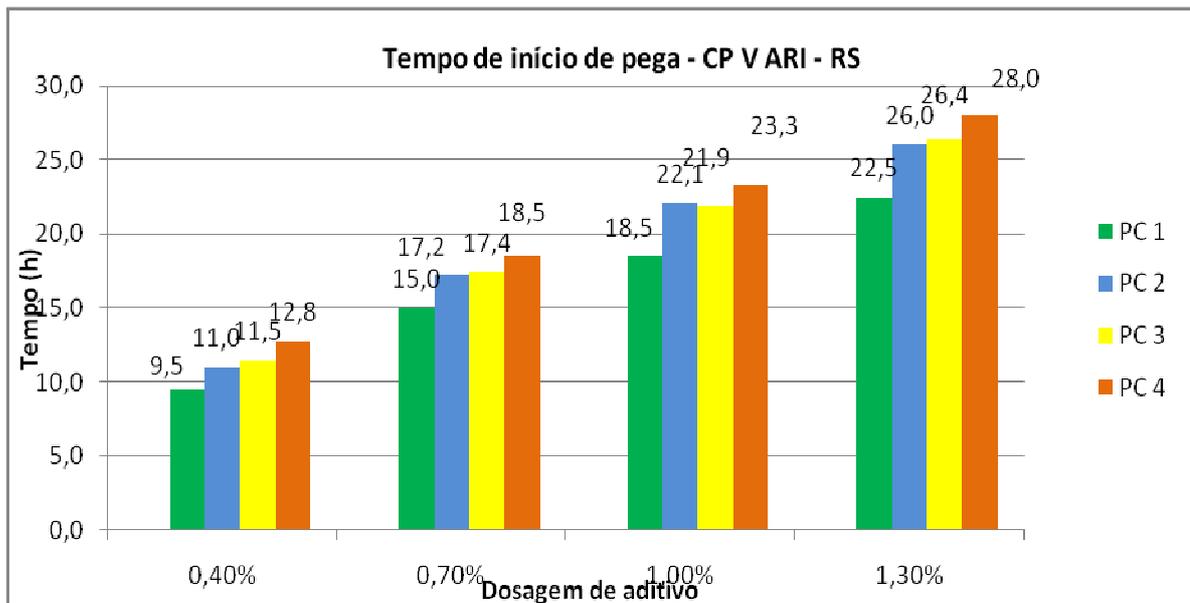


Gráfico 13: tempos de início de pega dos aditivos com cimento CP V – ARI RS

Os resultados obtidos através do ensaio de calorimetria mostram que o aditivo PC 1 apresentou menor retardo em todas as dosagens, frente aos demais aditivos, independente do tipo de cimento. Pode-se dizer que, para todas as dosagens estudadas, houve retardo considerável nos tempos de pega.

Dosagens maiores do que 0,70% apresentaram retardo excessivo nos tempos de pega para todos os aditivos estudados. Em relação a referência, para a dosagem de 1,30%, o tempo de início de pega é aumentado em média cerca de 4 vezes para todos os aditivos e cimentos.

## 6.2 DETERMINAÇÃO DA PERDA DE ABATIMENTO

As determinações da manutenção de abatimento dos aditivos foram realizadas em duas datas distintas, testadas com dosagem fixa de policarboxilato de 0,40% sobre a quantidade de cimento. Os quadros 14 e 15 apresentam os resultados dos testes nos cimento CP IV – 32 RS e CP V – ARI RS, respectivamente.

Identificação	T (°C)	U (%)	Leituras do abatimento					Perda de Abatimento (%)
			Horário	Idade (min)	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Ø médio (mm)	
Referência	21,6	65	14:55	0	43,0	40,0	<b>41,5</b>	<b>X</b>
			15:10	15	40,0	40,0	<b>40,0</b>	<b>3,6%</b>
			15:25	30	40,0	38,0	<b>39,0</b>	<b>6,0%</b>
PC 1	22,0	61	16:45	0	183,0	177,0	<b>180,0</b>	<b>X</b>
			17:00	15	180,0	178,0	<b>179,0</b>	<b>0,6%</b>
			17:15	30	173,0	171,0	<b>172,0</b>	<b>4,4%</b>
PC 2	21,6	66	15:45	0	153,0	155,0	<b>154,0</b>	<b>X</b>
			16:00	15	152,0	143,0	<b>147,5</b>	<b>4,2%</b>
			16:15	30	147,0	148,0	<b>147,5</b>	<b>4,2%</b>
PC 3	21,6	63	15:50	0	141,0	134,0	<b>137,5</b>	<b>X</b>
			16:05	15	125,0	123,0	<b>124,0</b>	<b>9,8%</b>
			16:20	30	118,0	118,0	<b>118,0</b>	<b>14,2%</b>
PC 4	21,6	62	15:55	0	225,0	227,0	<b>226,0</b>	<b>X</b>
			16:10	15	224,0	198,0	<b>211,0</b>	<b>6,6%</b>
			16:25	30	213,0	205,0	<b>209,0</b>	<b>7,5%</b>

Quadro 14: ensaios de manutenção de abatimento com CP IV – 32 RS

Identificação	T (°C)	U (%)	Leituras do abatimento					Perda de Abatimento (%)
			Horário	Idade (min)	Ø 1 (mm)	Ø 2 (mm)	Ø médio (mm)	
Referência	18,0	71	09:34	0:00	47,0	50,0	<b>48,5</b>	<b>x</b>
			09:49	0:15	46,0	44,0	<b>45,0</b>	<b>7,2%</b>
			10:04	0:30	43,0	44,0	<b>43,5</b>	<b>10,3%</b>
PC 1	18,1	70	10:10	0:00	149,0	146,0	<b>147,5</b>	<b>x</b>
			10:25	0:15	141,0	139,0	<b>140,0</b>	<b>5,1%</b>
			10:40	0:30	139,0	136,0	<b>137,5</b>	<b>6,8%</b>
PC 2	18,3	70	10:35	0:00	153,0	155,0	<b>154,0</b>	<b>x</b>
			10:50	0:15	147,0	149,0	<b>148,0</b>	<b>3,9%</b>
			11:05	0:30	145,0	144,0	<b>144,5</b>	<b>6,2%</b>
PC 3	18,2	70	11:00	0:00	138,0	140,0	<b>139,0</b>	<b>x</b>
			11:15	0:15	133,0	134,0	<b>133,5</b>	<b>4,0%</b>
			11:30	0:30	130,0	129,0	<b>129,5</b>	<b>6,8%</b>
PC 4	19,2	71	11:25	0:00	199,0	199,0	<b>199,0</b>	<b>x</b>
			11:40	0:15	196,0	198,0	<b>197,0</b>	<b>1,0%</b>
			11:55	0:30	193,0	195,0	<b>194,0</b>	<b>2,5%</b>

Quadro 15: ensaios de manutenção de abatimento com CP V – ARI RS

Os quadros 14 e 15 apresentam o abatimento apresentado pelos aditivos, nessa característica o produto que tem grande destaque é o PC 4, pois foi a mistura que apresentou maior abertura de abatimento ao longo do tempo medido. Ainda, durante a execução deste ensaio observou-se visualmente que o produto PC 4 apresentou indícios de segregação, mostrando que este aditivo poderia ser utilizado com uma dosagem menor.

Os gráficos 14 e 15 ilustram a perda de abatimento para os dois cimentos analisados em função dos tipos de aditivos.

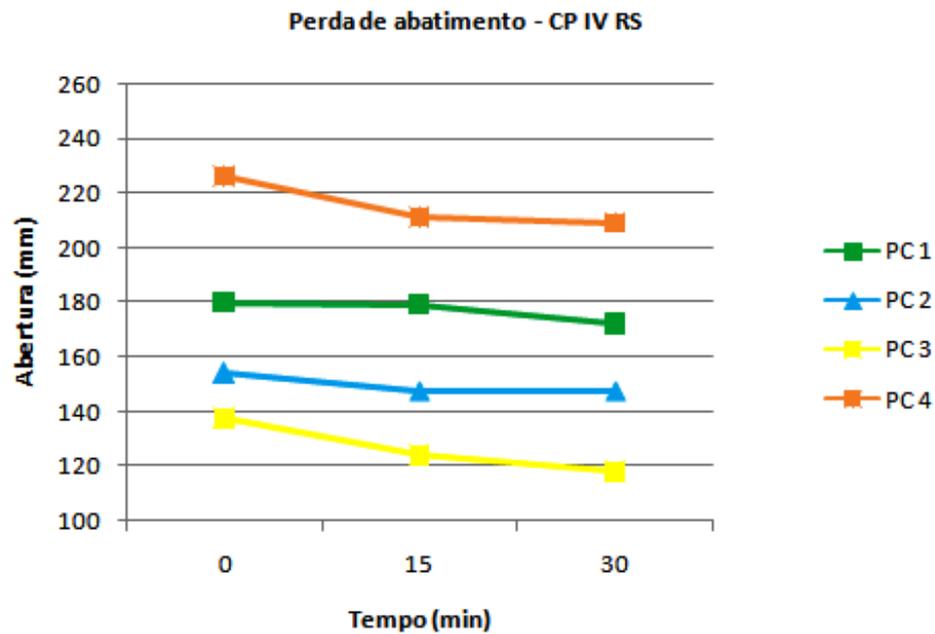


Gráfico 14: perda de abatimento dos aditivos com cimento CP IV – RS 32

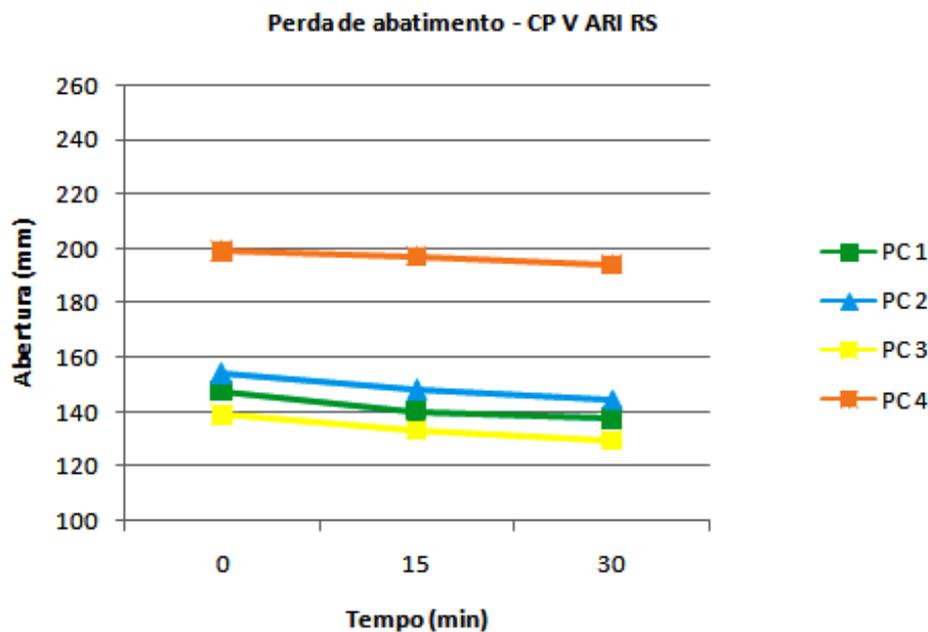


Gráfico 15: perda de abaimento com cimento CP V – ARI RS

Como pode-se observar, nos gráficos 14 e 15, o aditivo PC 4 apresentou maior abertura e boa manutenção de abatimento até 30 minutos, sendo que os aditivos PC 1, PC 2 e PC 3 apresentaram comportamentos similares em relação a abertura e perda de abatimento para o

CP V – ARI RS. O PC 3 foi o que apresentou menor abertura e também maior perda de abatimento. Para a mesma dosagem de aditivo pode-se observar que a abertura inicial para o cimento CP V – ARI RS foi menor para todos os aditivos em estudo.

## 7 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi avaliado o desempenho de aditivos para concreto com estrutura química à base de policarboxilato em pastas de cimento Portland. Foram avaliados os tempos de pega, e manutenção de abatimento em pastas de cimento Portland, através do método do miniabatimento. Ambos os ensaios apresentaram resultados coerentes e permitiram a avaliação dos aditivos através de dois métodos práticos e de fácil utilização.

A seguir são apresentadas as conclusões referentes ao desempenho dos dispersantes em ensaios realizados em pastas de cimento Portland. Salienta-se, também, que os resultados foram analisados através de simulações do cotidiano. As conclusões aqui expostas referem-se às condições características para o programa experimental desenvolvido no presente trabalho, sendo necessárias novas pesquisas para confirmar a sua representabilidade, bem como complementar o conhecimento em aditivos para concreto.

### 7.1 DETERMINAÇÃO DE TEMPO DE PEGA

Através do ensaio em pastas de cimento Portland, realizados no calorímetro AdiaCal foi possível concluir que:

- a) o aditivo PC 1 apresentou menor retardo frente aos demais produtos, enquanto que o dispersante PC 4 apresentou maior retardo, em todos os ensaios;
- b) os cimentos não interferiram na avaliação de desempenho dos produtos, ou seja, independentemente do cimento utilizado no estudo, todos os aditivos apresentaram comportamento semelhantes quanto às determinações dos tempos de pega;
- c) para dosagens elevadas, pode ser observado os excessivos retardos nos tempos de pega, para os dois tipos de cimentos.

## 7.2 MANUTENÇÃO DE ABATIMENTO

Através dos ensaios de miniabatimento foi possível concluir que:

- a) o aditivo PC 4 apresentou em todos os ensaios maior abertura e boa manutenção de abatimento, sendo considerado o aditivo de melhor desempenho nesse ensaio;
- b) os tipos de cimentos apresentaram pouca interferência nesse ensaio, em relação a avaliação de desempenho dos dispersantes;
- c) o dispersante PC 3 apresentou menor abertura e manutenção nos testes com os dois tipos de cimento.

Para a avaliação de desempenho dos aditivos, deve-se considerar que o aditivo PC 4 necessita de uma dosagem menor para atingir o mesmo abatimento que os demais produtos, possivelmente acarretando em um menor retardo de pega do que o valor observado neste estudo.

## REFERÊNCIAS

- AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: Pini, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.768**: aditivos para concreto de cimento Portland – especificação. Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10.908**: aditivos para argamassa e concreto – ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2008.
- HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MAILVAGANAM, N.P. Admixture Compatibility in Special Concretes. In: Internacional Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures, 2., 1999, Gramado. **Proceedings...** Gramado: ACI, 1999. p. 615-630.
- MARTIN, J. F. M. Aditivos para Concreto. In: ISAIA, G. C (Ed.). **Concreto**: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 381-397. v. 1.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- MONTE, R. **Avaliação de metodologias de ensaio destinadas à verificação da eficiência de aditivos superplastificantes em pastas de cimento Portland**. 2003. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997. v. 2.
- PRUDÊNCIO, JUNIOR, L. R. Concreto Projetado. In: ISAIA, G. C (Ed.). **Concreto**: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1228-1257. v. 2.
- QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland**: estudo em pasta. 2008. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RIXOM, M. R.; MAILVAGANAM, N. P. **Chemical admixtures for concrete**. 2nd ed. New York: E & F. N. Spon, 1986.
- SANDBERG, P.; BENINI, H. O uso da calorimetria como uma técnica de controle tecnológico de materiais. **Revista Concreto**, São Paulo, ano 36, n. 51, p. 22-26, set. 2008.
- SPONHOLZ, I. **Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água em concreto de alto desempenho**. 1998. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- WEIDMANN, D. F.; OLIVEIRA, A. L.; SOUZA, J.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; BIANCHINI, M. Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água para o uso em centrais de concreto: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 49., Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2007. p. 2-4.