

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES EM  
CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND  
POZOLANICO**

**ANALISE DA TRABALHABILIDADE,  
RESISTENCIA A COMPRESSÃO  
E CONSUMO DE CIMENTO**

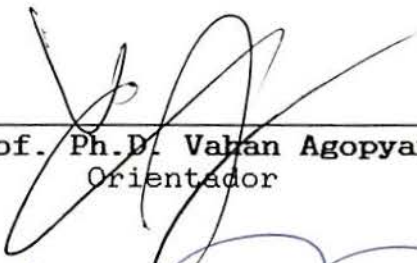
**ANA LUIZA RAABE**

Dissertação Apresentada ao Corpo Docente do Curso de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil para obtenção do Grau de  
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, dezembro 1991

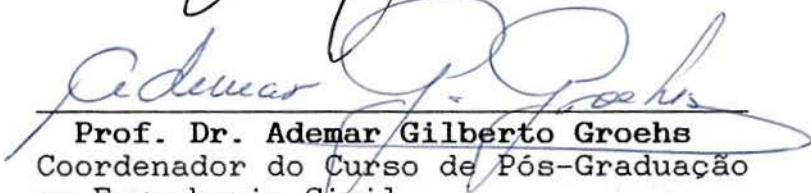
**ESCOLA DE ENGENHARIA  
BIBLIOTECA**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



---

**Prof. Ph.D. Vahan Agopyan**  
Orientador



---

**Prof. Dr. Ademar Gilberto Groehs**  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil

**Banca Examinadora:**

**Vahan Agopyan**  
Ph.D. pela Universidade de Londres (orientador)

**Carlos Eduardo Siqueira Tango**  
Dr. pela Universidade de São Paulo

**Hélio Adão Greven**  
Dr. pela Universidade de Hannover

**Denise Dal Molin**  
Msc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Aos meus pais*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Vahan Agopyan pela orientação, apoio e permanente disponibilidade no transcorrer desta dissertação.

A Professora Denise Dal Molin pela co-orientação, amizade e inúmeras contribuições durante todo o período de mestrado.

Aos amigos e colegas Aldo Boggio Viana e Angela Cabral de Mello Borges pelo entusiasmo, companheirismo e enriquecedoras discussões técnicas.

Ao Edgar pelo estímulo e paciência ao longo destes anos.

A Fábio John pela confecção dos gráficos e impressão final desta dissertação.

A Fundação Ciência e Tecnologia - CIENTEC pelas instalações cedidas para a elaboração de parte do trabalho experimental.

A ETEL - Estudos Técnicos Ltda. pelo apoio prestado em diversas ocasiões durante o período de dissertação.

Aos órgãos financiadores FAPERGS e CNPq cujos recursos possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, ajudaram na elaboração desta dissertação.



## SUMARIO

LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	x
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. ADITIVOS .....	4
2.1. DEFINIÇÃO .....	4
2.2. CLASSIFICAÇÃO .....	5
2.3. ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES .....	7
2.3.1. Definição .....	8
2.3.2. Classificação .....	8
3. AÇÃO DOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES .....	12
3.1. SOBRE A PASTA DE CIMENTO .....	12
3.1.1. Princípio de Funcionamento .....	12
3.1.2. Adsorção .....	15
3.1.3. Potencial Zeta .....	17
3.1.4. Influência do Grau de Polimerização do Aditivo ...	19
3.1.5. Hidratação .....	20
3.1.5.1. Cimento Portland .....	20
3.1.5.2. Constituintes do Cimento - C3A e C3S .....	22
3.1.6. Estrutura do Cimento Hidratado .....	25
3.1.7. Influência das Cinzas Volantes .....	27
3.2. SOBRE O CONCRETO NO ESTADO FRESCO .....	29
3.2.1. Algumas Considerações sobre Trabalhabilidade .....	29

3.2.2. Críticas aos Métodos Usuais de Determinação da Consistência de Concretos com Aditivos Superplastificantes .....	31
3.2.2.1. Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone .....	32
3.2.2.2. Ensaio de Espalhamento do Tronco de Cone .....	33
3.2.3. Algumas Considerações sobre Reologia .....	34
3.2.4. Críticas ao Método Usual de Determinação dos Parâmetros Reológicos de Concretos com Aditivos Superplastificantes - Método dos Dois Pontos - ..	36
3.2.5. Principais Propriedades Afetadas pelo Emprego de Aditivos Superplastificantes .....	37
3.2.5.1. Parâmetros Reológicos .....	37
3.2.5.2. Consistência .....	39
3.2.5.3. Segregação .....	48
3.2.5.4. Exsudação .....	50
3.2.5.5. Tempo de Pega .....	51
3.2.5.6. Ar Incorporado .....	51
3.3. SOBRE O CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO .....	52
3.3.1. Resistência à Compressão .....	52
<b>4. TRABALHO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>56</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	57
4.2. METODOLOGIA DOS ENSAIOS PARA ESTUDO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES .....	58
4.2.1. Poder Fluidificante do Aditivo ao Longo do Tempo e Influência da Temperatura .....	58
4.2.2. Evolução da Trabalhabilidade do Concreto ao Longo do Tempo .....	62
4.2.3. Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo .....	64
4.2.4. Utilização de Aditivos Superplastificantes como Redutores do Consumo de Cimento .....	67
4.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	69
4.3.1. Poder Fluidificante do Aditivo ao Longo do Tempo e Influência da Temperatura .....	69
4.3.1.1. Quanto ao Método de Ensaio .....	69
4.3.1.2. Quanto aos Resultados Experimentais .....	70

4.3.1.2.1 - Ensaio de Mini-Abatimento - Resultados Iniciais.....	73
4.3.1.2.2. Ensaio de Mini-Abatimento - Comparativos.....	78
4.3.1.2.3. Ensaio de Mini-Abatimento - Resultados Definitivos.....	84
4.3.1.2.4. Comentários.....	94
4.3.1.2.5. Seleção do Teor de Superplastificante....	97
4.3.2. Evolução da Trabalhabilidade do Concreto ao Longo do Tempo.....	99
4.3.3. Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo.....	109
4.3.4. Utilização de Aditivos Superplastificantes como Redutores do Consumo de Cimento.....	117
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>124</b>
5.1. PODER FLUIDIFICANTE DO ADITIVO AO LONGO DO TEMPO E INFLUENCIA DA TEMPERATURA.....	124
5.2. EVOLUÇÃO DA TRABALHABILIDADE DO CONCRETO AO LONGO DO TEMPO.....	125
5.3. EVOLUÇÃO DA RESISTENCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM O TEMPO.....	127
5.4. UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES COMO REDUTORES DO CONSUMO DE CIMENTO.....	129
5.5. COMENTARIOS FINAIS.....	129
5.6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	130
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>131</b>

## ANEXOS

- ANEXO 1 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS
- ANEXO 2 - PROPORCIONAMENTO DE MISTURAS DE CONCRETO -  
MÉTODO EPUSP
- ANEXO 3 - ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO - RAIOS PARA  
DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE GOLPES
- ANEXO 4 - ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO - RAIOS
- ANEXO 5 - ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO - ANÁLISE DOS RAIOS



- ANEXO 6 - ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO - RAIOS - AMOSTRAS REFEITAS
- ANEXO 7 - ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO - AMOSTRAS REFEITAS - ANÁLISE DOS RAIOS
- ANEXO 8 - ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE - RESULTADOS INDIVIDUAIS
- ANEXO 9 - ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE AO LONGO DO TEMPO - RESULTADOS MÉDIOS -
- ANEXO 10 - ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE AO LONGO DO TEMPO - COMPARATIVOS DE CIMENTOS - RESULTADOS INDIVIDUAIS
- ANEXO 11 - ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE AO LONGO DO TEMPO - COMPARATIVOS DE CIMENTOS - RESULTADOS MÉDIOS
- ANEXO 12 - PROPORCIONAMENTO DE MISTURA DE CONCRETO - MÉTODO DO ACI
- ANEXO 13 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO - RESULTADOS INDIVIDUAIS
- ANEXO 14 - REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO - TRAÇOS FINAIS
- ANEXO 15 - REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO - TRAÇOS FINAIS - PROCESSO INTERATIVO
- ANEXO 16 - REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO - RESULTADOS INDIVIDUAIS

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

FIGURA 2.1 -	Representação Típica do Condensado de Formaldeído Melamina Sulfonado.....	9
FIGURA 2.2 -	Representação Típica do Condensado de Formaldeído Naftaleno Sulfonado.....	10
FIGURA 2.3 -	Representação Típica do Lignosulfonato de Sódio .....	11

### CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1 -	Ação Defloculante de Superplastificantes.....	14
FIGURA 3.2 -	Micrografia Típica de uma Pasta de Cimento sem Aditivo no Estágio Inicial de Hidratação.....	14
FIGURA 3.3 -	Idem à Figura 3.2 com a Presença de Superplastificante.....	14
FIGURA 3.4 -	Adsorção do SMF pelo Cimento e seus Compostos durante a Hidratação.....	16
FIGURA 3.5 -	Adsorção do SMF sobre o C3A + Gipsita Pré-Hidratada para Diferentes Períodos de Tempo.....	17
FIGURA 3.6 -	Curvas de Calor de Hidratação do C3A com e sem Superplastificante do Tipo SMF.....	23
FIGURA 3.7 -	Curvas de Calor de Hidratação do C3A + Gipsita com e sem Superplastificante do Tipo SMF .....	24
FIGURA 3.8 -	Curvas de Calor de Hidratação do C3A + Gipsita com e sem Superplastificante do Tipo SMF .....	25
FIGURA 3.9 -	Influência do Superplastificante na Viscosidade da Cinza Volante e Pasta de Cimento.....	28
FIGURA 3.10 -	Relação entre Espalhamento Inicial e Final do Ensaio de Espalhamento do Tronco de Cone.....	34
FIGURA 3.11 -	Representação do Modelo de Bingham.....	35
FIGURA 3.12 -	Reologia do Concreto com Superplastificante do Tipo SNF.....	38
FIGURA 3.13 -	Variação de $g$ e $h$ com Relação ao Teor de Aditivo.....	39
FIGURA 3.14 -	Representação Típica do Abatimento do Tronco de Cone X Tempo.....	42
FIGURA 3.15 -	Efeito do Tipo de Cimento na Perda do Abatimento do Tronco de Cone.....	43
FIGURA 3.16 -	Efeito do Conteúdo de Cimento na Perda do Abatimento.....	45

## CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1 -	Molde Tronco-Cônico.....	59
FIGURA 4.2 -	Placa de Vidro com Papel Milimetrado.....	59
FIGURA 4.3 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Histogramas.....	72
FIGURA 4.4 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,35, F1, 15,5±1,5°C.....	73
FIGURA 4.5 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,5 , F1, 15,5±1,5°C.....	74
FIGURA 4.6 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,65, F1, 15,5±1,5°C.....	74
FIGURA 4.7 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,35, F1, 20,5±1,5°C.....	75
FIGURA 4.8 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,5 , F1, 20,5±1,5°C.....	75
FIGURA 4.9 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,65, F1, 20,5±1,5°C.....	76
FIGURA 4.10 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,35, F2, 20,5±1,5°C.....	76
FIGURA 4.11 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,5 , F2, 20,5±1,5°C.....	77
FIGURA 4.12 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,65, F2, 20,5±1,5°C.....	77
FIGURA 4.13 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,35.....	78
FIGURA 4.14 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,35.....	79
FIGURA 4.15 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,35.....	80
FIGURA 4.16-	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,35.....	81
FIGURA 4.17 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,65.....	82
FIGURA 4.18 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,65.....	83
FIGURA 4.19 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,65.....	84
FIGURA 4.20 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,35.....	85
FIGURA 4.21 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,5.....	85
FIGURA 4.22 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,65.....	86
FIGURA 4.23 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,35.....	86
FIGURA 4.24 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,5.....	87
FIGURA 4.25 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,65.....	87
FIGURA 4.26 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,35.....	88



FIGURA 4.27 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,5.....	88
FIGURA 4.28 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,65.....	89
FIGURA 4.29 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,35.....	89
FIGURA 4.30 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,5.....	90
FIGURA 4.31 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,65.....	90
FIGURA 4.32 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,35.....	91
FIGURA 4.33 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,5.....	91
FIGURA 4.34 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,65.....	92
FIGURA 4.35 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,35.....	92
FIGURA 4.36 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,5.....	93
FIGURA 4.37 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,65.....	93
FIGURA 4.38 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,5.....	96
FIGURA 4.39 -	Abatimento X Tempo - a/c 0,35.....	100
FIGURA 4.40 -	Abatimento X Tempo - a/c 0.5.....	100
FIGURA 4.41 -	Abatimento X Tempo - a/c 0.65.....	101
FIGURA 4.42 -	Abatimento X Teor de Aditivo - a/c 0.35.....	101
FIGURA 4.43 -	Abatimento X Teor de Aditivo - a/c 0.5.....	102
FIGURA 4.44 -	Abatimento X Teor de Aditivo - a/c 0.65.....	102
FIGURA 4.45 -	Abatimento X Tempo - Comparativo de Cimentos - a/c 0,5.....	106
FIGURA 4.46 -	Resistência à Compressão X Idade de Ruptura - Concretos com Superplastificante Tipo 1.....	113
FIGURA 4.47 -	Resistência à Compressão X Idade de Ruptura - Concreto com Superplastificante Tipo 2.....	113
FIGURA 4.48 -	Resistência à Compressão X Idade de Ruptura - Comparativo -a/c 0,5.....	115



## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 3

TABELA 3.1 -	Porosidade obtida aos 28 dias por Penetração de Mercúrio.....	26
TABELA 3.2 -	Termos Usuais Relacionados à Trabalhabilidade.....	30

### CAPÍTULO 4

TABELA 4.1 -	Variáveis Envolvidas na Análise do Poder Fluidificante do Aditivo ao Longo do Tempo e Influência da Temperatura.....	62
TABELA 4.2 -	Variáveis Envolvidas na Análise da Evolução da Trabalhabilidade do Concreto ao Longo do Tempo.....	64
TABELA 4.3 -	Variáveis Envolvidas na Análise da Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo para o Fabricante 1.....	65
TABELA 4.4 -	Distribuição dos Corpos de Prova.....	66
TABELA 4.5 -	Variáveis Envolvidas na Análise da Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo para o Fabricante 2.....	66
TABELA 4.6 -	Variáveis Envolvidas na Análise da Utilização dos Aditivos Superplastificantes como Redutores do Consumo de Cimento.....	69
TABELA 4.7 -	Análise de Raios para Definição do Número de Golpes de Compactação.....	70
TABELA 4.8 -	Ensaio de Mini-Abatimento - Seleção do Teor de Superplastificante.....	98
TABELA 4.9 -	Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone - Seleção do Teor de Superplastificante.....	108
TABELA 4.10 -	Resultados Médios de Resistência à Compressão.....	110
TABELA 4.11 -	Percentual de Perda de Resistência à Compressão Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo....	111
TABELA 4.12 -	Resultados Médios de Resistência à Compressão.....	114
TABELA 4.13 -	Percentual de Perda de Resistência à Compressão Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo....	115

TABELA 4.14 -	Percentual de Redução do Consumo de Cimento Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo....	118
TABELA 4.15 -	Percentual de Redução do Consumo de Cimento Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo Processo Interativo.....	119
TABELA 4.16 -	Resultados Médios de Resistência à Compressão.....	120
TABELA 4.17 -	Diferenças Percentuais de Resistência à Compressão Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo....	121

## CAPÍTULO 5

TABELA 5.1 -	Acréscimo do abatimento inicial.....	126
--------------	--------------------------------------	-----

**ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES  
EM CONCRETOS DE CIMENTO  
PORTLAND POZOLANICO**

- Análise da Trabalhabilidade, Resistência à  
Compressão e Consumo de Cimento -

**RESUMO**

Os aditivos superplastificantes têm gradativamente se destacado no campo da tecnologia do concreto.

A produção de concretos fluidos e concretos de alto desempenho, cada vez mais freqüente na engenharia civil, depara-se quase que obrigatoriamente com o emprego dos superplastificantes.

A presente dissertação objetiva estudar alguns dos efeitos destes aditivos sobre concretos de cimento Portland Pozolânico, sendo este tipo de cimento o de maior utilização no estado do Rio Grande do Sul. Inicialmente, apresenta-se a revisão bibliográfica do assunto, seguindo-se da parte experimental, que aborda três pontos fundamentais: a trabalhabilidade, através de ensaios de mini-abatimento e abatimento do tronco de cone, a resistência à compressão e a possibilidade de redução do consumo de cimento.

A utilização de aditivos superplastificantes em concretos de cimento Portland Pozolânico mostra-se viável, apesar de apresentarem resistências mecânicas reduzidas até a idade de 63 dias.

# **SUPERPLASTICIZERS IN POZZOLANIC PORTLAND CEMENTS**

**- Analisis of Workability Compressive  
Strength and Cement Consumption -**

## **ABSTRACT**

Superplasticizers have become more important on the concrete technology during the last years due to the increase of the use of fluid and high performance concretes in constructions.

The last usual type of cement in the state of Rio Grande do Sul is the pozzolanic one, with the addition of fly ash. For this reason the main aim of this Dissertation is to present the effect of the superplasticizers in concretes made with this type of cement.

After a theoretical review, this paper presents the results of on experimental work forwring three main points: workability of the mixtures (though mini-slump and slump tests); compressive strength of the concretes; and a study on cement content reduction.

It is possible to conclude that the are superplasticizers in concrete with fly ash is suitable although the compressive strength is reduced till the age of 63 days.



## 1. INTRODUÇÃO

Há muito, produtos têm sido incorporados aos concretos e argamassas como forma de melhorar uma ou várias de suas propriedades.

A comercialização dos aditivos inicia-se por volta de 1910, observando-se grande desenvolvimento apenas a partir da década de 60.

Certamente tal incremento não foi acompanhado de correspondente conhecimento técnico do assunto, o que permitiu vários insucessos a nível de utilização. Assim, os aditivos sofreram certa discriminação, principalmente por parte dos engenheiros de obra, temerosos dos efeitos que tais produtos poderiam acarretar sobre os concretos e argamassas.

Sem dúvida o princípio de funcionamento dos aditivos, basicamente a nível de reações químicas e físico-químicas, dificulta o entendimento do assunto por parte dos engenheiros civis.

Nos países de maior difusão dos aditivos, como Japão, Alemanha, Austrália e Estados Unidos, os vários estudos desenvolvidos, principalmente nas décadas de 70 e 80, propiciaram a obtenção de produtos de melhor desempenho e ainda, a formulação de normas que definem requisitos mínimos de comportamento.

Conforme COLLEPARDI<sup>(32)</sup>, grande parte do progresso obtido na tecnologia dos concretos pode ser atribuído ao melhor conhecimento dos aditivos. Realmente, tais produtos permitem otimizar determinado aspecto ou propriedade da mistura.

Os superplastificantes, apesar de patenteados em 1935<sup>(1)</sup>, foram efetivamente comercializados somente a partir da

década de 60; no Japão, visando principalmente a produção de concretos de alta resistência e na Alemanha, na produção de concretos fluidos. Com efeito, em ambas as situações, a utilização de superplastificantes é praticamente obrigatória.

Acrescenta-se a estes casos a viabilização dos chamados concretos de alto desempenho, onde a redução do fator água/cimento propicia benefícios outros além do simples aumento de resistência mecânica.

A nível nacional, observa-se crescimento gradativo no emprego dos superplastificantes, freqüentemente em locais cuja concretagem é inacessível à operação de adensamento convencional, em locais densamente armados ou quando procura-se reduzida permeabilidade. Sem mencionar, é claro, o ainda incipiente porém paulatino crescimento na produção dos concretos de alta resistência.

O necessário acompanhamento tecnológico neste setor mostrou acentuado crescimento no ano de 1983, com o curso "TECNOLOGIA DOS ADITIVOS"<sup>(32)</sup> promovido pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e posteriormente, no ano de 1988, com vários trabalhos publicados na 30ª Reunião do IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto, no Rio de Janeiro.

Com relação aos efeitos dos superplastificantes em concretos de cimento Portland Pozolânico, escassos trabalhos foram desenvolvidos, questão esta significativa na região sul do Brasil. Deve-se considerar que em várias partes deste estado, e até mesmo em sua capital, o fornecimento de outras classes de cimento apresenta-se bastante irregular.

Nesta dissertação, procura-se focar, tanto na revisão bibliográfica quanto na parte experimental, propriedades consideradas básicas na tecnologia do concreto. Busca-se avaliar o comportamento de aditivos superplastificantes em concretos de cimento Portland pozolânico, sua efetividade e possíveis efeitos colaterais, indesejáveis.

O segundo capítulo versa sobre a definição e classificação dos aditivos em geral e especificamente dos aditivos superplastificantes.

No terceiro capítulo, aborda-se a ação dos aditivos superplastificantes separadamente, sobre a pasta de cimento, sobre o concreto no estado fresco e finalmente, sobre o concreto no estado endurecido. Procurou-se, neste capítulo, apontar as questões mais relevantes ao trabalho experimental que segue, principalmente no que diz respeito aos efeitos dos superplastificantes sobre o concreto no estado endurecido.

No quarto capítulo, apresenta-se a metodologia e análise de cada ensaio desenvolvido na parte experimental da dissertação. Com estes procura-se avaliar a fluidez de pastas de cimento através do ensaio de mini-abatimento; a trabalhabilidade do concreto através de ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone; a resistência à compressão através da ruptura por compressão axial de corpos de prova cilíndricos e por fim, a possibilidade de redução do consumo de cimento do concreto, através de ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone.

No quinto e último capítulo, expõem-se as considerações finais da dissertação e apresenta-se sugestões para futuros trabalhos.



## 2. ADITIVOS

A grande proliferação dos aditivos químicos para concretos, argamassas e pastas de cimento, disponíveis no mercado a partir da década de 60, desencadeou grande preocupação por parte do meio técnico em estabelecer métodos e critérios de avaliação de tais produtos. A partir da década de 70, várias propostas tem sido feitas com o intuito de normalizar os aditivos.

### 2.1. DEFINIÇÃO

Dentre os pesquisadores que procuram definir os aditivos, a maior parte<sup>(106,37,89,87)</sup> refere-se a eles apenas como sendo substâncias que adicionadas aos concretos, pastas ou argamassas melhoram alguma de suas propriedades em particular.

A norma norte-americana ASTM C 125<sup>(4)</sup>, mencionada por MEHTA<sup>(74)</sup>, considera o aditivo como "um material, além da água, agregados, cimento hidráulico e fibras, usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à amostra imediatamente antes ou durante sua mistura."

A norma Espanhola UNE 83-200-84, referida por GASPAR-TEBAR<sup>(42)</sup> e VENUAT<sup>(110)</sup>, define de forma mais específica: "são substâncias ou produtos que incorporados ao concreto, argamassa ou pasta antes ou durante a mistura e/ou durante a remistura, em uma proporção não superior a 5% sobre o peso de cimento (salvo casos especiais), produzem a modificação desejada em tal concreto, argamassa ou pasta, em estado fresco ou endurecido, em alguma de suas características, de suas propriedades habituais ou em seu comportamento."

O projeto de norma brasileiro ABNT 18:06.02.001 (Jan/1985)<sup>(9)</sup> segue a mesma tendência das demais sem, no entanto, restringir quantitativamente a proporção de aditivo, referindo-se a eles da seguinte forma: " produtos adicionados em pequenas quantidades em pastas, argamassas e concretos de cimento Portland, durante a mistura, com a finalidade de modificar as suas propriedades tanto no estado fresco como no estado endurecido."

## 2.2. CLASSIFICAÇÃO

O emprego de aditivos normalmente provoca alterações nas propriedades do concreto fresco e/ou endurecido. Na maior parte dos países, a sua função principal, ou seja, o efeito mais significativo que acarreta sobre a mistura, é o critério escolhido de classificação de tais produtos<sup>(42,41)</sup>.

A norma internacional ISO/DIS 7690 - 82<sup>(42)</sup>, assim como a norma Espanhola UNE 83 - 200 - 84<sup>(42)</sup> classificam os aditivos em 6 grupos, que são os seguintes:

- a) Aditivos que Modificam a Reologia dos Concretos, Argamassas ou Pastas;
- b) Aditivos que Modificam a Pega e/ou Endurecimento dos Concretos, Argamassas ou Pastas;
- c) Aditivos que Modificam o Conteúdo de Ar ou de outros Gases nos Concretos, Argamassas ou Pastas;
- d) Aditivos que Melhoram a Resistência a Ações Físicas;
- e) Aditivos que Melhoram a Resistência a Ações Físico-Químicas;
- f) Outros Aditivos.

O grupo de trabalho RILEM (Commission 11A - 1967)<sup>(42)</sup> apresenta a mesma subdivisão, apenas o grupo f, referente a "Outros Aditivos" é desmembrado em quatro partes, como segue:

- f) Aditivos que Geram Expansão em Argamassas e Concretos.
- g) Aditivos que Melhoram a Resistência a Ações Mecânicas.

- h) Aditivos que Melhoram a Resistência a Ações Biológicas.
- i) Aditivos que Modificam a Cor de Argamassas e Concretos.

A norma Belga NBN 805-01 (1969)<sup>(42)</sup> apresenta basicamente o mesmo agrupamento, no entanto, engloba-os ainda em três subdivisões maiores, que estão relacionadas abaixo:

1. Aditivos que Modificam as Características das Argamassas e Concretos no Estado Fresco;
2. Aditivos que Modificam as Características das Argamassas e Concretos Durante a Pega e Endurecimento;
3. Aditivos que Modificam as Características das Argamassas e Concretos no Estado Endurecido.

A norma norte-americana ASTM C - 494<sup>(7)</sup> tem sido um dos códigos mais empregados internacionalmente para classificação dos aditivos pertencentes ao grupo a, os quais "Modificam a Reologia dos Concretos, Argamassas ou Pastas". A este grupo, tal norma acrescenta os Reguladores de Pega e forma cinco subdivisões maiores, que são as seguintes:

- Tipo A - Aditivos Redutores de Água;
- Tipo B - Aditivos Retardadores;
- Tipo C - Aditivos Aceleradores;
- Tipo D - Aditivos Redutores de Água e Retardadores;
- Tipo E - Aditivos Redutores de Água e Aceleradores.

A norma britânica BS 5075<sup>(21)</sup> - 1ª parte apresenta a mesma classificação acima, enquanto que a 2ª parte refere-se aos Incorporadores de Ar.

O projeto de norma brasileiro ABNT 18:06.02.001 (Jan/1985)<sup>(9)</sup> segue também padrão idêntico ao norte-americano, como forma de classificar os aditivos Redutores de Água e Modificadores de Pega de Concretos.



### 2.3. ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

Os aditivos Redutores de Água enquadrados na norma ASTM C - 494<sup>(7)</sup> são os plastificantes convencionais, empregados nos concretos há várias décadas com o objetivo de reduzir o consumo de água de amassamento e/ou melhorar a trabalhabilidade<sup>(75)</sup>. No entanto, sua utilização restringe-se a determinado limite, já que dosagens elevadas podem ocasionar efeitos indesejáveis sobre o tempo de pega, exsudação, segregação e conteúdo de ar incorporado<sup>(24,82)</sup>.

Para aumentar o limite de utilização mencionado acima, sem que implique em efeitos colaterais, a partir de 1964, são comercializados no Japão e Alemanha produtos mais efetivos, denominados superplastificantes<sup>(77,58)</sup>. A real utilização destes produtos ocorre, porém apenas na metade da década de 70, estendendo-se para outras regiões como Reino Unido em 1973<sup>(24)</sup>, Estados Unidos em 1976<sup>(1)</sup>, Canadá e outros<sup>(77)</sup>. No Brasil, os superplastificantes são empregados a partir de 1977, inicialmente à nível experimental<sup>(1)</sup>, encontrando-se atualmente no mercado diversos produtos comercializados.

O número de publicações técnicas sobre aditivos superplastificantes tem crescido gradativamente desde 1964. MIELENZ<sup>(77)</sup> estima em 250 publicações até o ano de 1980, principalmente no Japão, Reino Unido, Alemanha e Estados Unidos, a partir de então o número de publicações cresceu exponencialmente, inclusive no Brasil.

Devido ao aumento significativo na utilização e disponibilidade de tais produtos no mercado, neste mesmo ano de 1980, a norma ASTM C-494<sup>(7)</sup> passa a incluir os superplastificantes, ampliando a classificação dos aditivos com mais dois grupos, denominados da seguinte forma:

- Tipo F - Aditivo Redutor de Água de Amplo Espectro;
- Tipo G - Aditivo Redutor de Água de Amplo Espectro e Retardador.

O American Concrete Institute, através do Committee 212, acrescenta, a partir de 1981, o item "superplastificantes"

dentro do capítulo "Aditivos Redutores de Água e Reguladores de Pega" da norma ACI 212.1R - 81<sup>(2)</sup> - Admixtures for Concrete.

No ano de 1985, aprova-se uma norma específica para os concretos fluidos, denominada ASTM C 1017<sup>(6)</sup> - Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete.

Em 1989, o referido Committee 212 separa os superplastificantes em um novo capítulo, denominado "Aditivos para Concreto Fluido" (ACI 212.3R-89)<sup>(4)</sup>.

### 2.3.1. Definição

A proposta brasileira de definição dos aditivos superplastificantes baseia-se na norma norte-americana ASTM C 494<sup>(7)</sup>, que é a seguinte:

"Produto que reduz a quantidade de água de amassamento, de 12% ou mais para produzir um concreto de determinada consistência."<sup>(8)</sup>

Quanto aos pesquisadores, normalmente referem-se a eles da seguinte forma:

Os superplastificantes são polímeros de cadeias lineares<sup>(40)</sup>, quimicamente distintos dos plastificantes<sup>(43,46)</sup>, capazes de reduzir o conteúdo de água de amassamento em cerca de 30%<sup>(92,24,32,46)</sup> ou aumentar o abatimento para 200mm<sup>(24,32)</sup> ou mais sem segregação, exsudação ou excessiva incorporação de ar<sup>(74,77,46)</sup>.

### 2.3.2. Classificação

Os superplastificantes (Tipos F e G conforme ASTM C 494)<sup>(7)</sup> podem ser agrupados em 4 categorias, de acordo com sua composição química, que são as seguintes<sup>(58,92,24,75,77,23,40)</sup>:

CATEGORIA A - Condensados de Formaldeído Melamina Sulfonados - SMF (Sulphonated Melamine Formaldehyde Condensates) ou do tipo "Melment" desenvolvido pelos alemães. O processo de formação de tal substância está representado na figura 2.1<sup>(96)</sup>, cuja obtenção ocorre por polimerização da melamina sulfonada com o formaldeído<sup>(23)</sup>.

O peso molecular médio resultante está vinculado à duração da polimerização, em geral situa-se entre 20.000<sup>(65)</sup>. Estima-se que para melhores resultados o produto deva apresentar entre 50 e 60 repetições do monômero<sup>(63)</sup>.

O SMF não causa significativa redução na tensão superficial da água. Este parece ser o motivo da não excessiva incorporação de ar<sup>(24,40)</sup>.

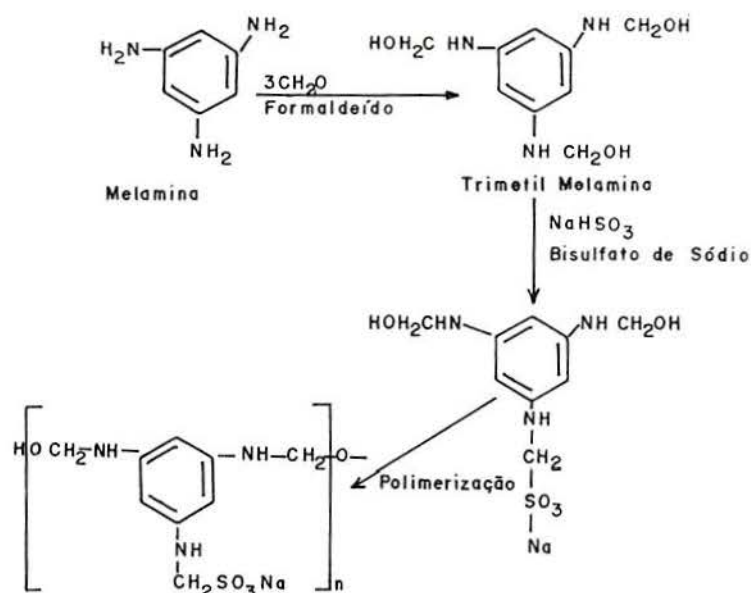


FIGURA 2.1 - Representação Típica do Condensado de Formaldeído Melamina Sulfonado (RIXOM<sup>(66)</sup>)

CATEGORIA B - Condensados de Formaldeído Naftaleno Sulfonados - SNF (Sulphonated Naphtalene Formaldehyde Condensates) ou do tipo "Mighty", desenvolvido pelos japoneses. A obtenção desta substância está esquematizada na figura 2.2<sup>(66)</sup>, onde o produto da reação entre o naftaleno e o ácido sulfúrico, em contato com o formaldeído desencadeia o processo de polimerização. Normalmente utiliza-se o hidróxido de sódio para neutralizar o ácido sulfônico formado, obtendo-se então o produto final.



A quantidade de sulfato de sódio resultante é variável conforme as condições do processo e pode ser reduzida através de precipitação<sup>(96,23)</sup>.

Existe um consenso geral entre os pesquisadores de que o número de repetições do radical "n" deva situar-se por volta de 10<sup>(96,53)</sup>. Produtos com baixo grau de polimerização tendem a reduzir a tensão superficial da água e conseqüentemente, aumentar a incorporação de ar<sup>(96)</sup>.

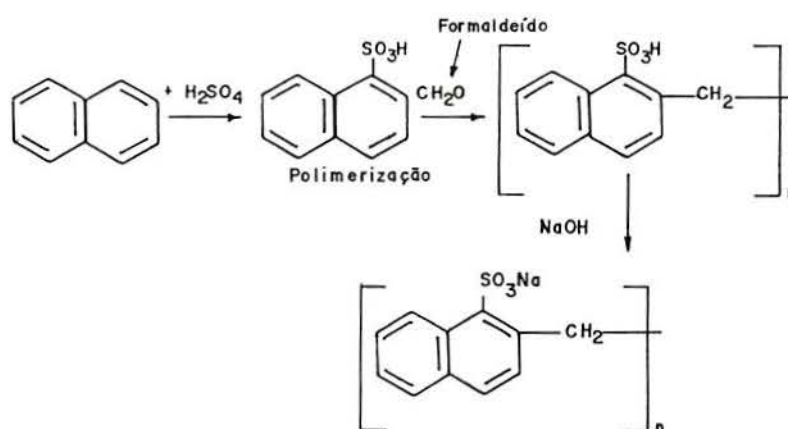


FIGURA 2.2 - Representação Típica do Condensado de Formaldeído Naftaleno Sulfonado (RIXOM<sup>(96)</sup>)

CATEGORIA C - Lignosulfonatos Modificados - MLS (Modified Lignosulfonates). Estas substâncias geralmente incorporam ar e retardam a pega do concreto em vários graus, portanto necessitam passar por processos de fabricação tais que minimizem a proporção de constituintes causadores destes efeitos<sup>(96,79)</sup>. A representação química desta substância encontra-se na figura 2.3<sup>(96)</sup>. RIXOM e WADDICOR, conforme MIELENZ<sup>(77)</sup>, mencionam que o aumento de peso molecular do lignosulfonato repercute em melhora da trabalhabilidade do concreto e ainda, que a utilização de sódio como cátion é mais eficiente em termos de plasticidade do que o cálcio<sup>(77)</sup>. Os sais de sódio, no entanto apresentam custo mais elevado<sup>(96)</sup>.



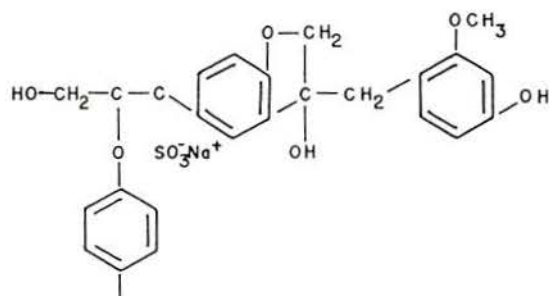


FIGURA 2.3 - Representação Típica do Lignosulfonato de Sódio (FERREIRA e SILVA<sup>(40)</sup>)

CATEGORIA D - outros como ácidos e ésteres sulfônicos e ésteres carboidratos.

Todas as categorias acima podem apresentar variações em suas composições químicas, seja devido a adição intencional de produtos que modifiquem o tempo de pega do concreto, seja pela interferência no processo de síntese do superplastificante, quer no comprimento da cadeia polimérica, quer no número de grupos sulfônicos ou ainda, com variações no anel naftalênico no caso do SNF<sup>(32)</sup>.

Dos quatro grupos mencionados, os dois primeiros são os mundialmente mais utilizados<sup>(82)</sup>, apresentam maior eficiência como redutores de água e menor incidência de efeitos colaterais<sup>(35)</sup>. Destes, o SNF é o de maior comercialização, pelo menos nos Estados Unidos<sup>(77)</sup>, Reino Unido<sup>(53)</sup> e Brasil.

Normalmente, os aditivos superplastificantes não são comercializados no estado puro, mas sim diluídos em água e com adição de certas substâncias que melhoram a sua estabilidade à estocagem e corrigem o pH de forma a evitar problemas de manuseio<sup>(23)</sup>.

### **3. AÇÃO DOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES**

Os aditivos apresentam, invariavelmente, além da função principal, desejável, efeitos secundários, prejudiciais ou não, mas que devem ser avaliados.

Vários estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de avaliar os efeitos dos superplastificantes sobre as propriedades do concreto fresco e endurecido e também, mais especificamente, sobre a pasta de cimento.

#### **3.1. SOBRE A PASTA DE CIMENTO**

Os estudos que abordam o princípio de funcionamento dos superplastificantes, assim como todos os aspectos intervenientes, apresentam importância inquestionável, sem os quais não seria possível avançar nas pesquisas e na otimização dos aditivos.

##### **3.1.1. Princípio de Funcionamento**

As propriedades reológicas da pasta de cimento são definidas a partir das forças elétricas existentes entre as moléculas de água, partículas de cimento e cimento hidratado<sup>(96)</sup>.

Existem, basicamente, dois tipos de forças elétricas em tais circunstâncias, que são as seguintes<sup>(96)</sup>:

- forças atrativas de van der Waals, de grande magnitude, mas que atuam apenas em distâncias de 50 a 70Å e,

- forças repulsivas de menor magnitude, provenientes dos íons de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{Si}^{+2}$ , presentes na superfície das partículas de cimento.

No momento em que as partículas de cimento, em meio aquoso, entram em contato umas com as outras formam flocos que são mantidos pelas forças de van der Waals<sup>(86)</sup>. Certamente permanece em solução grande número de partículas cujas distâncias relativas não propiciam a ação das forças atrativas<sup>(86)</sup>.

Salienta-se o comportamento diferenciado dos silicatos em relação aos aluminatos. Enquanto os primeiros tendem a formar cadeias floculentas, os aluminatos tendem a dissolver-se com posterior formação de hidróxidos<sup>(101)</sup>.

O princípio de funcionamento dos superplastificantes tem sido extensivamente estudado na literatura<sup>(24,55,40,23,53,34,75)</sup>. Menciona-se basicamente dois tipos de ação, que são as seguintes:

- ação do tipo dispersante,
- redução da tensão superficial da água (produtos tensoativos).

Os superplastificantes SNF e SMF atuam como dispersantes sobre a pasta de cimento<sup>(24,55,40,23)</sup>.

O grupo sulfonado presente em ambos tende a ionizar-se em solução aquosa gerando o ânion  $\text{SO}^{-3}$  e o cátion  $\text{Na}^{+}$ . A polarização que se estabelece nas unidades das moléculas do aditivo permite que estas sejam adsorvidas sobre as partículas de cimento, de forma a neutralizar as cargas opostas na superfície dos silicatos de cálcio (fig 3.1). Assim, as partículas de cimento tornam-se negativamente carregadas pela presença do grupo aniônico  $\text{SO}^{-3}$  e mutuamente repulsivas<sup>(53,34,23,24,40)</sup>.





FIGURA 3.1 - Ação Defloculante de Superplastificantes (BÜCHER<sup>(23)</sup>)

Nas figuras 3.2<sup>(24)</sup> e 3.3<sup>(24)</sup> verificam-se as situações típicas, anterior e posterior à adição de superplastificante, para a mesma relação água/cimento e grau de ampliação da micrografia. O efeito dispersivo pode ser claramente observado, onde as partículas, que inicialmente tendem a agrupar-se, defloculam quando da colocação do aditivo, aumentando a superfície específica e uniformidade da amostra.



FIGURA 3.2 - Micrografia Típica de uma Pasta de Cimento sem Aditivo no Estágio Inicial de Hidratação (CEMENT and CONCRETE ASSOCIATION<sup>(24)</sup>)

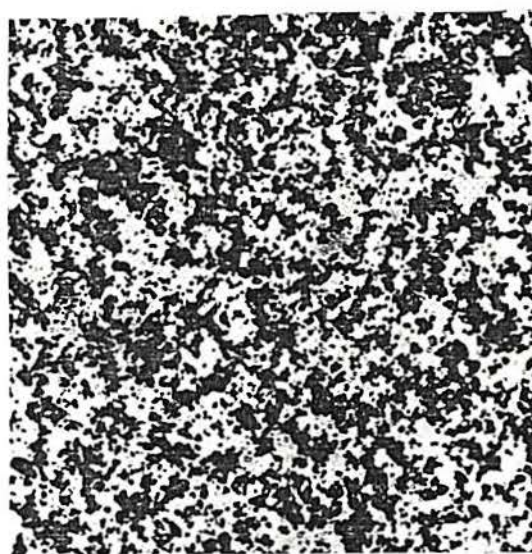


FIGURA 3.3 - Idem à Figura 3.2 com a Presença de Superplastificante (CEMENT and CONCRETE ASSOCIATION<sup>(24)</sup>)

Os Lignosulfonados Modificados atuam sobre a tensão superficial da água, reduzindo-a<sup>(75)</sup>. Já a categoria D de

aditivos exerce ação do tipo dispersante com certa redução da tensão superficial da água<sup>(75)</sup>.

Apesar dos muitos trabalhos já publicados sobre os efeitos dos superplastificantes na reologia e hidratação de pastas de cimento, várias questões não estão ainda totalmente esclarecidas com relação ao papel exato deste produto sobre tal sistema<sup>(68)</sup>. Muitos pesquisadores têm focado o potencial zeta e a adsorção dos superplastificantes, que veremos a seguir, considerando que estas são propriedades básicas na reologia das pastas de cimento.

### 3.1.2. Adsorção

A adsorção do superplastificante na superfície das partículas de cimento e cimento hidratado tem recebido constante atenção por parte de vários pesquisadores que procuram estabelecer a relação existente entre esta e a trabalhabilidade da mistura fresca, seja através de parâmetros reológicos<sup>(92,93)</sup>, seja por meio de ensaios como o mini-abatimento<sup>(92)</sup>.

A quantidade de aditivo adsorvido é estimada pela diferença entre aquela originalmente adicionada e a que permanece em solução após dado período de tempo. Determina-se a concentração pelo método espectrofotométrico, onde o comprimento de onda para o SMF é 219nm e 292nm para o SNF<sup>(90,96)</sup>.

A capacidade de adsorção de determinada mistura é limitada. Assim, um aumento na concentração do superplastificante, excedendo este patamar limite, corresponde a teores adsorvidos praticamente constantes<sup>(49)</sup>.

A figura 3.4<sup>(92)</sup> mostra a evolução com o tempo da quantidade de SMF adsorvida pelo cimento e seus constituintes - C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>S. Pode-se observar que o C<sub>3</sub>A adsorve em poucos minutos quantidades significativas do produto, enquanto o C<sub>3</sub>S contribui muito pouco na primeira hora. O cimento apresenta como consequência, imediata adsorção, para a seguir manter-se praticamente constante até 4 ou 5 horas e, a partir de então,



adsorver quantidades superiores, proveniente da contribuição do  $C_3S$ (<sup>82</sup>).

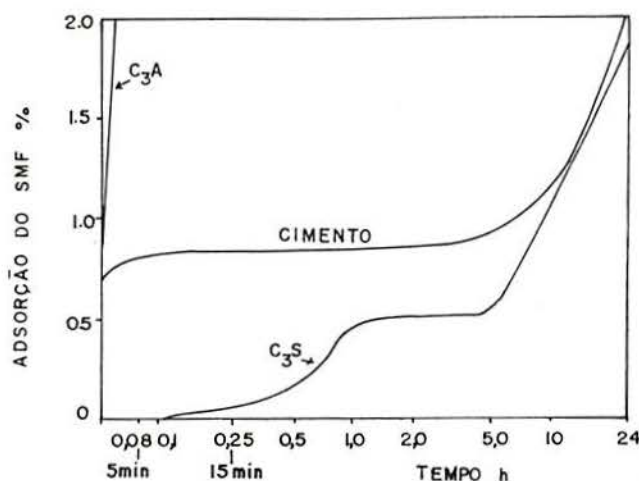


FIGURA 3.4 - Adsorção do SMF pelo Cimento e seus Compostos durante a Hidratação (RAMACHANDRAN(<sup>82</sup>))

Estudos desenvolvidos por ONOFREI et al(<sup>86</sup>) mostram o mesmo tipo de comportamento para o aditivo SNF. Quanto aos Lignosulfonatos Modificados, encontrou-se também resultados similares(<sup>80</sup>).

RAMACHANDRAN(<sup>80</sup>) menciona que praticamente todo o aditivo é adsorvido em cerca de 25min pelo aluminato hexagonal (produto inicial da hidratação do  $C_3A$ ), sendo que o aditivo de base naftaleno mais rapidamente que o de base melamina.

Como pode-se constatar, os superplastificantes não são adsorvidos na mesma proporção pelos diferentes constituintes do cimento.

ONOFREI et al(<sup>86</sup>) atribuem a tendência do  $C_3A$  em adsorver grandes quantidades de superplastificantes à interação existente entre esta fase e o grupo sulfônico contido na molécula do aditivo. Semelhantemente à reação com os íons sulfato, provenientes da dissolução da gipsita.

Com efeito, RAMACHANDRAN(<sup>80</sup>) e RIXOM(<sup>86</sup>) afirmam que o fenômeno da adsorção sobre o  $C_3A$  é irreversível devido a formação de novos compostos químicos.

Deve-se garantir, porém que o superplastificante encontre-se na solução em concentração suficiente para promover dispersão das fases silicatos e reduzir a viscosidade do sistema<sup>(90,92,93)</sup>.

Conforme o grau de hidratação da fase C<sub>3</sub>A + gipsita, RAMACHANDRAN<sup>(90,92)</sup> encontrou resultados diferenciados de adsorção. Na figura 3.5<sup>(92)</sup> observa-se que para diferentes períodos de pré-hidratação obteve-se invariavelmente quantidades significativamente menores de aditivo adsorvido.

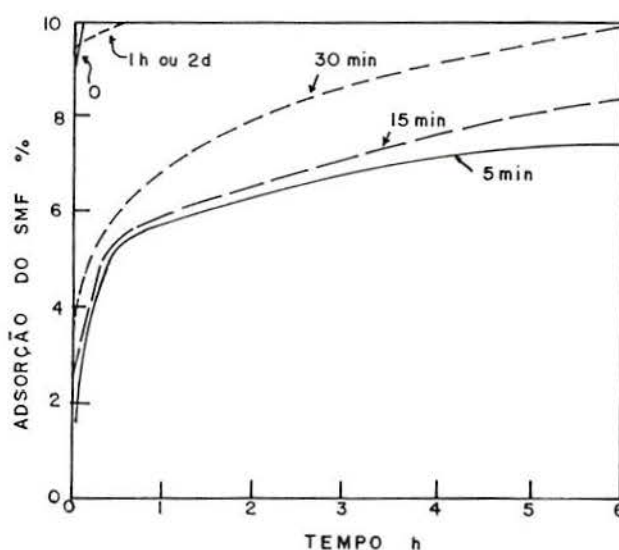


FIGURA 3.5 - Adsorção do SMF sobre o C<sub>3</sub>A + Gipsita Pré-Hidratada para Diferentes Períodos de Tempo (RAMACHANDRAN<sup>(92)</sup>)

Pode-se dizer que a gipsita concorre com o superplastificante pela preferência do C<sub>3</sub>A, uma vez que adsorve quantidades desprezíveis de aditivo do sistema<sup>(90)</sup>.

A maior parte dos trabalhos<sup>(96,90,92,114,113)</sup> sobre adsorção referem-se especificamente ao constituinte C<sub>3</sub>A e ao sistema C<sub>3</sub>A + gipsita, isso porque é notadamente o constituinte mais adsorvente e ainda, o principal responsável pelo comportamento do concreto nas primeiras idades.

### 3.1.3. Potencial Zeta

O termo potencial zeta refere-se à diferença de potencial que se verifica entre a face externa da camada de



íons adsorvidos sobre as partículas de cimento e o meio em que estão inseridos<sup>(82)</sup>. O sinal utilizado para representá-lo vincula-se ao íon adsorvido, se positivo ou negativo<sup>(82)</sup>.

Muitos pesquisadores<sup>(8,82,33,29)</sup> têm estudado este fenômeno na tentativa de explicar o comportamento reológico das pastas de cimento aditivadas. Muitos<sup>(33,8,82,29,73)</sup> concordam que existe uma estreita relação entre as curvas de adsorção e potencial zeta de sistemas água-cimento-superplastificante. Acreditam que as variações no potencial zeta devido a adsorção do polímero sobre as partículas de cimento são os principais responsáveis pelo efeito redutor de água dos superplastificantes.

As técnicas de Eletroforese<sup>(33,8,29)</sup> (partículas de cimento de diâmetro da ordem do micron em suspensão, onde mede-se a velocidade das mesmas sob um potencial aplicado) e Potencial de Vazão (Streaming Potential)<sup>(33)</sup> (partículas de cimento da ordem de 100 a 1000  $\mu\text{m}$ , que atravessam uma solução e mede-se o potencial gerado), normalmente são utilizadas para determinar o potencial zeta de sistemas com e sem aditivo. A primeira situação envolve a medida da velocidade das partículas de uma solução coloidal quando submetidas a um campo elétrico. No segundo caso, mede-se o potencial entre partículas relativamente grandes que atravessam uma solução.

Estudos desenvolvidos por DAIMON e ROY<sup>(33)</sup> a partir de amostras com SMF e SNF permitem concluir que a adição de superplastificante diminui consideravelmente o potencial zeta das partículas de cimento em solução. O valor inicial, que situa-se na faixa dos -8mV para COLLEPARDI et al<sup>(29)</sup> e +9mV para HATTORI<sup>(49)</sup>, ambos com cimento Portland Comum, torna-se extremamente negativo, tão baixo quanto -30 ou -40mV.

O aumento da concentração do aditivo implica em redução do potencial zeta até valores mínimos dentro da faixa limite mencionada acima. Adições excedentes não correspondem a acréscimos relevantes do potencial<sup>(33)</sup>, podendo até mesmo aumentá-lo<sup>(49)</sup>. HATTORI<sup>(49)</sup> salienta que esta concentração

equivale ao valor limite observado no caso da adsorção, mencionado anteriormente, no item 3.1.2..

Estudos deste tipo mostram-se preciosos quando procura-se otimizar a dosagem de um superplastificante ou avaliar a efetividade de novos produtos.

#### 3.1.4. Influência do Grau de Polimerização do Aditivo

COLLEPARDI et al<sup>(29)</sup> estudaram a influência do grau de polimerização do superplastificante na adsorção, potencial zeta e fluidez de pastas de cimento, sendo esta avaliada através de ensaios de mini-abatimento.

Observaram que a porcentagem de adsorção aumenta e o potencial zeta diminui na medida em que se eleva a massa molecular do polímero, expressa através da viscosidade da solução, até um valor limite, acima do qual não se tem acréscimos significativos.

Com relação aos ensaios de mini-abatimento, concluíram que o potencial zeta afeta a fluidez da pasta, mas certamente a adsorção é mais significativa na determinação da fluidez. Baseando-se no fato de que um único valor de potencial zeta corresponde a diferentes resultados de mini-abatimento, conforme a massa molecular do polímero, sendo tanto maior quanto mais elevado for o grau de polimerização. Enquanto que um único valor de adsorção corresponde à mesma fluidez, independentemente da viscosidade do polímero. Neste caso porém, para obter-se a mesma porcentagem adsorvida e a mesma fluidez, necessita-se adicionar à pasta teores mais elevados do polímero de baixa viscosidade comparativamente ao polímero de alta viscosidade.

BASILE et al<sup>(18)</sup> evidenciam, no entanto, que a efetividade do superplastificante está relacionada a proporção de monômero e fração de baixo peso molecular que o acompanha, e não especificamente ao peso molecular médio.

O tempo de condensação a que o superplastificante é submetido durante o processo de fabricação, determina a fração de monômero, fase de baixa e de alta massa molecular. BASILE et



al<sup>(18)</sup> observaram que as duas primeiras contribuem negativamente na fluidez da pasta.

Conclui-se que duas amostras com o mesmo peso molecular médio podem acarretar comportamento diferenciado na fluidez de pastas de cimento, conforme a proporção de monômero e fase de baixo peso molecular.

### 3.1.5. Hidratação

O efeito dos aditivos superplastificantes sobre a hidratação do cimento Portland e individualmente sobre seus compostos tem sido estudado por muitos pesquisadores<sup>(34,113,25, 96,24,90,114,92)</sup>. As opiniões são muitas vezes contraditórias. Além do efeito do superplastificante depender de vários fatores como quantidade, peso molecular, proporcionamento dos constituintes do cimento, fator água/cimento e outros, existe como agravante a complexidade das reações de hidratação do cimento, fator que por si só provoca muita discussão entre os pesquisadores.

#### 3.1.5.1. Cimento Portland

No que se refere ao efeito dos superplastificantes nas reações de hidratação do cimento Portland, vários pesquisadores relatam que tais produtos não alteram significativamente o processo de hidratação, tampouco a estrutura do cimento hidratado<sup>(32,92)</sup>. Alguns observam, porém certo atraso na hidratação durante as primeiras horas<sup>(32,24,92,18)</sup>, principalmente para o caso do SNF. BASILE et al<sup>(18)</sup> acrescentam que aditivos com maior peso molecular apresentam invariavelmente maior efeito retardatório.

Um estudo bastante minucioso foi desenvolvido por DEZHEN et al<sup>(34)</sup> especificamente para o SNF. Utilizando-se de métodos de Difração de Raio X e Análise Térmica Diferencial (curvas DTA), observaram que o superplastificante induz certo retardo nas reações de hidratação do cimento. Através de Espectrofotometria Infravermelha, no entanto, verificaram pequeno aumento na taxa de hidratação inicial e atraso nos



períodos médio e final de hidratação. Observação esta compartilhada por COLLEPARDI et al<sup>(30)</sup>.

Baseando-se na análise estatística de vários resultados experimentais de misturas com SNF, estes pesquisadores<sup>(34)</sup> subdividiram as reações de hidratação em três períodos, que são os seguintes:

0min - 40min - Sabe-se que a velocidade das reações químicas que se desenvolvem quando o cimento está em contato com a água depende do grau de dissolução das partículas de cimento. O efeito dispersivo do superplastificante aumenta a área específica disponível às reações de hidratação dos grãos, conseqüentemente incrementa a solubilidade e atividade química. Além disso, o grupo sulfônico do aditivo combina-se com alguns íons metálicos da solução, aumentando a solubilidade do sistema. Assim, neste período o aditivo funciona como acelerador das reações de hidratação do cimento.

40min - 6h - O incremento na velocidade das reações repercute em maior espessura do filme de produtos hidratados, o que dificulta a penetração dos reagentes e prosseguimento das reações. Além disso, as pontes de hidrogênio que se estabelecem entre as moléculas de água e aditivo, reduzem a quantidade de água disponível às reações de hidratação. A partir deste período, a taxa de hidratação do cimento é retardada.

6h - final - Permanece a dificuldade de difusão do reagente através do filme de produtos hidratados, e como agravante, o superplastificante altera a estrutura porosa do cimento, diminuindo o tamanho dos poros capilares. Assim, prossegue o efeito retardatório do aditivo sobre as reações de hidratação do cimento.

RAMACHANDRAN<sup>(32)</sup> observa que o tipo de cátion presente no polímero influencia no grau de retardo provocado sobre a hidratação.

Quanto às possíveis reações químicas que possam estabelecer-se entre os compostos do cimento e o superplastificante, DEZHEN et al<sup>(34)</sup> realizaram estudos por Difração de Raio X, Espectrograma de Radiação Infravermelho e

Espectrograma de Radiação Ultravioleta. No primeiro caso observaram picos praticamente idênticos entre as amostras com e sem aditivo, e ainda, nenhum novo pico foi encontrado. Nos demais ensaios, encontraram padrão similar anterior e posterior à adsorção, o que indica que não formaram-se novos compostos.

Com base em tais resultados, DEZHEN et al<sup>(34)</sup> afirmam que não ocorrem reações químicas detectáveis entre os compostos de cimento e o aditivo superplastificante<sup>(34)</sup>.

ONOFREI et al<sup>(86)</sup>, no entanto, utilizando-se de métodos semelhantes de ensaios, mencionam que o superplastificante permanece na estrutura endurecida incorporado às fases C<sub>3</sub>S e C<sub>3</sub>A hidratadas. Em ambos os casos, explicada pela interação existente entre estas fases e o grupo sulfônico do aditivo. Dessa forma, sustentam a hipótese de que ocorrem reações químicas entre o superplastificante adsorvido e o cimento hidratado.

Conforme RAMACHANDRAN<sup>(92)</sup>, existem evidências de que a proporção entre CaO:SiO<sub>2</sub> nos produtos de hidratação C-S-H é incrementada sob adição de superplastificante.

CIACH e SWENSON<sup>(25)</sup>, através de observações sistemáticas em microscópio eletrônico de varredura em pastas de cimento com Lignosulfonatos de Cálcio revelam que os produtos de hidratação são os mesmos de pastas sem aditivos. Observa-se ainda que as mudanças morfológicas que se desenvolvem são aparentemente idênticas. Quanto a velocidade das reações de hidratação, mostrou-se inferior no caso de adição de Lignosulfonato de Cálcio<sup>(25)</sup>.

### 3.1.5.2. Constituintes do Cimento - C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>S

Por simplificação, alguns pesquisadores<sup>(113,92,90,114)</sup> têm abordado o efeito do superplastificante na cinética das reações de hidratação do cimento a partir de seus compostos individuais, em especial o C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>S.

Conforme RAMACHANDRAN<sup>(92)</sup>, existe um consenso geral de que os aditivos superplastificantes SNF e SMF retardam a hidratação do C<sub>3</sub>A.

Com efeito, estudos desenvolvidos para misturas com SMF mostram que o calor de hidratação total, gerado em 30min, assim como o valor de pico, são bem inferiores em relação ao sistema sem aditivo (fig 3.6)<sup>(92)</sup>.

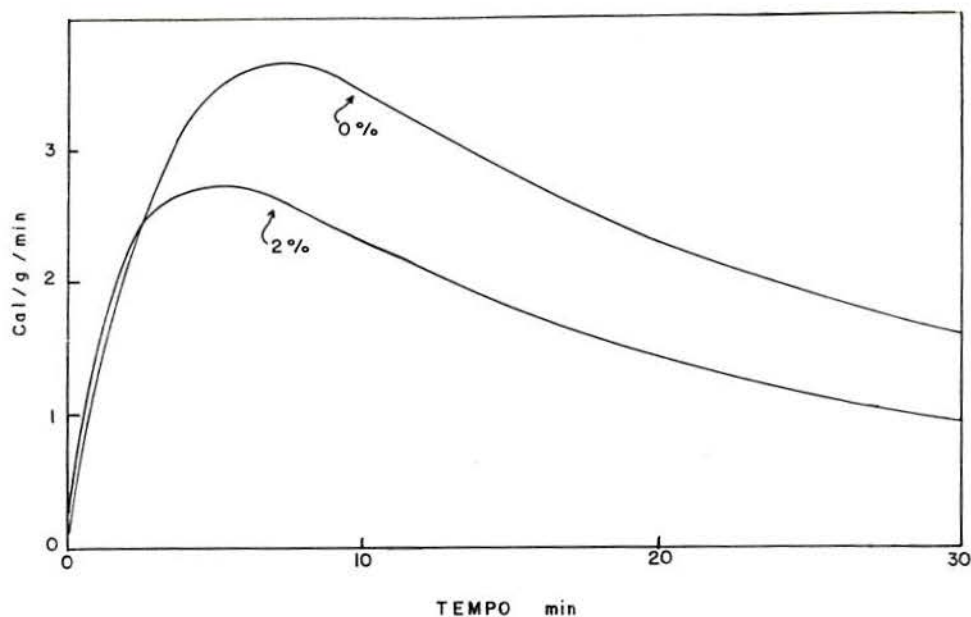


FIGURA 3.6 - Curvas de Calor de Hidratação do C<sub>3</sub>A com e sem Superplastificante do Tipo SMF (RAMACHANDRAN<sup>(92)</sup>)

Quanto ao sistema C<sub>3</sub>A+gipsita todas as três possibilidades têm sido referenciadas, aceleração, retardo e neutralidade<sup>(92)</sup>.

As curvas de calor de hidratação são extremamente ilustrativas na verificação da efetividade do sulfato de cálcio sobre a hidratação do C<sub>3</sub>A. Comparando-se as figuras 3.6<sup>(92)</sup> e 3.7<sup>(90)</sup>, observa-se que a presença da gipsita reduz significativamente o calor gerado em determinado período de tempo (curvas referentes a 0%).



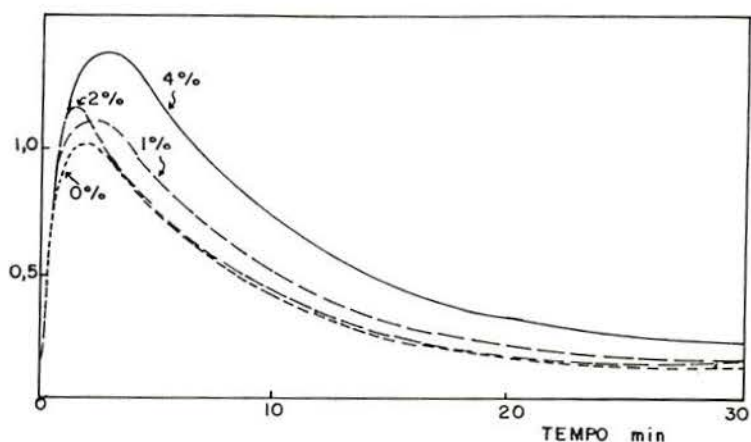


FIGURA 3.7 - Curvas de Calor de Hidratação do C<sub>3</sub>A + Gipsita com e sem Superplastificante do Tipo SMF (RAMACHANDRAN<sup>(90)</sup>)

A presença do superplastificante neste sistema, no caso o SMF, acelera a reação entre o C<sub>3</sub>A e o sulfato de cálcio. Conforme observa-se na figura 3.7<sup>(90)</sup>, o calor total desenvolvido e a amplitude do pico são maiores na presença de aditivo e aumenta progressivamente com a dosagem.

Conforme YOUNG et al<sup>(114)</sup>, os demais superplastificantes, SNF e Lignosulfonados Modificados apresentam resultados similares.

As curvas calorimétricas apresentam um segundo pico de calor, atribuído ao término do conteúdo de gipsita, momento em que ocorre a conversão da etringita e do C<sub>3</sub>A remanescente em sulfoaluminato hidratado. Na figura 3.8<sup>(90)</sup> observa-se que a presença de superplastificante retarda este procedimento, provavelmente devido a adsorção, que dificulta o prosseguimento das reações.

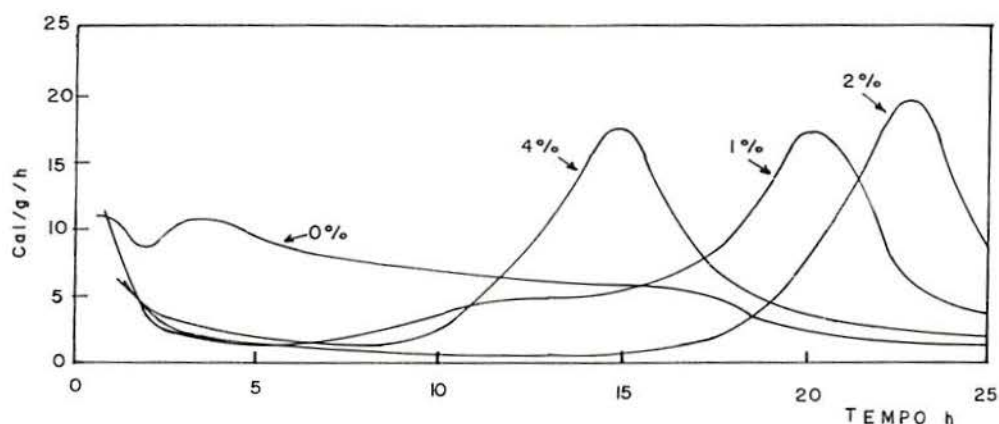


FIGURA 3.8 - Curvas de Calor de Hidratação do  $C_3A$  + Gipsita com e sem Superplastificante do Tipo SMF (RAMACHANDRAN<sup>(82)</sup>)

RAMACHANDRAN<sup>(80)</sup> atribui diversos fatores ao momento de aparecimento do segundo pico de calor, dentre os quais, espessura e cristalinidade da etringita, quantidade de superplastificante adsorvido sobre o  $C_3A$  e sobre a camada de etringita.

No caso do  $C_3S$ , as curvas calorimétricas indicam que quanto maior a dosagem de superplastificante, maior é o atraso observado na hidratação deste composto, tanto no valor de pico quanto no calor total gerado em determinado período.

### 3.1.6. Estrutura do Cimento Hidratado

Mudanças drásticas na estrutura do cimento hidratado com adição de superplastificante não têm sido encontradas<sup>(82, 30)</sup>. Sabe-se, no entanto, que a rede cristalina resultante é significativamente mais densa, os cristais são mais perfeitos e maiores<sup>(34)</sup>.

O aumento da solubilidade do sistema água-cimento provocado pela adição de superplastificante acarreta a formação de maior quantidade de microcristais em estado metaestável (estado em que pode permanecer apesar de não ser estável nas condições físicas presentes). O filme de aditivo que recobre as partículas de cimento dificulta a passagem de microcristal para cristal. Acrescentando-se a isso, o superplastificante reduz a

energia livre na interface sólido-líquido e assim, diminui a tendência de passar para a fase estável.

Todos estes fatores indicam que a cristalização é retardada com a presença de superplastificante, o que pode ser constatado através de micrografias por meio de microscópio eletrônico de varredura<sup>(34)</sup>. Nestas, observa-se claramente que o desenvolvimento mais lento das reações de hidratação favorece o crescimento dos cristais e da estrutura resultante, devido ao melhor entrelaçamento dos cristais tipo agulha de C-S-H<sup>(34)</sup>.

A porosidade do cimento altera-se com a adição de superplastificante. DEZHEN et al<sup>(34)</sup> concluíram a partir de seus experimentos que a porosidade aparente muda levemente quando adiciona-se superplastificante ao sistema mantendo-se o fator água/cimento constante. Observa-se, porém que o tamanho dos poros muda significativamente. Na tabela 3.1<sup>(34)</sup>, verifica-se que o tamanho mais provável dos poros reduz-se em 40 e 68% e que o número de poros menores que 250Å aumenta consideravelmente. Este tamanho de poro é considerado inofensivo.

TABELA 3.1 - Porosidade obtida aos 28 dias por Penetração de Mercúrio (DEZHEN et al<sup>(34)</sup>)

AMOSTRA	CIMENTO	CIMENTO + SNF tipo1	CIMENTO + SNF tipo2
TAMANHO DE PORO MAIS PROVÁVEL Å	250	150	80
POROS ABAIXO DE 250 Å %	26,66	68,60	39,84

GONÇALVES et al<sup>(46)</sup>, por outro lado, concluíram que a adição de superplastificante aumenta a porosidade capilar de pastas de cimento, em ordem crescente com a dosagem e mais significativamente para o aditivo SNF.



### 3.1.7. Influência das Cinzas Volantes

Dentre os materiais pozolânicos, as cinzas volantes destacam-se principalmente na região Sul do Brasil<sup>(63)</sup>.

Constituem-se basicamente de sílica e alumina<sup>(63)</sup> na forma de partículas esféricas, com diâmetros variando de 1 a 150  $\mu\text{m}$ , de acordo com o tipo de equipamento utilizado para captação<sup>(71)</sup>.

KIHARA e ESPER<sup>(63)</sup> mencionam que para uma mesma trabalhabilidade, as cinzas volantes exigem maior quantidade de água de amassamento em comparação à mistura pura. Salienta, contudo que este volume ainda é menor do que o requerido pelas argilas calcinadas e pozolanas naturais.

MALHOTRA<sup>(71)</sup>, em contrapartida, aponta que um dos fatores que distingue as cinzas volantes dos demais materiais pozolânicos é justamente sua menor necessidade de água em relação à mistura padrão para uma mesma trabalhabilidade. Concorda, dessa forma, com as informações do ACI 226.3R-87<sup>(5)</sup>. Possivelmente este efeito seja devido a morfologia das partículas, tipicamente esféricas<sup>(71,5)</sup>.

Com efeito, ao estudar a viscosidade da pasta de cimento para diferentes proporções de cinzas volantes, NAGATAKI et al<sup>(81)</sup>, observaram que esta pode tanto diminuir quanto aumentar, conforme o tipo de cinza empregada, na medida em que eleva-se a proporção da adição.

Dentre as características da cinza, concluíram que a massa específica absoluta influi sobremaneira nos resultados de fluidez. Quanto mais elevada, maior é a viscosidade do sistema.

Desta forma, a presença deste material pozolânico, assim como sua proporção, sem o conhecimento da correspondente massa específica não garantem maior ou menor fluidez à mistura.

Com relação aos superplastificantes, alguns pesquisadores<sup>(74,71)</sup> têm relatado que a adsorção sobre a cinza volante ocorre em menor extensão do que sobre as partículas de cimento. Esta situação, no entanto varia significativamente conforme a variedade da cinza empregada.

Quanto ao potencial zeta, NAGATAKI et al<sup>(81)</sup> apontam que, de modo geral, a cinza volante apresenta valor negativo bem superior ao cimento e este diminui na medida em que incorpora-se superplastificante ao sistema.

Na figura 3.9<sup>(81)</sup>, observa-se que o aumento na concentração do aditivo não repercute em significativa redução da viscosidade da pasta de cinza, ao contrário da pasta de cimento, onde verifica-se claramente o efeito do superplastificante.

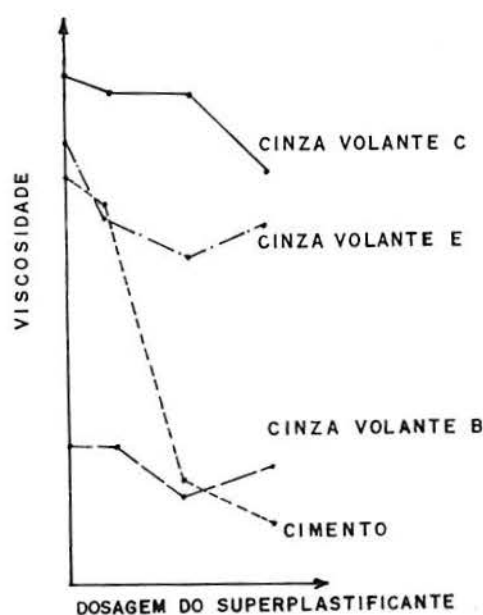


FIGURA 3.9 - Influência do Superplastificante na Viscosidade da Cinza Volante e Pasta de Cimento (NAGATAKI et al<sup>(81)</sup>)

NAGATAKI et al<sup>(81)</sup> explicam que o potencial zeta, determinado através de partículas de pequena dimensão, não é adequado para avaliar o efeito do superplastificante em pastas com cinzas volantes, uma vez que a influência das partículas de maior diâmetro é significativa neste caso.

A presença de superplastificante em uma pasta de cimento com cinza parece não ocasionar variações significativas na fluidez comparativamente a uma mesma pasta sem ela. Este efeito provavelmente possa ser atribuído a incapacidade do

superplastificante em dispersar partículas relativamente grandes<sup>(81)</sup>.

Parece que as alterações que porventura ocorram na fluidez de uma pasta de cimento devido à adição de cinzas, estão diretamente ligadas à massa específica absoluta desta, independentemente da presença ou ausência de superplastificante.

### 3.2. SOBRE O CONCRETO NO ESTADO FRESCO

As pesquisas destinadas avaliar os efeitos dos aditivos superplastificantes sobre o concreto têm sido extensivamente dirigidas ao estado fresco da mistura, certamente por tratar-se de "Aditivos que Modificam a Reologia dos Concretos, Argamassa ou Pastas".

#### 3.2.1. Algumas Considerações sobre Trabalhabilidade

A propriedade denominada trabalhabilidade é fundamental na tecnologia do concreto. Características como resistência mecânica e durabilidade podem ficar seriamente comprometidas, para determinado fator água/cimento, caso a trabalhabilidade não corresponda às necessidades de produção.

Na verdade, referir-se a um concreto como trabalhável ou não, torna-se um tanto subjetivo, uma vez que engloba uma série de características da mistura fresca.

Para NEVILLE<sup>(84)</sup>, um concreto trabalhável é aquele que permite que o transporte, lançamento e adensamento ocorram com relativa facilidade e sem segregação. TATTERSALL<sup>(105)</sup> acrescenta ainda, a exsudação como parâmetro importante.

O nível de trabalhabilidade exigido de uma mistura é portanto, dependente das condições de produção existentes<sup>(105)</sup>.

Em 1947, GLANVILLE, COLLINS e MATTHEUS, de acordo com NEVILLE<sup>(84)</sup> definem trabalhabilidade como o trabalho interno útil necessário para produzir adensamento total da mistura. Nesta definição pode-se observar que apenas a parte intrínseca do concreto foi considerada, ou seja, o trabalho necessário



para vencer o atrito entre as partículas da mistura, não incluindo o trabalho dissipado na vibração das formas e armaduras.

Tendo em vista a quantidade de termos relacionados à trabalhabilidade do concreto e a relativa imprecisão com que são empregados, TATTERSALL<sup>(105)</sup> elabora a tabela 3.2:

TABELA 3.2 - Termos Usuais Relacionados à Trabalhabilidade (TATTERSALL<sup>(105)</sup>)

CLASSE I	<p>fornece uma descrição qualitativa do comportamento do concreto</p> <p>Trabalhabilidade            Fluidéz            Compactabilidade            Estabilidade            Acabamento            Bombeabilidade, etc.</p>
CLASSE II	<p>fornece uma descrição quantitativa do comportamento do concreto, mas vinculada à condições particulares do ensaio</p> <p>Abatimento            Fator de Compactação            Vebe            Mesa de Espalhamento, etc.</p>
CLASSE III	<p>fornece uma descrição quantitativa intrínseca do comportamento do concreto</p> <p>Viscosidade            Mobilidade            Consistência            Limite de Cisalhamento, etc.</p>

Normalmente adota-se a consistência como parâmetro do comportamento do concreto no estado fresco. Os ensaios de determinação da consistência, normalizados ou não, vêm recebendo ao longo dos anos numerosas críticas, principalmente por parte dos defensores da utilização dos parâmetros reológicos do concreto como estimativa da trabalhabilidade da mistura.

### 3.2.2. Críticas aos Métodos Usuais de Determinação da Consistência de Concretos com Aditivos Superplastificantes

Consistência é definida pela norma britânica BS 5168:1975<sup>(20)</sup> como o termo geralmente empregado para representar as propriedades do material em resistir à mudança de forma.

De acordo com o ACI-116R-78<sup>(3)</sup>, consistência representa a habilidade que uma mistura de concreto ou argamassa fresca apresenta ao escoar.

Apesar dos muitos testes empíricos desenvolvidos, normalizados ou não, até o momento não existe um instrumento satisfatório de verificação da consistência<sup>(32,84,105)</sup>.

TATTERSALL<sup>(105)</sup> observa que a situação é tão insatisfatória que freqüentemente encontram-se engenheiros que preferem confiar no conhecimento subjetivo do que em ensaios de verificação.

Três críticas fundamentais são feitas<sup>(105)</sup> aos métodos de determinação da consistência, que são as seguintes:

- o resultado obtido vincula-se fortemente ao equipamento utilizado e é susceptível à mudanças, conforme a sensibilidade do operador;
- a determinação de apenas um parâmetro da mistura como no caso destes ensaios, não é satisfatória, permitindo que dois concretos distintos sejam classificados como semelhantes;
- nenhum dos métodos de ensaio propostos cobre toda a faixa de consistências do concreto.

Referindo-se às críticas elaboradas por TATTERSALL, NEVILLE<sup>(84)</sup> comenta que, em geral, os métodos de determinação da consistência do concreto fornecem um indicativo satisfatório da trabalhabilidade e ainda, que são sensíveis às variações de água da mistura.

Vários pesquisadores<sup>(118,59,109,98,49,75,101,17,16,96)</sup> abordam ainda uma série de falhas específicas aos ensaios de abatimento do tronco de cone e espalhamento do tronco de cone.

Estes são, sem dúvida, os métodos mais difundidos de análise de concretos com aditivos superplastificantes.

### 3.2.2.1. Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone

Conforme menciona SOBRAL<sup>(101)</sup>, apesar das limitações de aplicabilidade e sensibilidade do ensaio de abatimento do tronco de cone<sup>(12)</sup>, este apresenta-se bastante satisfatório no controle diário de obra, quando procura-se identificar possíveis variações no volume de água e/ou na granulometria dos materiais empregados, ou seja, na manutenção de uma mesma mistura.

Nos casos em que procura-se comparar concretos, assumindo-os ou não como idênticos, percebe-se as dificuldades. GLANVILLE, COLLINS e MATTHEUS, conforme TATTERSALL<sup>(105)</sup>, observaram que uma pequena adição de água pode resultar em um abatimento colapsivo, enquanto que uma quantidade um pouco menor pode repercutir em abatimento inferior a 25mm.

A inadequabilidade do ensaio<sup>(118,59,108,98,49,16,17,69)</sup> torna-se mais séria quando do emprego de aditivos superplastificantes, seja para a obtenção de concreto fluido, seja para obtenção de concreto de alta resistência.

No primeiro caso, verifica-se que a mistura escoia continuamente na medida em que retira-se o molde tronco-cônico, dificultando e tornando imprecisa a medição do abatimento<sup>(59)</sup>. Estes concretos apresentam invariavelmente resultado em torno dos 200mm, faixa em que o método não apresenta suficiente sensibilidade para detectar mudanças na consistência<sup>(17,16)</sup>. É comum adotar o abatimento como medida de consistência antes da colocação do superplastificante e especificar em >180mm o resultado posterior à adição<sup>(17)</sup>.

No caso de concretos de alta resistência, verifica-se que um pequeno aumento na dosagem de superplastificante pode passar uma mistura de abatimento zero para abatimento duvidosamente elevado<sup>(109)</sup>, dificultando a obtenção da consistência desejada.



Estudos comparativos entre concreto padrão e concreto aditivado, baseados no mesmo abatimento, são prejudicados pela incerteza dos resultados.

Acrescentando-se à dificuldade de medição do abatimento, MOR e RAVINA<sup>(80)</sup> observaram que dois concretos de mesmo abatimento, um com superplastificante e outro sem, mostraram comportamentos significativamente diferenciados quanto a energia de vibração necessária a um correto adensamento e pressão requerida ao bombeamento. Salientam que o ensaio de abatimento do tronco de cone é incapaz de avaliar as facilidades proporcionadas pelo superplastificante com relação a tais propriedades.

#### 3.2.2.2. Ensaio de Espalhamento do Tronco de Cone

Este método, também conhecido como ensaio Alemão de Fluidez, foi desenvolvido por Graf justamente para preencher a deficiência existente na determinação da consistência dos concretos fluidos.

Em 1986, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT publica a norma NBR 9606 - Determinação da Consistência pelo Espalhamento do Tronco de Cone<sup>(11)</sup>.

Já bastante difundida nos países da Europa<sup>(86,17)</sup> devido a grande simplicidade de execução e portabilidade do equipamento, possibilitando o uso tanto em obra quanto em laboratório, esta metodologia tem recebido várias críticas.

Alguns pesquisadores<sup>(86,16,17)</sup> afirmam que a mesa de espalhamento não é mais sensível às variações da mistura do que o ensaio de abatimento do tronco de cone, sendo igualmente susceptível à sensibilidade do operador.

DIMOND e BLOOMER, de acordo com alguns pesquisadores<sup>(85,86,16,17,105)</sup>, sugeriram limitar o ensaio de Graf à determinação do espalhamento inicial da mistura, pois de acordo com seus estudos, este é tão efetivo quanto o espalhamento final na diferenciação de misturas de concreto. RAVINDRA e YAP<sup>(86)</sup>, porém, comentam que tal estudo foi desenvolvido para um número limitado de pontos. Ao ampliar-se a

quantidade de amostras, observa-se que um único valor de espalhamento inicial pode estar relacionado a uma ampla faixa de espalhamentos finais (Figura 3.10<sup>(95)</sup>), o que invalida o argumento de DIMOND e BLOOMER.

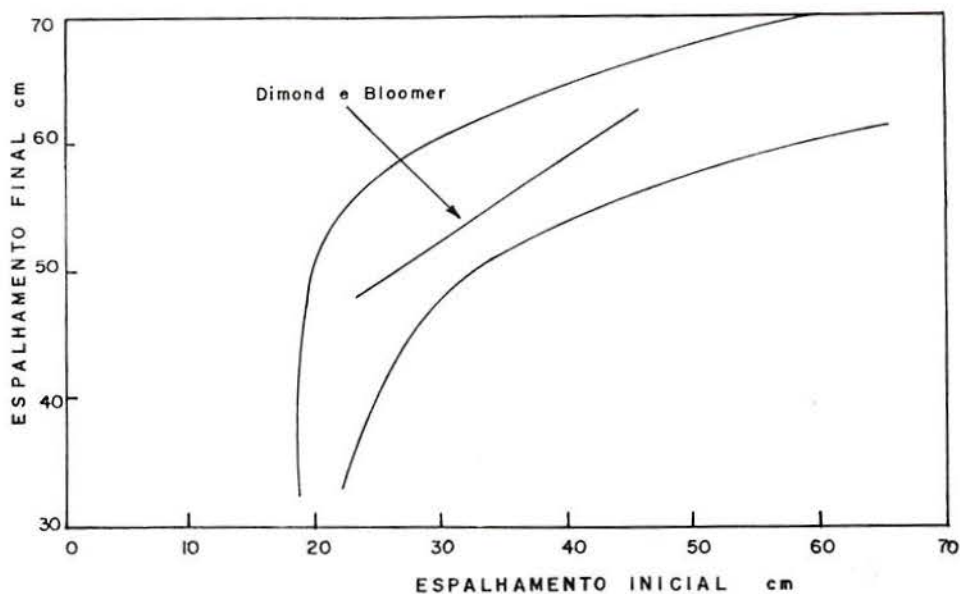


FIGURA 3.10 - Relação entre Espalhamento Inicial e Final do Ensaio de Espalhamento do Tronco de Cone (RAVINDRA e YAP)<sup>(95)</sup>

A adequabilidade ao concreto fluido é também questionável, uma vez que a norma Alemã DIN-1048<sup>(16)</sup> especifica que para o concreto ser enquadrado como tal deve apresentar espalhamento superior a 51cm. Este valor só pode ser obtido para misturas com espessuras finais inferiores a 21mm, o que, em geral, coincide com a dimensão máxima do agregado, comprometendo a efetividade do resultado<sup>(105,16)</sup>.

### 3.2.3. Algumas Considerações sobre Reologia

O comportamento do concreto no estado fresco, ou seja, o trabalho que a mistura exigirá durante os processos de lançamento, adensamento, etc., baseia-se nas propriedades reológicas da mistura.

De acordo com SOBRAL<sup>(101)</sup>, o concreto pode ser caracterizado, do ponto de vista reológico, por três grandezas - coesão, viscosidade e atrito interno. As duas primeiras

oriundas basicamente dos fenômenos de superfície devido aos grãos menores e a última proveniente do efeito de massa ocasionado pelos grãos mais grossos.

Os fenômenos de superfície, no entanto, são preponderantes<sup>(101)</sup> e o concreto pode ser representado satisfatoriamente através do modelo de Bingham<sup>(101,105,104,92,16,17,85)</sup>.

Neste, o comportamento do concreto é descrito por um elemento elástico, um plástico e um viscoso, conforme figura 3.11<sup>(44)</sup>. Para tensões pequenas, o material funciona elasticamente, enquanto que para solicitações acima de determinado valor, a deformação cresce com velocidade proporcional ao esforço aplicado. Ao retirar-se a carga, desaparece a deformação elástica, mas permanece a deformação viscosa.

Numericamente o modelo de Bingham é representado pela expressão:

$$T = T_0 + mv$$

onde:  $T_0$  = tensão limite de cisalhamento;  
 $m$  = viscosidade plástica;  
 $v$  = taxa de cisalhamento.

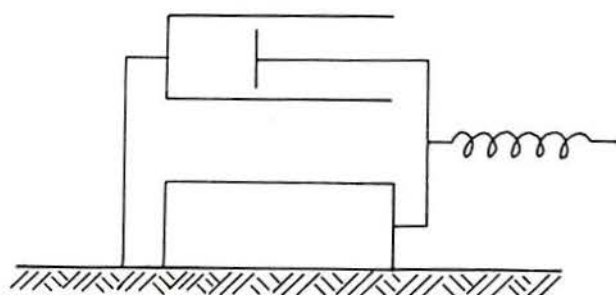


FIGURA 3.11 - Representação do Modelo de Bingham (GIAMMUSSO<sup>(44)</sup>)



A simplificação muitas vezes adotada de estender as propriedades reológicas da pasta de cimento para descrever o comportamento do concreto deve ser tomada com precaução<sup>(16,15, 92)</sup>. BANFILL<sup>(15)</sup> verificou que conforme as proporções da mistura de concreto, os resultados concordam ou não com os referentes à pasta de cimento.

Tensão limite de cisalhamento corresponde ao valor de tensão abaixo da qual a pasta se comporta como um sólido elástico. Este parâmetro proporciona certa coesão ao concreto, responsável por sua capacidade de manter-se na posição original sob pequenas tensões.

Viscosidade plástica caracteriza a estabilidade do concreto, que envolve sedimentação e segregação, agindo como restrição ao movimento relativo dos grãos.

Na prática, o concreto começa a escoar quando lhe é aplicada uma tensão de cisalhamento que supere os efeitos de superfície devido aos grãos finos e o atrito entre os grãos grossos.

Propriedades como mobilidade, estabilidade, compactabilidade e acabamento superficial, necessárias a uma produção eficiente, podem ser obtidas através de ajustes nos parâmetros reológicos correspondentes.

De acordo com SOBRAL<sup>(101)</sup>, porém "...conseguiu-se precisar a influência da pasta e dos agregados no escoamento do concreto. No entanto, ainda são muito vagos os meios para se poder utilizar esses conhecimentos, aplicando-os diretamente na obra."

#### 3.2.4. Críticas ao Método Usual de Determinação dos Parâmetros Reológicos de Concretos com Aditivos Superplastificantes - Método dos Dois Pontos -

O ensaio proposto por TATTERSALL<sup>(105,104)</sup>, chamado Método dos Dois Pontos, baseia-se na determinação dos parâmetros reológicos do concreto através de um Viscosímetro ou Reômetro, com o qual mede-se o torque (T) para várias velocidades (N). Plotam-se os dados em um gráfico, do qual extrai-se os valores de g e h, respectivamente limite de

cisalhamento e viscosidade plástica, cumprindo-se a seguinte equação:

$$T = g + h.N$$

Com este método TATTERSALL<sup>(104)</sup> tenta eliminar o principal ponto falho dos ensaios de estimativa da consistência, que é a determinação de apenas um parâmetro da mistura. Além disso, neste caso, o operador não mais interfere no processo.

Vários pesquisadores<sup>(17,118,16,64,52,104)</sup> têm-se mostrado favoráveis a sua utilização, salientando que é possível determinar as características da mistura mais precisamente do que com qualquer outro ensaio.

Na prática, verifica-se que sua maior utilização é no campo dos concretos fluidos, onde o ensaio de abatimento do tronco de cone perde sensibilidade. Seu emprego, porém, restringe-se basicamente ao meio acadêmico, uma vez que o alto custo (aproximadamente U\$5000)<sup>(17)</sup>, tamanho e peso do equipamento inviabilizam sua aplicação em obra.

NEVILLE<sup>(84)</sup> acrescenta ainda que a situação real não é tão simples como a proposta por TATTERSALL ao justificar tal metodologia de ensaio.

### **3.2.5. Principais Propriedades Afetadas pelo Emprego de Aditivos Superplastificantes**

A seguir, procurar-se-á abordar os aspectos mais relevantes do concreto no estado fresco afetados pela utilização de aditivos superplastificantes.

#### **3.2.5.1. Parâmetros Reológicos**

Os superplastificantes, conforme sua própria classificação, são produtos que modificam a reologia do concreto.

De acordo com SOBRAL<sup>(101)</sup>, vários estudos têm demonstrado que a coesão do concreto provém principalmente da tendência que a pasta de cimento apresenta de flocular. Como a

ação do superplastificante é basicamente do tipo dispersante, o limite de cisalhamento deve decrescer.

Com efeito, significativa redução no limite de cisalhamento e viscosidade plástica da mistura tem sido mencionada por vários pesquisadores<sup>(24,101,44,92,36,85,64,105,97,16,15)</sup> ao incorporar-se o aditivo. Este efeito pode ser observado na Figura 3.12<sup>(36)</sup>, onde a inclinação da reta representa a viscosidade plástica e o valor correspondente ao encontro da reta com a abscissa corresponde ao limite de cisalhamento. O deslocamento no sentido anti-horário de ambos os parâmetros representa aumento da trabalhabilidade da mistura.

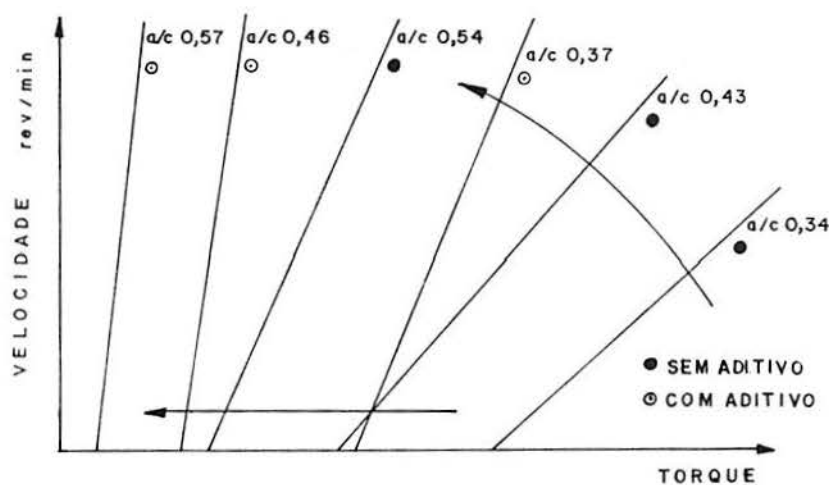


FIGURA 3.12 - Reologia do Concreto com Superplastificante do Tipo SNF (HEWLETT<sup>(36)</sup>)

O conceito mencionado acima, no entanto, deve ser tomado com cautela. BANFILL<sup>(15,16)</sup> concluiu a partir de um estudo bastante extenso, que o superplastificante sobre a pasta de cimento reduz ambos, o limite de cisalhamento e a viscosidade plástica, porém sobre o concreto pode reduzir ou aumentar a viscosidade plástica, dependendo das proporções da mistura, enquanto diminui o limite de cisalhamento.

Na figura 3.13, estão representados os parâmetros reológicos  $g$  e  $h$  em relação à concentração do superplastificante. Observa-se que o limite de cisalhamento



diminui exponencialmente com o aumento da concentração do aditivo até um valor aproximadamente constante, enquanto a viscosidade plástica aumenta para posteriormente diminuir.

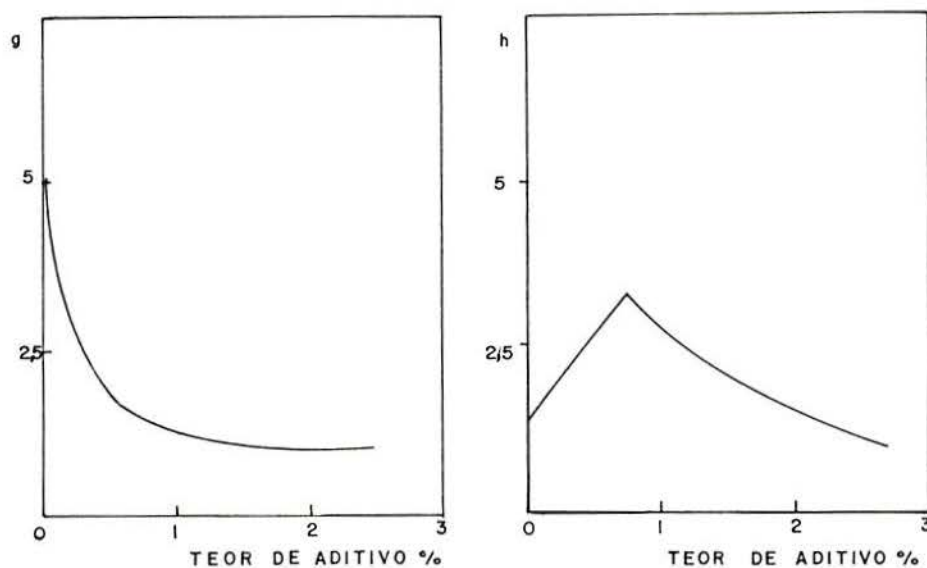


FIGURA 3.13 - Variação de  $g$  e  $h$  com Relação ao Teor de Aditivo (BANFILL<sup>(13)</sup>)

BANFILL<sup>(15)</sup> explica que com o aumento da dispersão das partículas de cimento, a viscosidade plástica da pasta diminui, em contrapartida, os agregados aproximam-se mutuamente, restringindo o movimento da mistura. Certamente existe uma proporção de materiais para a qual os agregados mantêm-se ainda suficientemente afastados mesmo com aditivo, de forma que a viscosidade plástica mantêm-se inalterada ou diminui.

A modificação introduzida pelo superplastificante sobre os parâmetros reológicos varia fundamentalmente conforme o tipo de cimento e aditivo empregado<sup>(105,16)</sup>.

### 3.2.5.2. Consistência

A consistência é possivelmente a propriedade do concreto que tem recebido maior número de pesquisas relativas ao uso do superplastificante. Certamente porque sua função básica é alterar, de alguma forma, a trabalhabilidade da

mistura, seja permitindo reduções na água de amassamento, seja viabilizando a produção de concretos fluidos.

#### a) Consistência Inicial

Em geral, os superplastificantes são capazes de modificar sobremaneira a consistência do concreto. O abatimento pode passar, por exemplo, de 50 a 200mm e o espalhamento de 40 a 51cm. Em concretos de alta resistência, a redução de água permitida limita-se à consistência desejada.

RAVINDRA e YAP<sup>(95)</sup> salientam que a consistência inicial não aumenta linearmente com a dosagem. Existe um limite de consistência acima do qual ocorre segregação. Para especificar-se o teor de aditivo mais efetivo para determinada mistura, é necessário um estudo preliminar, a partir dos materiais e condições de execução realmente existentes.

Inúmeros fatores podem afetar a consistência do concreto, porém quando diz respeito aos aditivos superplastificantes, a questão fundamental é, sem dúvida, a perda da consistência com o tempo. Geralmente, quanto maior a trabalhabilidade inicial, representada por ensaios de consistência, mais lenta é sua perda com o tempo<sup>(88,72)</sup>. TUTHILL<sup>(107)</sup>, por outro lado, encontrou resultados contrários.

#### b) Evolução da Consistência com o Tempo

A redução da consistência do concreto com o tempo é um processo normal e necessário à obtenção das propriedades finais esperadas. Quando esta perda ocorre, porém, com velocidade incompatível aos procedimentos de transporte, lançamento e adensamento, torna-se um problema sério na produção dos concretos em obra.

A maior dificuldade à propagação do uso dos aditivos superplastificantes tem sido, sem dúvida, a taxa relativamente alta de perda da consistência com o tempo, comparativamente aos concretos convencionais. Porém, na medida em que as pesquisas a este respeito desenvolvem-se, incentivadas principalmente pelos fabricantes de aditivos, a situação vem-se tornando dia a dia menos problemática.

De modo geral, os pesquisadores consideram o efeito fluidificante por um período de 30 a 60min<sup>(32,91,52,67,24,92,69)</sup>. MALHOTRA e MALANKA<sup>(72)</sup> salientam que valores altos de consistência, tal qual o obtido inicialmente, prevalecem por apenas 5 ou 10 minutos, período este que MAILVAGANAN<sup>(67)</sup> estende até 15 minutos.

A perda de consistência tem sido atribuída ao favorecimento das reações entre o C<sub>3</sub>A e a gipsita, provocado pelo superplastificante<sup>(32,98,118,109,92,62)</sup>. A etringita resultante imobiliza 32 moléculas de água em sua estrutura, o que representa uma quantidade apreciável da água disponível. Além disso, a morfologia desta incrementa o atrito entre as partículas<sup>(83)</sup>.

Para IZUMI et al<sup>(57)</sup>, porém a atribuição da perda da consistência com o tempo às reações de hidratação é questionável, argumentando que o principal motivo deste efeito é a coagulação física das partículas de cimento. HATTORI, conforme RAMANCHANDRAN<sup>(92)</sup>, concorda com este ponto de vista, assim como HEWLETT<sup>(82)</sup>.

EDMEADES e HEWLETT<sup>(118)</sup> comentam que freqüentemente confunde-se tempo de pega com perda de consistência, salientam, porém que esta relação é variável, muitas vezes observa-se concretos com grande redução na trabalhabilidade, avaliada através de ensaios de consistência, enquanto o tempo de pega permanece inalterado ou aumenta em relação ao concreto piloto.

Vários fatores determinam a velocidade com que a consistência do concreto diminui, tais como tipo e dosagem do superplastificante, tipo e consumo de cimento, fator água/cimento, momento de adição do superplastificante, consistência inicial, condições de mistura (duração, seqüência, etc.), temperatura, umidade e presença de outros aditivos<sup>(89,67,92,4)</sup>.

### c) Tipo de Superplastificante

Vários estudos<sup>(82,72,59,24,79)</sup> têm demonstrado que o concreto com SMF perde consistência com o tempo em uma



proporção mais acentuada que o concreto com SNF. Na figura 3.14, observa-se a relação típica entre o abatimento e o tempo. A publicação 45030 da CEMENT and CONCRETE ASSOCIATION<sup>(24)</sup> salienta que podem ocorrer variações no período em que a consistência se mantém, conforme o método de ensaio utilizado em sua determinação.

BANFILL<sup>(16)</sup> observou o mesmo comportamento referente ao SMF a partir dos parâmetros reológicos - limite de cisalhamento e viscosidade plástica.

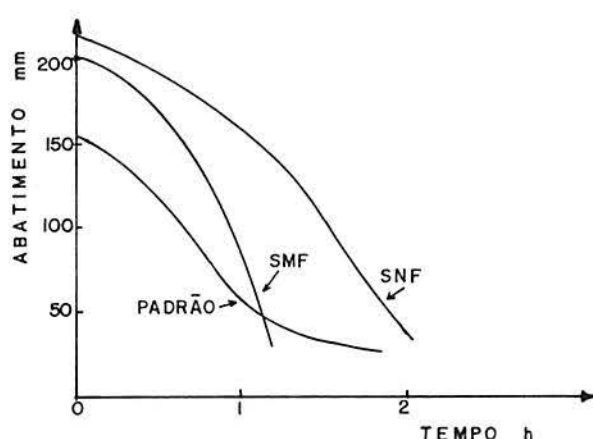


FIGURA 3.14 - Representação Típica do Abatimento do Tronco de Cone X Tempo (CEMENT and CONCRETE ASSOCIATION<sup>(24)</sup>)

#### d) Constituintes do Cimento

Muitos pesquisadores sugerem que a composição química do cimento influi sobremaneira no efeito fluidificante do aditivo, em especial o conteúdo de sulfato<sup>(62,83,103)</sup>, aluminatos<sup>(83,67,103)</sup> e álcalis<sup>(92,48,83,103)</sup>.

MAILVAGANAM<sup>(67)</sup>, ao estudar a perda do abatimento com o tempo para misturas com três tipos diferentes de cimento e SMF (Figura 3.15), verificou que a amostra com menor teor de C<sub>3</sub>A (Cimento Portland Resistente a Sulfatos) apresenta vantagem de aproximadamente 30 minutos em relação às demais (Cimento Portland Comum e Cimento Portland de Alta Resistência Inicial) na manutenção da consistência.

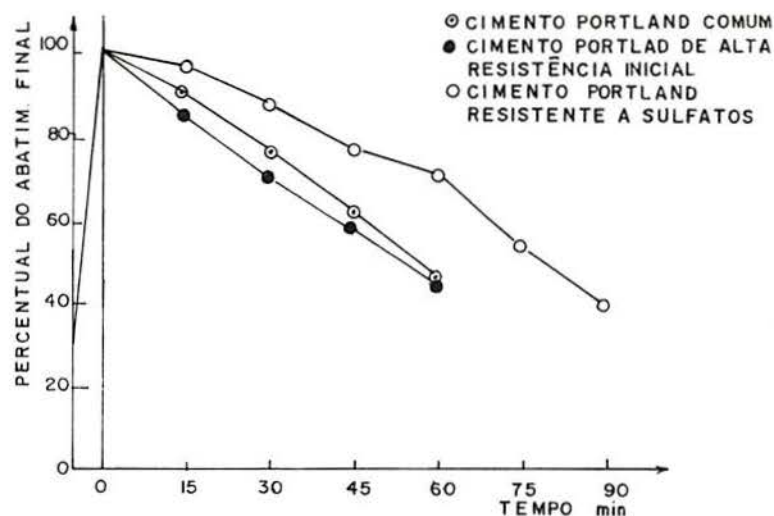


FIGURA 3.15 - Efeito do Tipo de Cimento na Perda do Abatimento do Tronco de Cone (MAILVAGANAN<sup>(67)</sup>)

Confirmando a afirmação de RIXOM<sup>(66)</sup> e ONOFREI et al<sup>(66)</sup> de que cimentos com menor teor de alumina permitem dosagens inferiores de aditivo para a mesma consistência. Ao mesmo tempo, MAILVAGANAN<sup>(67)</sup> ao estudar quatro misturas de concreto com cimentos Portland Comum, mas de diferentes conteúdos de C<sub>3</sub>A, verificou que a perda do abatimento com o tempo manteve-se praticamente constante.

Com efeito, HANNA et al<sup>(48)</sup>, apesar de confirmarem a hipótese inicial de aumento da perda da consistência para as misturas com maior teor de alumina, salientam que esta relação é aproximada. Observam que melhor conclusão sobre o comportamento do superplastificante em relação ao tipo de cimento pode ser obtido considerando-se ambos os constituintes da fase intersticial - C<sub>3</sub>A e C<sub>4</sub>AF, assim como a finura do cimento. Propõem, então o chamado Fator de Fluidificação (Ff), dado por:

$$Ff = \mu \cdot C_{3A} + C_{4AF}$$

onde  $\mu$  é dado em função da superfície específica do cimento.

Quanto maior é o Fator de Fluidificação, pior é considerada a retenção da consistência de uma mistura. A partir de experimentos com treze tipos de cimentos diferentes, HANNA et al<sup>(48)</sup> concluíram que  $Ff \leq 20$  repercute em boa retenção da consistência e  $Ff \geq 30$  deficiente.

A influência do conteúdo de álcalis e sulfato do cimento no comportamento do concreto aditivado é extensivamente estudado por NAWA et al<sup>(83)</sup>. Como anteriormente comentado, a redução na viscosidade da pasta de cimento devido ao superplastificante depende essencialmente da quantidade de aditivo adsorvido sobre as fases silicatos. De acordo com NAWA et al<sup>(83)</sup>, o sulfato alcalino (combinação do sulfato com os álcalis) inibe a adsorção do superplastificante sobre as fases aluminatos, favorecendo, portanto, a adsorção sobre o  $C_3S$  e  $C_2S$ . Existe, porém uma concentração ótima de sulfato alcalino para a qual a viscosidade é mínima. Acima deste limite, o efeito é contrário, provavelmente devido a uma compressão na dupla camada elétrica<sup>(83)</sup>. ERLIN e HIME<sup>(39)</sup> apresentam ponto de vista semelhante.

Especificamente com relação ao conteúdo de  $SO_3$ , KHALIL e WARD<sup>(62)</sup>, confirmam existir uma faixa ótima para a qual a perda da consistência com o tempo é minimizada. Em seus experimentos, misturas cujo teor de  $SO_3$  foi ajustado, obtiveram vantagens de aproximadamente 20 minutos em comparação às amostras normais, na retenção da consistência.

#### e) Consumo de Cimento

O estudo da perda da consistência do concreto com o tempo relativamente ao consumo de cimento é prejudicada pela dificuldade em isolar-se este parâmetro da mistura. Conforme MAILVAGANAM<sup>(67)</sup>, vários fatores sobrepõem-se neste caso, tais como teor de argamassa e área superficial. Tenta-se justificar assim, a relativa contradição entre o ponto de vista de alguns pesquisadores.

Para MAILVAGANAM<sup>(67)</sup>, conforme figura 3.16, observa-se que a menor perda do abatimento coube ao consumo de cimento



intermediário, enquanto que o consumo menor corresponde a acelerada redução na consistência.

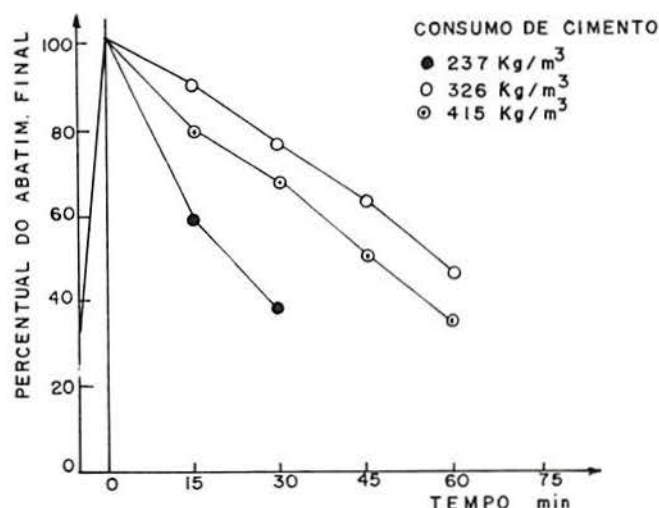


FIGURA 3.16 - Efeito do Conteúdo de Cimento na Perda do Abatimento (MAILVAGANAM<sup>(67)</sup>)

RAMACHANDRAN<sup>(82)</sup>, ao mesmo tempo, afirma que maiores proporções de cimento reduzem a velocidade com que a consistência do concreto diminui com o tempo.

Por outro lado, PERENCHIO et al<sup>(88)</sup>, obtiveram em seus estudos perdas de abatimento mais pronunciadas para as misturas mais ricas em cimento.

Quanto ao poder fluidificante do aditivo, normalmente atribui-se maior eficiência a misturas cujo consumo situe-se entre 300 e 450 Kg/m<sup>3</sup><sup>(103)</sup>.

#### f) Momento da Adição do Superplastificante

Considerando-se o fator da perda de consistência com o tempo, imagina-se que o superplastificante deva ser incorporado à mistura o mais próximo possível do momento da descarga do concreto<sup>(75,36,92,94)</sup>. No entanto, vários pesquisadores<sup>(111,94,28,112,107)</sup> têm ressaltado que adição retardada ocasiona maior valor inicial de consistência e menor perda desta com o tempo.

RAMACHANDRAN<sup>(81)</sup> explica que quando o superplastificante é adicionado à mistura juntamente com a água de amassamento, é fortemente adsorvido pelo C<sub>3</sub>A anidro. Desta forma, permanece no sistema quantidade insuficiente de aditivo capaz de promover dispersão entre as fases silicatos.

Como o C<sub>3</sub>A hidratado adsorve quantidades bem inferiores do produto, um atraso no momento de adição do superplastificante com respeito à água de amassamento, permite o desenvolvimento das rápidas reações iniciais de hidratação, basicamente entre o C<sub>3</sub>A e a gipsita, permanecendo então na fase aquosa suficiente teor de superplastificante.

COLLEPARDI<sup>(28)</sup> indica que período de espera superior a 5min implica em abatimento inferior ao valor esperado.

Ao mesmo tempo, PERENCHIO et al<sup>(88)</sup> afirmam que embora o período de perda da consistência aumente com o retardo da colocação do aditivo, principalmente para o período de 6 minutos, o incremento não é suficiente para ter significado prático.

#### g) Temperatura

Observa-se que a problemática da perda de consistência do concreto com o tempo é sensivelmente agravada em locais de clima quente. Este fenômeno tem levado ao desenvolvimento de vários estudos<sup>(88,112,47,62,24,100)</sup> quanto ao comportamento do concreto com superplastificante frente às condições térmicas, na tentativa de obter novos produtos plastificantes ou soluções executivas para o problema.

Para MAILVAGANAN<sup>(67)</sup>, o abatimento da mistura retorna ao valor de 100mm aos 90, 60 e 30min respectivamente para as temperaturas de 15,5; 22 e 32°C.

KHALIL e WARD<sup>(62)</sup>, atribuem este efeito a um encurtamento no período de indução e aumento na taxa das reações de hidratação. Ao comparar dados relativos a evolução do calor com o tempo, para misturas com SNF, observou que o calor total desenvolvido em 12 horas aos 25°C foi 87Joule/g e 191,7Joules/g aos 40°C, o que representa uma diferença de 120%.

#### h) Cinzas Volantes

A influência das cinzas volantes na efetividade dos aditivos superplastificantes não foi, até o momento, devidamente esclarecida.

Conforme RYAN e MUNN<sup>(100)</sup>, para proporções de até 40% de cinzas, o abatimento inicial e também sua perda com o tempo permanecem aproximadamente constantes.

Interessante observar que o valor de 40% corresponde justamente ao limite superior de adições pozolânicas permitida pela norma brasileira NBR-5736/86<sup>(10)</sup>.

Misturas isentas de cimento apresentam, porém abatimento inicial e perda da consistência com o tempo inferiores aos demais<sup>(71,83,100)</sup>.

Coerente com tal estudo, LANE e BEST<sup>(66)</sup> indicam que o pequeno efeito redutor de água apresentado pelo superplastificante em seus experimentos (15%) pode ser atribuído ao baixo conteúdo de cimento da mistura em relação a proporção de cinza.

Por outro lado, RIXOM<sup>(86)</sup> e KASAMI et al<sup>(61)</sup> afirmam que a ação dispersiva do superplastificante em misturas com cinzas é consideravelmente superior em comparação ao concreto normal.

Este efeito é ainda incrementado na medida em que utiliza-se cinzas com reduzida perda ao fogo<sup>(83,86)</sup>.

#### i) Alternativas para Redução da Perda de Consistência com o Tempo

A viabilidade de produção dos concretos de alta resistência ou concretos fluidos através de aditivos superplastificantes fica seriamente limitada pela perda de consistência com o tempo. A situação torna-se ainda mais crítica quando o concreto precisa ser transportado a longas distâncias, especialmente em climas quentes. No caso de pré-fabricação, o efeito pode ser desprezado.

Alguns procedimentos são comumente mencionados por diversos pesquisadores como forma de amenizar ou mesmo reestabelecer a consistência original.



Conforme abordado anteriormente, retardar o momento da adição do superplastificante tem-se mostrado muitas vezes efetivo<sup>(118)</sup>. Este procedimento, porém é inviável no caso de concretos com baixo fator água/cimento transportado em caminhão betoneira, pois representa um desgaste excessivo do equipamento<sup>(30)</sup>.

RAVINA e MOR<sup>(94)</sup> aconselham que a dosagem empregada seja superior à requerida, baseando-se no fato de que, por exemplo, o teor de 1% de SMF pode ser suficiente para manter a consistência até os 30 minutos, enquanto que 3% é capaz de mantê-la além de 90 minutos. EDMEADES e HEWLETT<sup>(35)</sup>, salientam porém que segregação e exsudação podem resultar de uma superdosagem.

Neste caso, o teor ideal de aditivo deve ser determinado com o conhecimento prévio das condições climáticas, tipo de cimento, proporções e tempo de mistura<sup>(94)</sup>.

A redosagem, uma ou várias vezes, ao longo do período de produção do concreto parece ser uma prática bastante difundida junto aos consumidores destes aditivos.

Vários pesquisadores<sup>(118,57,49,59,92,67)</sup> têm estudado tal metodologia. Alguns<sup>(118,67,30)</sup>, no entanto, afirmam que a redosagem não é uma prática recomendável, uma vez que a consistência resultante é de difícil previsibilidade, podendo, muitas vezes, acarretar segregação e/ou exsudação.

A adição de algum tipo de retardador na formulação do superplastificante, normalmente mostra-se eficiente na retenção da trabalhabilidade<sup>(92,47,32)</sup>, porém o prolongamento do tempo de início de pega pode acarretar certos problemas de produção<sup>(67)</sup>.

Esforços tem sido feitos para o desenvolvimento de novos aditivos superplastificantes, alguns dos quais têm mostrado resultados satisfatórios<sup>(57,96,61,19,78)</sup>.

### 3.2.5.3. Segregação

Um concreto de boa qualidade não deve apresentar segregação. Certamente o nível de resistência que a mistura necessita, de forma a manter os agregados em uma massa

homogênea, está vinculado às condições de execução do concreto em obra.

Na prática, as principais causas da segregação estão relacionadas à distribuição granulométrica dos agregados e massas específicas excessivamente distintas<sup>(45)</sup>.

Freqüentemente menciona-se na literatura<sup>(76,102,95,92)</sup>, a segregação quando o aditivo superplastificante é utilizado para a obtenção de concretos fluidos. No caso de utilizar-se como redutor de água, parece que o efeito dispersante equilibra a redução no volume de água, mantendo o nível de segregação praticamente constante.

A determinação quantitativa da segregação de uma mistura é de difícil obtenção<sup>(32,84,26)</sup>, ao contrário da análise qualitativa.

COLLEPARDI<sup>(26)</sup>, na tentativa de considerar esta propriedade na análise da trabalhabilidade do concreto, desenvolveu o índice de reoplasticidade e o conceito de concreto reoplástico.

Reoplástico é o concreto que, além de fluido é também coesivo, plástico, não segregável e com relativamente baixa exsudação. Tal mistura é avaliada através do índice de reoplasticidade, definido como segue:

$$RPI = \frac{1}{\int_{S=20}^{S=220} B \, dS}$$

onde B representa a exsudação e S o abatimento, limitado entre 20 e 220mm. Na prática, prepara-se uma série de concretos de diferentes relações água/cimento, mantendo-se os demais parâmetros constantes. Determina-se o abatimento e a exsudação das misturas. Plota-se os resultados em um gráfico, do qual obtém-se o valor da integral.

Quantitativamente este concreto fica restrito a concretos com abatimento superior a 200mm e capacidade de exsudação menor do que  $2 \times 10^{-3}$ , ou seja, índice de



reoplasticidade maior do que  $40\text{cm}^{-1}$ . Assim, COLLEPARDI<sup>(26)</sup> tomou a exsudação como medida indireta da segregação mesmo que nem sempre exista uma correlação constante entre eles<sup>(76)</sup>.

De modo geral, alguns pesquisadores<sup>(85,4)</sup>, recomendam aumentar a proporção de agregado fino da mistura, enquanto outros apontam que a quantidade de finos do concreto com aditivo (passante na #0,3mm) deve ser superior a  $400\text{Kg/m}^3$  quando os agregados apresentam dimensão máxima de  $38\text{mm}$ <sup>(92)</sup> e, pelo menos,  $450\text{Kg/m}^3$  quando apresentam  $20\text{mm}$ <sup>(28)</sup>.

Neste aspecto, a presença de cinzas volantes tende a reduzir a tendência à segregação da mistura, devido a forma arredondada das partículas<sup>(5)</sup>.

#### 3.2.5.4. Exsudação

Considera-se a exsudação como um caso particular da segregação. Quando os constituintes sólidos da mistura mostram-se incapazes de fixar todo o volume de água envolvido no traço, parte desta eleva-se na superfície do concreto recém lançado.

Os efeitos do superplastificante mencionados para a segregação permanecem no que diz respeito à exsudação, ou seja, quando ele é utilizado como redutor de água a exsudação tende a diminuir e quando utilizado como fluidificante tende a aumentar<sup>(92,85,32)</sup>.

Com efeito, RAVINDRA e YAP<sup>(95)</sup> confirmam os ensaios desenvolvidos por outros pesquisadores de que concretos fluidos com superplastificantes apresentam exsudação superior aos concretos convencionais e ainda, a exsudação aumenta na medida em que eleva-se o teor de aditivo empregado. A relação, no entanto, não é linear, verifica-se que o incremento na exsudação é bem superior ao aumento do teor de aditivo.

A exsudação depende basicamente das propriedades do cimento<sup>(101,32)</sup>, em especial da finura, conteúdo de álcalis e  $\text{C}_3\text{A}$ <sup>(84,85)</sup>. Na medida em que eles aumentam, a exsudação tende a decrescer. Um acréscimo na finura da areia<sup>(92,85)</sup> e emprego de material pozolânico<sup>(84)</sup> também contribui.



### 3.2.5.5. Tempo de Pega

Geralmente os superplastificantes retardam o tempo de pega do concreto, tanto inicial quanto final<sup>(92,28,111,72,97,88,59,112,56)</sup>. Alguns pesquisadores<sup>(97,88,111)</sup> indicam, contudo que o atraso está dentro de limites razoáveis, não ocasionando problemas relevantes.

A norma ASTM C-494<sup>(7)</sup> permite que o período de pega seja antecipado em 1h ou atrasado em 1h e 30min comparativamente à amostra sem superplastificante, tanto para o tempo de início quanto fim de pega.

Conforme RYAN e MUNN<sup>(100)</sup>, freqüentemente estuda-se o teor e tipo de aditivo mais conveniente para determinada obra, de forma que o tempo de pega respeite a normalização, em laboratórios cuja temperatura situa-se na faixa dos 23°C. Quando de sua efetiva utilização, no entanto, observa-se alterações neste período de tempo devido à variabilidade térmica. Quanto menor a temperatura, mais significativo é o atraso observado.

A extensão do retardo depende fundamentalmente do tipo e dosagem do superplastificante, além da temperatura<sup>(92)</sup>.

Alguns pesquisadores<sup>(111,72,59)</sup> salientam que o SNF e, principalmente os Lignosulfonatos Modificados afetam o tempo de pega em proporção bem superior que o SMF.

No que diz respeito a dosagem dos aditivos, o retardo no período de pega é justamente um dos grandes problemas acarretado pela utilização da superdosagem como forma de reduzir a perda de consistência da mistura com o tempo.

### 3.2.5.6. Ar Incorporado

Os superplastificantes, em geral, aumentam o teor de ar incorporado das misturas de concreto.

Observa-se que o SMF em proporção inferior comparativamente aos demais aditivos<sup>(92,88,28,112)</sup>.

No caso dos concretos fluidos, as bolhas de ar tendem a migrar até a superfície e desprender-se<sup>(92)</sup>. Com efeito,

JOHNSTON et al<sup>(59)</sup>, referem-se a dificuldade de medição do ar incorporado, pois o volume de bolhas muda constantemente ao longo da primeira hora.

COLLEPARDI<sup>(28)</sup> menciona que para proporções normais de SNF ou SMF, pode-se obter de 2 a 4% de ar incorporado e, para dosagens elevadas, teores acima de 9%.

Interessante observar que este aumento no volume de ar incorporado não capacita o superplastificante a funcionar também como incorporador de ar, com função de resistir aos esforços da ação gelo/degelo nos países frios. O superplastificante tende a agrupar pequenas bolhas de ar em bolhas de maior dimensão<sup>(92,28)</sup>, inclusive aquelas provenientes da adição de um agente incorporador de ar.

### 3.3. SOBRE O CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

A maior parte das pesquisas, ao abordar os efeitos dos superplastificantes sobre o concreto endurecido, enfoca a resistência à compressão. As demais propriedades são referidas de forma um tanto quanto superficial, com exceção da ação gelo/degelo, que apresenta, porém, pouco significado para as condições brasileiras.

#### 3.3.1. Resistência à Compressão

Na tecnologia do concreto, a resistência à compressão é, sem dúvida, a propriedade mais difundida e, muitas vezes, a única especificada pelos engenheiros de obra.

Ao empregar-se aditivos químicos, é válido questionar sua influência nas propriedades finais da mistura, em especial nesta propriedade.

Duas situações podem ser consideradas. Na primeira, com a utilização do superplastificante como agente fluidificante, espera-se que a resistência em determinada idade seja equivalente ao concreto sem aditivo, tal qual a lei de Abrams, uma vez que o fator água/cimento não foi alterado e, na segunda, pelo emprego do superplastificante como redutor de



água, espera-se que o ganho em resistência corresponda, pelo menos, à redução de água alcançada, novamente de acordo com a lei de Abrams.

Dentre os diversos estudos desenvolvidos sobre o assunto, observa-se que os pesquisadores não são unânimes quanto ao efeito do superplastificante na resistência à compressão do concreto. Para alguns, a resistência se mantém, para outros aumenta e para os demais, diminui em relação à mistura padrão, ou seja, de mesmo fator água/cimento, sem aditivo.

Parece, no entanto, que o desenvolvimento de pesquisas com aditivos de diferentes procedências dificulta a obtenção de informações conclusivas sobre o assunto e pode-se dizer que a variável "fabricante do produto" influi sobremaneira nos resultados finais.

HEWLETT<sup>(54)</sup> e outros pesquisadores<sup>(22,24,88)</sup> apontam que a evolução da resistência do concreto com o tempo, assim como sua relação com o fator água/cimento não apresentam alterações ao empregar-se aditivos superplastificantes, desenvolvendo-se normalmente tal qual a mistura de controle.

RAVINDRA e YAP<sup>(95)</sup>, no entanto, para corpos de prova rompidos em diversas idades entre 3 e 90 dias, elaborados com quatro tipos de formulações químicas e oito fabricantes diferentes, obtiveram valores de resistência à compressão variando entre -3 e +6% em relação à mistura de controle. Comentam que tais diferenças são pequenas e, em termos práticos, podem ser desprezadas.

Estudos similares desenvolvidos por ROBERTS e ADDERSON<sup>(98)</sup>, para nove tipos de superplastificantes e idades de ruptura variando entre 7 dias e 2 anos mostram diferenças nos valores de resistência à compressão da ordem de -6 e +11% em relação ao concreto padrão. Neste estudo, apenas uma amostra, contendo um tipo de Lignosulfonado Modificado, apresentou acentuada queda com relação ao valor esperado de resistência, comportamento este atribuído ao significativo retardo de pega e aumento no teor de ar incorporado observado.



Outros pesquisadores<sup>(27,70,4,92,59)</sup> indicam, porém que concretos com aditivos superplastificantes exibem valores de resistência à compressão superiores ao correspondente concreto padrão.

MALHOTRA<sup>(70)</sup> afirma que tal aditivo afeta o processo de hidratação da mistura ao apresentar incrementos da ordem de 10 e 18% na idade de 28 dias, respectivamente para o SMF e SNF e 15 e 13% aos 365 dias.

COLLEPARDI e CORRADI<sup>(29)</sup> salientam que o nível de incremento da resistência depende do tipo de aditivo e cimento empregado. Reforçando o ponto de vista de JOHNSTON et al<sup>(59)</sup>, que vinculam os ganhos de resistência fundamentalmente ao nível de dispersão da pasta, proporcionado pelo aditivo.

Com relação à base química do superplastificante JOHNSTON et al<sup>(59)</sup> afirmam que o SMF produz significativo ganho de resistência em todas as idades, enquanto o SNF apresenta incrementos que tendem a desaparecer com o tempo. A este respeito, COLLEPARDI<sup>(28)</sup> menciona apenas que, de modo geral, o aditivo a base de melamina parece resultar em valores de resistência superiores ao de base naftaleno.

Contrário aos estudos mencionados, JERATH e YAMANE<sup>(58)</sup> observaram decréscimos nos valores de resistência à compressão da ordem de 1 a 19%, para diferentes misturas com SNF nos teores de 1 e 2%, exceto para uma única amostra. Novamente, este comportamento foi atribuído ao aumento no conteúdo de ar incorporado na mistura de concreto aditivada.

Quanto à resistência inicial (até 24 horas) parece haver consenso<sup>(98,95,27,28)</sup> de que ocorre certa redução comparativamente ao concreto padrão, principalmente em baixas temperaturas, atribuídas ao relativo retardo no tempo de pega e aumento no conteúdo de ar incorporado.

Salienta-se que conforme o teor de aditivo empregado, pode-se passar de uma amostra de resistência superior à padrão para inferior à esta. COLLEPARDI<sup>(28)</sup>, ERIKSEN e NEPPER<sup>(38)</sup> comentam que este efeito é especialmente significativo nas baixas idades (até 24 horas). A análise do comportamento de determinado produto deve levar em consideração, portanto se o

aditivo foi empregado em dosagens inseridas na faixa recomendada pelo fabricante ou em teores mais elevados.

A utilização de cinzas volantes com relação à resistência à compressão de concretos aditivados foi investigada por COLLEPARDI et al<sup>(31)</sup> de forma bastante interessante. Neste trabalho, utilizou-se os aditivos SMF e SNF nos teores de 2 e 4%, consumos de cimento de 255, 300, 340 e 400Kg/m<sup>3</sup> e as idades de 1, 7 e 28 dias para ruptura.

COLLEPARDI et al<sup>(31)</sup> observaram que, em geral, o SNF é mais efetivo como redutor de água que o SMF, ou seja, permite maior redução do fator água/cimento. Os resultados de ruptura dos corpos de prova correspondentes ao aditivo SNF, no entanto, mostram-se sempre inferiores, para todas as idades de ruptura e consumos de cimento, que os resultados referentes ao SMF, redução esta da ordem de 5MPa em qualquer idade.

Os autores não apresentam dados com relação ao teor de ar incorporado nas misturas e atribuem o efeito mencionado à ação retardante do SNF sobre a hidratação do cimento.

Como a presença de cinzas interfere no desenvolvimento das reações de hidratação, tornando-o mais gradual, é de se esperar que, de alguma forma, este efeito some-se à ação retardante do SNF.

Os autores mencionados não elaboraram misturas correspondentes sem a presença de cinzas volantes, que permitissem informações mais conclusivas.

COLLEPARDI et al<sup>(31)</sup> ao aumentarem o teor de aditivo de 2 para 4%, conservando-se o abatimento da mistura, obtiveram reduções no fator água/cimento. O conseqüente aumento de resistência à compressão foi observado apenas para as misturas com 340 e 400 Kg/m<sup>3</sup> de cimento, para ambos os aditivos, exceto na idade de um dia, onde principalmente o SNF apresentou decréscimo de resistência.

Quanto aos consumos de 255 e 300 Kg/m<sup>3</sup> de cimento, apesar da redução no fator água/cimento proporcionado pela passagem de 2 para 4% no teor de aditivo, observou-se redução nos valores de resistência à compressão, para todas as idades e tipos de aditivos.



#### 4. TRABALHO EXPERIMENTAL

Os estudos desenvolvidos a nível nacional sobre o funcionamento dos aditivos superplastificantes em concretos, com os produtos efetivamente comercializados no Brasil, são escassos. A situação torna-se ainda mais crítica na região sul do país, onde dispõem-se quase que exclusivamente de cimento Portland Pozolânico.

Neste trabalho, procurou-se avaliar questões consideradas fundamentais na tecnologia do concreto, como trabalhabilidade, resistência à compressão e consumo de cimento. Optou-se, portanto, por desenvolver um estudo mais abrangente, principalmente por tratar-se de cimento Portland Pozolânico, e não específico a um determinado aspecto tecnológico.

Os ensaios de laboratório foram desenvolvidos em duas etapas.

Na primeira, procurou-se escolher o superplastificante de melhor desempenho em termos de fluidez a partir de dois fabricantes diferentes e o teor de aditivo mais indicado para determinado fator água/cimento. Para tal, empregou-se o ensaio de mini-abatimento, realizado sobre a pasta de cimento.

Na segunda etapa, tendo definida a dosagem de aditivo a ser empregada em cada traço e o fabricante de melhor desempenho frente às condições de contorno estabelecidas, desenvolveram-se os demais ensaios, agora com misturas de concreto.

Procurou-se avaliar, nesta etapa, as seguintes questões:



- evolução da consistência do concreto ao longo do tempo para diferentes fatores água/cimento;
- evolução da resistência à compressão do concreto para diversas idades e relações água/cimento;
- utilização de superplastificante como redutor do consumo de cimento para diversos fatores água/cimento.

Não se procurou enfatizar nenhuma das possíveis formas de emprego dos superplastificantes, quer como redutor de água, quer como fluidificante, quer como redutor do consumo de cimento, mas sim avaliar os seguintes pontos:

- a equivalência dos resultados de resistência à compressão de uma mistura de concreto, com e sem superplastificante;
- a viabilidade da utilização em obra de concretos aditivados tendo em vista sua perda de consistência com o tempo;
- a relevância de possíveis reduções no consumo de cimento, no caso, Portland Pozolânico.

#### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais empregados no presente estudo encontram-se relacionados abaixo. As respectivas caracterizações químicas e físicas, no entanto, são apresentadas no Anexo 1.

- Cimento Portland Pozolânico - POZ-32;
- Aditivo Superplastificante - Fabricantes 1 e 2 a base de Condensado de Formaldeído Naftaleno Sulfonado;
- Areia de rio;
- Brita Basáltica.

## 4.2. METODOLOGIA DOS ENSAIOS PARA ESTUDO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

A seguir descreve-se os procedimentos adotados no desenvolvimento de cada um dos ensaios realizados, de forma a permitir que reproduções sejam feitas ou novos experimentos, que dêem continuidade ao trabalho já elaborado.

### 4.2.1. Poder Fluidificante do Aditivo ao Longo do Tempo e Influência da Temperatura

No estudo dos aditivos superplastificantes, o ensaio de mini-abatimento, desenvolvido por KANTRO<sup>(60)</sup>, tem sido freqüentemente utilizado como forma de avaliar a fluidez de pastas de cimento<sup>(50,23,29)</sup>.

Tal método envolve reduzida amostra de material e equipamento simplificado, o que o torna bem mais atraente do que ensaios equivalentes com concreto. KANTRO baseia-se nos estudos de TATTERSALL, que admite existir razoável correlação entre a trabalhabilidade do concreto e da pasta de cimento.

Assim, utiliza-se o ensaio de mini-abatimento como forma de pré-qualificação dos aditivos no que diz respeito ao seu poder fluidificante e a evolução deste com o tempo.

O molde tronco-cônico proposto é similar ao cone de Abrams, sendo, no entanto, proporcionalmente menor. As dimensões são as seguintes:

- diâmetro inferior de 40mm;
- diâmetro superior de 20mm;
- altura de 60mm.

O material para sua confecção pode ser acrílico ou aço inoxidável, sendo este último o adotado no presente estudo.

Na figura 4.1, observa-se que o molde apresenta uma saliência lateral que destina-se a coletar o excesso de material quando do rasamento da superfície.

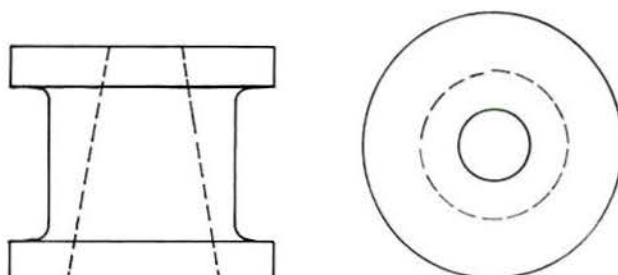


FIGURA 4.1 - Molde Tronco-Cônico

Para a compactação utiliza-se uma haste de aço lisa de 54mm de diâmetro e 250mm de comprimento.

O ensaio é executado sobre uma placa de vidro plana de 1000\*500\*5mm previamente nivelada. Sobre esta, fixa-se papel milimetrado, numerado com as devidas escalas de leitura, tendo no encontro dos eixos, desenhado o círculo correspondente à base inferior do molde para o correto posicionamento deste (figura 4.2).

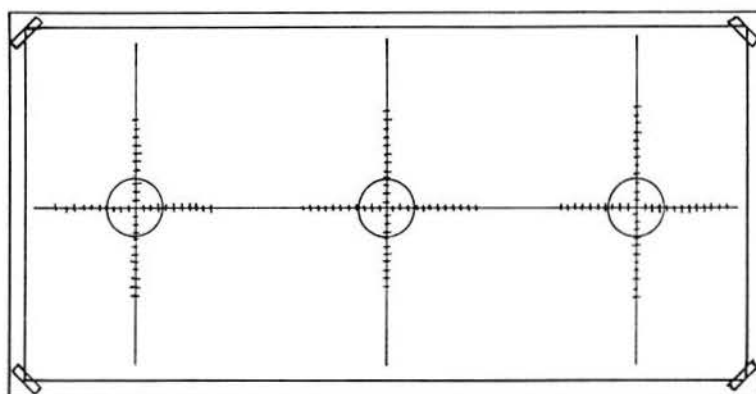


FIGURA 4.2 - Placa de Vidro com Papel Milimetrado

O ensaio de mini-abatimento permite determinar a área resultante do espalhamento de uma amostra de pasta de cimento quando da retirada do molde tronco-cônico. A metodologia de ensaio empregada é descrita a seguir:



1. Pesagem dos Materiais:

- \* cimento - quantidade equivalente ao preenchimento de quatro moldes tronco-cônicos;
- \* água - quantidade obtida em função do fator água/cimento, descontando-se a quantidade de aditivo empregada;
- \* aditivo - quantidade de acordo com a dosagem estabelecida, referida ao peso de cimento.

Realizou-se a pesagem dos materiais em balança eletrônica com precisão de 50mg na véspera do ensaio. Os materiais, desta forma, permaneceram 24 horas, no local de execução do trabalho, na temperatura e umidade requeridas.

2. mistura do cimento com a água, sendo o aditivo diluído nos últimos 30% desta. A operação desenvolve-se continuamente por 4 minutos, de forma manual e enérgica.
3. leitura dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido para posterior determinação da umidade relativa do ar e temperatura.
4. molhagem e secagem do molde de tronco de cone.
5. posicionamento do molde tronco-cônico sobre a placa de vidro, orientando-se pelo círculo de referência.
6. preenchimento do molde tronco-cônico em uma camada.
7. compactação com 10 golpes.
8. nivelamento do topo do molde com uma espátula.
9. retirada do molde tronco-cônico em aproximadamente 5 segundos e, após um minuto, leitura dos quatro raios na direção dos eixos desenhados sobre o papel milimetrado.
10. lavagem e secagem do molde de tronco de cone e repetição dos passos 5, 6, 7, 8 e 9 para a segunda determinação de raios.
11. lavagem e secagem do molde de tronco de cone e repetição dos passos 5, 6, 7, 8 e 9 para a terceira determinação de raios.
12. leitura da temperatura ambiente.

13. recolhimento da pasta com uma espátula para o recipiente inicial.
14. repouso da pasta até que se complete 13 minutos a partir do fim do tempo de mistura.
15. remistura de 2 minutos, de forma manual e enérgica.
16. repetição dos passos 4 até 15.

A determinação dos raios é executada a cada 15 minutos por um período de 1 hora e 30 minutos, ou seja, aos 0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 minutos. A fluidez correspondente a cada período de 15 minutos é função da média de três leituras. Para tal, procurou-se ensaiar no menor espaço de tempo possível as respectivas amostras.

Buscou-se através do ensaio de mini-abatimento em pastas de cimento avaliar, além da fluidez e sua perda com o tempo, a influência da temperatura nos resultados. Assim, os ensaios foram realizados em câmara climatizada nas seguintes faixas de temperatura:

$$T1 = 15,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$$

$$T2 = 20,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$$

Inicialmente, tencionava-se extrapolar a temperatura superior para uma faixa em torno dos  $30^{\circ}\text{C}$ , por conhecer-se de antemão os problemas oriundos da utilização de superplastificantes em climas quentes - análise importante tendo em vista a condição de verão do Brasil. Não foi possível, no entanto, devido a problemas técnicos na câmara climatizada utilizada.

A temperatura de  $20,5^{\circ}\text{C}$  foi estipulada em função da temperatura média em laboratório de concreto, onde desenvolveram-se os demais ensaios.

Quanto aos fatores água/cimento, adotou-se 0,35; 0,5 e 0,65, de forma a abranger uma faixa razoável de resistências à compressão do concreto.

No caso das dosagens de superplastificante, escolheu-se 1%; 1,5%; 2% e 2,5% em relação ao peso de cimento, onde

procurou-se extrapolar superior e inferiormente a faixa recomendada por ambos os fabricantes.

Resumidamente, a tabela 4.1 indica as variáveis envolvidas no estudo da fluidez pelo método do mini-abatimento.

TABELA 4.1 - Variáveis Envolvidas na Análise do Poder Fluidificante do Aditivo ao Longo do Tempo e Influência da Temperatura

FABRICANTE	TEOR DE ADIT. (%)	FATOR a/c	TEMPERATURA	TEMPOS (min)
F1	0	0,35	T1	0
	1			15
				30
F2	1,5	0,5	T2	45
	2			60
				75
	2,5			90

#### 4.2.2. Evolução da Trabalhabilidade do Concreto ao Longo do Tempo

Apesar de todas as críticas que o ensaio de abatimento do tronco de cone, proposto por Abrams e normalizado conforme a NBR 7223/82<sup>(12)</sup> tem recebido, é inquestionável a grande difusão que apresenta no meio técnico. Este fato permite que análises comparativas entre estudos de diferentes procedências sejam feitas.

Adotou-se, por conseguinte, o ensaio de abatimento do tronco de cone como forma de avaliar a consistência do concreto em diferentes períodos de tempo, fornecendo um indicativo da evolução da trabalhabilidade da mistura com e sem aditivo superplastificante.

Os traços utilizados foram determinados pelo método de dosagem EPUSP-IPT<sup>(108)</sup> e encontram-se resumidos no Anexo 2.



Para a operação de mistura, utilizou-se betoneira de eixo vertical com capacidade efetiva de 40l.

Na tentativa de simular as mesmas condições de ensaio do mini-abatimento, adotou-se o mesmo tempo de mistura e remistura do material, os mesmos períodos de coleta dos resultados, ou seja, 15 minutos e ainda, entre os momentos de remistura, a betoneira permaneceu em repouso, da mesma forma que a pasta de cimento.

O procedimento de colocação, com a betoneira em movimento, e mistura dos materiais foi o seguinte:

- Tempo Inicial = 0 minutos
  - 100% da brita
  - 30% da água
  - 100% do cimento
  - 30% da água
- Tempo Acumulado = 1 minuto
  - 100% do superplastificante diluído em 20% da água
- Tempo Acumulado = 2 minutos
  - 100% da areia
  - 20% restante da água
- Tempo Acumulado = 4 minutos

Transcorrido o período de mistura (4 minutos), determina-se o abatimento.

A seguir, a cada 15 minutos, contados a partir do instante inicial de colocação dos materiais, faz-se nova determinação, por um período de 60 minutos, totalizando cinco resultados de abatimento médio por mistura de concreto.

Como a betoneira permanece em repouso nos períodos intermediários, o concreto é remisturado por 2 minutos antes de cada novo ensaio.

Tendo em vista a variabilidade intrínseca do ensaio de abatimento do tronco de cone, cada traço foi executado duas vezes, de forma a obter-se o abatimento médio do concreto, correspondente a cada período de tempo.

As variáveis envolvidas nesta etapa encontram-se na tabela 4.2 apresentada a seguir:

TABELA 4.2 - Variáveis Envolvidas na Análise da Evolução da Trabalhabilidade do Concreto ao Longo do Tempo

FABRICANTE	TEOR DE ADIT. (%)	FATOR a/c	TEMPERATURA	TEMPOS (min)
F1	0	0,35	T2	0
	1			15
	1,5	0,5		30
	2	0,65		45
	2,5			60

#### 4.2.3. Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo

Os ensaios de resistência à compressão do concreto foram conduzidos de acordo com a norma NBR 5738/84<sup>(14)</sup> no que diz respeito às etapas de moldagem e cura dos corpos de prova e de acordo com a NBR 5739/80<sup>(13)</sup> com relação à fase de ruptura.

Tendo em vista a limitação de carga da prensa disponível, uma vez que parte das misturas referem-se ao fator água/cimento 0,35, e a quantidade de concreto necessária a elaboração dos ensaios, utilizou-se corpos de prova cilíndricos de dimensões reduzidas, que são as seguintes:

- diâmetro: 95mm
- altura: 190mm

A operação de compactação em corpos de prova diferentes do tamanho padrão é referida na NBR 5738/84<sup>(14)</sup>, de onde resulta a moldagem em duas camadas com doze golpes cada.

Os traços de concreto empregados foram os mesmos da fase anterior, elaborados a partir do método de dosagem EPUSP-IPT<sup>(108)</sup>, os quais encontram-se no Anexo 2.

Para a operação de mistura, utilizou-se betoneira de eixo vertical com capacidade efetiva de 40l.

A ordem de colocação dos materiais na betoneira e tempos de mistura seguem procedimento idêntico à fase referente ao ensaio de abatimento do tronco de cone, item 4.2.2.

Transcorrido o período inicial de quatro minutos de mistura, determina-se o abatimento de forma a verificar se este encontra-se dentro da faixa estipulada ( $70 \pm 15$ mm). Caso contrário, a amostra é rejeitada.

Com o objetivo de identificar possíveis variações na resistência à compressão do concreto quando da colocação do superplastificante, moldou-se corpos de prova para rompimento em diversas idades.

Para determinado fator água/cimento, a cada idade correspondem três corpos de prova piloto, sem aditivo, e três com aditivo, no teor indicado pelo método de abatimento do tronco de cone.

O valor da resistência à compressão de cada amostra provém da média dos três resultados mencionados.

Na tabela 4.3 relacionam-se as variáveis envolvidas nesta etapa do trabalho.

TABELA 4.3 - Variáveis Envolvidas na Análise da Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo para o Fabricante 1

FABRICANTE	TEOR DE ADIT. (%)	FATOR a/c	IDADE (dias)	nº CORPOS DE PROVA
F1	0	0,35	3	03
	2,5		7	03
	0	0,5	28	03
	2,0		63	03
	0	0,65	91	03
	1,5		182	03



Cada traço envolve a moldagem de dezoito corpos de prova. Assim, a fim de garantir a representatividade dos resultados, optou-se por distribuí-los em três betonadas consecutivas da forma apresentada na tabela 4.4.

TABELA 4.4 - Distribuição dos Corpos de Prova

NOMERO DA BETONADA	IDADE DE RUPTURA (dias)					
	3	7	28	63	91	182
1ªBETONADA	CPI1	CPI2	CPI3	CPI4	CPI5	CPI6
2ªBETONADA	CPII1	CPII2	CPII3	CPII4	CPII5	CPII6
3ªBETONADA	CPIII1	CPIII2	CPIII3	CPIII4	CPIII5	CPIII6

Tendo em vista que o aditivo referente ao fabricante 2 encontra-se disponível no mercado, optou-se por verificar se acarreta alguma influência sobre a resistência à compressão do concreto, mesmo tendo sido descartado por apresentar piores resultados de fluidez de acordo com ensaio de mini-abatimento.

A análise, no entanto, refere-se apenas ao fator água/cimento intermediário para as idades de 7, 28 e 63 dias, conforme tabela 4.5.

Salienta-se que o aditivo de fabricante 2 foi empregado na mesma dosagem recomendada para o fabricante 1 e, possivelmente, esta não corresponda ao teor mais indicado para este produto.

TABELA 4.5 - Variáveis Envolvidas na Análise da Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo para o Fabricante 2

FABRICANTE	TEOR DE ADIT. (%)	FATOR a/c	IDADE (dias)	nº CORPOS DE PROVA
F2	0 2,0	0,5	7	03
			28	03
			63	03

#### 4.2.4. Utilização de Aditivos Superplastificantes como Redutores do Consumo de Cimento

Uma das possíveis utilizações dos aditivos superplastificantes é como redutores do consumo de cimento. Normalmente considera-se esta alternativa apenas como forma de obter-se vantagens econômicas sobre o custo do concreto. Cabe salientar, no entanto, que concretos com menores consumos deste material apresentam outras vantagens além desta e que, muitas vezes, podem ser mais relevantes.

Tal análise é especialmente interessante para concretos de relativamente baixos fatores água/cimento, cujos traços sem aditivo requerem elevados consumos de cimento para a obtenção de abatimentos razoáveis. Sem mencionar aqueles praticamente inviáveis quando isentos de superplastificante.

A parte do trabalho experimental em questão foi desenvolvida em três etapas, que são as seguintes:

- 1º) antes da colocação do aditivo, quando o concreto apresenta abatimento na faixa de  $70 \pm 15$ mm;
- 2º) quando da colocação do aditivo, onde eleva-se o abatimento;
- 3º) após a adição de areia e brita, quando o abatimento retorna ao valor inicial.

Em cada etapa citada moldaram-se três corpos de prova  $9,5 \times 19$ cm, após o que restituiu-se ao volume de concreto a quantidade de material correspondente aos corpos de prova confeccionados.

O ensaio desenvolveu-se em betoneira de eixo vertical com capacidade efetiva de 40l.

Os procedimentos de colocação e mistura, com a betoneira em movimento, dos materiais estão abaixo relacionados:

## FASE 1

- Tempo Inicial = 0 minutos
  - 100% da brita
  - 30% da água
  - 100% do cimento
  - 50% da água
- Tempo Acumulado = 2 minuto
  - 100% da areia
  - 20% restante da água
- Tempo Acumulado = 4 minutos
  - Determina-se a consistência através do ensaio de abatimento do tronco de cone.
  - Moldam-se três corpos de prova 9,5X19cm.

## FASE 2

- Tempo Inicial = 0 minutos
  - Adiciona-se brita, areia, cimento e água na quantidade correspondente aos três corpos de prova moldados e aditivo proporcionalmente ao conteúdo de cimento total, em peso, na seguinte ordem:
    - 100% da brita
    - 30% da água
    - 100% do cimento
    - 30% da água
- Tempo Acumulado = 1 minuto
  - 100% do superplastificante diluído em 20% da água
- Tempo Acumulado = 2 minutos
  - 100% da areia
  - 20% restante da água
- Tempo Acumulado = 4 minutos
  - Determina-se a consistência através do ensaio de abatimento do tronco de cone.
  - Moldam-se três corpos de prova 9,5X19cm.

## FASE 3

Adição de areia e brita até que o abatimento situe-se novamente na faixa de  $70 \pm 15$ mm, mantendo-se o teor de argamassa constante.



Moldam-se três corpos de prova 9,5X19cm.

As variáveis envolvidas no presente estudo encontram-se relacionadas na tabela 4.6.

TABELA 4.6 - Variáveis Envolvidas na Análise da Utilização dos Aditivos Superplastificantes como Redutores do Consumo de Cimento

FABRICANTE	TEOR DE ADIT. (%)	FATOR a/c	TEMPERATURA	nº CORPOS DE PROVA
F1	0	0,35	T2	03 - fase 1
	1			
	1,5	0,65		03 - fase 2
	2			03 - fase 3
2,5				

#### 4.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir, expõe-se os dados obtidos por ocasião da elaboração dos ensaios e analisa-se os resultados com base na revisão bibliográfica apresentada.

##### 4.3.1. Poder Fluidificante do Aditivo ao Longo do Tempo e Influência da Temperatura

Tendo em vista a necessidade de analisar certos parâmetros previamente ao ensaio de mini-abatimento propriamente dito, separou-se esta etapa em duas partes.

###### 4.3.1.1. Quanto ao Método de Ensaio

A operação de compactação da pasta de cimento, no ensaio de mini-abatimento, não é mencionada por KANTRO<sup>(60)</sup>.

Estudou-se a variabilidade entre os diâmetros de misturas compactadas com 10 e com 30 golpes, sendo cada amostra constituída de 30 exemplares. Desta forma, estabeleceu-se o número de golpes adequados à compactação.

Os valores obtidos encontram-se no Anexo 3, e os resultados finais na tabela 4.7.

TABELA 4.7 - Análise de Raios para Definição do Número de Golpes de Compactação

PARAMETROS ESTATÍSTICOS	NOMERO DE GOLPES	
	10	30
DIAMETRO MEDIO (mm)	74,60	70,77
DESVIO PADRÃO (mm)	9,04	11,61
COEF. VARIAÇÃO (%)	12,10	16,41

Amostra: Cimento Portland Pozolânico  
 Teor de Aditivo: 0%  
 Fator Agua/Cimento: 0,5  
 Temperatura: 12°C  
 U.R.: 75%

De forma a avaliar a igualdade estatística entre os diâmetros apresentados, elaborou-se provas de hipótese com respeito às médias, baseado no Caderno Técnico - CT - 30/81(82).

Resultou que compactar a pasta de cimento com 10 ou 30 golpes não ocasiona diferença significativa sobre os resultados de espalhamento.

Adotou-se, portanto, o número de 10 golpes para a operação de compactação.

Com relação ao preenchimento do molde tronco-cônico em apenas uma camada, considera-se este procedimento razoável, tendo em vista o reduzido volume de amostra envolvida no ensaio e a difícil visibilidade no interior do molde utilizado.

#### 4.3.1.2. Quanto aos Resultados Experimentais

O ensaio de mini-abatimento permite determinar a área resultante do espalhamento de uma amostra de pasta de cimento quando da retirada do molde tronco-cônico.

Tal área é calculada a partir dos raios apresentados no Anexo 4, no qual consta ainda, a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente correspondente a cada período de 1 hora e 30 minutos.

No Anexo 5, apresenta-se o diâmetro médio para cada amostra ensaiada, o diâmetro médio para cada período de 15 minutos (média de três amostras), o desvio padrão e o coeficiente de variação entre as amostras do mesmo período de 15 minutos, a temperatura ambiente e umidade relativa do ar para cada mistura (período de 1 hora e 30 minutos) e por fim, a fluidez.

A fluidez, neste caso, é representada pela área que a pasta de cimento ocupa sobre a placa de vidro um minuto após a retirada do molde tronco-cônico.

Para uma dada temperatura e fator água/cimento, procurou-se manter uma diferença máxima de 1°C entre os dois fabricantes de aditivo e entre estes e a mistura piloto (0%). Assim, para enquadrar-se dentro da faixa estabelecida, as seguintes dosagens precisaram ser refeitas:

- fabricante 2, de relação água/cimento 0,5 com 2% de aditivo aos  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ ;
- fabricante 1, de relação água/cimento 0,65 com 2% de aditivo aos  $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ ;
- fator água/cimento 0,5 isento de aditivo aos  $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ ;
- fabricante 1, de fator água/cimento 0,65 com 2,5% de aditivo aos  $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ .

As amostras descartadas e, conseqüentemente re-ensaiadas, encontram-se no final dos Anexos 4 e 5, sendo que a última mistura mencionada não foi re-avaliada devido a impossibilidade surgida em novamente alcançar a faixa de temperatura requerida na câmara climatizada ( $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ ).

Todos os diâmetros cujos coeficientes de variação superaram os 10% foram submetidos à análise de valores espúrios<sup>(B2)</sup>.



Dos vinte e um casos analisados, cinco mostraram-se efetivamente espúrios, sendo interessante observar que quatro deles referem-se ao fator água/cimento 0,65 a um ao fator água/cimento 0,35.

Com o objetivo de fornecer maiores informações a respeito dos coeficientes de variação das amostras ensaiadas elaborou-se histogramas, conforme apresentado na figura 4.3. Nestes, os valores espúrios não estão incluídos.

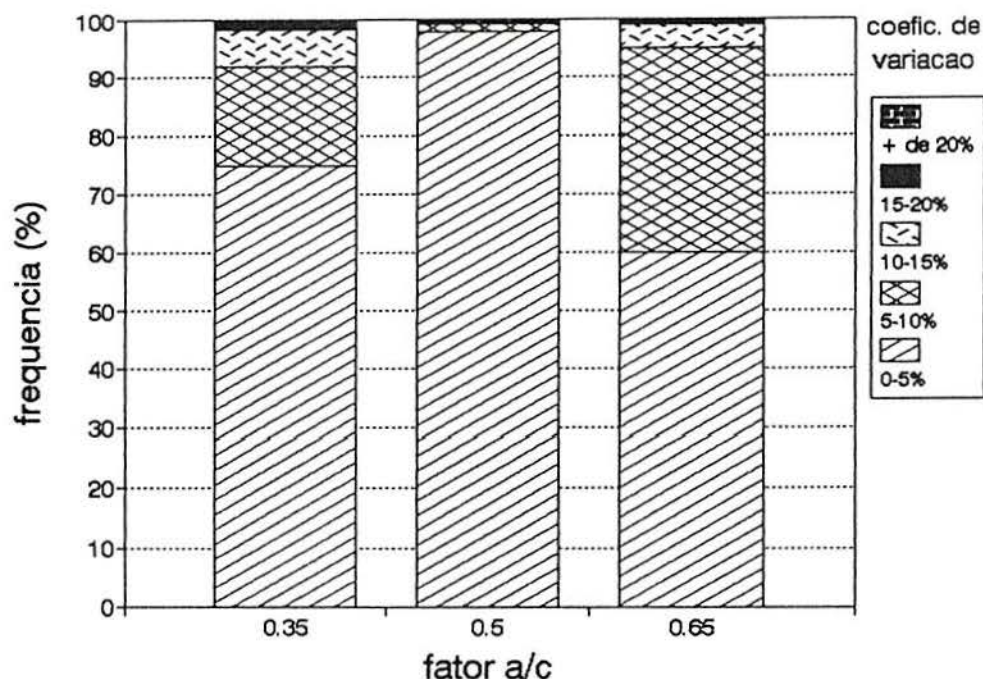


FIGURA 4.3 - Ensaio de Mini-Abatimento - Histogramas

Observa-se claramente, na figura 4.3, que a dispersão de resultados referente ao fator água/cimento 0,65 é bem superior às demais, com 60% dos coeficientes de variação entre 0 e 5%, enquanto que o fator água/cimento 0,35 e 0,5 apresentam respectivamente 74,8% e 97,9% dos coeficientes de variação menores que 5%.

Tais informações colaboram com a tendência observada na análise dos valores espúrios e com as impressões deixadas por ocasião dos ensaios de mini-abatimento.

Observa-se nas pastas menos fluidas certa dificuldade em preencher o molde tronco-cônico, mesmo com o auxílio dos

golpes de compactação previstos na metodologia de ensaio. Ora a pasta retorna junto à haste de socamento, ora a pasta não atravessa o diâmetro superior do molde, ora a pasta não se desprende do molde, total ou parcialmente, permanecendo no seu interior mesmo após a suspensão.

No caso de pastas com alta fluidez, observa-se grande segregação do material, a tal ponto que ao preencher-se o molde para a segunda e terceira determinação de raios de um mesmo período de tempo, a segregação já ocorreu, mascarando, então a verdadeira fluidez da pasta.

#### 4.3.1.2.1 - Ensaio de Mini-Abatimento - Resultados Iniciais

O ensaio de mini-abatimento permite estabelecer curvas que correlacionam área com o tempo, conforme mostra-se a seguir:

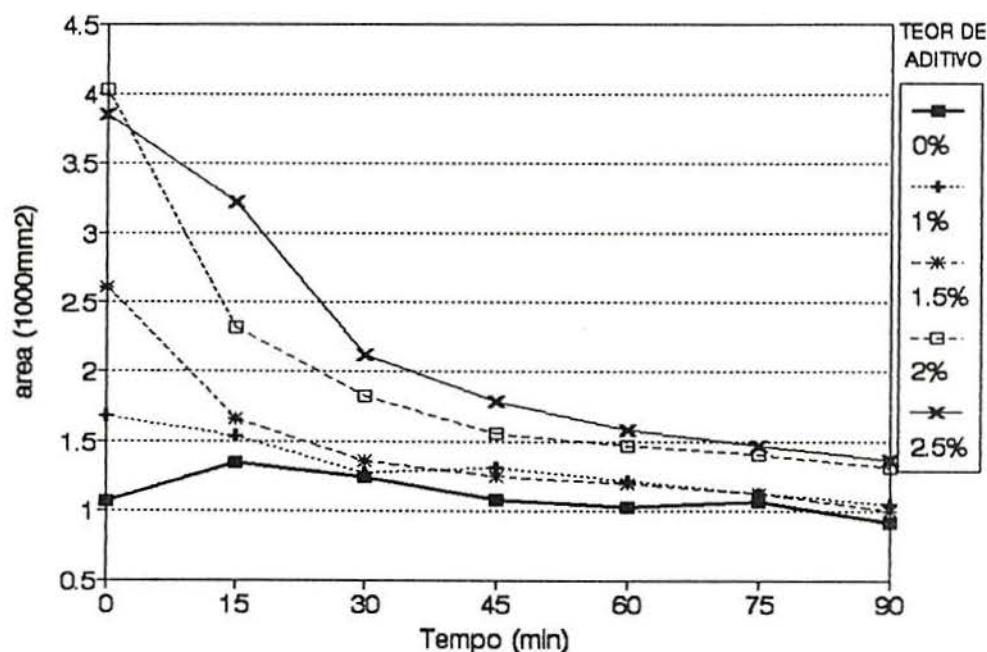


FIGURA 4.4 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,35, F1, 15,5±1,5°C

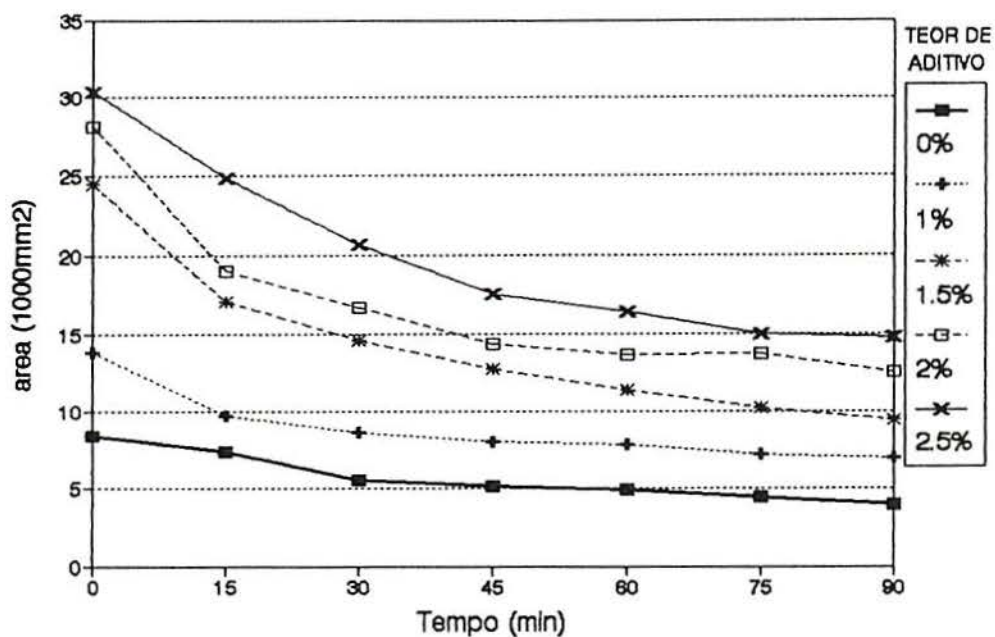


FIGURA 4.5 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,5 , F1, 15,5±1,5°C

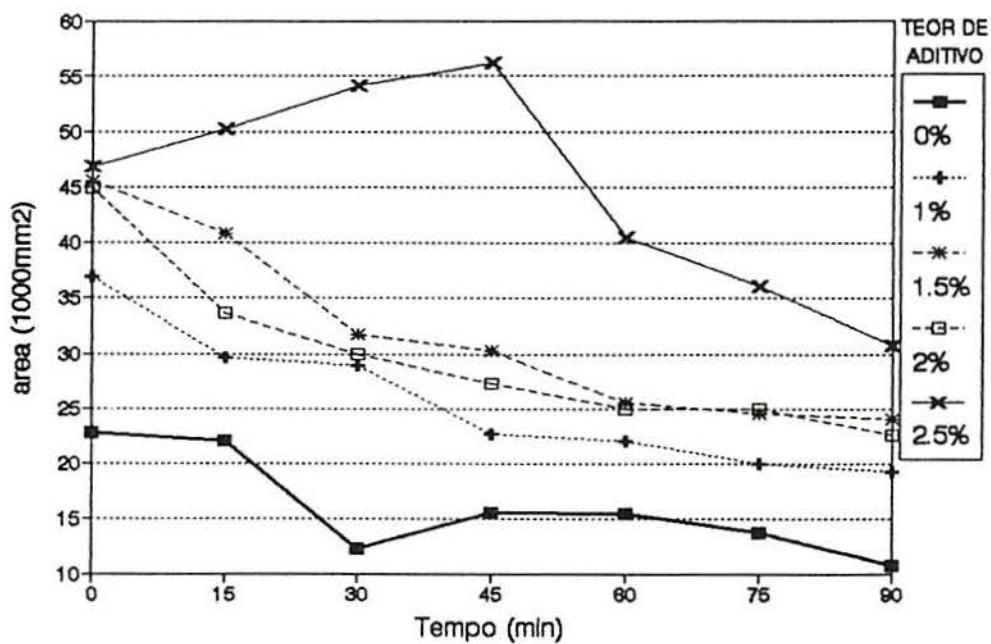


FIGURA 4.6 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,65, F1, 15,5±1,5°C



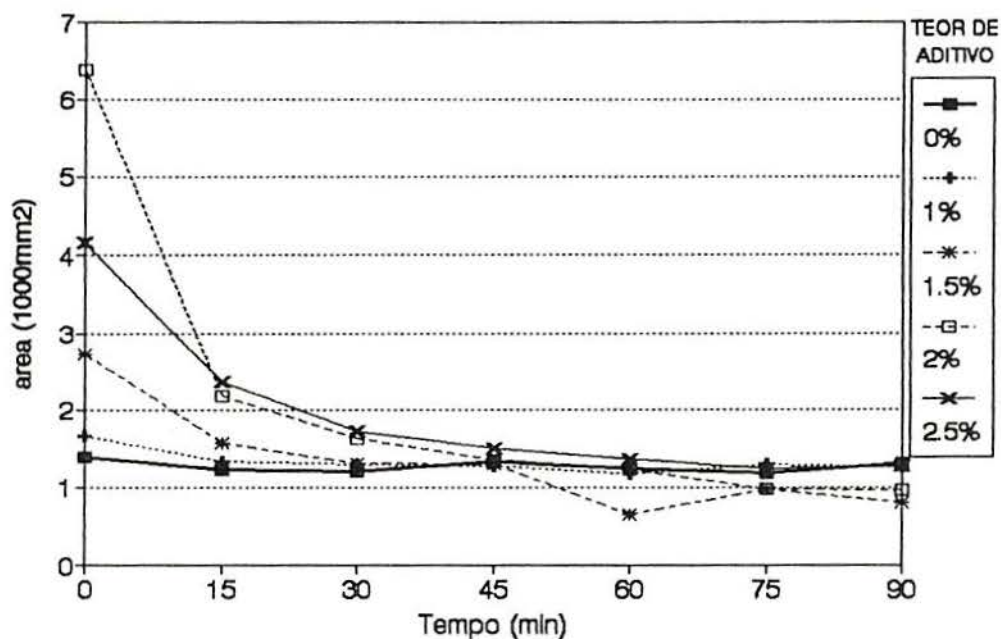


FIGURA 4.7 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,35, F1,  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$

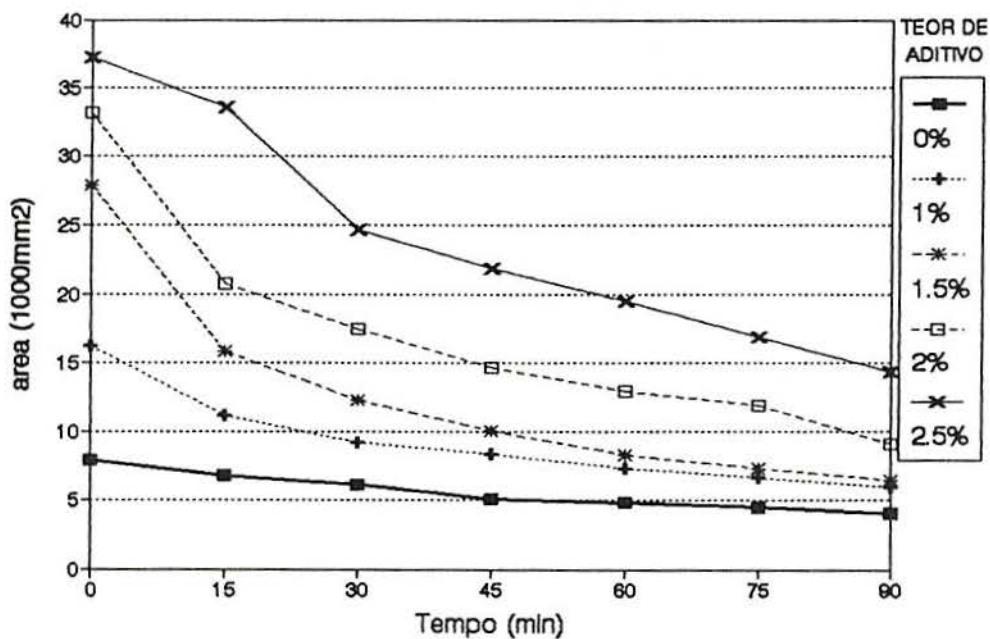


FIGURA 4.8 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,5, F1,  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$

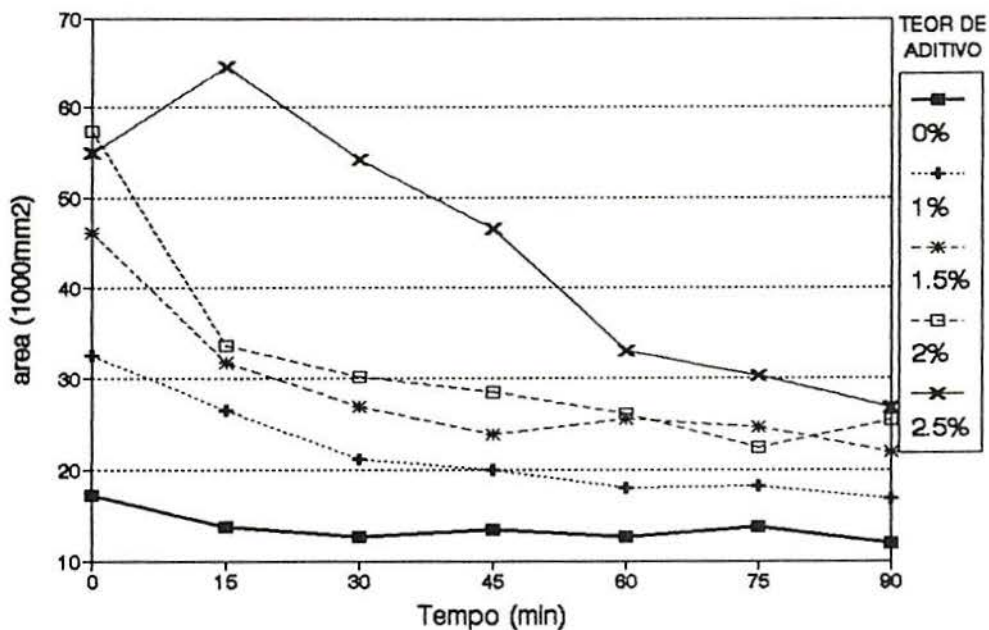


FIGURA 4.9 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,65, F1,  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$

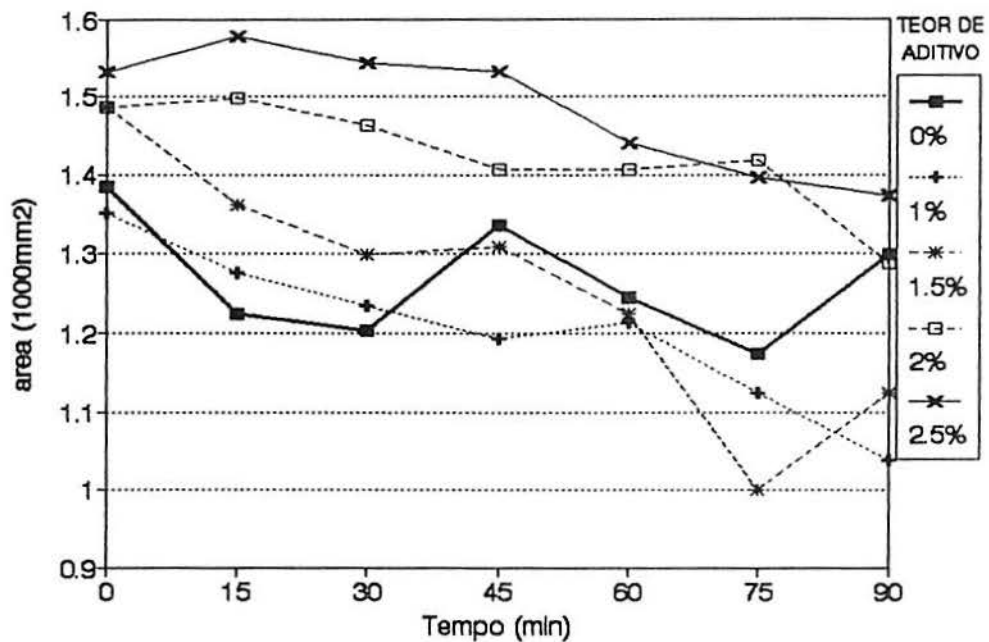


FIGURA 4.10 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,35, F2,  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$

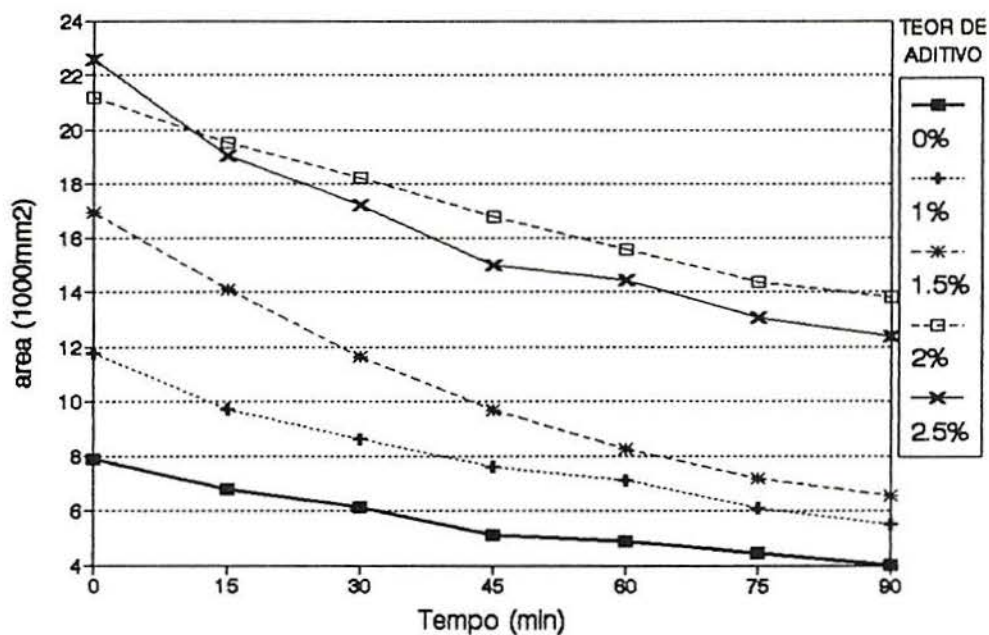


FIGURA 4.11 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,5 , F2, 20,5±1,5°C

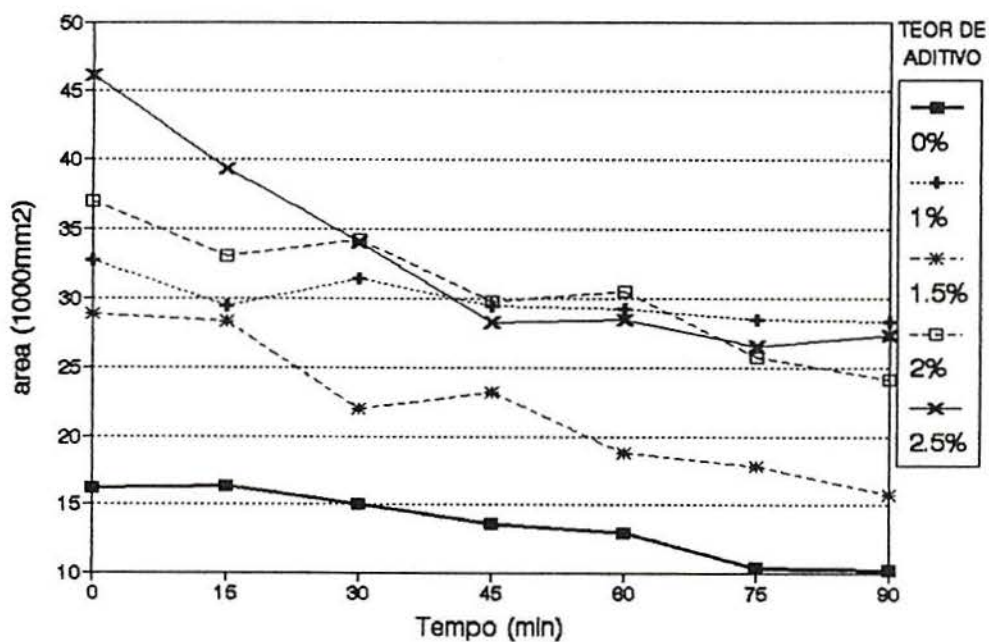


FIGURA 4.12 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Originais - a/c 0,65, F2, 20,5±1,5°C



Por ocasião da confecção e análise dos gráficos acima, dúvidas surgiram quanto à representatividade dos resultados. Assim, dez das quarenta e duas amostras foram refeitas, sendo que três correspondem ao ajuste de temperatura.

#### 4.3.1.2.2. Ensaio de Mini-Abatimento - Comparativos

Nos Anexos 6 e 7 encontram-se os novos valores obtidos, e abaixo, baseado nos gráficos comparativos apresentados, comenta-se as causas que levaram ao re-ensaio e o processo de escolha da amostra representativa.

##### 1. Amostra: a/c 0,35; 0%; T2

Com exceção dos tempos 0, 45 e 90 minutos, as áreas obtidas no primeiro ensaio não são consideradas significativas, uma vez que correspondem a diâmetros menores do que a base inferior do molde tronco-cônico (40mm).

Escolheu-se, neste caso, a segunda amostra analisada por apresentar apenas para o período final de ensaio (75 e 90 min) resultados não significativos;

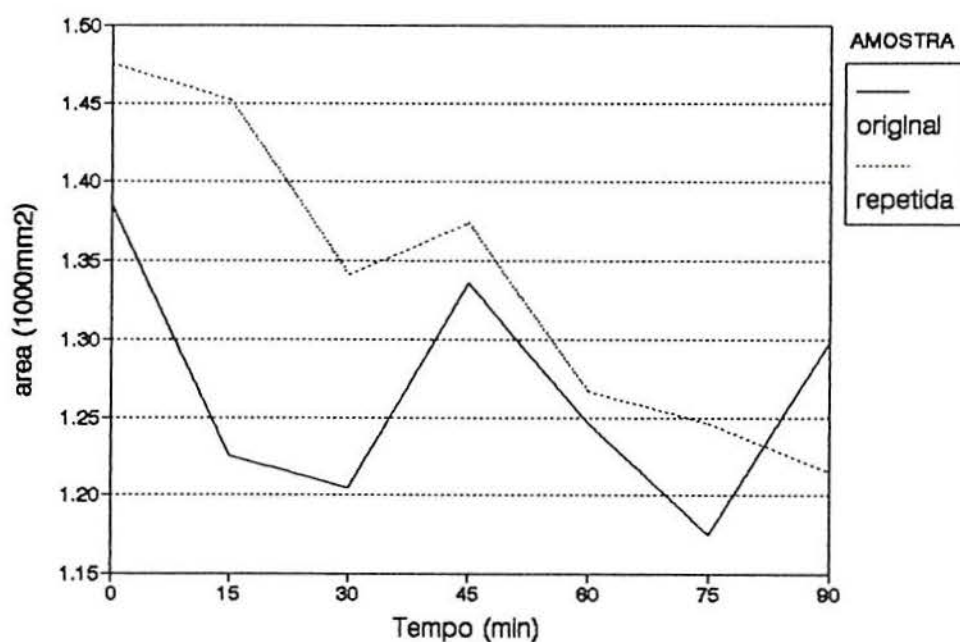


FIGURA 4.13 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,35; 0%; 20,5±1,5°C

2. Amostra: a/c 0,35; 1%; F1; T2

Comparando-se a mistura referente a 0% de aditivo, escolhida na fase anterior, e a pasta aqui em questão, observa-se que esta última apresenta menor fluidez já no período de 15 minutos, o que requer novo ensaio para verificação.

A mistura alternativa, apesar de mostrar comportamento equivalente, apresenta-se mais homogênea, tendo sido escolhida.

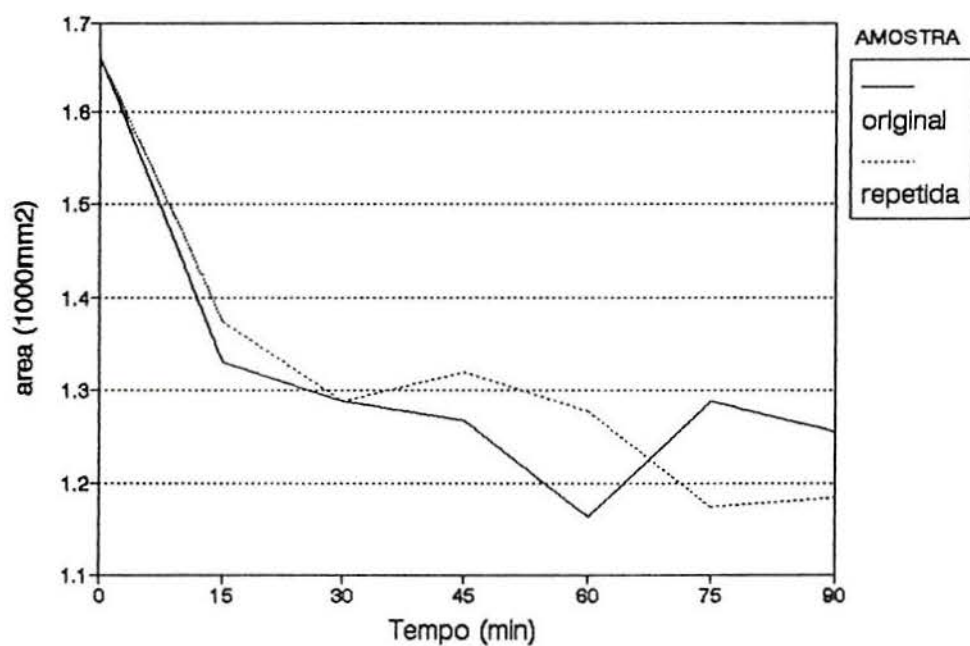


FIGURA 4.14 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,35; 1%; F1; 20,5±1,5°C

### 3. Amostra: a/c 0,35; 1,5%; F1; T2

A fluidez da amostra original, correspondente ao período de 60 minutos, apresentou acentuada queda, retornando, a seguir, ao curso normal. Este resultado é duplamente insatisfatório uma vez que trata-se de um ponto não significativo.

Ainda assim, tal amostra foi a escolhida pois a mistura alternativa nem mesmo permitiu a determinação dos raios para os períodos de 75 e 90 minutos e, parcialmente, para os períodos de 45 e 60 minutos. Complementar a isso, a mistura original, no período de 0 minutos, mostra-se mais coerente com a fluidez apresentada pela mesma pasta na temperatura 1 ( $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ );

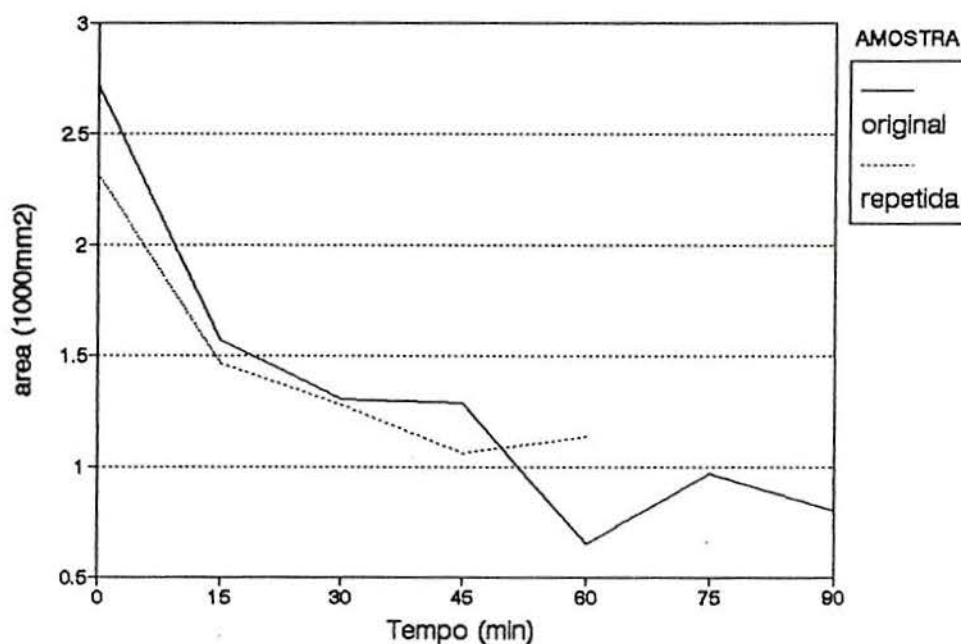


FIGURA 4.15 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,35; 1,5; F1;  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$



4. Amostra: a/c 0,35; 2%; F1; T2

A fluidez correspondente ao período inicial (0 minutos), para a mistura original, revelou-se duvidosamente elevada. Hipótese esta confirmada pelos resultados da amostra alternativa.

Complementar a isso, o comportamento desta última mostrou-se coerente com a tendência apresentada pela mesma pasta na temperatura 1 ( $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ );

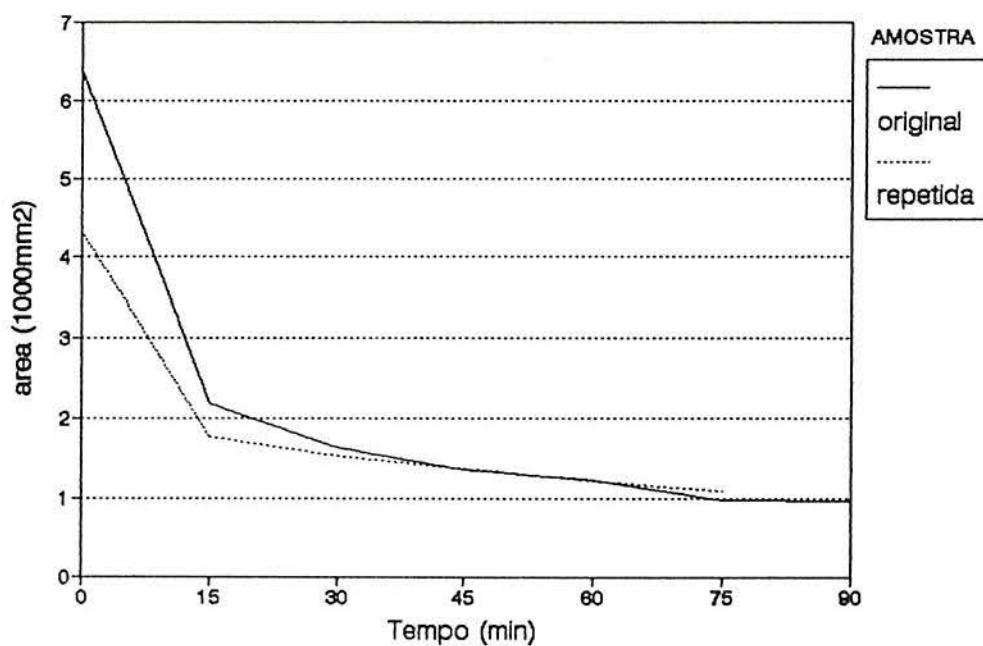


FIGURA 4.16- Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,35; 2%; F1;  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$

5. Amostra: a/c 0,65; 2,5%; F1; T2

Devido ao pico de fluidez apresentado no tempo de 15 minutos, re-ensaiou-se a amostra em questão.

Adotou-se a mistura alternativa, apesar da baixa fluidez inicial, devido ao comportamento mais equilibrado relativamente as outras amostras nos demais períodos de tempo.

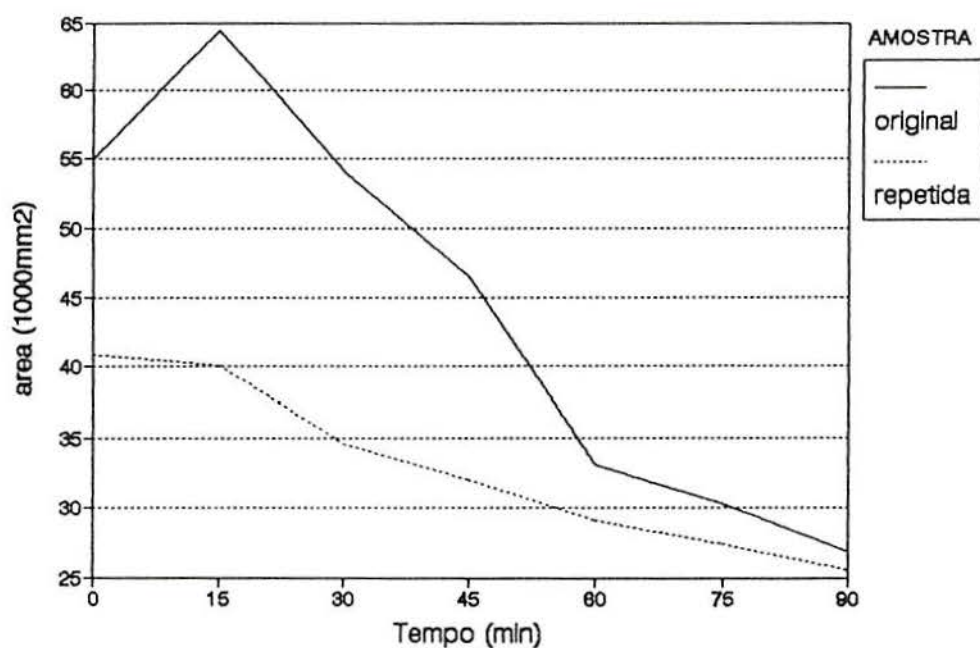


FIGURA 4.17 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,65; 2,5%; F1; 20,5±1,5°C

## 6. Amostra: a/c 0,65; 1%; F2; T2

A amostra correspondente ao teor de 1% de superplastificante mostrou fluidez superior a mistura com 1,5%, em todos os períodos de tempo. Os resultados obtidos com o re-ensaio da primeira levaram esta a substituição;

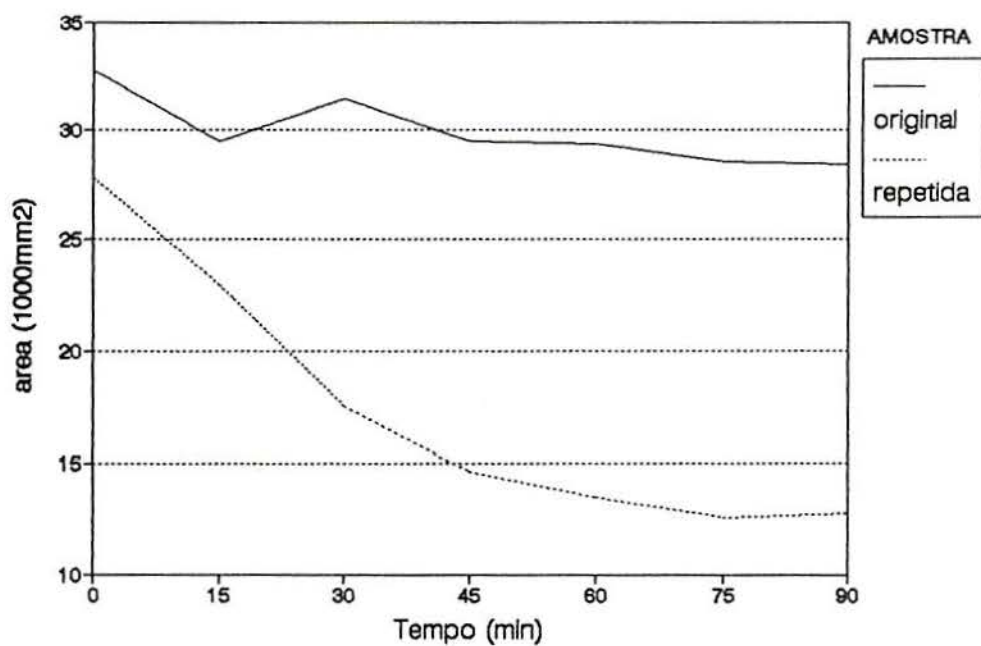


FIGURA 4.18 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,65; 1%; F2; 20,5±1,5°C



7. Amostra: a/c 0,65; 2%; F2; T2

A mistura original apresentou comportamento relativamente desarmônico aos demais, optando-se por sua reavaliação. Adotou-se a amostra alternativa como representativa;

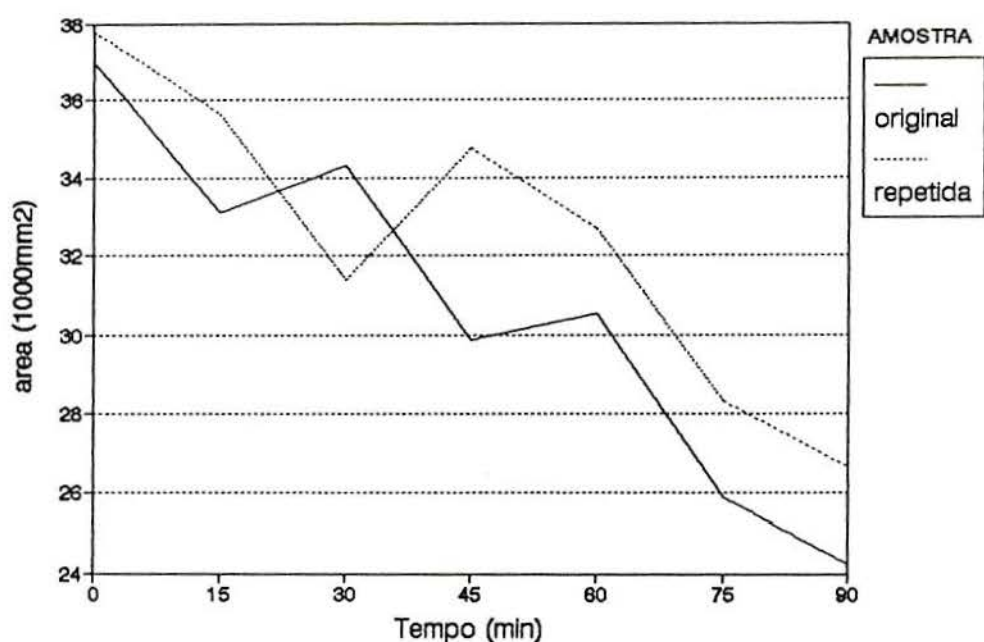


FIGURA 4.19 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,65; 2%; F2;  $20,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$

#### 4.3.1.2.3. Ensaio de Mini-Abatimento - Resultados Definitivos

Após análise das amostras de comportamento duvidoso, elaborou-se os gráficos definitivos, que relacionam área com o tempo e área com o teor de aditivo, os quais são apresentados abaixo:

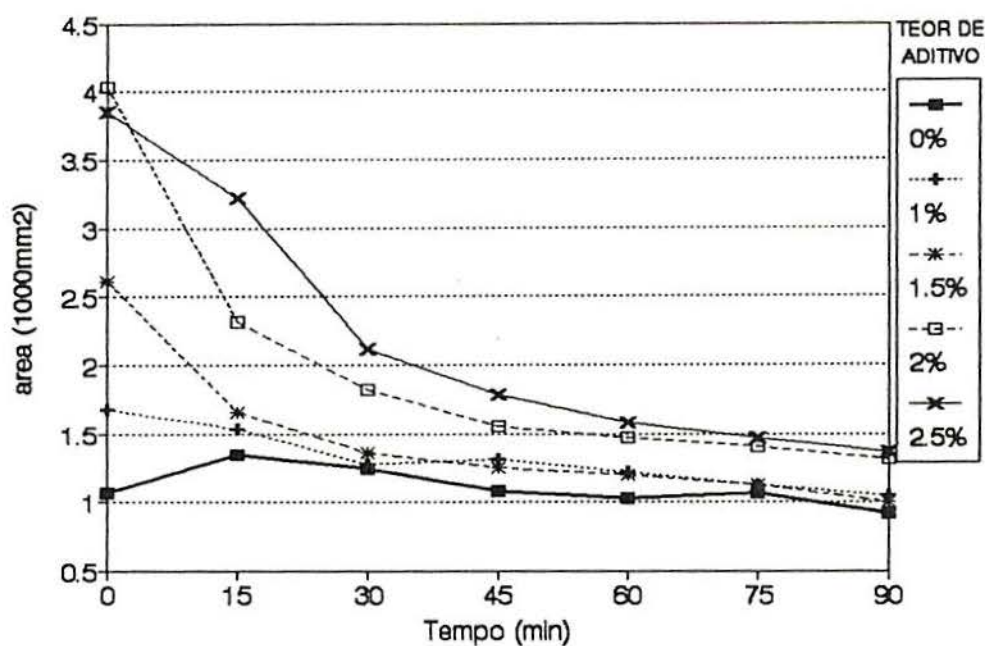


FIGURA 4.20 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,35; F1;  $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$

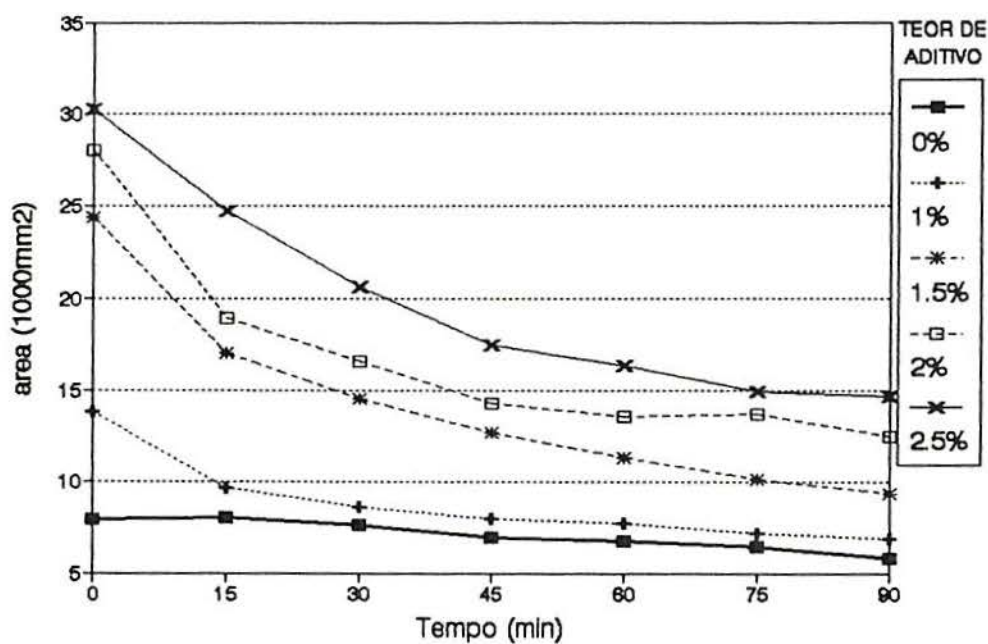


FIGURA 4.21 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,5; F1;  $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$

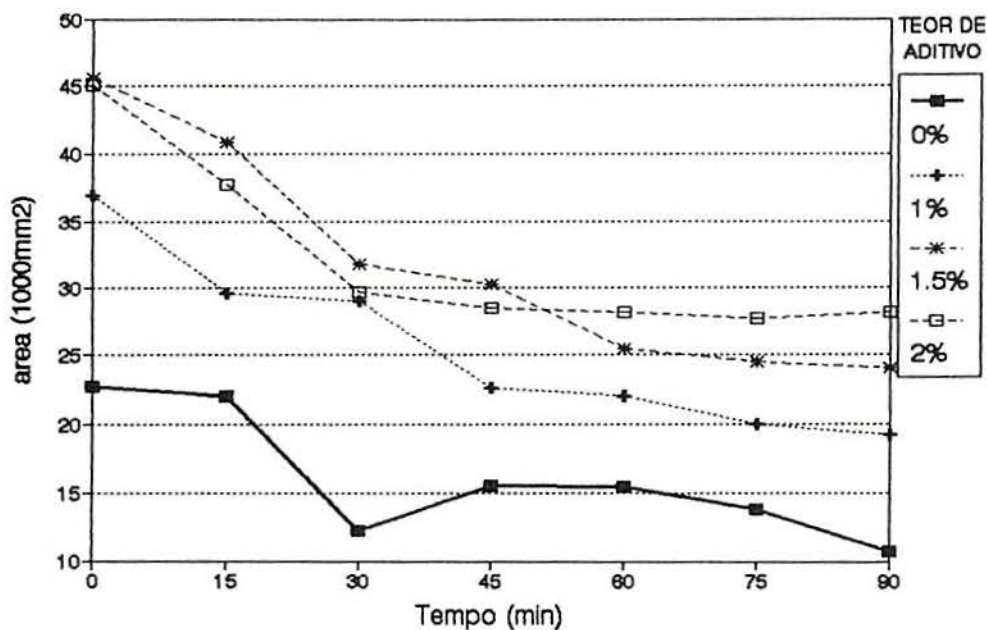


FIGURA 4.22 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,65; F1; 15,5±1,5°C

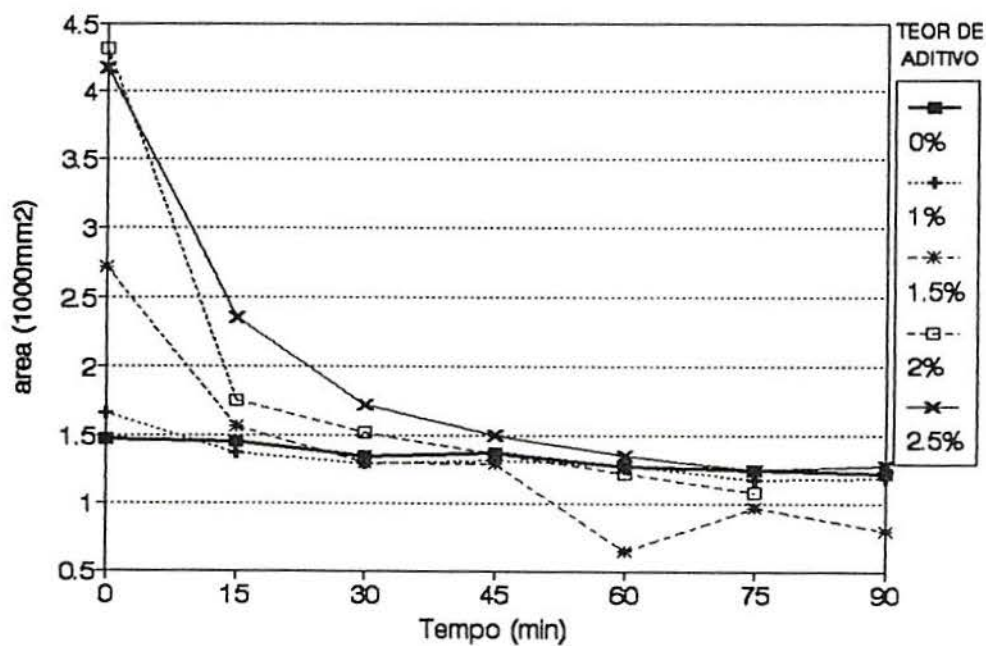


FIGURA 4.23 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,35; F1; 20,5±1,5°C



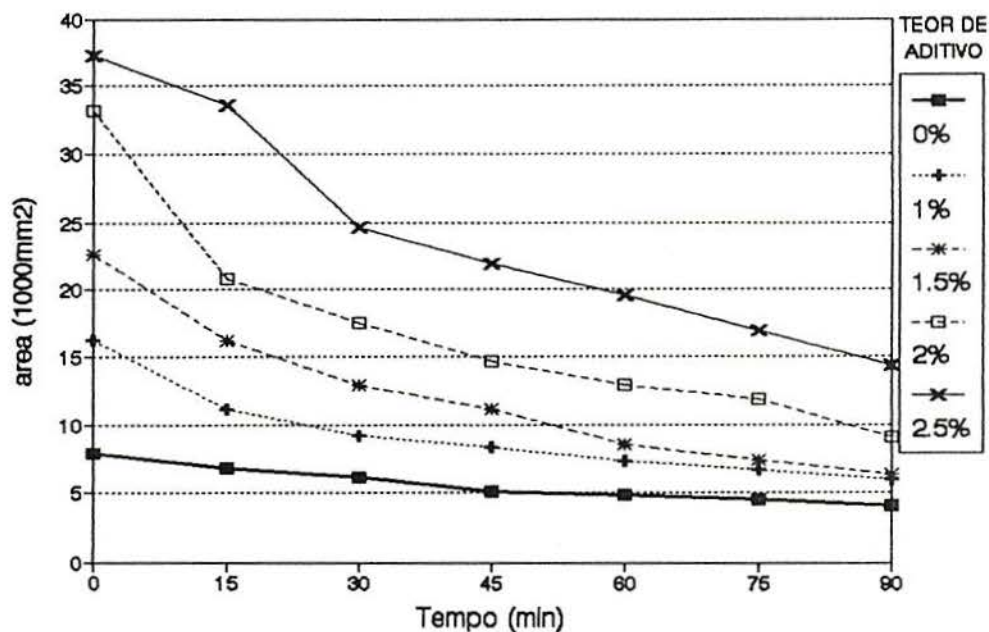


FIGURA 4.24 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,5; F1;  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$

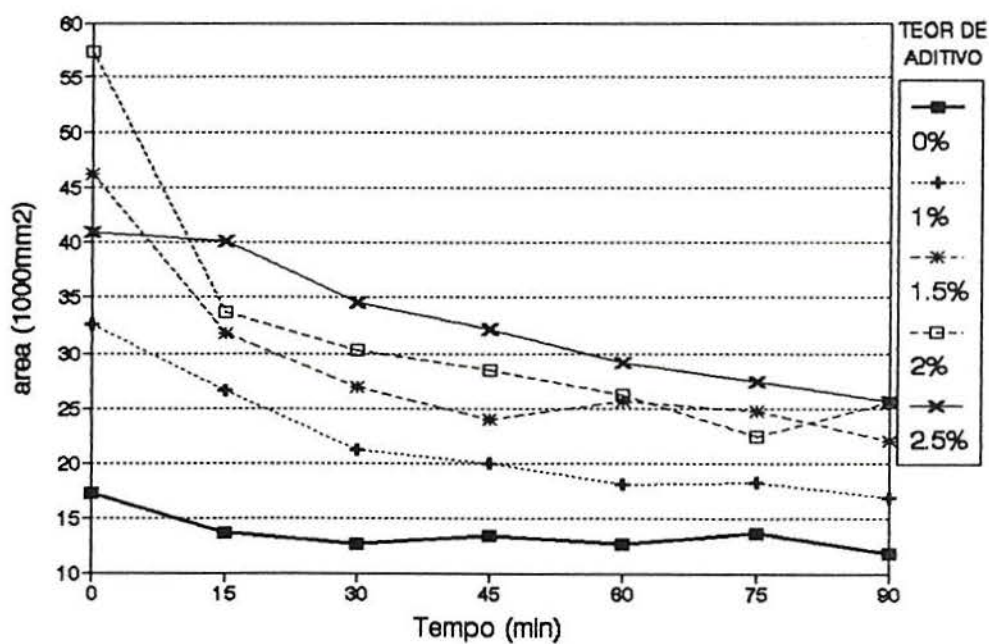


FIGURA 4.25 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,65; F1;  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$

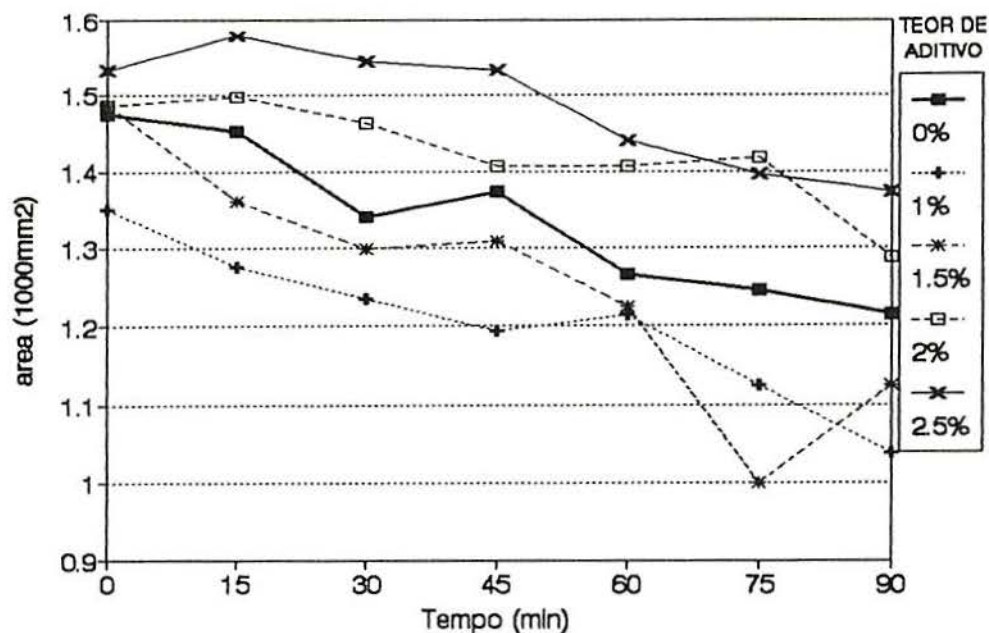


FIGURA 4.26 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,35; F2; 20,5±1,5°C

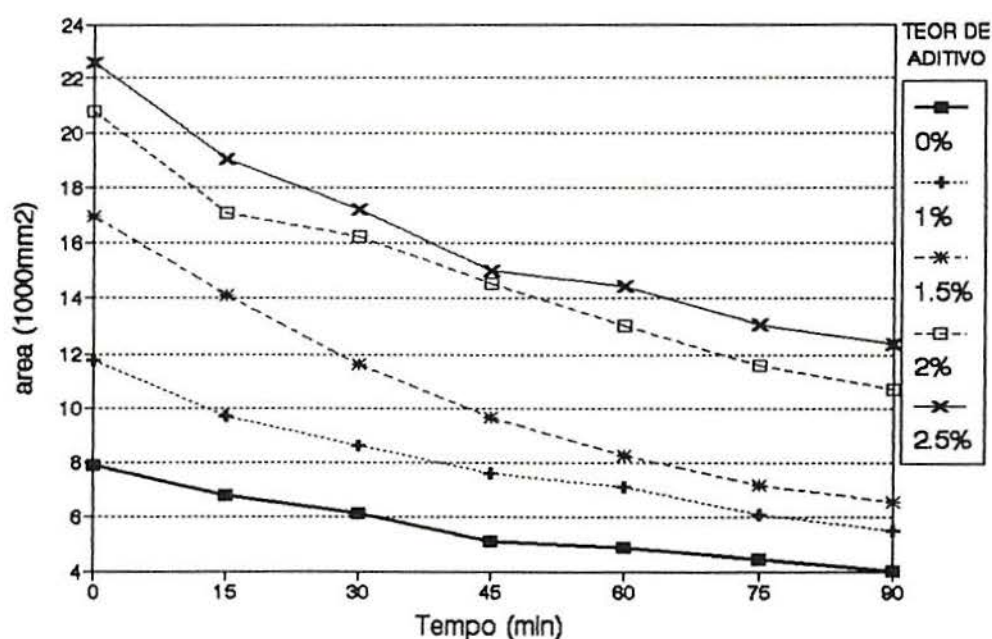


FIGURA 4.27 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,5; F2; 20,5±1,5°C

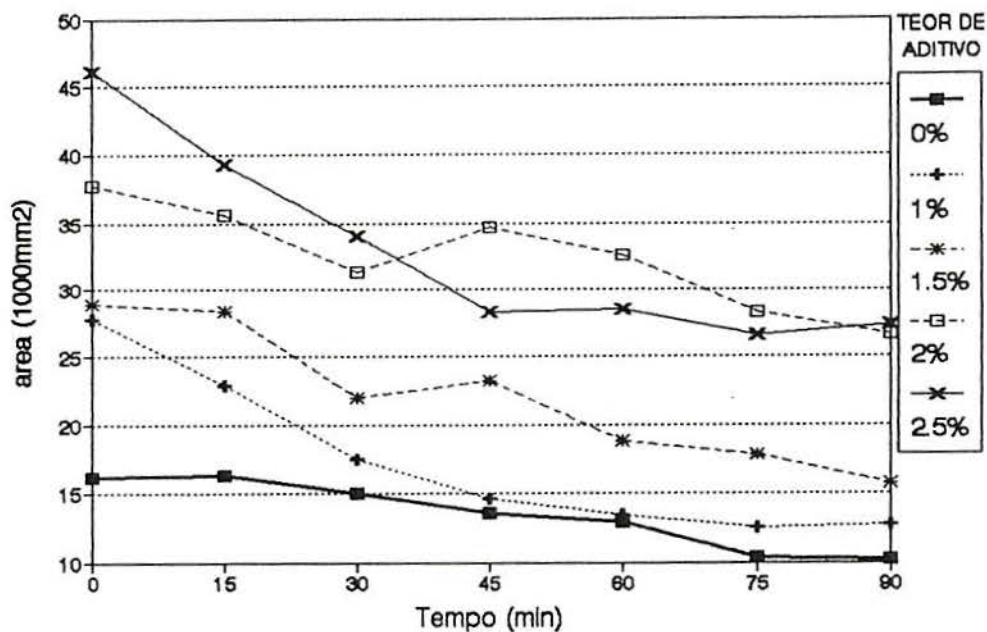


FIGURA 4.28 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Misturas Definitivas - a/c 0,65; F2;  $20,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$

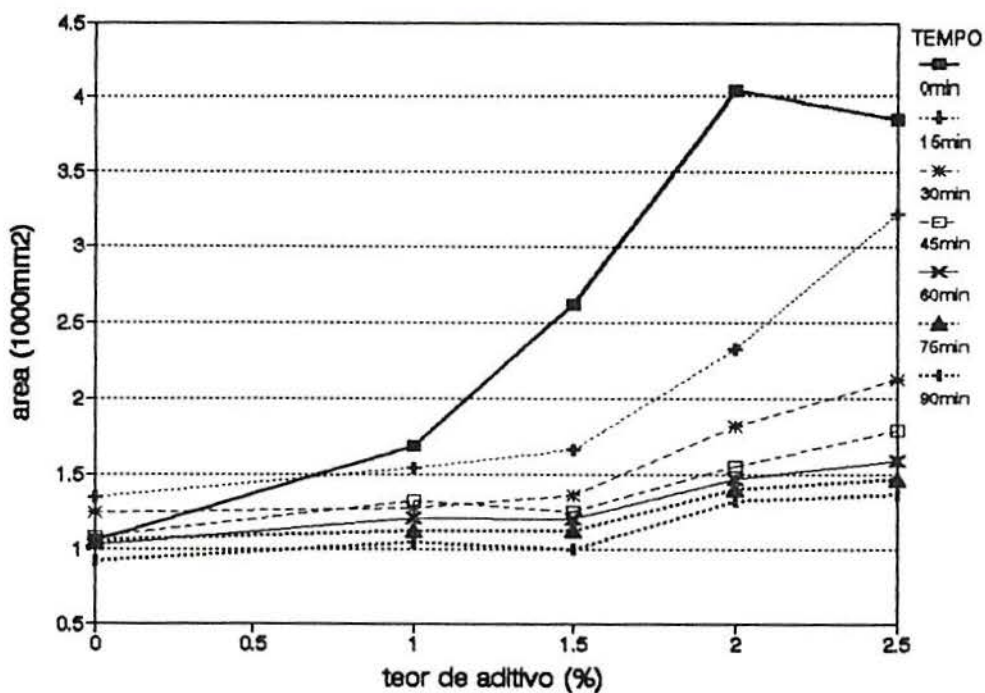


FIGURA 4.29 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,35; F1;  $15,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$



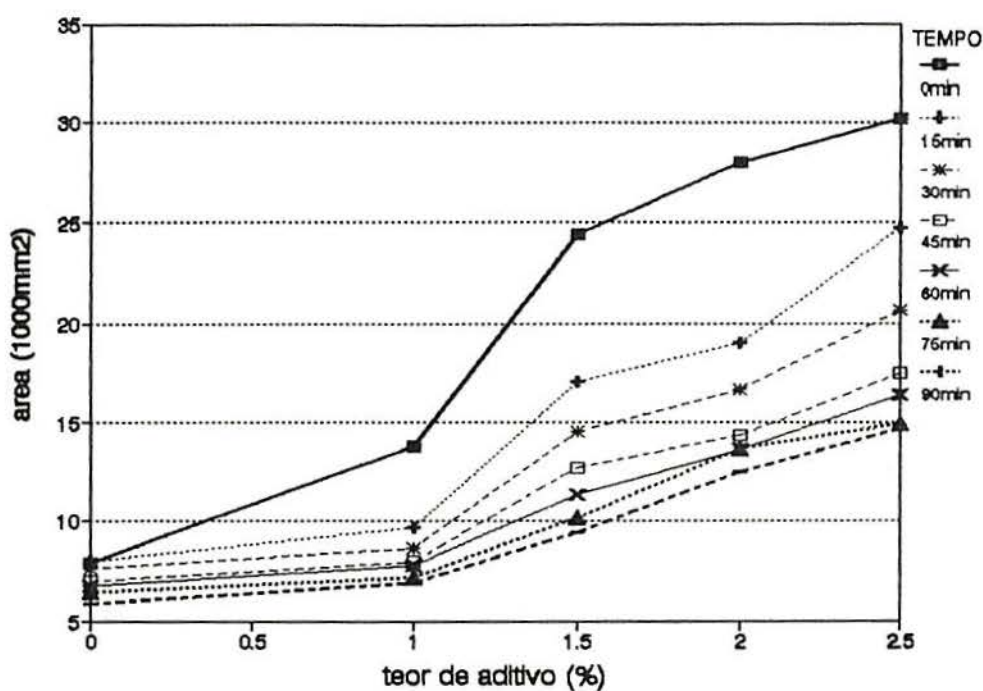


FIGURA 4.30 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,5; F1; 15,5±1,5°C

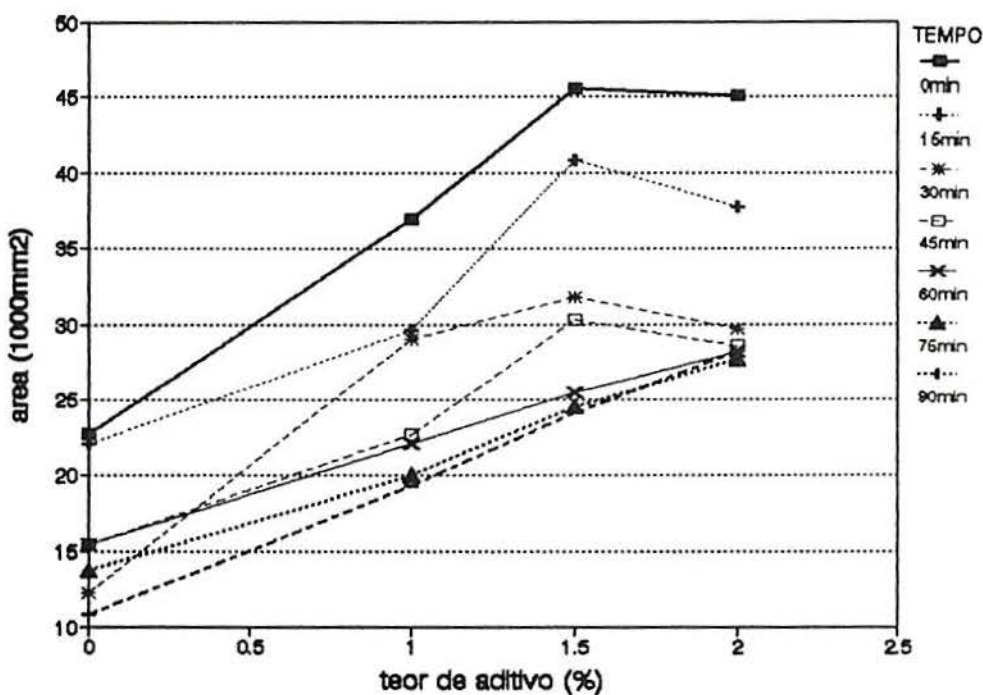


FIGURA 4.31 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,65; F1; 15,5±1,5°C

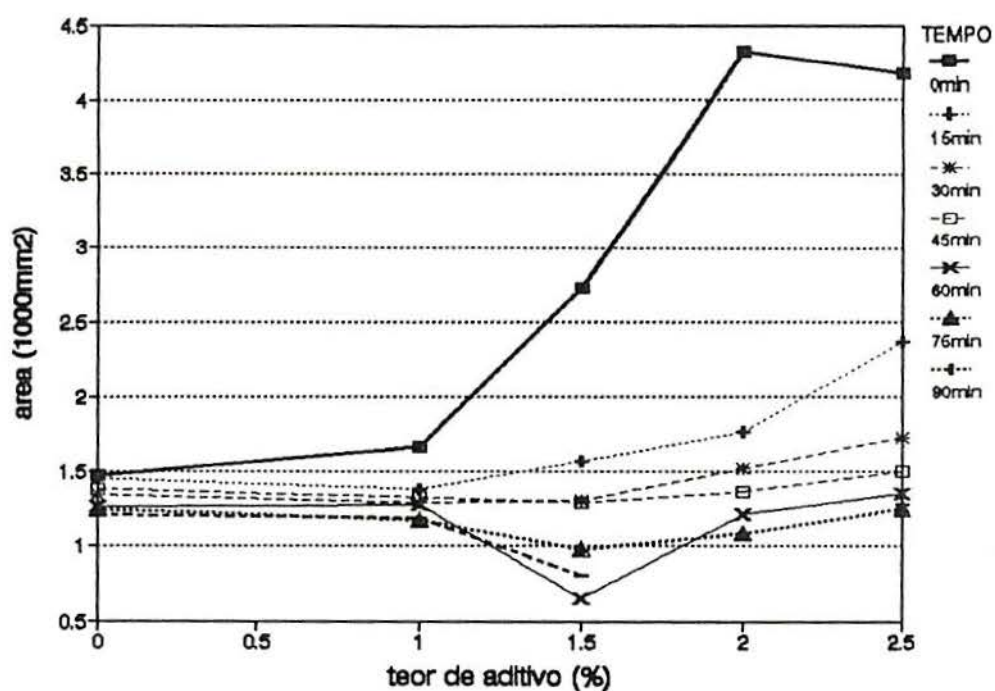


FIGURA 4.32 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,35; F1; 20,5±1,5°C

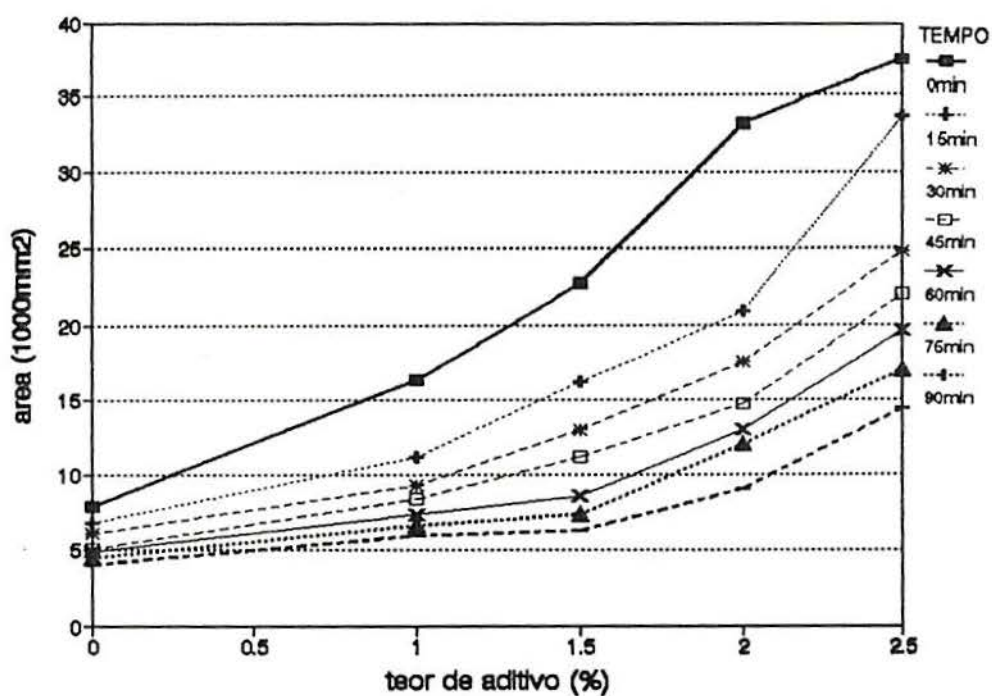


FIGURA 4.33 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,5; F1; 20,5±1,5°C

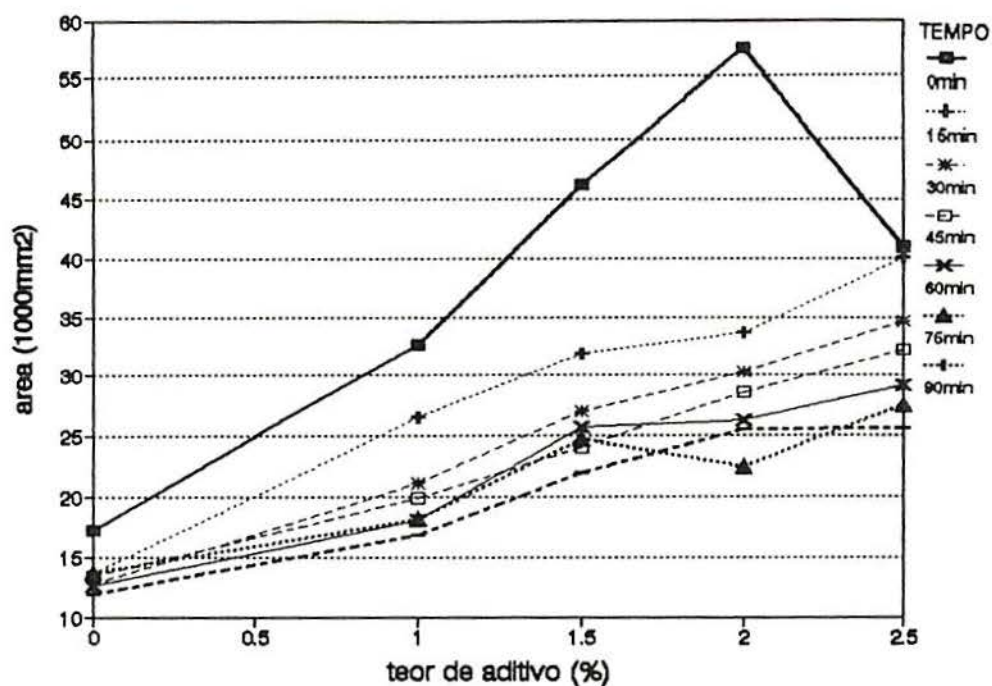


FIGURA 4.34 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,65; F1; 20,5±1,5°C

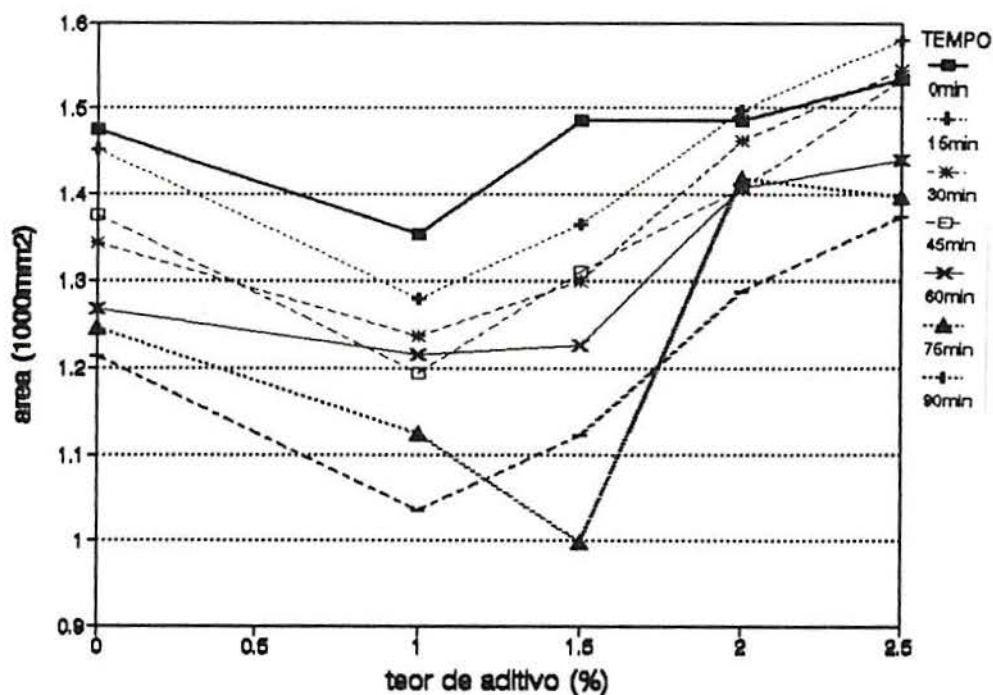


FIGURA 4.35 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,35; F2; 20,5±1,5°C



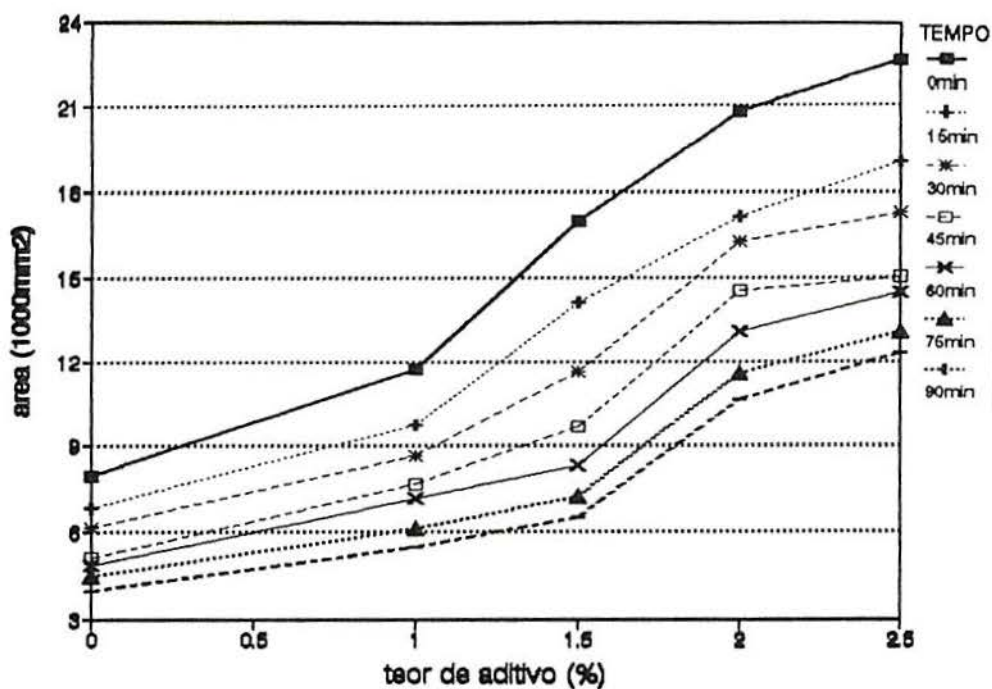


FIGURA 4.36 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,5; F2; 20,5±1,5°C

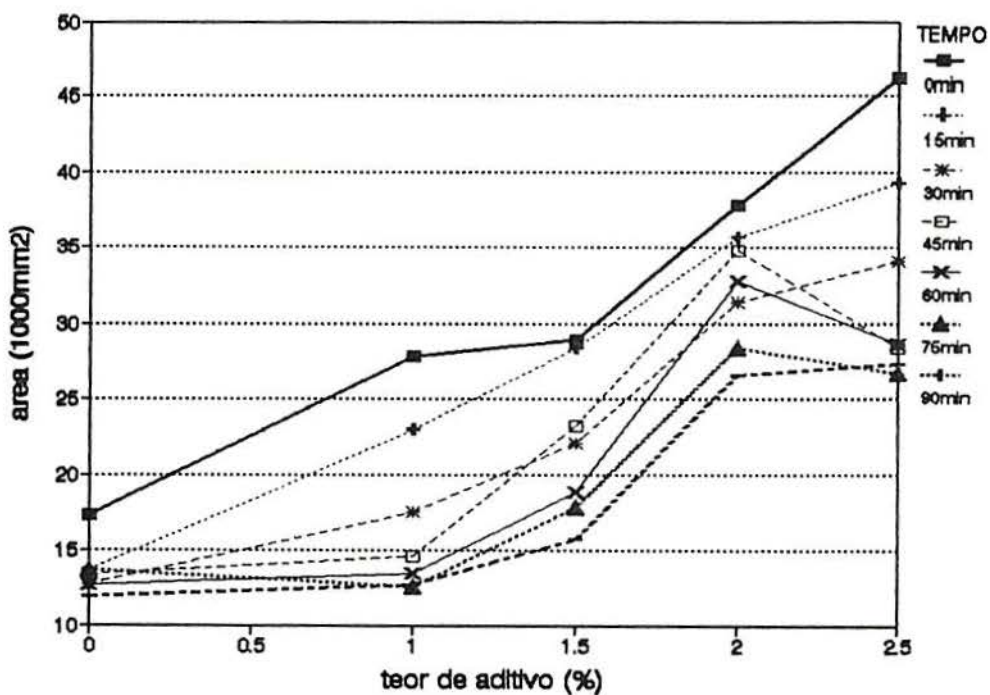


FIGURA 4.37 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Teor de Aditivo - a/c 0,65; F2; 20,5±1,5°C

Chama-se atenção que no ensaio de mini-abatimento trabalha-se com a pasta de cimento e, portanto, conforme muda o fator água/cimento, altera-se sobremaneira a escala de resultados de fluidez.

#### 4.3.1.2.4. Comentários

A seguir, com base nos gráficos apresentados faz-se as seguintes colocações:

- 1) o comportamento global do fator água/cimento 0,5, quanto a evolução da fluidez com o tempo, apresenta-se relativamente harmônico para ambas as temperaturas e fabricantes.
- 2) o fator água/cimento 0,65 apresenta tendências irregulares de evolução da fluidez com o tempo para todos os teores de aditivo, fabricantes e temperaturas, especialmente para a proporção de 2,5%.
- 3) para o fator água/cimento 0,5 e 0,65, todas as curvas de fluidez encontram-se acima da correspondente curva piloto, para qualquer período de tempo, fabricante ou temperatura. O mesmo ocorre para o fator água/cimento 0,35 na faixa dos  $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ . Nas demais situações porém, este fator água/cimento apresenta comportamento bastante irregular quanto a manter-se acima da pasta isenta de aditivo.
- 4) para o fator água/cimento 0,35, a fluidez inicial correspondente ao fabricante 1 no teor de 2% é superior à mesma na proporção de 2,5%, em ambas as temperaturas.
- 5) para o fabricante 1, aos  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ , observa-se queda brusca de fluidez quando da passagem de 0 para 15 minutos nas misturas de fator água/cimento 0,35 com 2 e 2,5% de aditivo e nas amostras de fator água/cimento 0,65 com 1,5 e 2% de superplastificante.

- 6) todas as amostras referentes ao fator água/cimento 0,35 apresentam valores iniciais de fluidez (0 minutos) aos  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$  superiores aos correspondentes resultados aos  $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ . O mesmo verifica-se para as demais relações água/cimento, com exceção apenas da proporção de 1,5% para o fator água/cimento 0,5 e 0 e 1% para o fator água/cimento 0,65.

Para os demais períodos de tempo observa-se que a taxa de perda de fluidez aumenta na temperatura mais alta, com exceção apenas do fator água/cimento 0,65, que apresenta tendência variável. Esta diferenciação na velocidade de queda da fluidez faz com que as curvas referentes a temperatura de  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$  situem-se abaixo das correspondentes curvas aos  $15,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$  nos demais períodos de tempo, com exceção das proporções de 0 e 1,5% de aditivo para o fator água/cimento 0,5.

Com relação ao fator água/cimento 0,65, algumas variações pontuais são de difícil justificativa, uma vez que tais misturas correspondem justamente a um comportamento bastante irregular.

- 7) com relação ao fabricante 2, observa-se que as pastas aditivadas apresentam pouca variação relativamente a mistura piloto para o fator água/cimento 0,35, sendo que as proporções de 1 e 1,5% encontram-se sempre abaixo desta, com exceção do tempo de 0 minutos para esta última dosagem. Salienta-se que o fator água/cimento em questão representa uma faixa significativa de utilização dos aditivos superplastificantes, ou seja, os concretos de alta resistência.
- 8) para qualquer fator água/cimento e dosagem de aditivo, o fabricante 1 apresenta resultados de fluidez superiores ao fabricante 2. Nesta caso, optou-se por re-ensaiar três vezes a amostra de relação água/cimento 0,5 com 1,5% de F2, cada qual com um frasco diferente do produto. Os resultados



são apresentados nos Anexos 6 e 7 e encontram-se na figura 4.38.

A verificação baseou-se nas variáveis mencionadas acima por corresponderem estas, no ensaio de mini-abatimento, ao comportamento de maior regularidade.

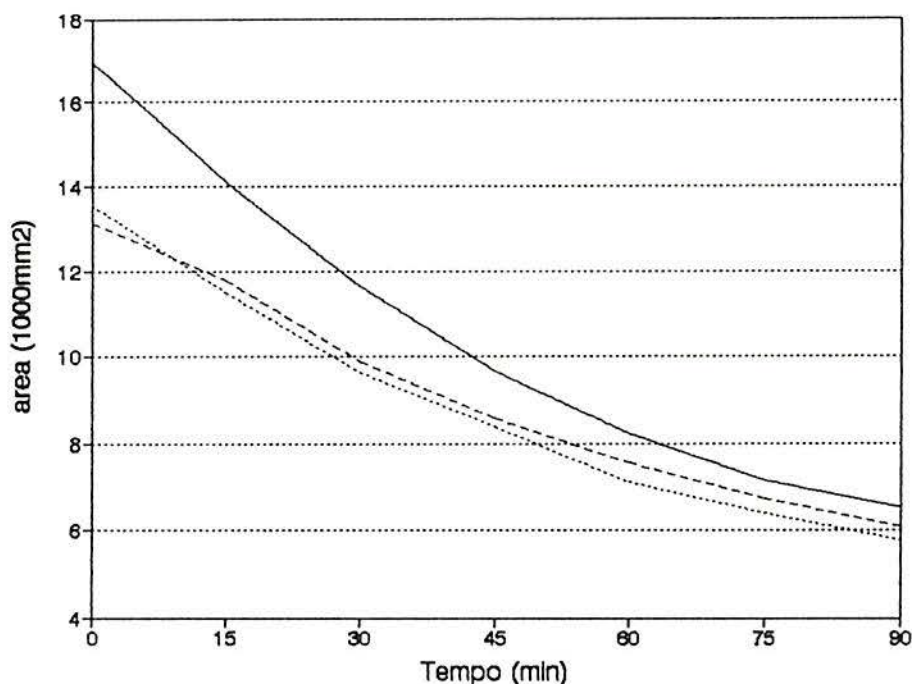


FIGURA 4.38 - Ensaio de Mini-Abatimento - Área X Tempo - Comparativo - a/c 0,5; 1,5%; F2;  $20,5 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ , frascos diferentes

Constatado o inferior desempenho do fabricante 2 em termos de fluidez e considerando-se seu custo mais elevado, optou-se por prosseguir com os demais ensaios apenas com o superplastificante de outra procedência.

Com relação aos resultados dos ensaios de mini-abatimento, cinco colocações básicas podem ser feitas, que são as seguintes:

- 1) o aumento de temperatura repercute em maior fluidez inicial, mas também em mais rápida perda desta com o tempo.
- 2) quanto maior a proporção de aditivo, maior é a taxa de perda de fluidez com o tempo.

- 3) as misturas isentas de aditivo apresentam comportamento quase constante, na medida em que a fluidez evolui com o tempo.
- 4) a maior proporção de perda de fluidez das amostras aditivadas ocorre nos primeiros trinta minutos.
- 5) as amostras que mais distoam das colocações acima correspondem ao fator água/cimento 0,65.

#### 4.3.1.2.5. Seleção do Teor de Superplastificante

Definido o fabricante a ser empregado, parte-se para a escolha do teor de superplastificante mais conveniente a cada fator água/cimento. A escolha baseia-se nos seguintes critérios:

1. a pasta aditivada deve manter fluidez maior do que a pasta sem aditivo, pelo menos até os 45 minutos (figuras Área X Tempo);
2. escolhe-se o teor de aditivo correspondente ao trecho de maior inclinação nas figuras Área X Teor de Aditivo, para o tempo de 15 minutos e temperatura 2 ( $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ ).

Este critério visa otimizar a dosagem de aditivo, considerando que, no período de 15 minutos, ocorrerá a descarga do concreto;

Obs: áreas correspondentes a diâmetro médio menor de que 40 mm não serão consideradas, de forma a garantir a representatividade do ensaio, ocasião em que os critérios acima são selecionados para o tempo imediatamente anterior.

Aplicando-se os critérios estabelecidos às curvas de fluidez, resultam os teores de aditivos apresentados na tabela 4.8.

TABELA 4.8 - Ensaio de Mini-Abatimento - Seleção do Teor de Superplastificante

CRITÉRIOS	FATOR ÁGUA/CIMENTO		
	0,35	0,5	0,65
CRITÉRIO 1	2 e 2,5%	todos	todos
CRITÉRIO 2	2,5%	2,5%	1,5%
RESULTADO	2,5%	2,5%	1,5%

Alguns aspectos, no entanto, com relação a otimização da dosagem do aditivo devem ser considerados:

- conforme a temperatura escolhida para a aplicação dos critérios, pode variar a dosagem selecionada. Por exemplo, para T1 teríamos os seguintes teores:
  - \* fator a/c 0,35: 2,5%
  - \* fator a/c 0,5 : 1,5%
  - \* fator a/c 0,65: 2,5%
 Neste caso, deve-se procurar trabalhar com a temperatura efetiva de obra, se for este o caso.
- conforme o período de tempo ao qual se aplica o segundo critério, varia a dosagem selecionada de aditivo. Este item deve ser adaptado, portanto, às exigências locais;
- a proporção de 2,5% de aditivo, selecionada para o fator água/cimento 0,35 e 0,5 corresponde à dosagem de estudo mais elevada, não se pode afirmar que teores superiores a este não repercutiriam em trechos de curva com inclinações maiores;
- deve-se considerar ainda a questão da adequabilidade do ensaio de mini-abatimento como forma de seleção do teor de aditivo a ser usado em uma mistura de concreto. Levando-se em consideração tanto a irregularidade de comportamento observada nas pastas de fator água/cimento 0,65 e, em proporção menor, nas de fator água/cimento 0,35, quanto a necessidade



de avaliar-se questões importantes como segregação e exsudação, mas efetivamente sobre o concreto.

Com o objetivo de verificar a validade de estender-se as informações fornecidas pelo método de mini-abatimento para uma mistura de concreto, executou-se para as mesmas variáveis, ensaios de abatimento do tronco de cone de Abrams, mas apenas para o fabricante 1.

Para a seleção do fabricante, portanto, considerou-se conclusivas as informações fornecidas pelo ensaio de mini-abatimento, possibilitando identificar através da pasta de cimento, o produto mais efetivo como fluidificante.

Conforme KANTRO<sup>(60)</sup>, o ensaio pode ser desenvolvido sobre pastas de relações água/cimento entre 0,36 e 0,6. No entanto, tendo em vista as observações já expostas, recomenda-se utilizar o fator água/cimento 0,5.

#### 4.3.2. Evolução da Trabalhabilidade do Concreto ao Longo do Tempo

Os resultados obtidos no ensaio de abatimento do tronco de cone de Abrams e a temperatura ambiente por ocasião de cada ensaio encontram-se no Anexo 8.

Destes valores calculou-se o abatimento médio para cada período de 15 minutos e a temperatura ambiente média correspondente a cada mistura. Resultados estes apresentados no Anexo 9.

Com o objetivo de analisá-los sob o mesmo enfoque do ensaio de mini-abatimento, elaborou-se gráficos que correlacionam abatimento com o tempo e abatimento com o teor de aditivo, conforme mostra-se a seguir:

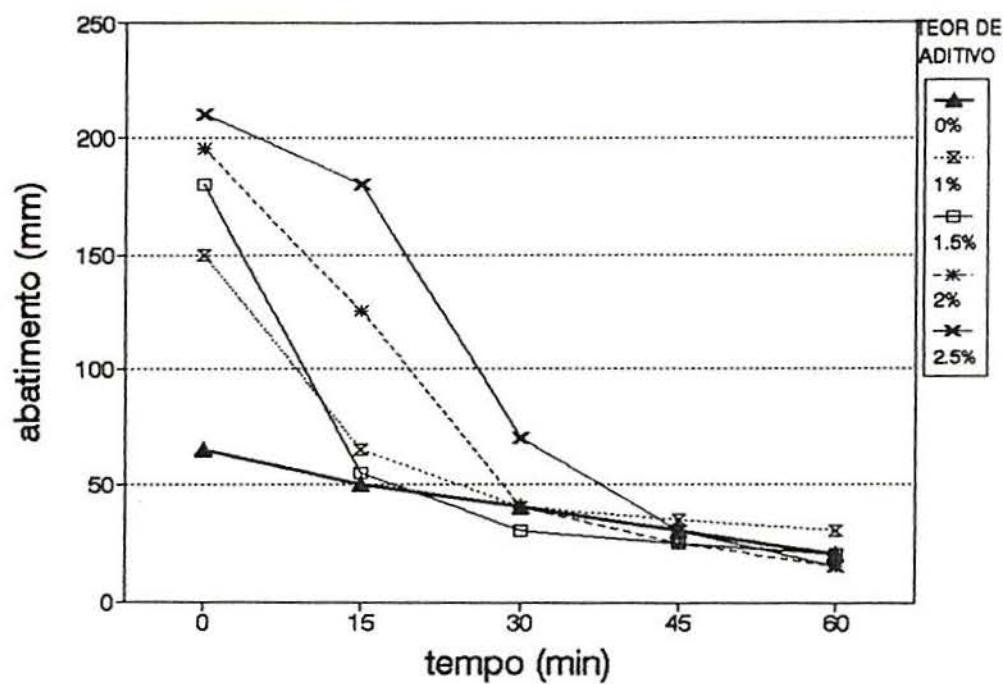


FIGURA 4.39 - Abatimento X Tempo - a/c 0,35; F1

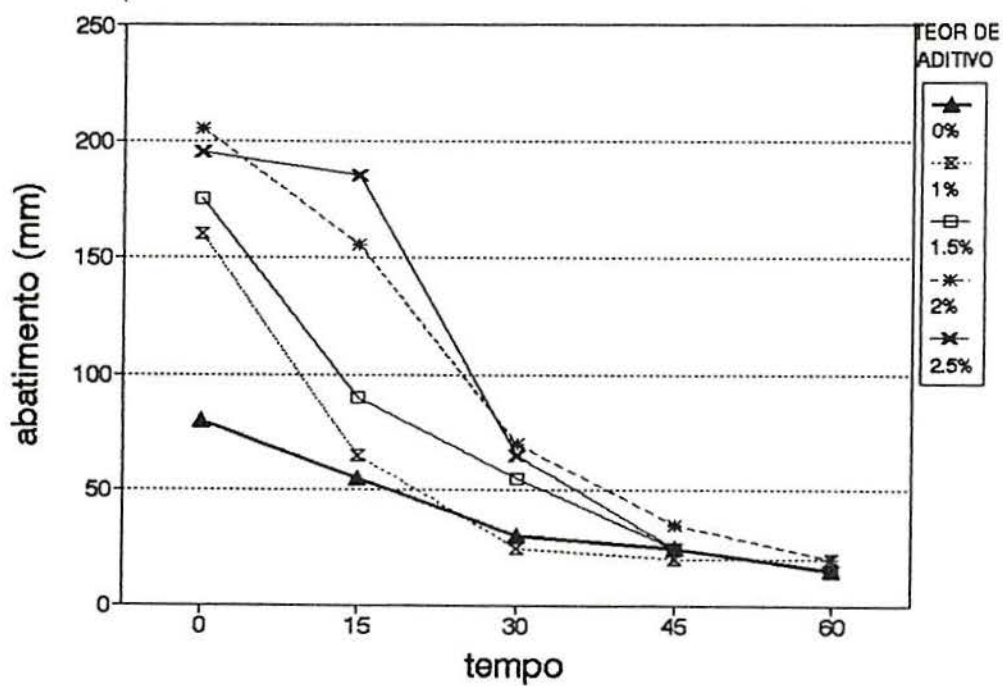


FIGURA 4.40 - Abatimento X Tempo - a/c 0.5; F1

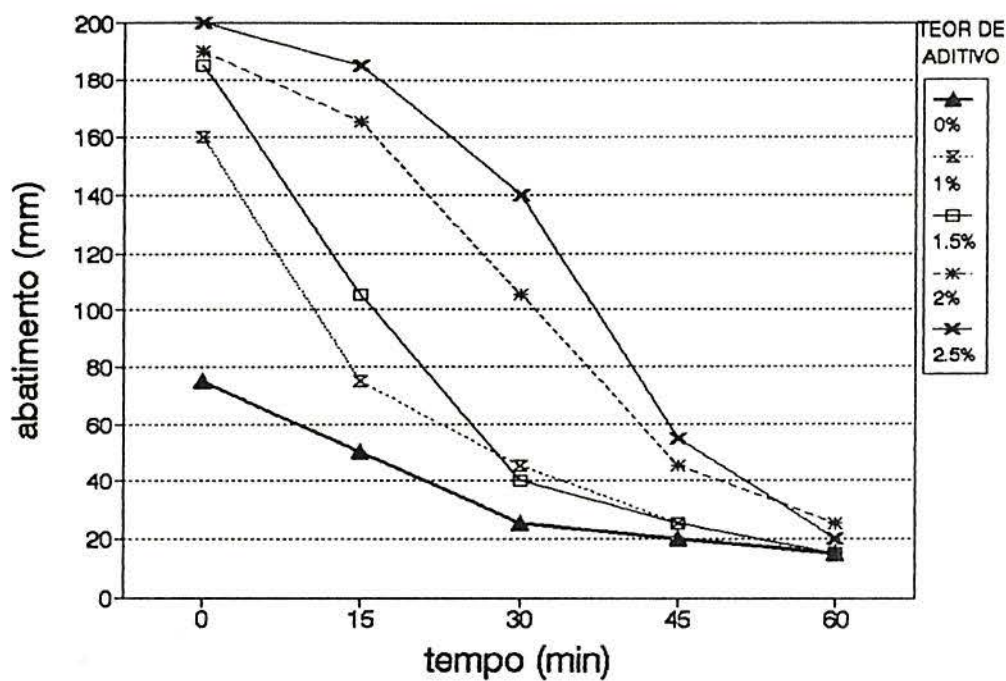


FIGURA 4.41 - Abatimento X Tempo - a/c 0.65; F1

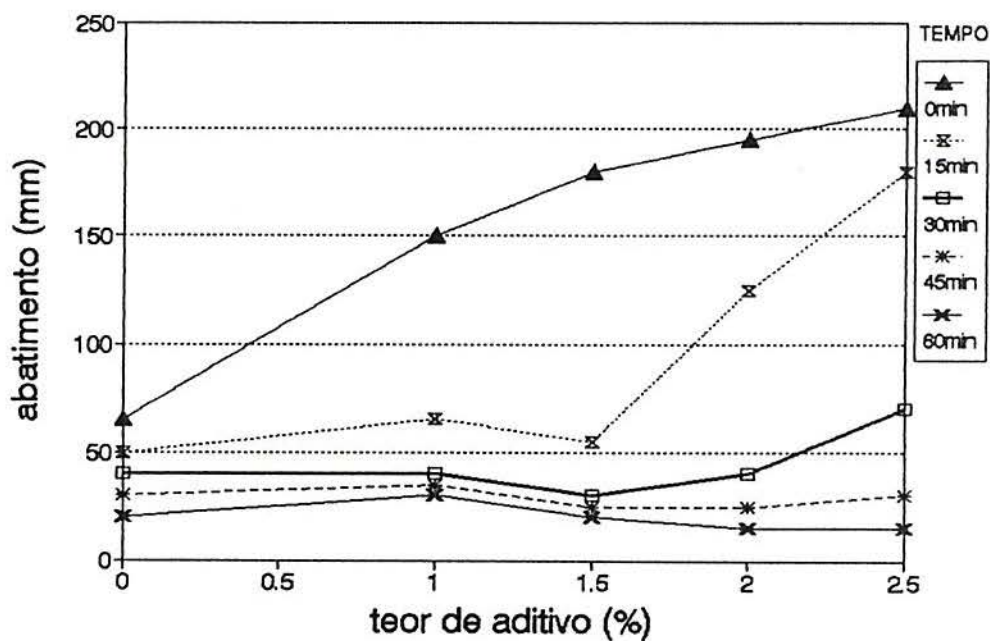


FIGURA 4.42 - Abatimento X Teor de Aditivo - a/c 0.35; F1



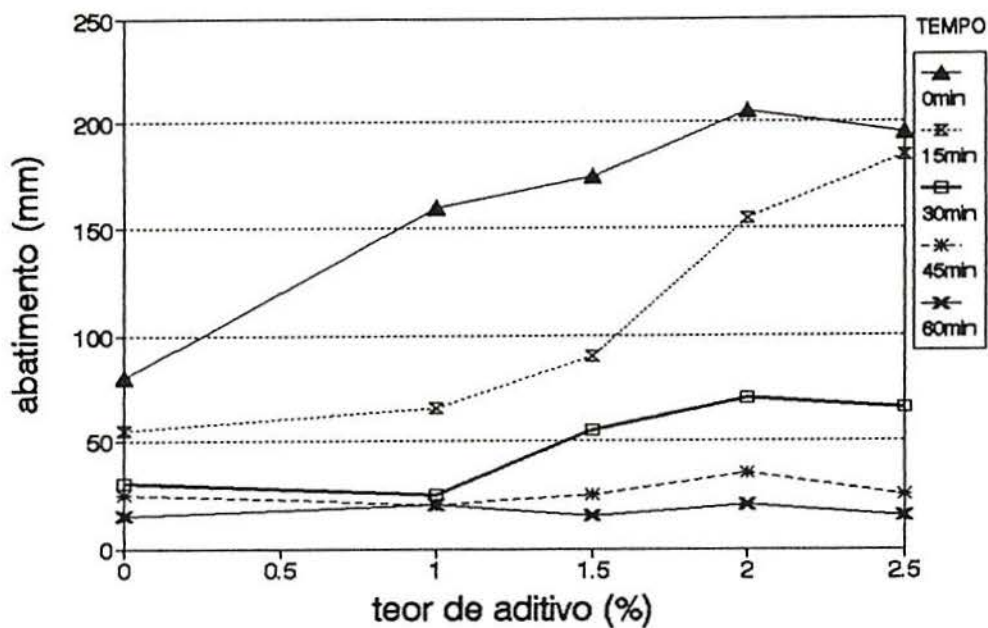


FIGURA 4.43 - Abatimento X Teor de Aditivo - a/c 0.5; F1

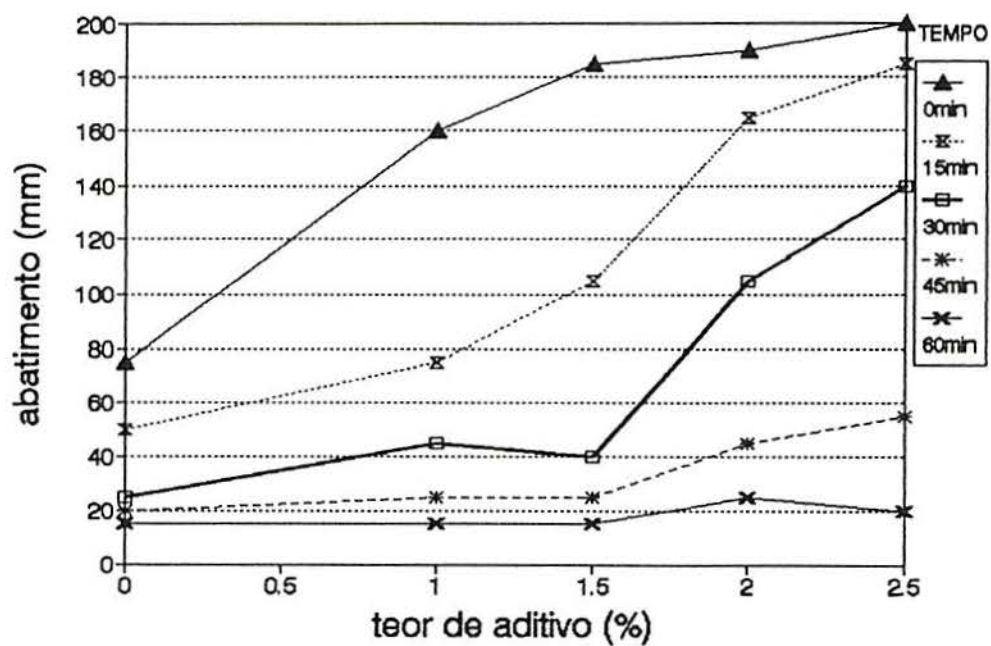


FIGURA 4.44 - Abatimento X Teor de Aditivo - a/c 0.65; F1

Admite-se como semelhantes concretos cujos abatimentos não se diferenciem mais do que 15mm.

Pode-se fazer as seguintes colocações com base nos gráficos apresentados:

- 1) para uma mesma proporção de aditivo, os concretos de diferentes fatores água/cimento apresentam abatimentos iniciais (0 minutos) equivalentes. Parece, portanto, que para um mesmo teor de aditivo, o fator água/cimento não altera o abatimento inicial, ou seja, para a faixa de relações água/cimento estudadas, o funcionamento inicial do superplastificante não é afetado pela quantidade de água presente na mistura.
- 2) concretos isentos de aditivo apresentam abatimento semelhantes, para cada período de tempo, qualquer que seja o fator água/cimento. Da mesma forma comporta-se a amostra com 1% do produto.
- 3) as misturas com 1,5; 2 e 2,5% de aditivo apresentam comportamento variável conforme o fator água/cimento. Aos 15 minutos, os concretos com 1,5 e 2% de superplastificante mostram certo incremento na perda do abatimento na medida em que reduz-se o fator água/cimento, enquanto que a mistura com 2% do produto não apresenta variação. Aos 30 e 45 minutos, o concreto com 1,5% de aditivo mostra abatimento semelhante, qualquer que seja o fator água/cimento, enquanto que as proporções de 2 e 2,5% apresentam certo incremento na perda do abatimento na medida em que reduz-se o fator água/cimento.  
De modo geral, parece que quanto mais água presente na mistura, ou seja, quanto maior o fator água/cimento, menor é a perda de abatimento com o tempo.
- 4) aos 60 minutos, todas as amostras ensaiadas apresentam consistência equivalente, quaisquer que sejam as variáveis envolvidas. Salienta-se, no entanto, que os abatimentos obtidos neste período de tempo situam-se entre 15 e 30mm, praticamente no limite inferior de precisão do método de ensaio.

- 5) a maior proporção de perda do abatimento ocorre durante os primeiros 30 minutos para todas as misturas. Chama-se atenção porém, que os concretos com 2 e, principalmente 2,5% de aditivo apresentam aos 15 minutos redução no abatimento significativamente inferior aos demais.
- 6) para qualquer fator água/cimento, observa-se, de modo geral, que aos 15 e 30 minutos, a taxa de perda do abatimento do concreto diminui na medida em que se aumenta a dosagem de aditivo.
- 7) todos os concretos aditivados perdem aproximadamente 80% do abatimento aos 45 minutos, enquanto que a amostra piloto, isenta do produto, para este mesmo período de tempo, perde aproximadamente 50% para o fator água/cimento 0,35 e 70% para as relações água/cimento 0,5 e 0,65.
- 8) de modo geral, pode-se dizer que o abatimento do concreto apresenta os seguintes acréscimos ao adicionar-se superplastificante (0 minutos), qualquer que seja o fator água/cimento:
  - 1% de F1: 230%
  - 1,5% de F1: 260%
  - 2% de F1: 280%
  - 2,5% de F1: 290%
- 9) com relação ao retorno da consistência do concreto ao valor inicial, representada pelo abatimento de  $70 \pm 15$  mm, pode-se fazer as seguintes colocações:
  - \* para o fator água/cimento 0,35, o retorno ao abatimento inicial ocorre em 15 minutos para os teores de 1 e 1,5% e aos 30 minutos para as proporções de 2 e 2,5% de aditivo. Comparativamente à amostra isenta de aditivo, apenas a mistura com 1,5% de superplastificante apresenta abatimento inferior a esta aos 30 minutos e, aos 45 minutos, as proporções de 1,5 e 2%.
  - \* para o fator água/cimento 0,5, o retorno ao abatimento inicial ocorre em 15 minutos para o



teor de 1% e em 30 minutos para os demais. Durante todo o período de ensaio, no entanto, apenas a mistura com proporção de 1% de superplastificante, a partir dos 30 minutos, apresenta abatimento inferior ao concreto piloto (figura 4.40).

- \* para o fator água/cimento 0,65, o retorno ao abatimento inicial ocorre em 15 minutos para a proporção de 1%, em 30 minutos para 1,5% e aos 45 minutos para os demais. Todas as amostras porém, apresentam abatimento superior ao concreto padrão para um mesmo período de tempo.

Conforme mencionado na revisão bibliográfica, geralmente os pesquisadores<sup>(32,81,52,67,24,82)</sup> consideram o efeito fluidificante do aditivo por um período de 30 a 60 minutos. No presente caso, observa-se que tal efeito só perdura além dos 15 minutos para os teores de 2 e 2,5% de superplastificante, considerando-se satisfatoriamente trabalháveis concretos de abatimento superior a 120mm.

Concorda-se, porém, com a colocação de MALHOTRA e MALANKA<sup>(72)</sup> de que os valores realmente altos de consistência prevalecem por apenas 5 ou 10 minutos.

Considera-se significativa a taxa de perda do abatimento do concreto nos diversos períodos de tempo. Chama-se atenção que a mistura isenta de aditivo, para qualquer fator água/cimento, também perde consistência prematuramente, já aos 15 minutos encontra-se abaixo da faixa inicial.

Com o objetivo de verificar possíveis problemas com o cimento empregado, realizou-se novos ensaios com cimento Portland Comum - CPE - 32 e cimento Portland Pozolânico - POZ - 32, este de outra procedência. As variáveis restringiram-se, neste caso, apenas ao fator água/cimento 0,5, sendo cada mistura ensaiada duas vezes a fim de obter-se o abatimento médio.

Nos Anexos 10 e 11 encontram-se respectivamente os resultados individuais e médios de abatimento do concreto, os quais permitiram a confecção da figura 4.45.

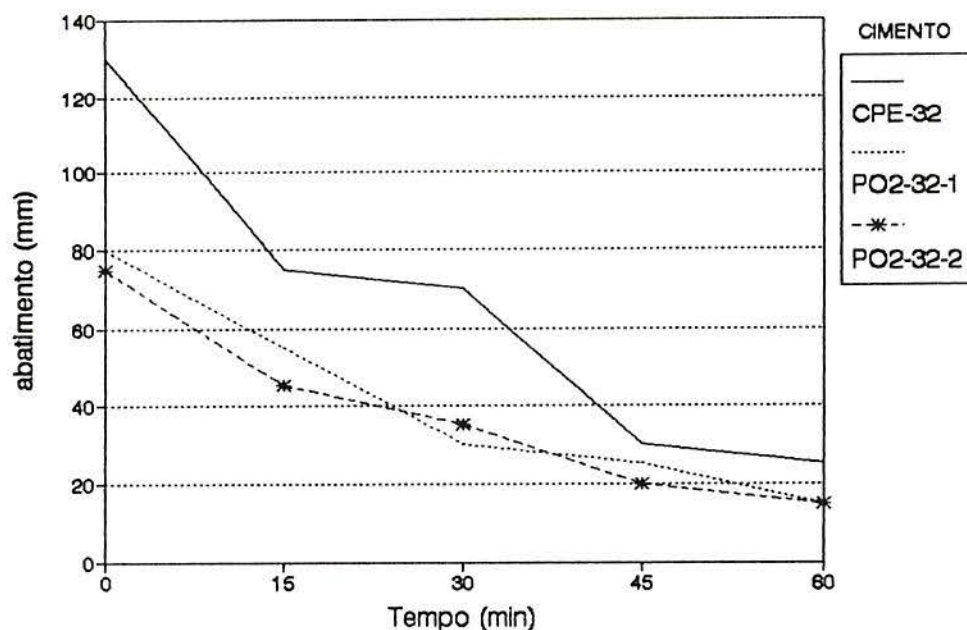


FIGURA 4.45 - Abatimento X Tempo - Comparativo de Cimentos - a/c 0,5; 0%

Observa-se que as misturas correspondentes ao cimento Portland Pozolânico apresentam comportamentos semelhantes, diferenciando-se do cimento Portland Comum. Apesar da perda de abatimento deste último ocorrer em proporção bem mais acentuada comparativamente aos demais, o fato de apresentar abatimento inicial significativamente mais alto permite que, aos 30 minutos, mantenha-se na faixa dos  $70 \pm 15$  mm.

É provável, por conseguinte, que concretos com cimento Portland Comum aditivados apresentem também taxas elevadas de perda de abatimento com o tempo. Não é possível prever porém, se ocorre em proporção superior à apresentada pelos concretos de cimento Portland Pozolânico aditivados.

O aumento de abatimento observado nos concretos com CPE - 32 mostra-se vantajoso, pois permite maior redução de água de amassamento da mistura, se for este o objetivo de emprego do superplastificante, não se esquecendo de sua perda

de consistência ou permite que em determinada idade o abatimento observado seja superior à mistura equivalente com POZ - 32.

Outra hipótese apontada diz respeito à betoneira utilizada, que pela possível quebra de agregados e alta eficiência na operação de mistura, provocaria a perda prematura de abatimento do concreto. Realizou-se alguns ensaios em betoneira de médio e pequeno porte com eixo inclinado.

No primeiro caso observou-se certa redução da taxa de perda de abatimento com o tempo, principalmente para o fator água/cimento 0,65, no entanto não em níveis que permitam apontar esta como a causa do comportamento observado.

Na segunda situação, observou-se comportamento similar aos concretos originais ao longo do tempo.

A definição dos teores de aditivo a serem utilizados baseia-se nos seguintes critérios:

- 1) escolhe-se os teores de aditivo que não correspondam a segregação e/ou exsudação da mistura de concreto, conforme análise visual;
- 2) escolhe-se os teores de aditivo referentes à mistura que apresentar abatimento maior ou igual a  $70 \pm 15$ mm, pelo menos até os 30 minutos, conforme figuras Abatimento x Tempo;
- 3) seleciona-se os teores de aditivo correspondentes ao trecho de maior inclinação nas figuras Abatimento X Teor de Aditivo, para o tempo de 15 minutos.

Assim, resultam as proporções apresentadas na tabela 4.9.



TABELA 4.9 - Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone - Seleção do Teor de Superplastificante

CRITÉRIOS	FATOR AGUA/CIMENTO		
	0,35	0,5	0,65
CRITÉRIO 1	todos	todos	1 e 1,5%
CRITÉRIO 2	2,5%	1,5; 2; 2,5%	2 e 2,5%
CRITÉRIO 3	2%	2%	2%
RESULTADO	2,5%	2%	1,5%

Salienta-se que os critérios mencionados são considerados em diferentes graus de importância, em ordem decrescente de 1 a 3. Desta forma, se o primeiro restringir a escolha de determinada dosagem de aditivo, os demais critérios são desprezados.

Tendo em vista a grande segregação apresentada pela mistura de fator água/cimento 0,65 com 2 e 2,5% de aditivo, procurou-se avaliar uma amostra com as mesmas condições de mistura, porém definida a partir de outro método de dosagem, agora o ACI, que fixa o teor de argamassa em 53%. Realmente observa-se decréscimo na segregação da nova mistura, no entanto, não em níveis suficientes que permitam o emprego dos referidos teores.

No Anexo 12, encontra-se a tabela resumo do proporcionamento de materiais do referido traço.

Salienta-se que os períodos de tempo referentes à aplicação dos critérios devem ser fixados conforme as exigências locais, se for este o caso.

No decorrer desta fase da parte experimental, observou-se que o ensaio de abatimento do tronco de cone não distingue concretos diferentes se dotados de alta trabalhabilidade. Exemplificando, os abatimentos iniciais das amostras com 2 e 2,5% de superplastificante, mostram-se equivalentes, situados em torno dos 200mm. Por observação visual, no entanto, difere-se facilmente uma mistura da outra,

onde a amostra com 2,5% de aditivo apresenta maior trabalhabilidade.

Este fato confirma a inadequabilidade do ensaio de abatimento do tronco de cone quando em misturas fluidas, conforme mencionado na revisão bibliográfica<sup>(118.59.109.98.49.16.17)</sup>, sem mencionar a dificuldade inerente deste método em comparar dois concretos, assumindo-os ou não como idênticos. Neste caso, ou avalia-se a mistura abatida de forma subjetiva ou limita-se a consistência em 180mm, considerando-se que este valor represente um concreto suficientemente trabalhável.

As proporções de aditivo selecionadas e apresentadas na tabela 4.9 diferem das constantes na tabela 4.8 apenas para o fator água/cimento 0,5. Salienta-se, no entanto, que os critérios semelhantes entre as duas análises correspondem a teores selecionados diferentes. A resposta final, portanto coincidentemente é a mesma.

#### **4.3.3. Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo**

Os resultados individuais de resistência à compressão do concreto encontram-se no Anexo 13. Destes, calculou-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação correspondente a cada idade de ruptura, conforme apresentado na tabela 4.10.



TABELA 4.10 - Resultados Médios de Resistência à Compressão

AMOSTRA	RESULT. MÉDIOS	IDADES DE RUPTURA (dias)					
		3	7	28	63	91	182
NUMERO 01	fcj (MPa)	21,70	30,24	45,19	50,32	55,20	48,53
a/c 0,35 TEOR 0% FABR. -	s (MPa)	0,72	1,84	0,96	3,19	7,57	8,59
	CV (%)	3,32	6,09	2,12	6,36	13,51	17,70
NUMERO 02	fcj (MPa)	15,52	22,10	36,68	43,03	48,06	44,95
a/c 0,35 TEOR 2,5% FABR. F1	s (MPa)	1,27	4,29	0,85	1,76	3,64	3,75
	CV (%)	8,19	19,40	2,32	4,10	7,57	8,35
NUMERO 03	fcj (MPa)	15,59	19,79	34,57	36,82	38,85	43,80
a/c 0,5 TEOR 0% FABR. -	s (MPa)	0,67	1,57	0,21	0,20	6,16	4,10
	CV (%)	4,32	7,93	0,59	0,54	15,85	9,35
NUMERO 04	fcj (MPa)	9,90	16,57	30,30	35,46	40,35	40,37
a/c 0,5 TEOR 2% FABR. F1	s (MPa)	0,25	0,21	0,83	1,14	0,0	0,61
	CV (%)	2,53	1,26	2,68	3,22	0,0	1,51
NUMERO 05	fcj (MPa)	9,73	12,01	21,07	25,77	31,91	29,92
a/c 0,65 TEOR 0% FABR. -	s (MPa)	0,37	0,96	0,81	1,58	3,36	1,51
	CV (%)	3,80	7,99	3,82	6,12	10,52	5,05
NUMERO 06	fcj (MPa)	7,43	10,48	17,82	25,58	28,49	29,06
a/c 0,65 TEOR 1,5% FABR. F1	s (MPa)	0,32	0,05	1,64	0,71	1,38	1,51
	CV (%)	4,31	0,47	9,19	2,78	4,83	5,18
NUMERO 07	fcj (MPa)	-	21,79	31,75	38,98	-	-
a/c 0,5 TEOR 0% FABR. -	s (MPa)	-	0,73	2,61	0,85	-	-
	CV (%)	-	3,34	8,23	2,19	-	-
NUMERO 08	fcj (MPa)	-	17,34	27,79	32,17	-	-
a/c 0,5 TEOR 2% FABR. F2	s (MPa)	-	0,29	1,48	1,85	-	-
	CV (%)	-	1,65	5,34	5,76	-	-

Todos os resultados individuais de resistência à compressão, cujos coeficientes de variação superaram os 6% foram submetidos à análise de valores espúrios<sup>(82)</sup>.

Elaborou-se novo cálculo de médias, desvios padrão e coeficientes de variação desconsiderando-se seis resultados efetivamente espúrios encontrados.



A verificação da igualdade de resistências à compressão entre as misturas de mesmo fator água/cimento, com e sem aditivo, baseou-se em critérios estatísticos de provas de hipótese com respeito às médias<sup>(82)</sup>.

Na tabela 4.11, assinala-se as amostras que não apresentaram variações significativas.

TABELA 4.11 - Percentual de Perda de Resistência à Compressão Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo

AMOSTRA	TEOR DE ADITIVO (%)	IDADE DE RUPTURA (dias)					
		3	7	28	63	91	182
Nº 1 e 2 a/c 0,35 FABR. F1	0	28,5	26,9	18,8	14,5	NDS	NDS
	2,5						
Nº 3 e 4 a/c 0,5 FABR. F1	0	36,5	16,3	NDS	NDS	NDS	NDS
	2,0						
Nº 5 e 6 a/c 0,65 FABR. F1	0	23,6	17,6	15,4	NDS	NDS	NDS
	1,5						
Nº 7 e 8 a/c 0,5 FABR. F2	0	-	20,4	12,4	17,5	-	-
	2,0						

Observa-se que, aos 91 e 182 dias, nenhuma das misturas apresentaram-se significativamente diferentes quando da presença de aditivo superplastificante para o mesmo fator água/cimento. Nas demais idades, no entanto, identifica-se claramente o menor desempenho em termos de resistência à compressão dos concretos aditivados, principalmente até os 28 dias.

A diferença percentual entre os dois valores está indicada na tabela 4.11, onde observa-se que na medida em que aumenta o grau de hidratação do concreto, diminui a diferença nos valores de resistência. O que confirma o mencionado por JOHNSON et al<sup>(88)</sup> de que as diferenças em termos de resistência, para ele positivas, tendem a desaparecer com o

tempo. De modo geral, para concretos com aditivo de fabricante 1 coloca-se o seguinte:

- aos 3 dias apresentam resistência à compressão 30% inferiores relativamente aos concretos isentos de aditivo, com coeficiente de variação de 22%;
- aos 7 dias, a diferença percentual cai para 20%, com coeficiente de variação de 28%;
- aos 28 dias, os concretos aditivados apresentam-se 15% inferiores, com coeficiente de variação de 18%, exceção feita a mistura de fator água/cimento 0,5;
- aos 63 dias, apenas o concreto de fator água/cimento 0,35 difere significativamente da amostra isenta de aditivo.

Com relação ao segundo fabricante, observa-se comportamento semelhante à tendência global mencionada, este porém, para todas as idades ensaiadas mostra diferença significativa entre os resultados com e sem aditivo, contrária à tendência do fabricante 1 para o mesmo fator água/cimento. Salienta-se que a dosagem de aditivo utilizada situa-se exatamente na metade da faixa recomendada pelo fabricante.

Para melhor visualização da evolução dos resultados, elaborou-se os gráficos apresentados nas figuras 4.46 e 4.47, que correlacionam resistência à compressão ( $f_{c,j}$ ) com a idade de ruptura.

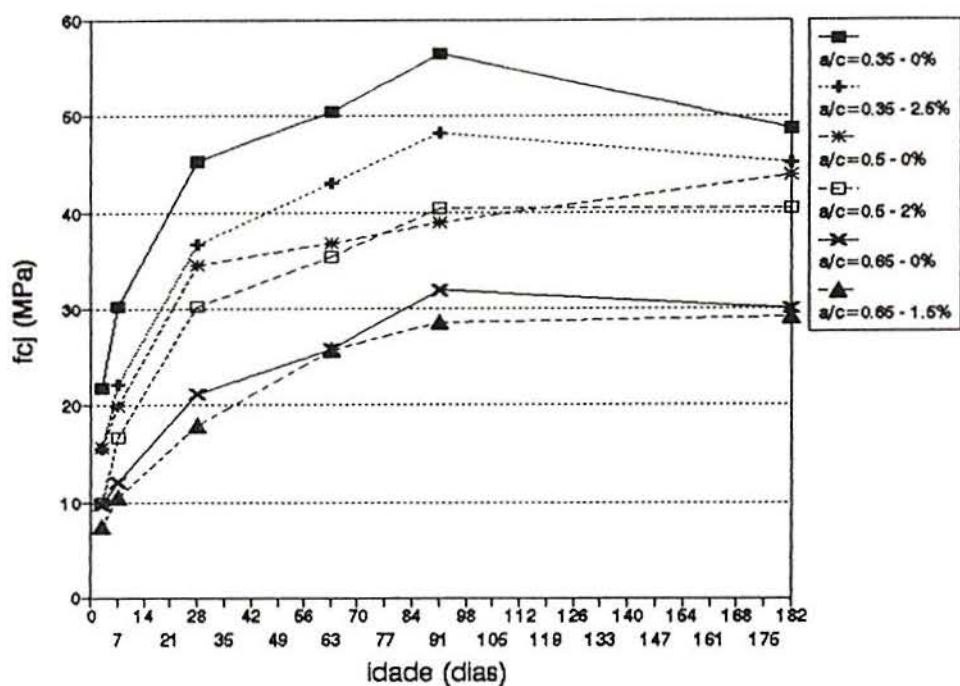


FIGURA 4.46 - Resistência à Compressão X Idade de Ruptura - Concretos com Superplastificante Tipo 1

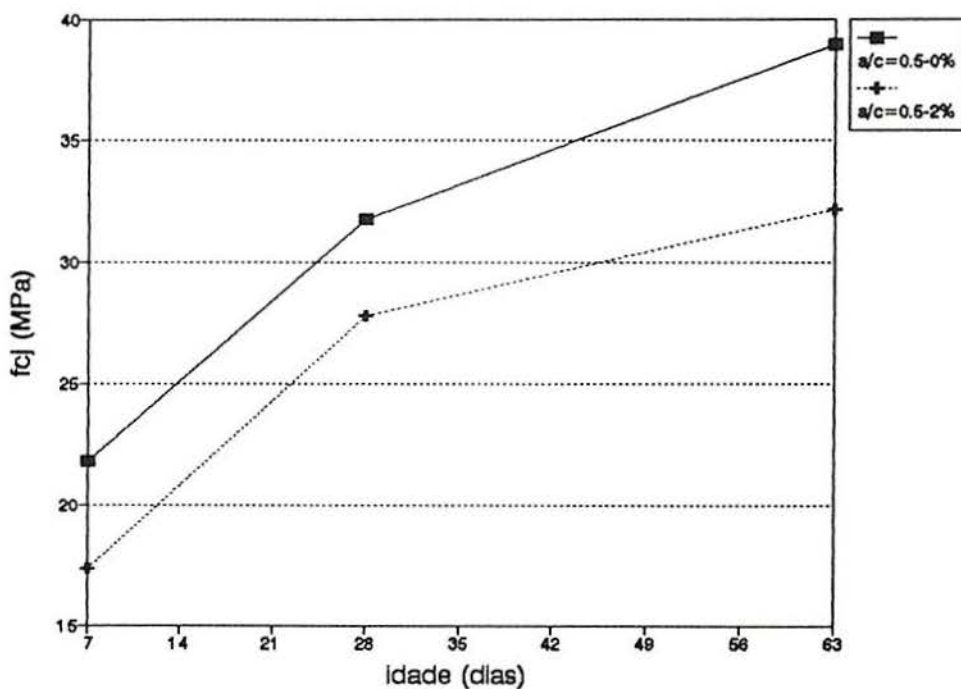


FIGURA 4.47 - Resistência à Compressão X Idade de Ruptura - Concreto com Superplastificante Tipo 2



Interessante observar que praticamente todas as curvas de resistência à compressão para o fabricante 1 apresentam na passagem dos 63 para os 91 dias elevado ganho de resistência. Porém, tendo em vista a pequena queda observada aos 182 dias para os concretos de fator água/cimento 0,35 e 0,65, talvez exista certa distorção dos valores referentes a idade de 91 dias.

No intuito de verificar se um concreto com teor de argamassa superior ao utilizado no presente estudo apresenta o mesmo desenvolvimento de resistência à compressão, moldou-se corpos de prova para as idades de 7, 28 e 63 dias para um traço de fator água/cimento 0,5, obtido pelo método de dosagem do ACI, cujo teor de argamassa é 53%. A tabela resumo do proporcionamento de materiais para a mistura em questão consta no Anexo 12.

Os resultados individuais de resistência à compressão encontram-se no final do Anexo 13, sendo os valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação apresentados na tabela 4.12.

TABELA 4.12 - Resultados Médios de Resistência à Compressão

AMOSTRA	RESULT. MÉDIOS	IDADES DE RUPTURA (dias)					
		3	7	28	63	91	182
NUMERO 09 ACI a/c 0,5 TEOR 0% FABR. -	fcj (MPa)	-	22,95	36,84	45,71	-	-
	s (MPa)	-	1,80	1,41	2,99	-	-
	CV (%)	-	7,82	3,83	6,54	-	-
NUMERO 10 ACI a/c 0,5 TEOR 2% FABR. F1	fcj (MPa)	-	15,40	23,65	30,94	-	-
	s (MPa)	-	0,08	1,18	1,98	-	-
	CV (%)	-	0,52	4,97	6,40	-	-

Pelo mesmo processo de comparação de médias<sup>(82)</sup>, todas as amostras aditivadas e isentas de aditivo mostraram-se significativamente diferentes, em qualquer idade. Tais diferenças, porém superaram a tendência mencionada

anteriormente, permanecendo neste caso, em torno dos 30% para todos os períodos investigados (tabela 4.13).

TABELA 4.13 - Percentual de Perda de Resistência à Compressão Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo

AMOSTRA	TEOR DE ADITIVO (%)	IDADE DE RUPTURA (dias)					
		3	7	28	63	91	182
Nº 7 e 8 a/c 0,5 FABR. F1	0	-	32,9	35,8	32,3	-	-
	2,0						

Na figura 4.48, compara-se as amostras de fator água/cimento 0,5 com F2 e F1, este último para ambos os métodos de dosagem. Interessante observar que o concreto de maior teor de argamassa isento de aditivo apresenta resistência à compressão bem superior às demais misturas, enquanto que o mesmo concreto aditivado mostra os menores resultados.

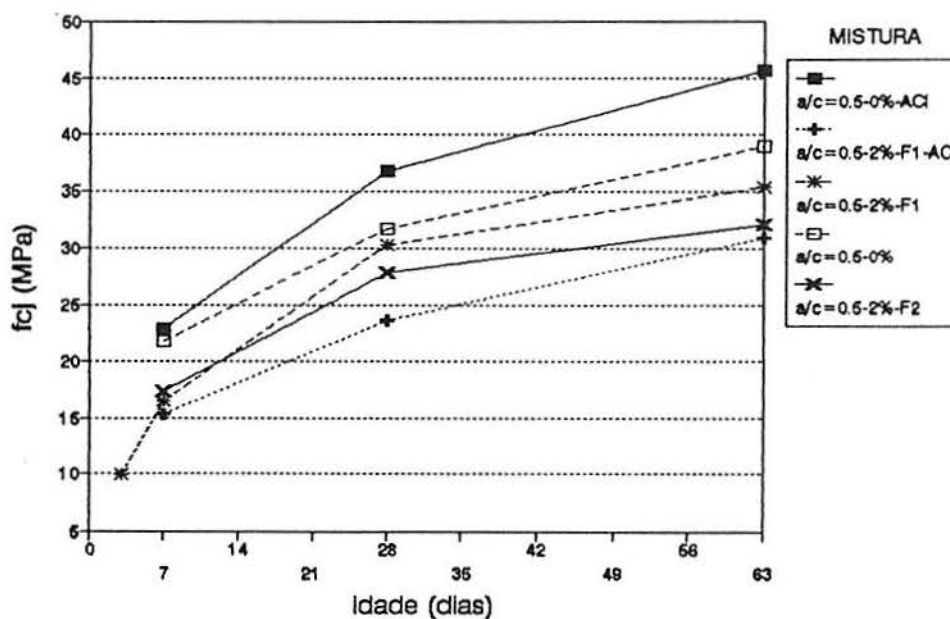


FIGURA 4.48 - Resistência à Compressão X Idade de Ruptura - Comparativo - a/c 0,5

Provavelmente este comportamento possa ser atribuído ao maior consumo de cimento do concreto cujo teor de argamassa é 53%, o qual conterà, conseqüentemente, maior volume de superplastificante. Como resultado, ter-se-á um aumento em todos os efeitos do produto, tanto primários quanto secundários.

As relações entre as resistências dos concretos com e sem aditivo superplastificante F1 aqui obtidas concordam com os resultados de JERATH e YAMANE<sup>(58)</sup>, que encontraram decréscimos da ordem de 1 a 19% para concretos aditivados aos 28 dias.

Conforme apresentado na revisão bibliográfica, no entanto, os pesquisadores possuem pontos de vista bastante variáveis com relação a este assunto.

O incremento de resistência obtido por vários deles é atribuído, geralmente, ao aumento da área efetiva disponível à hidratação, devido ao efeito dispersivo do produto e, ao melhor adensamento propiciado pelo concreto aditivado, ainda que o abatimento seja o mesmo.

Na presente situação, supõem-se que o volume de ar incorporado na mistura, como ação secundária do superplastificante e o possível atraso no desenvolvimento das reações de hidratação tenham superado os efeitos benéficos mencionados acima. Na face externa dos corpos de prova aditivados é visível o significativo aumento de vazios provenientes de bolhas de ar.

Para os corpos de prova de fator água/cimento 0,65 com 1,5% de aditivo observou-se certo retardo no endurecimento, uma vez que sua desforma não foi possível no dia seguinte ao ensaio, tendo se realizado em 48 horas.

O provável atraso no desenvolvimento das reações de hidratação ocasionado pelo superplastificante apresenta duplo efeito ao tratar-se de cimento Portland Pozolânico. Na medida em que parte do clínquer não reage inicialmente, devido a presença do aditivo, parte da pozolana permanece no sistema a espera do hidróxido de cálcio liberado, para então prosseguir as reações.



Certamente a ação retardante do aditivo é mais pronunciada ao tratar-se de cimento Portland Pozolânico pelo efeito em cadeia mencionado acima.

Cabe lembrar ainda que tal cimento apresenta naturalmente, ou seja, mesmo sem superplastificante, desenvolvimento mais lento das reações de hidratação, principalmente nas primeiras idades.

Na medida em que as reações de hidratação se desenvolvem, observa-se que a diferença relativa entre os valores de resistência dos corpos de prova com e sem aditivo diminui. Provavelmente na idade de 91 dias, o grau de hidratação dos concretos aditivados aproximem-se do mesmo para concretos isentos de aditivo, resultando misturas idênticas no que diz respeito a resistência à compressão.

Conforme mencionado na revisão bibliográfica, os efeitos do superplastificante sobre a resistência à compressão do concreto dependem fundamentalmente do produto utilizado, tanto em termos de fabricante, base química quanto dos teores empregados.

Provavelmente utilizando-se, para cada fator água/cimento, proporções inferiores de aditivo, ignorando-se o teor mais conveniente em termos de poder fluidificante, obteríamos menores perdas de resistência.

Salienta-se ainda que o superplastificante empregado é a base de naftaleno, que repercute em valores inferiores de resistência à compressão comparativamente a base melamina<sup>(59.31.28)</sup>.

#### **4.3.4. Utilização de Aditivos Superplastificantes como Redutores do Consumo de Cimento**

A partir dos proporcionamentos de materiais constantes no Anexo 1, utilizados até então para as misturas isentas de aditivo, prosseguiu-se com as fases 2 e 3 citadas no item 4.2.4., referente a metodologia de ensaio. Os traços resultantes ao final de cada etapa encontram-se no Anexo 14.

Na tabela 4.14, apresenta-se a redução do consumo de cimento permitida pelo superplastificante para cada fator água/cimento e teor de aditivo, de forma percentual, relativamente à amostra padrão, sem superplastificante.

TABELA 4.14 - Percentual de Redução do Consumo de Cimento Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo

FATOR a/c	TEOR DE ADITIVO (%)				
	0	1	1,5	2	2,5
0,35	0	2,8	5,5	13,2	10,6
0,5	0	3,6	4,5	8,8	10,0
0,65	0	2,2	3,0	4,4	6,5

Questiona-se os resultados obtidos tendo em vista a significativa perda de abatimento com o tempo verificada para as misturas de concreto na fase anterior do trabalho experimental. O tempo transcorrido para a elaboração das três fases do presente ensaio, envolvendo a determinação do abatimento, moldagem de corpos de prova e acréscimo de materiais, por três vezes consecutivas, certamente implica em distorções na real redução do consumo de cimento para cada mistura. É provável que a obtenção do abatimento final, de  $70 \pm 15$ mm, não tenha sido função única e exclusivamente do acréscimo de materiais, mas também da perda de consistência do concreto com o tempo.

Assim, procedeu-se a novas determinações de abatimento, agora de forma interativa e sem a moldagem de corpos de prova.

Neste caso, no momento em que a amostra aditivada atinge o abatimento de  $70 \pm 15$ mm é desprezada e re-inicia-se o ensaio a partir do traço anterior (rejeitado) até que o abatimento inicial obtido situe-se dentro da faixa mencionada.

Este processo interativo, por ser bastante trabalhoso, foi executado apenas para as dosagens de aditivo escolhidas no

item "4.3.2. Evolução da Trabalhabilidade do Concreto ao Longo do Tempo".

Os traços finais, resultantes deste procedimento, encontram-se no Anexo 15 e o percentual de redução do consumo de cimento obtido para cada amostra, comparativamente ao concreto padrão, apresenta-se na tabela 4.15.

TABELA 4.15 - Percentual de Redução do Consumo de Cimento Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo Processo Iterativo

FATOR a/c	TEOR DE ADITIVO (%)				
	0	1	1,5	2	2,5
0,35	0	-	-	-	19,8
0,5	0	-	-	13,6	-
0,65	0	-	12,2	-	-

Comparando-se as tabelas 4.14 e 4.15, observa-se grande diferença entre os percentuais resultantes.

Benefícios puramente econômicos destes valores são relativos. Para o fator água/cimento 0,35, por exemplo, o custo do concreto com aditivo representa 97,5% do custo do concreto isento de aditivo. Certamente tais relações dependem sobremaneira do local e situação econômica vigente.

Quanto aos corpos de prova moldados em cada fase de ensaio, seus resultados individuais de resistência à compressão na idade de 28 dias encontram-se no Anexo 16. Destes calculou-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação, conforme apresenta-se na tabela 4.16, onde 1, 2 e 3 correspondem às etapas de ensaio.



TABELA 4.16 - Resultados Médios de Resistência à Compressão

FATOR	PARAMETROS	TEOR DE ADITIVO (%)													
		a/c	DE	1			1,5			2			2,5		
				RESISTENC.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
0,35	fcj (MPa)	34,22	46,04	49,42	39,27	42,37	52,95	39,83	37,39	47,69	38,46	36,50	44,25		
	s (MPa)	0,70	2,77	4,85	1,02	1,68	4,75	6,88	1,49	0,62	1,21	1,07	2,35		
	CV (%)	2,05	6,01	10,55	2,60	4,00	9,00	17,30	3,98	1,29	3,16	2,89	5,30		
0,5	fcj (MPa)	29,54	32,40	36,96	29,53	28,69	37,15	29,44	26,24	33,48	27,79	22,05	32,07		
	s (MPa)	2,37	4,15	0,65	1,17	0,65	0,91	2,99	0,49	0,17	1,63	0,90	0,72		
	CV (%)	8,01	12,80	1,75	3,98	2,27	2,44	10,16	1,86	0,49	5,85	4,06	2,26		
0,65	fcj (MPa)	18,86	21,54	22,15	18,48	16,08	20,79	21,21	17,02	20,92	20,00	13,87	21,35		
	s (MPa)	0,89	0,78	0,62	1,02	0,92	1,22	0,21	0,16	0,16	0,43	1,74	0,46		
	CV (%)	4,75	3,61	2,78	5,51	5,75	5,85	1,02	0,95	0,77	2,13	12,55	2,12		

Dos cento e oito resultados individuais de resistência à compressão, oito apresentaram coeficientes de variação superior a 6%, os quais foram submetidos à análise de valores espúrios<sup>(82)</sup>. Posteriormente, um deles foi efetivamente desconsiderado.

De forma a identificar possíveis variações entre os resultados de resistência à compressão correspondentes às diferentes fases de um mesmo teor de aditivo, elaborou-se provas de hipótese com respeito às médias<sup>(82)</sup>.

Na tabela 4.17, indica-se quais amostras diferem ou não significativamente e apresenta-se, para o primeiro caso, a diferença percentual entre os valores de resistência à compressão.

TABELA 4.17 - Diferenças Percentuais de Resistência à Compressão  
Concreto Aditivado -> Concreto Isento de Aditivo

AMOSTRA	FASES	TEOR DE ADITIVO (%)			
		1	1,5	2	2,5
F1	1 - 2	+ 34,5	+ 7,9	NDS	- 5,1
a/c 0,35	1 - 3	+ 44,4	+ 34,9	+ 8,9	+ 15,1
F1	1 - 2	+ 9,7	NDS	NDS	- 20,5
a/c 0,5	1 - 3	+ 19,6	+ 25,8	+ 13,9	+ 15,5
F1	1 - 2	+ 14,2	- 13,0	- 19,8	- 30,5
a/c 0,65	1 - 3	+ 17,4	+ 12,5	NDS	+ 6,5

Algumas observações podem ser feitas com base nos dados apresentados:

- o comportamento com relação às provas de hipótese das amostras de fator água/cimento 0,35; 0,5 e 0,65 com 2,5; 2 e 1,5% de superplastificante respectivamente, mostra-se semelhante tanto no item "4.3.3. Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo" na idade de 28 dias quanto na tabela 4.17 (fase 1 - 2). Observa-se porém, certa redução do percentual de perda de resistência à compressão dos valores constantes na tabela 4.17. Pode-se atribuí-lo, talvez, ao menor efeito do superplastificante quando adicionado a misturas com período de hidratação superior a 5 minutos, conforme menciona COLLEPARDI<sup>(28)</sup>, o qual neste último caso situa-se entre 10 e 15 minutos.
- para todos os fatores água/cimento, quando da colocação do aditivo (fase 1 - 2), observa-se que na medida em que eleva-se a proporção de superplastificante, as diferenças percentuais vão gradativamente passando de resultados positivos (aumento de resistência) para negativos (perda de resistência) passando pela fase correspondente a "nenhuma diferença significativa" (NDS). Apenas o



fator água/cimento 0,65 não apresenta esta etapa intermediária, mostrando porém diferenças significativas de resistência, cada vez mais elevadas.

Tal comportamento permite observar a influência da proporção de aditivo nos resultados de resistência à compressão. Podendo-se verificar em que momento os efeitos colaterais do superplastificante, provavelmente incorporação de ar e retardo nas reações de hidratação, suplantam os efeitos benéficos sobre a resistência à compressão, como o já referido aumento na área disponível à hidratação e facilidade de adensamento.

A limitação do teor de superplastificante a valores cujos resultados de resistência à compressão não distingam-se significativamente da correspondente mistura padrão, pode ser utilizada como critério de seleção. Neste caso teríamos para os fatores água/cimento 0,35; 0,5 e 0,65 as proporções limites de 2, 2 e 1% respectivamente.

- a partir dos abatimentos iniciais obtidos nos itens 4.3.2. - Evolução da Trabalhabilidade do Concreto ao Longo do Tempo e 4.3.4. - Utilização dos Aditivos Superplastificantes como Redutores do Consumo de Cimento, observa-se que o aditivo de fabricante 1, quando utilizado em proporções inseridas na faixa recomendada pelo fabricante, não permite a produção de concretos fluidos. Conforme ASTM 1017-85<sup>(6)</sup>, tais misturas devem apresentar abatimento inicial superior a 190mm, entre outras características, o qual no presente caso, situa-se entre 150mm para o fator água/cimento 0,35 e 165mm para o fator água/cimento 0,5, ambos para o limite superior da referida faixa.

É possível pelo exposto na tabela 4.17, aumentar a proporção de superplastificante F1 pelo menos até 2%, a qual supera a faixa recomendada pelo fabricante, para as misturas de fator água/cimento



0,35 e 0,5, obtendo-se maior efeito fluidificante do produto sem acarretar diferença significativa nos resultados de resistência à compressão, para a idade usual de 28 dias. Esta verificação deve ser feita, no entanto, seguindo-se procedimento semelhante ao item 4.3.3. Evolução da Resistência à Compressão do Concreto com o Tempo, no qual executou-se ensaios apenas para as proporções de aditivo escolhidas previamente. Certamente neste caso, possíveis alterações nos tempos de início e fim de pega devem ser investigadas.

- observa-se quando da colocação de areia e brita (fase 1 - 3) que os resultados de resistência à compressão são acrescidos para todas as amostras em questão. A proporção deste aumento é bastante significativa e possivelmente não resulta de uma única causa.

Pode-se apontar o escape de parte das bolhas de ar oriundas do aditivo durante o tempo transcorrido entre a incorporação do produto e a moldagem dos corpos de prova da terceira fase. Conforme mencionam JOHNSTON et al<sup>(59)</sup>, "... o volume de bolhas de ar muda constantemente ao longo da primeira hora".

Possivelmente ocorra certa redução no fator água/cimento das amostras devido a evaporação da água de amassamento ao longo do período de ensaio.

E ainda, não é possível dizer se a adição de material suplementar e/ou a mistura destes por um período razoável de tempo, inclusive após a colocação do superplastificante, até a obtenção do abatimento inicial, afetam os resultados de resistência à compressão.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os superplastificantes, na forma de produtos químicos adicionados aos concretos, devem ter seus efeitos extensivamente avaliados.

A seguir, destaca-se as principais conclusões obtidas em cada uma das etapas do trabalho experimental desenvolvido com cimento pozolânico e que estão detalhadas no texto.

### 5.1. PODER FLUIDIFICANTE DO ADITIVO AO LONGO DO TEMPO E INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

Procurou-se utilizar o ensaio de mini-abatimento como instrumento de pré-qualificação dos aditivos superplastificantes, tendo em vista as facilidades que este método apresenta se comparado a ensaios equivalentes com concreto. Conforme segue, algumas considerações básicas podem ser feitas:

- o aumento da temperatura acarreta maior fluidez inicial, mas também maior perda desta com o tempo;
- quanto maior a proporção de superplastificante, mais elevada é a taxa de perda de fluidez com o tempo;
- as misturas isentas de aditivo apresentam comportamento com relação à fluidez praticamente constante na medida em que o tempo evolui;
- a maior proporção de perda de fluidez das amostras aditivadas ocorre nos primeiros trinta minutos;
- os superplastificantes aumentam a fluidez de todas as pastas de cimento estudadas, com exceção das amostras de fator água/cimento  $0,35$  aos  $20,5 \pm 1,5^\circ\text{C}$ , as quais apresentam comportamento irregular.

Salienta-se que tal situação mantém-se ao longo de todo o período de ensaio, ou seja, 90 minutos;

- todos os resultados de fluidez correspondentes ao fabricante 1 mostraram-se significativamente superiores aos correspondentes valores do fabricante 2. Interessante observar que este último aditivo, além de ser empregado em maior quantidade para a mesma fluidez, apresenta custo por litro mais elevado comparativamente ao fabricante 1.

A partir do que expôs-se, verifica-se a importância de analisar previamente o poder fluidificante dos aditivos disponíveis no mercado.

- ao longo dos ensaios de mini-abatimento, verificou-se em diversas ocasiões e em vários aspectos do ensaio, certa irregularidade de comportamento nas pastas de fator água/cimento 0,65 e, em proporção menor, nas de fator água/cimento 0,35. Considera-se adequado ao desenvolvimento de ensaios de mini-abatimento, pastas de fator água/cimento 0,5.
- o ensaio de mini-abatimento mostrou-se efetivo na identificação do produto de maior ação fluidificante, mas certamente não para a definição do teor de aditivo mais conveniente a determinado concreto. Questões como exsudação e segregação necessariamente precisam ser avaliadas ao tratar-se de aditivos superplastificantes.

## 5.2. EVOLUÇÃO DA TRABALHABILIDADE DO CONCRETO AO LONGO DO TEMPO

Nesta etapa do trabalho experimental, constatou-se a dificuldade em avaliar a consistência de concretos fluidos através do ensaio de abatimento do tronco de cone. Tal método não distingue concretos visualmente diferentes se dotados de alta trabalhabilidade.

Pode-se fazer as seguintes colocações com base nos dados obtidos:



- o fator água/cimento parece não influir no abatimento inicial, seja de misturas isentas de aditivo, seja de misturas aditivadas, estas para o mesmo teor de superplastificante.
- de modo geral, quanto mais elevado é o fator água/cimento menor é a perda de abatimento de concretos aditivados com o tempo. As misturas sem superplastificante não apresentam este fenômeno, isto é, a redução do seu abatimento ao longo do tempo não é influenciada pelo fator água/cimento.
- ao incorporar-se superplastificante de fabricante 1, pode-se considerar os acréscimos, apresentados na tabela 5.1, nos resultados de abatimento inicial, em relação ao concreto isento de aditivo, para qualquer fator água/cimento.

TABELA 5.1 - Acréscimo do abatimento inicial

TEOR DE ADITIVO (% peso de cimento)	ACRÉSCIMO INICIAL DO ABATI- MENTO DO TRONCO DE CONE (%)
1	230
1,5	260
2	280
2,5	290

- a maior proporção de perda de abatimento ocorre nos primeiros 30 minutos para todas as misturas, sendo que de modo geral, neste período de tempo, a perda diminui na medida em se aumenta a dosagem de aditivo;
- geralmente, o retorno ao abatimento inicial, de  $70 \pm 15$ mm, ocorre em 15 minutos para os concretos com 1% de F1 e em 30 minutos para as demais proporções. Verificou-se que abatimento superior a 120mm mantém-se além de 15 minutos só para as proporções de 2 e 2,5% de aditivo;
- quaisquer que sejam as variáveis envolvidas, todos os concretos apresentam consistências equivalentes

aos 60 minutos. Salienta-se porém, que os abatimentos obtidos neste período de tempo situam-se entre 15 e 30mm, praticamente no limite inferior de precisão do método de ensaio, e bem inferiores ao valor inicial, sem aditivo, de  $70 \pm 15$ mm;

- todos os concretos aditivados perdem aproximadamente 80% do abatimento aos 45 minutos, enquanto que a amostra piloto, isenta do produto, para este mesmo período de tempo, perde aproximadamente 50% para o fator água/cimento 0,35 e 70% para as relações água/cimento 0,5 e 0,65;
- o superplastificante F1, empregado nas dosagens recomendadas pelo fabricante, não permite a produção de concretos fluidos, o qual conforme ASTM 1017-85<sup>(6)</sup> requer abatimento inicial maior do que 190mm. Por isso é imprescindível a avaliação prévia do aditivo com o cimento que será empregado.

### 5.3. EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO COM O TEMPO

Nesta etapa do trabalho, observou-se redução na resistência à compressão dos concretos aditivados comparativamente à amostra equivalente sem aditivo.

De modo geral, para concretos com aditivo de fabricante 1 coloca-se o seguinte:

- aos 3 dias apresentam resistência à compressão cerca de 30% inferiores a dos concretos isentos de aditivo;
- aos 7 dias, a diferença percentual cai para cerca de 20%;
- aos 28 dias, os concretos aditivados apresentam-se cerca de 15% inferiores, exceção feita a mistura de fator água/cimento 0,5, que não apresentam diferença estatisticamente significativa;

- aos 63 dias, apenas o concreto de fator água/cimento 0,35 difere significativamente da amostra isenta de aditivo (-14.5%);
- aos 91 e 182 dias, no entanto, não encontrou-se nenhuma diferença significativa quando da presença de superplastificante.

Provavelmente, na forma de efeitos secundários, o superplastificante incorpore certo volume de ar ao concreto e principalmente retarde o desenvolvimento das reações de hidratação.

O efeito retardante do aditivo certamente é mais pronunciado ao tratar-se de cimento Portland Pozolânico, devido a sequência das reações químicas, ou seja, na medida em que parte do clínquer não reage inicialmente, as reações pozolânicas são também atrasadas por dependerem do hidróxido de cálcio liberado.

Cabe lembrar que tal cimento apresenta naturalmente, ou seja, mesmo sem superplastificante, desenvolvimento mais lento das reações de hidratação, principalmente nas primeiras idades.

Deve-se salientar que as dosagens de aditivo F1 empregadas nesta etapa do trabalho correspondem às escolhidas no item anterior, baseada em critérios de seleção, as quais excedem a faixa recomendada pelo fabricante. Certamente proporções menores de aditivo correspondem a valores de resistência à compressão mais próximos do concreto isento do produto nas primeiras idades.

Com relação ao fabricante 2, no entanto, observou-se perdas significativas de resistência à compressão em concretos cujo teor de aditivo está inserido na metade da faixa recomendada pelo fabricante.



#### 5.4. UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES COMO REDUTORES DO CONSUMO DE CIMENTO

Na quarta e última parte do trabalho experimental, alcançou-se os percentuais de redução do consumo de cimento de 19,8; 13,6 e 12,2 respectivamente para os concretos de fator água/cimento 0,35; 0,5 e 0,65. Salieta-se que a utilização de superplastificantes com este enfoque não deve restringir-se somente a questões econômicas, mas também aos benefícios oriundos de concretos menos ricos.

Com relação aos ensaios de resistência à compressão desenvolvidos nesta etapa, observou-se comportamento semelhante ao apresentado no item 5.3.

Interessante observar que ao aumentar-se a proporção de aditivo, as diferenças percentuais nos resultados de resistência à compressão vão gradativamente passando de positivas (ganho de resistência) para negativas, atravessando a fase correspondente a "nenhuma diferença significativa".

Tal comportamento permite observar a influência da proporção de aditivo nos resultados de resistência à compressão. Pode-se verificar em que momento os efeitos colaterais do superplastificante, provavelmente incorporação de ar e atraso no desenvolvimento das reações de hidratação, suplantam os efeitos benéficos sobre a resistência à compressão, como o referido aumento na área disponível à hidratação e facilidade de adensamento.

#### 5.5. COMENTARIOS FINAIS

Apesar dos concretos de cimento Portland Pozolânico aditivados apresentarem redução da resistência à compressão nas primeiras idades, pode-se considerar viável a utilização de superplastificantes e possível a produção de concretos fluidos com cimento pozolânico.

Quanto à redução do consumo de cimento através do emprego de aditivos superplastificantes, não encontrou-se

vantagens econômicas, e este procedimento só pode ser considerado válido caso exista necessidade técnica.

Em resumo, pode-se afirmar que é possível o emprego de aditivos superplastificantes em regiões como o estado do Rio Grande do Sul, onde outros cimentos que não sejam o Portland Pozolânico apresentam fornecimento irregular e escasso.

#### 5.6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A partir do que observou-se ao longo da dissertação, pode-se sugerir vários trabalhos para futuros desenvolvimentos, conforme indica-se a seguir:

- avaliar a proporção de ar incorporado pelos superplastificantes;
- avaliar possíveis alterações nos tempos de início e fim de pega dos concretos aditivados;
- avaliar o grau de perda da trabalhabilidade de concretos expostos a diferentes faixas de temperaturas;
- avaliar a retração de concretos com superplastificantes;
- avaliar métodos que permitam identificar certas características subjetivas, alteradas pela utilização de superplastificantes, tais com leveza, facilidade de adensamento, acabamento superficial, entre outras;
- avaliar métodos alternativos de determinação da trabalhabilidade de concretos fluidos;
- influência do teor de adições pozolânicas no funcionamento do aditivo superplastificante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, I.R. de. Programa de economia de cimento e qualificação técnico-econômica de aditivos para o concreto. Niterói, R.J.: Universidade Federal Fluminense, 1984. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - UFF.
2. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Admixtures for concrete: ACI 212.1R-81. In: \_\_\_\_\_. ACI manual of concrete practice. Detroit, 1982. Part 1: Materials and general properties of concrete.
3. \_\_\_\_\_. Cement and concrete terminology: ACI 116R-78. In: \_\_\_\_\_. ACI manual of concrete practice. Detroit, 1982. Part 1: Materials and general properties of concrete.
4. \_\_\_\_\_. Committee 212. Chemical admixtures for concrete: ACI 212.3R. ACI Materials Journal, v.86, n.3, p.297-327, May/June 1989.
5. \_\_\_\_\_. Committee 226. Use of fly ash in concrete. ACI Materials Journal, v.84, n.5, p.381-409, Sept./Oct. 1987.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard specification for chemical admixtures for use in producing flowing concrete: ASTM C1017-85. In: \_\_\_\_\_. Annual book of ASTM standards. Philadelphia, Pa., 1985.
7. \_\_\_\_\_. Standard Specification for chemical admixtures for concrete: C494-86. In: \_\_\_\_\_. Annual book of ASTM standards. Philadelphia, Pa., 1988. p.248-255.
8. ANDERSEN, P.J., ROY, D.M., GAIDIS, J.M. The effects of adsorption of superplasticizers on the surface of



Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.209-220.  
(ACI SP,119)

19. BEAUDOIN, J.J., RAMACHANDRAN, V.S. Effect of water dispersible polymers on the properties of superplasticized cement paste, mortar and concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE USE OF SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE, 3, 1989, Ottawa, Canada. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.221-242. (ACI SP,119)
20. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Glossary of rheological terms:** BS 5168. London, 1975. 3p.
21. \_\_\_\_\_. **Specification for concrete admixtures:** BS 5075: Part 1. London, 1974.
22. BROOKS, J.J., WAINWRIGHT, P.J. Properties of ultra-high-strength concrete containing a superplasticizers. **Magazine of Concrete Research**, v.35, n.125, p.205-213, Dec. 1983.
23. BUCHER, H.R.E. Desempenho de aditivos redutores de água de alta eficiência em pastas, argamassas ou concretos. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 30, 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBRACON, 1988. v.2, p.609-625.
24. CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION. **Superplasticizing admixtures in concrete.** London, 1978 (Publication. 45030)
25. CIACH, T.D., SWENSON, E.G. Morphology and microstructure of hydrating portland cement and its constituents v. changes in hydration of portland cement with and without the presence of triethanolamine and calcium lignosulphonate. **Cement and Concrete Research**, v.1, p.515-530, 1971.
26. COLLEPARDI, M. Assessment of the "rheoplasticity" of concretes. **Cement and Concrete Research**, v.6, n.3, p.401-408, May 1976.

27. \_\_\_\_\_. Concretos com aditivo superfluidificante em clima quente. In: CURSO DE TECNOLOGIA DE ADITIVOS, 1983, São Paulo. São Paulo: IPT, 1983. v.2, Cap.6, p.213-237.
28. \_\_\_\_\_. **Superplasticizing chemical admixtures.** Department of Science of Materials and Earth. University of Ancona, Italy, 1991.
29. COLLEPARDI, M., CORRADI, M., VALENTE, M. Influência do grau de polimerização do condensado de formaldeído naftaleno sulfonado na sua interação com o cimento. In: CURSO DE TECNOLOGIA DOS ADITIVOS, 1983, São Paulo. São Paulo: IPT, 1983. v.2, cap.6, p.165-177.
30. \_\_\_\_\_. Low-slump loss superplasticized concrete. In: TRANSPORTATION RESEARCH RECORD. **Superplasticizers in Concrete.** Washington: National Academy of Sciences, 1979. p.7-12. (TRR, 720)
31. COLLEPARDI, M., MONOSI, S., VALENTE, M., Optimization of superplasticizer type and dosage in fly ash and silica fume concretes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE, 3, 1989, Ottawa, Canada. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.425-443. (ACI SP, 119)
32. CURSO DE TECNOLOGIA DE ADITIVOS, 1983, São Paulo. São Paulo: IPT, 1983. v.1.
33. DAIMON, M., ROY, D.M. Rheological properties of cement mixes: II zeta potencial an preliminary viscosity studies. **Cement and Concrete Research**, v.9, n.1, p.103-110, 1979.
34. DEZHEN, G., DAYU, X., ZHANG, L. Model of mechanism for naphthalene series water-reducing agent. **Journal of the American Concrete Institute**, v.79, n. 5, p.378-386, Sept./Oct. 1982.
35. EDMEADES, R.M., HEWLETT, P.C. Admixtures - present and future trends. **Concrete**, v.20, n.8, p.4-7, Aug 1986.



36. \_\_\_\_\_. Superplasticizer concrete - high workability retention. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ADMIXTURES, 1980, London. **Papers...** Lancaster: The Construction Press, 1980. p.49-72.
37. EGLINTON, M.S. **Concrete and its chemical behaviour.** London, 1987.
38. ERIKSEN, K., NEPPER-CHRISTENSEN, P. Experiences in the use of superplasticizers in some special fly ash concretes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 2, 1981, Ottawa, Canada. **Developments in the use of superplasticizers.** Detroit: American Concrete Institute, 1987. p.1-20. (ACI SP, 68)
39. ERLIN, B., HIME, W. Concrete slump loss and field examples of placement problems. **Concrete International**, v.1, n.1, p.48-51, Jan. 1979.
40. FERREIRA, O.P., SILVA, L.F. O uso de superplastificantes na obtenção de concreto fluido. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 30, 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBRACON, 1988. v.2, p.636-650.
41. GASPARG-TEBAR, D. Aditivos para hormigones, morteros y pastas: generalidades, clasificación y definiciones. **Informes de la Construcción**, n.340, p.35-40, mayo 1982.
42. \_\_\_\_\_. Aditivos para Hormigones, Morteros y Pastas. Normativa: Clasificación y definiciones. **Materiales de Construcción**, v.35. n.200, p.69-77, Oct./Dec. 1985.
43. GIAMMUSSO, S.E. Os aditivos na tecnologia do concreto. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 30, 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBRACON, 1988. v.2, p.651-663.
44. \_\_\_\_\_. Reologia do concreto (2ª parte). **A Construção na Região Sul**, Pini, n.244, p.27-30, Fev. 1989.
45. GIOVANNETTI, E. **Princípios básicos sobre concreto fluido.** São Paulo: IBRACON, 1989. 83p.
46. GONÇALVES, J.R.A., MELO, E.B., BASTLHO, F.A. A influência dos superplastificantes na porosidade capilar e na



resistência das pastas de cimento Portland. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 2, 1990, São Paulo. v.1, p.117-132.

47. HAMPTON, J.S. Extended workability of concrete containing high-range water-reducing admixtures in hot weather. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 2, 1981, Ottawa, Canada. **Developments in the use of superplasticizers.** Detroit: American Concrete Institute, 1987. p.409-422. (ACI SP, 68)
48. HANNA, E. et al. Rheological behavior of portland cement in the presence of a superplasticizers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE USE OF SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE, 3, 1989, Ottawa, Canada. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.171-188. (ACI SP, 119)
49. HATTORI, K. Experience with mighty superplasticizer in Japan. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 1, 1978, Ottawa, Canada. **Papers...** Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.37-66. (ACI SP, 62)
50. HELENE, P.R.L., UEMOTO, K.L. Influência que as adições ao cimento portland exercem no efeito de aditivos superplastificantes. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 30, 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBRACON, 1988. v.2, p.626-635.
51. HEWLETT, P.C. The concept of superplasticized concrete. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 1, 1978, Ottawa, Canada. **Papers...** Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.1-20. (ACI SP, 62)
52. \_\_\_\_\_. Experience in the use of superplasticizers in England. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 1, 1978, Ottawa, Canada. **Papers...** Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.101-122. (ACI SP, 62)

53. HEWLETT, P.C., EDMEADES, S.R. Superplasticized concrete. Part 1. *Concrete*, v.18, n.4, p.31-32, April 1984.
54. \_\_\_\_\_. Superplasticised concrete: Part 2. *Concrete*, v.18, n.5, p.31-32. May 1984.
55. HEWLETT, P.C., RIXOM, R. Superplasticized concrete. *ACI Journal*, v.74, p.6-11. May 1977.
56. HULSHIZER, A.J., UCCIFERRO, J.J., GRAY, G.E. Case histories - the use of superplasticizers in two extremes of concrete placement difficulties. In: INTERNATIONAL CONFERENCE SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE, 3, 1989, Ottawa, Canada. *Proceedings...* Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.41-77. (ACI SP, 119)
57. IZUMI, T. et al. Slump control with reactive polymeric dispersant. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE USE OF SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 3, 1989, Ottawa, Canada. *Proceedings...* Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.243-262. (ACI SP, 119)
58. JERATH, S., YAMANE, L.C. Mechanical properties and workability of superplasticized concrete. *Cement, Concrete, and Aggregates*, v.9, n.1, p.12-19, 1987.
59. JOHNSTON, C.D., GAMBLE, B.R., MALHOTRA, V.M. Effects of superplasticizers on properties of fresh and hardened concrete. In: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. *Superplasticizers in concrete*. Washington: National Academy of Sciences, 1979. p.1-7. (TRR, 720)
60. KANTRO, D.L. Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste - a miniature slump test. *Cement, Concrete and Aggregates*, v.2, n.2, p.95-102, 1980.
61. KASAMI, H., IKEDA, T., YAMANE, S. On workability and pumpability of superplasticized concrete - experience in Japan. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 1, 1978, Ottawa, Canada. *Papers...*



- Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.67-85.  
(ACI SP, 62)
62. KHALIL, S.M., WARD, M.A. Effect of sulphate content of cement upon heat evolution and slump loss of concretes containing high-range water-reducers (superplasticizers). *Magazine of Concrete Research*, v.32, n.110, p.28-38, March 1980.
63. KIHARA, Y., ESPER, M.W. *Perfil dos cimentos Portland pozolânicos brasileiros*. São Paulo: ABCP, 1985. 29p. (ET, 82)
64. KISHITANI, K., TOMOSAKA, F., OKA, S. Rheological study of superplasticized concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 2, 1981, Ottawa, Canada. *Developments in the use of superplasticizers*. Detroit: American Concrete Institute, 1978. p.423-439. (ACI SP, 68)
65. KREIJGER, P.C. *Plasticizers and dispersing admixtures*. Lancaster, The Construction Press. London, 1980. p.1-16.
66. LANE, R.O., BEST, J.F. Laboratory studies on the effects of superplasticizers on the engineering properties of plain and fly ash concrete. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 1, 1978, Ottawa, Canada. *Papers...* Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.193-207. (ACI SP, 62)
67. MAILVAGANAM, N.P. Factors influencing slump loss in flowing concrete. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 1, 1978, Ottawa, Canada. *Papers...* Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.389-403. (ACI SP, 62)
68. MALHOTRA, V.M. Superplasticizers: a global review with emphasis on durability and innovative concretes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE USE OF SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE, 3, 1989,



- Ottawa, Canada. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.1-17. (ACI SP, 119)
69. \_\_\_\_\_. Superplasticizers: reducing water in concrete. **Civil Engineering**, v.54, n.12, p.56-59, Dec. 1984.
70. \_\_\_\_\_. Superplasticizers: their effect on fresh and hardened concrete. **Concrete International**, v.3, n.5, p.66-81, May 1981.
71. \_\_\_\_\_. **Supplementary cementing materials for concrete.** CANMET, 87.
72. MALHOTRA, V.M., MALANKA, D. Performance of superplasticizers in concrete: laboratory investigation: Part I. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE**, 1, 1978, Ottawa, Canada. **Papers...** Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.209-243. (ACI SP, 62)
73. MASSAZZA, F., COSTA, U., BARRILA, A. Adsorption of superplasticizers on calcium aluminate monosulfate hydrate, developments in the use of superplasticizers. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE**, 2, 1981, Ottawa, Canada. **Developments in the use of superplasticizers.** Detroit: American Concrete Institute, 1987. p.499-514. (ACI SP, 68)
74. MEHTA, P.K. **Concrete - Structure, properties, and materials.** Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1986. 450p.
75. MEYER, A. Experiences in the use of superplasticizers in Germany. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE**, 1, 1978, Ottawa, Canada. **Papers...** Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.21-36. (ACI SP, 62)
76. MEYER, L.M., PERENCHIO, W.F. Theory of concrete slump loss as related to the use of chemical admixtures. **Concrete International**, v.1, n.1, p.36-43, Jan 1979.
77. MIELENZ, R.C. History of chemical admixtures for concrete. **Concrete International**, v.6, n.4, p.40-53, April 1984.

78. MITSUI, K. et al. Properties of high-strength concrete with silica fume using high-range water reducer of slump retaining type. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE USE OF SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE, 3, 1989, Ottawa, Canada. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.79-97. (ACI SP, 119)
79. MOORFIELD, G. Concrete for hot climates. **Concrete**, v.16, n.12, p.14-18, Dec. 1982.
80. MOR, A., RAVINA, D. The DIN flow table. **Concrete International**, v.8, n.12, p.53-56, Dec./1986.
81. NAGATAKI, S., SAKAI, E., TAKEUCHI, T. The fluidity of fly-ash cement paste with superplasticizer. **Cement and Concrete Research**, v.14, p.631-638, 1984.
82. NANNI, L.F. **Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais.** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1986. 178p. (Caderno Técnico, 30).
83. NAWA, T., EGUCHI, H., FUKAYA, Y. Effect of alkali sulfate on the rheological behavior of cement paste containing superplasticizer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE USE OF SUPERPLASTICIZERS AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE, 3, 1989, Ottawa, Canada. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.405-424. (ACI SP, 119)
84. NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1982. 738p.
85. NISHIBAYASHI, S., YAMURA, K., INOUE, S. Rheological properties of superplasticized concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 2, 1981, Ottawa, Canada. **Developments in the use of superplasticizers.** Detroit: American Concrete Institute, 1987. p.441-466. (ACI SP, 68)
86. ONOFREI, M.N., GRAY, M.N. Adsorption studies of <sup>35</sup>S - labelled superplasticizer in cement - based grout. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE USE OF SUPERPLASTICIZERS



- AND OTHER CHEMICAL ADMIXTURES IN CONCRETE, 3, 1989, Ottawa, Canada. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1989. p.645-662. (ACI SP, 119)
87. ORCHARD, D.F. **Concrete technology - properties of materials.** v.1, Sydney, 1962, 358p.
88. PERENCHIO, W.F., WHITING, D.A., KANTRO, D.L. Water reduction, slump loss and entrained air-void system as influenced by superplasticizers. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 1, 1978, Ottawa, Canada. **Papers...** Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.137-155. (ACI SP, 62)
89. PREVITE, R.W. Concrete slump loss. **Journal of the American Concrete Institute**, v.74, n.8, p.361-367. Aug. 1977.
90. RAMACHANDRAN, V.S. Adsorption and hydration behavior of tricalcium aluminate-water and tricalcium aluminate-gypsum-water systems in the presence of superplasticizers. **Journal of the American Concrete Institute**, v.80, n.3, p.235-241. May/June 1983.
91. \_\_\_\_\_. Effect of retards / water reducers on slump loss in superplasticized concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 2, 1981, Ottawa, Canada. **Developments in the use of superplasticizers.** Detroit: American Concrete Institute, 1987. p.393-407. (ACI SP, 68)
92. RAMACHANDRAN, V.S., MALHOTRA, V.M. Superplasticizers. In: RAMACHANDRAN, V.S. (Ed.). **Concrete admixtures handbook: properties, science and technology.** Park Ridge: Noyes, 1984. cap.4, p.211-263.
93. RAVINA, D. Slump loss of fly ash concrete. **Concrete International**, v.6, n.4, p.35-39. Apr. 1984.
94. RAVINA, D., MOR, A. Effects of superplasticizers. **Concrete International**, v.8, n.7, p.53-55. July 1986.
95. RAVINDRA, K.D., YAP, A.W.F. Superplasticizer high-workability concrete: some properties in the fresh and



- hardened states. **Magazine of Concrete Research**, v.35, n.125, p.214-228. Dec. 1983.
96. RIXOM, M.R., MAILVAGANAM, N.P. **Chemical admixtures for concrete**. 2.ed. London: E. & F.N. Spon, 1978. 306p.
97. RIXOM, M.R., WADDICOR, J. Role of lignosulfonates as superplasticizers. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE**, 2, 1981, Ottawa, Canada. **Developments in the use of superplasticizers**. Detroit: American Concrete Institute, 1987. p.359-379. (ACI SP, 68)
98. ROBERTS, M.H., ADDERSON, B.W. Tests on superplasticizing admixtures for concrete. **Magazine of Concrete Research**, v.35, n.123, p.86-98, June 1983.
99. ROPKE, J.C. **Concrete Problems - causes and cures**. New York: McGraw-Hill, 1982. 187p.
100. RYAN, W.G., MUNN, R.L. Some recent experience in Australia with superplasticizing admixtures. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE**, 1, 1978, Ottawa, Canada. **Papers...** Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.123-136. (ACI SP, 62)
101. SOBRAL, H.S. **Reologia e trabalhabilidade dos concretos**. 2.ed. rev.atual. São Paulo: ABCP, 1990. 76p. (ET-62).
102. SOSHIRODA, T. Segregation characteristics of concrete containing a high-range water-reducing admixture. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE**, 2, 1981, Ottawa, Canada. **Developments in the use of superplasticizers**. Detroit: American Concrete Institute, 1987. p.121-138. (ACI SP, 68)
103. TANGO, C.E. de S., UEMOTO, K.L., HELENE, P.R.L. Caracterização, controle, avaliação do desempenho e avaliação técnico-econômica dos efeitos dos aditivos em argamassas e concretos. In: **CURSO DE TECNOLOGIA DOS ADITIVOS**, 1983, São Paulo. São Paulo: IPT, 1983. v.2, cap.7, p.239-275.

104. TATTERSALL, G.H. **Practical user experience with the two-point workability test.** Sheffield: University of Sheffield, Department of Building Science, 1983. 9p. (BS, 74)
105. TATTERSALL, G.H., BANFILL, P.F.G. **The rheology of fresh concrete.** Boston: Pitman Advanced Publishing Program, 1983. 356p.
106. TROXELL, G.E., DAVIS, H.E. **Composition and properties of concrete.** New York: McGraw-Hill, 1956. 529p.
107. TUTHILL, L.H. Slump loss. **Concrete International**, v.1, n.1, p.30-35. Jan. 1979.
108. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola Politécnica - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. **Qualidade das estruturas de concreto armado.** São Paulo, 1987. 71p.
109. VALORE, R.C., KUDRENSKI, W., GRAY, D.E. Application of high-range water reducing admixtures in steam-cured cement - fly-ash concretes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETE, 1, 1978, Ottawa, Canada. **Papers...** Detroit: American Concrete Institute, 1979. p.337-373. (ACI SP, 62)
110. VENUAT, M. **Aditivos y tratamientos de morteros y hormigones.** Barcelona: Ed. Técnicos Asociados, 1972. 416p.
111. WHITING, D. Effect of mixing temperature on slump loss and setting time of concrete containing high-range water reducers. **Cement, Concrete, and Aggregates**, v.2, n.1, p.31-38, 1980.
112. YAMAMOTO, Y., KOBAYASHI, S. Effect of temperature on the properties of superplasticized concrete. **Journal of the American Concrete Institute**, v.83, p.80-87, Jan./Feb. 1986.
113. YOUNG, J.F. Reaction mechanisms of organic admixtures with hydrating cement compounds. In: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Concrete Admixtures.** Washington: National Academy of Sciences, 1976. (TRR 564).

114. YOUNG, J.F., DUSTON, C.J., HWANG, C.L. Adsorption and hydration behavior of tricalcium aluminate-water and tricalcium aluminate-gypsum-water systems in the presence of superplasticizers. Paper by V.S. Ramachandran - Discussion 80-25. **Journal of the American Concrete Institute**, v.81, n.2, p.199-200, Mar/Apr 1984.



**ANEXO 1**

- CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS -

## 1. CIMENTO

- Cimento Portland Pozolânico - POZ - 32

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA*	
Perda ao Fogo.....	2,26%
Resíduo Insolúvel.....	25,8%
Óxido de Silício (SiO <sub>2</sub> ).....	32,4%
Óxido de Alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	9,7%
Óxido de Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	3,28%
Óxido de Cálcio Total (CaO).....	44,0%
Óxido de Magnésio (MgO).....	5,0%
Óxido de Enxofre (SO <sub>3</sub> ).....	2,40%
Óxido de Sódio (Na <sub>2</sub> O).....	0,17%
Óxido de Potássio (K <sub>2</sub> O).....	1,33%
Óxido de Cálcio (CaO) livre.....	1,34%

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA*	
Massa Específica Absoluta.....	2,76Kg/dm <sup>3</sup>
Superfície Específica "Blaine"....	396m <sup>2</sup> /Kg
Expansibilidade a Frio.....	0,4mm
Tempo de Pega Inicial.....	5h15min
Final.....	8h40min

\* Ensaaios no CIENTEC

## 2. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Fabricante 1 - Condensado de Formaldeído Naftaleno Sulfonado densidade = 1,05 Kg/dm <sup>3</sup>
Fabricante 2 - Condensado de Formaldeído Naftaleno Sulfonado densidade = 1,18 Kg/dm <sup>3</sup>

### 3. AREIA

- Areia do Rio Gravataí -

GRANULOMETRIA		
PENEIRA SÉRIE NORMAL	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
9,5	-	-
4,8	0	0
2,4	11,6	11,6
1,2	23,8	35,4
0,6	25,6	61,0
0,3	32,7	93,7
0,15	2,1	95,8
< 0,15	4,2	100

Massa Específica Absoluta = 2,63 Kg/dm<sup>3</sup>

Massa Específica Aparente = 1,51 Kg/dm<sup>3</sup>

Módulo de Finura = 2,98

### 4. BRITA

- Brita Basáltica -

GRANULOMETRIA		
PENEIRA SÉRIE NORMAL	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
25	0	0
19	55	55
9,5	45	100
4,2	0	100
2,4	0	100

Massa Específica Absoluta = 3,03 Kg/dm<sup>3</sup>

Massa Específica Aparente = 1,47 Kg/dm<sup>3</sup>

Dimensão Máxima = 25 mm



## **ANEXO 2**

**PROPORCIONAMENTO DE MISTURAS DE CONCRETO**

**- MÉTODO EPUSP - IPT -**

CARACTERÍSTICA	TRAÇO 1	TRAÇO 2	TRAÇO 3
TRAÇO	1:0,32:1,90	1:1,85:3,78	1:2,98:5,28
FATOR(a+ad)/c	0,35	0,5	0,65
m=AGREG.TOTAL	2,22	5,63	8,26
=TEOR ARGAM.	41%	43%	43%
CIM. (Kg/m <sup>3</sup> )	680,07	351,71	254,17
AREIA (Kg/m <sup>3</sup> )	217,62	650,66	757,43
BRITA (Kg/m <sup>3</sup> )	1292,13	1329,46	1342,02
AG+AD (Kg/m <sup>3</sup> )	238,02	175,86	165,21
H=AG/MAT.SEC.	10,87%	7,5%	7,02%
ABATIM. (mm)	70±15	70±15	70±15

**ANEXO 3**

**ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO**

**- RAIOS PARA DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE GOLPES -**



EIXOS	NÚMERO DE GOLPES DE COMPACTAÇÃO											
	30				10							
H	4,8	5,0	4,7	4,9	4,9	4,3	4,5	4,6	4,5	4,0	4,4	4,5
V	5,5	4,5	4,6	4,7	5,0	4,5	4,7	4,6	4,3	4,1	4,3	4,4
H	4,6	4,5	4,1	4,7	3,5	3,8	4,3	4,3	4,3	4,2	4,1	4,1
V	4,6	4,1	5,0	4,4	3,9	4,1	4,4	4,2	4,1	4,3	4,2	4,2
H	4,0	3,4	3,6	3,9	3,8	3,6	4,1	3,9	4,2	4,2	4,1	4,2
V	3,6	3,8	3,5	3,8	3,9	3,5	3,6	4,2	4,3	4,1	3,9	4,1
H	3,5	3,5	3,9	3,8	4,1	3,4	4,3	4,1	3,7	4,1	3,5	4,1
V	3,7	3,2	3,5	3,3	3,7	3,5	4,3	4,3	4,2	3,7	3,6	4,3
H	3,8	3,2	3,5	3,6	3,9	3,0	3,9	4,1	3,6	3,7	3,8	4,1
V	3,6	3,3	3,5	3,4	3,6	3,4	4,2	4,0	3,7	3,8	3,9	3,8
H	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,3	3,5	4,2	3,6	3,6	3,5	3,7
V	3,8	3,3	3,5	3,5	3,3	3,6	3,5	3,8	3,6	3,8	3,4	3,5
H	3,1	3,5	3,5	3,2	3,4	2,8	3,0	3,1	3,3	3,2	3,5	3,5
V	3,2	3,0	3,8	3,2	3,4	3,3	3,1	3,3	3,1	3,3	3,5	3,3
H	3,2	3,2	3,5	2,7	2,8	3,3	3,5	3,6	3,4	3,5	3,4	3,4
V	3,4	3,3	3,5	2,8	2,9	3,1	3,4	3,6	3,3	3,4	3,2	3,4
H	3,7	2,6	3,2	2,6	2,8	2,8	3,5	3,6	3,3	3,2	3,2	3,0
V	2,8	3,4	2,7	2,8	3,0	2,9	3,4	3,5	3,1	3,3	3,3	3,1
H	2,9	2,6	2,7	2,7	3,2	2,5	3,2	3,2	3,1	3,2	3,1	3,0
V	2,8	3,0	2,8	2,9	2,7	2,8	3,1	3,3	3,2	3,2	2,9	3,0

**ANEXO 4**

ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO

- RAIOS -

AMOSTRA	RAIOS (mm)																							
	0min			15min			30min			45min			60min			75min			90min					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
NUMERO 01 A/C 0,35 TEOR 0% FABR. - TEM. 16,5°C UR. 75%	20	18	18	19	26	21	19	22	22	20	18	19	20	18	-	16	20	20	21	15	17			
NUMERO 02 A/C 0,35 TEOR 1% FABR. F1 TEM. 17°C UR. 75%	24	24	24	20	21	19	24	20	15	19	20	-	18	18	19	18	18	23	20	16	15			
NUMERO 03 A/C 0,35 TEOR 1,5% FABR. F1 TEM. 17°C UR. 80%	33	29	26	25	25	25	21	21	20	20	20	25	23	19	15	15	20	19	20	10	10			
NUMERO 04 A/C 0,35 TEOR 2% FABR. F1 TEM. 16°C UR. 75%	34	41	36	30	30	26	25	24	24	18	22	23	24	23	23	21	21	21	21	22	21			
NUMERO 05 A/C 0,35 TEOR 2,5% FABR. F1 TEM. 16°C UR. 85%	30	41	41	30	30	29	23	30	25	25	27	24	23	24	20	22	23	23	23	21	-			
NUMERO 06 A/C 0,5 TEOR 0% FABR. - TEM. 18°C UR. 80%	53	53	48	46	51	47	44	41	43	42	44	38	38	40	41	40	41	39	44	37	36			
NUMERO 07 A/C 0,5 TEOR 1% FABR. F1 TEM. 16°C UR. 85%	69	70	61	56	58	51	52	56	55	48	51	50	50	51	48	49	50	47	45	50	46			
NUMERO 08 A/C 0,5 TEOR 1,5% FABR. F1 TEM. 16°C UR. 80%	80	84	76	68	68	71	66	61	74	62	62	66	57	66	61	57	57	56	56	56	54			



AMOSTRA	RAIOS (mm)																										
	0min			15min			30min			45min			60min			75min			90min								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
NUMERO 09 A/C 0,5 TEOR 2% FABR. F1 TEM. 14°C UR. 75%	90	80	81	76	82	76	74	73	67	66	73	72	64	64	64	72	66	64	60	67	60	66	64	67	64	66	65
NUMERO 10 A/C 0,5 TEOR 2,5% FABR. F1 TEM. 14°C UR. 80%	80	75	81	85	80	85	76	78	73	76	70	71	67	64	71	67	67	70	69	66	68	66	73	72	66	73	72
NUMERO 11 A/C 0,65 TEOR 0% FABR. - TEM. 16°C UR. 85%	78	86	96	89	82	69	53	76	51	64	77	70	56	82	64	65	73	61	56	77	59	63	68	70	61	72	56
NUMERO 12 A/C 0,65 TEOR 1% FABR. F1 TEM. 15,5°C UR. 75%	104	106	103	83	101	100	96	100	98	85	93	87	80	89	85	70	84	90	74	86	84	80	77	82	72	72	89
NUMERO 13 A/C 0,65 TEOR 1,5% FABR. F1 TEM. 15,5°C UR. 80%	105	79	106	113	106	107	88	92	103	99	115	87	87	80	95	81	100	97	87	90	96	88	83	91	87	84	93
NUMERO 14 A/C 0,65 TEOR 2% FABR. F1 TEM. 18,5°C UR. 85%	93	115	105	95	101	98	92	99	91	88	96	94	79	83	96	90	102	90	81	79	92	81	79	86	83	81	84
NUMERO 15 A/C 0,65 TEOR 2,5% FABR. F1 TEM. 19°C UR. 85%	104	110	120	122	107	110	107	93	113	115	112	108	103	108	112	100	100	91	96	100	97	120	115	131	100	100	110
NUMERO 16 A/C 0,35 TEOR 0% FABR. - TEM. 19,5°C UR. 75%	21	21	18	17	20	20	15	17	20	20	20	-	19	17	20	12	20	19	20	20	19	22	21	20	22	21	21

AMOSTRA	RAIOS (mm)																																																																																			
	0min			15min			30min			45min			60min			75min			90min																																																																	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3																																																															
NUMERO 17 A/C 0,35 TEOR 1% FABR. F1 TEM. 20°C UR. 80%	23	23	-	20	20	20	18	20	21	20	20	20	19	18	19	17	25	12	14	20	20	25	22	-	22	21	22	22	21	20	20	20	20	18	19	20	24	20	22	24	13	23	26	22	-	21	20	21	22	22	19	20	22	20	17	23	18	19	20	20	28	21	25	21	22	-	20	20	20	18	20	20	19	19	21	17	18	25	20	25	19	15	17	20
NUMERO 18 A/C 0,35 TEOR 1,5% FABR. F1 TEM. 20°C UR. 75%	31	31	24	22	23	22	21	16	23	19	19	20	15	19	9	13	10	18	16	15	14	38	30	25	23	22	22	19	25	19	21	22	21	14	10	15	23	25	18	16	10	17	33	31	23	23	23	23	19	22	20	20	18	22	15	15	12	12	20	10	18	14	16	34	29	24	22	22	21	22	18	20	20	21	20	20	16	13	23	17	22	20	18	18
NUMERO 19 A/C 0,35 TEOR 2% FABR. F1 TEM. 20°C UR. 80%	47	43	40	24	24	24	22	24	22	19	20	21	20	20	19	20	17	11	14	9	17	46	49	41	29	31	26	23	24	23	23	21	21	19	20	21	13	19	24	24	27	18	53	48	42	25	28	26	21	23	23	19	23	22	20	19	20	13	18	16	16	5	10	48	44	40	30	25	24	23	23	22	22	18	19	19	20	20	19	20	20	18	28	23
NUMERO 20 A/C 0,35 TEOR 2,5% FABR. F1 TEM. 20,5°C UR. 85%	30	33	35	28	25	24	23	24	23	23	22	22	20	20	21	19	19	19	19	18	-	38	42	44	29	28	30	24	23	24	22	22	22	22	22	21	21	22	21	21	24	-	36	34	39	30	27	25	24	22	23	21	22	22	21	21	22	22	23	21	19	20	-	36	40	30	28	29	26	23	24	24	22	21	21	20	19	20	18	15	19	20	20	-
NUMERO 21 A/C 0,5 TEOR 0% FABR. - TEM. 21°C UR. 85%	53	49	49	42	45	47	44	43	45	40	39	39	42	39	36	39	32	37	36	35	34	49	50	51	49	49	46	46	45	44	45	40	40	40	40	40	40	43	37	40	37	34	51	53	50	47	50	47	44	42	45	42	38	39	41	40	41	40	38	38	39	36	35	49	48	49	46	44	45	45	46	41	40	42	39	39	39	35	38	34	36	35	36	33
NUMERO 22 A/C 0,5 TEOR 1% FABR. F1 TEM. 20,5°C UR. 80%	65	75	73	57	62	59	56	55	55	49	48	49	46	45	45	42	45	42	43	42	43	81	72	73	62	59	60	51	51	56	53	53	56	51	50	52	48	49	50	45	43	43	73	80	70	63	60	62	57	53	57	52	54	53	49	48	48	46	48	47	50	44	45	73	63	67	56	59	57	53	54	53	52	49	50	50	48	47	44	45	46	41	43	40
NUMERO 23 A/C 0,5 TEOR 1,5% FABR. T2 TEM. 22°C UR. 75%	92	89	82	71	72	76	67	67	64	65	64	58	54	53	51	48	50	47	44	43	48	92	77	75	70	72	66	68	62	60	56	59	62	52	52	53	50	49	48	45	45	45	95	90	81	75	73	73	67	66	65	65	61	63	55	54	53	50	48	50	44	47	47	83	85	78	72	75	67	64	59	61	52	60	51	49	53	48	48	48	45	45	43	43
NUMERO 24 A/C 0,5 TEOR 2% FABR. F1 TEM. 22°C UR. 75%	96	108	108	81	84	90	73	77	79	69	74	68	69	62	62	61	63	63	52	59	55	99	100	100	78	77	80	76	73	73	68	64	68	60	66	66	61	60	61	55	50	51	110	116	118	78	97	74	78	76	78	70	74	68	69	69	65	67	67	63	54	56	53	92	89	98	85	69	84	70	73	70	68	63	67	59	60	63	58	57	59	52	55	54



AMOSTRA	RAIOS (mm)																				
	0min			15min			30min			45min			60min			75min			90min		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
NUMERO 25																					
A/C 0,5	105	96	124	105	116	103	87	94	86	81	88	82	83	77	82	75	78	73	71	70	65
TEOR 2,5%	90	104	121	101	102	105	87	83	79	83	84	90	75	82	78	71	69	71	64	66	69
FABR. F1	106	124	145	104	101	106	87	101	98	82	86	88	80	79	74	74	78	78	70	72	73
TEM. 21°C	91	94	106	101	98	99	92	85	84	77	82	80	80	77	79	75	69	71	69	61	62
UR. 75%																					
NUMERO 26																					
A/C 0,65	69	70	73	73	76	69	66	77	73	75	65	63	69	65	57	60	61	55	58	60	54
TEOR 0%	67	73	78	69	69	75	64	70	63	67	58	66	68	68	62	53	65	55	57	57	60
FABR. -	71	79	79	74	77	71	65	73	72	72	62	66	69	69	57	61	64	56	58	59	58
TEM. 21°C	69	64	70	74	68	70	60	73	74	67	65	64	65	66	55	50	58	52	55	56	53
UR. 75%																					
NUMERO 27																					
A/C 0,65	118	105	97	80	93	98	78	85	91	87	82	81	71	74	76	64	81	81	75	84	68
TEOR 1%	99	94	99	91	91	98	85	81	74	83	74	77	83	72	77	72	83	77	73	68	69
FABR. F1	111	96	102	87	96	97	77	86	92	87	81	73	75	75	85	75	80	80	75	84	75
TEM. 21°C	105	100	96	84	93	95	77	80	79	81	73	78	79	68	76	63	81	77	69	74	65
UR. 80%																					
NUMERO 28																					
A/C 0,65	125	134	132	98	90	96	100	95	92	85	92	87	100	79	94	83	82	88	79	84	76
TEOR 1,5%	118	113	97	88	95	95	87	89	90	90	76	97	88	75	96	91	98	98	91	80	93
FABR. F1	143	142	131	96	98	97	89	93	101	84	88	97	92	95	97	81	89	90	87	77	87
TEM. 21°C	111	109	101	91	93	84	99	88	88	88	79	86	90	86	92	90	85	90	90	82	78
UR. 80%																					
NUMERO 29																					
A/C 0,65	122	146	149	112	111	113	105	107	95	93	102	92	95	94	91	84	95	79	103	83	87
TEOR 2%	126	110	130	102	94	92	94	94	87	91	94	97	90	90	87	83	82	84	101	85	86
FABR. F1	145	158	145	117	96	110	101	97	95	95	95	96	84	95	93	84	88	82	105	79	89
TEM. 21,5°C	126	136	128	98	102	95	99	107	96	102	95	92	92	98	86	80	94	78	94	87	82
UR. 75%																					
NUMERO 30																					
A/C 0,65	137	145	118	145	150	136	140	136	131	128	121	119	99	99	109	106	99	105	92	92	95
TEOR 2,5%	120	115	134	150	148	146	120	130	120	127	118	110	109	107	86	93	84	103	90	88	100
FABR. F1	150	142	165	150	148	190	150	148	160	130	135	128	116	105	110	100	104	106	91	106	102
TEM. 21°C	128	109	124	138	115	103	117	114	109	124	109	112	100	102	90	99	90	90	87	89	78
UR. 70%																					
NUMERO 31																					
A/C 0,35	21	21	20	23	19	20	21	21	19	20	20	8	16	21	20	25	13	8	17	14	18
TEOR 1%	21	20	22	18	20	22	19	16	21	20	19	26	22	17	20	15	24	28	21	19	21
FABR. F2	23	22	22	21	21	22	23	21	23	20	24	27	21	21	22	33	21	20	18	16	23
TEM. 20°C	20	18	19	19	19	18	19	16	19	19	17	14	19	19	18	4	18	18	18	15	18
UR. 80%																					
NUMERO 32																					
A/C 0,35	23	21	21	21	20	22	21	17	19	20	19	17	20	16	19	9	13	18	15	15	13
TEOR 1,5%	21	24	22	21	20	20	20	20	21	21	21	22	20	21	21	23	20	20	23	23	25
FABR. F2	23	23	23	22	22	22	22	24	21	24	21	25	19	25	22	20	16	20	19	19	22
TEMP 20°C	21	19	20	20	20	20	20	19	20	18	19	18	20	15	19	18	19	18	18	19	16
UR. 80%																					



AMOSTRA	RAIOS (mm)																				
	0min			15min			30min			45min			60min			75min			90min		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
NUMERO 33 A/C 0,35 TEOR 2% FABR. F2 TEM. 20,5°C UR. 75%	22	20	21	22	22	22	21	22	23	21	20	22	22	20	21	20	20	24	19	20	21
NUMERO 34 A/C 0,35 TEOR 2,5% FABR. F2 TEM. 19,5°C UR. 70%	22	22	21	22	22	23	22	23	22	22	23	21	21	21	22	21	21	20	21	20	20
NUMERO 35 A/C 0,5 TEOR 1% FABR. F2 TEM. 20°C UR. 70%	63	59	54	56	52	52	52	55	52	51	47	51	45	46	47	42	42	44	43	40	40
NUMERO 36 A/C 0,5 TEOR 1,5% FABR. F1 TEM. 20°C UR. 75%	68	76	79	68	69	63	57	61	61	51	53	55	51	52	49	50	46	49	47	45	47
NUMERO 37 A/C 0,5 TEOR 2% FABR. F2 TEM. 20,5°C UR. 75%	79	85	81	82	83	86	71	77	80	75	72	72	73	71	67	68	72	62	65	66	66
NUMERO 38 A/C 0,5 TEOR 2,5% FABR. F2 TEM. 21°C UR. 80%	83	80	90	80	78	78	75	81	75	70	73	72	69	67	67	64	63	63	63	62	63
NUMERO 39 A/C 0,65 TEOR 1% FABR. F2 TEM. 20,5°C UR. 80%	83	110	110	90	104	99	104	109	91	101	101	92	85	89	106	89	103	89	79	109	92
NUMERO 40 A/C 0,65 TEOR 1,5% FABR. F2 TEM. 20°C UR. 80%	98	95	95	96	99	99	87	81	83	82	79	87	64	85	83	68	83	62	67	73	82

AMOSTRA  PASTA DE CIMENTO	RAIOS (mm)																				
	0min			15min			30min			45min			60min			75min			90min		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
NUMERO 41 A/C 0,65 TEOR 2% FABR. F2 TEM. 22°C UR. 85%	107	115	114	98	118	111	102	112	113	97	105	108	84	109	113	90	93	98	87	92	95
NUMERO 42 A/C 0,65 TEOR 2,5% FABR. F2 TEM. 22°C UR. 85%	120	127	122	118	117	110	97	100	112	97	99	89	96	87	98	100	89	99	85	94	99
NUMERO 43 A/C 0,5 TEOR 2% FABR. F2 TEM. 21°C UR. 80%	82	85	85	75	70	80	73	74	81	65	70	70	64	70	70	58	63	58	57	55	57
NUMERO 44 A/C 0,65 TEOR 2% FABR. F1 TEM. 17°C UR. 75%	120	130	-	105	103	-	92	98	-	97	92	-	94	98	-	93	93	-	97	92	-
NUMERO 45 A/C 0,5 TEOR 0% FABR. - TEM. 15°C UR. 75%	50	45	47	59	47	47	48	48	50	48	49	48	47	42	46	45	40	42	42	42	40

**ANEXO 5**

**ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO**

**- ANALISE DOS RAIOS -**



PASTA DE CIMENTO	TEMPOS (min)	DIANETROS (mm)			DIAM. MEDIO (mm)	DESV. PADR.	CV (%)	AREA (mm) <sup>2</sup>
		1	2	3				
NUMERO 01	0	35.5	38.5	36.5	36.8	1.53	4.15	1065.5
A/C 0,35	15	37.5	43.5	43.5	41.5	3.46	8.35	1352.7
TEOR 0%	30	38.0	42.0	39.5	39.8	2.02	5.07	1246.2
FABR. -	45	34.5	40.0	37.0	37.2	2.75	7.41	1084.9
TEM. 16,5°C	60	36.5	36.0	-	36.3	0.35	0.98	1032.1
UR. 75%	75	34.5	36.5	39.5	36.8	2.52	6.83	1065.5
	90	38.5	34.0	30.0	34.2	4.25	12.45	916.8
NUMERO 02	0	49.0	46.0	44.0	46.3	2.52	5.43	1686.1
A/C 0,35	15	46.5	43.0	43.5	44.3	1.89	4.27	1543.7
TEOR 1%	30	42.0	41.0	38.0	40.3	2.08	5.16	1277.7
FABR. F1	45	40.5	41.5	-	41.0	0.71	1.72	1320.3
TEM. 17°C	60	39.5	40.0	38.5	39.3	0.76	1.94	1215.1
UR. 75%	75	37.5	38.0	38.0	37.8	0.29	0.76	1124.2
	90	38.0	36.5	35.0	36.5	1.50	4.11	1046.3
NUMERO 03	0	63.0	59.0	51.0	57.7	6.11	10.60	2611.8
A/C 0,35	15	46.5	45.0	46.5	46.0	0.87	1.88	1661.9
TEOR 1,5%	30	41.5	41.0	42.5	41.7	0.76	1.83	1363.5
FABR. F1	45	42.0	41.0	37.0	40.0	2.65	6.61	1256.6
TEM. 17°C	60	40.5	40.5	36.5	39.2	2.31	5.90	1204.8
UR. 80%	75	34.0	42.0	37.5	37.8	4.01	10.60	1124.2
	90	38.0	36.5	32.5	35.7	2.84	7.97	999.1
NUMERO 04	0	73.0	71.5	70.5	71.7	1.26	1.76	4033.9
A/C 0,35	15	58.5	54.5	50.0	54.3	4.25	7.83	2318.6
TEOR 2%	30	48.0	48.5	48.0	48.2	0.29	0.60	1822.1
FABR. F1	45	ESP.	44.0	45.0	44.5	0.71	1.59	1555.3
TEM. 16°C	60	44.0	43.5	42.5	43.3	0.76	1.76	1474.8
UR. 75%	75	44.0	42.0	41.0	42.3	1.53	3.61	1407.5
	90	42.0	40.5	40.5	41.0	0.87	2.11	1320.3
NUMERO 05	0	64.0	77.5	68.5	70.0	6.87	9.82	3848.5
A/C 0,35	15	65.5	63.5	63.0	64.0	1.32	2.07	3217.0
TEOR 2,5%	30	51.0	54.0	51.0	52.0	1.73	3.33	2123.7
FABR. F1	45	48.5	47.5	47.0	47.7	0.76	1.60	1784.5
TEM. 16°C	60	45.0	47.0	43.0	45.0	2.00	4.44	1590.4
UR. 85%	75	43.0	44.0	43.0	43.3	0.58	1.33	1474.8
	90	42.0	41.5	-	41.8	0.35	0.85	1369.0
NUMERO 06	0	103.5	102.0	103.5	103.0	0.87	0.84	8332.3
A/C 0,5	15	96.0	97.0	96.5	96.5	0.50	0.52	7313.8
TEOR 0%	30	88.5	83.0	79.0	83.5	4.77	5.71	5476.0
FABR. -	45	84.0	80.5	77.0	80.5	3.50	4.35	5089.6
TEM. 18°C	60	79.0	78.0	78.5	78.5	0.50	0.64	4839.8
UR. 80%	75	75.0	75.5	73.0	74.5	1.32	1.78	4359.2
	90	74.0	70.5	68.0	70.8	3.01	4.25	3940.6
NUMERO 07	0	137.0	132.5	128.5	132.7	4.25	3.21	13823.4
A/C 0,5	15	114.5	112.5	105.5	110.8	4.73	4.26	9647.9
TEOR 1%	30	106.0	106.0	102.5	104.8	2.02	1.93	8631.5
FABR. F1	45	100.5	101.0	100.5	100.7	0.29	0.29	7959.1
TEM. 16°C	60	99.5	99.5	99.0	99.3	0.29	0.29	7749.6
UR. 85%	75	97.0	95.5	94.5	95.7	1.26	1.32	7188.1
	90	94.0	94.0	94.0	94.0	0.00	0.00	6939.8

PASTA DE CIMENTO	TEMPOS (min)	DIAMETROS (mm)			DIAM. MEDIO (mm)	DESV. PADR.	CV (%)	AREA (mm) <sup>2</sup>
		1	2	3				
NUMERO 08	0	183.5	177.5	168.0	176.3	7.82	4.43	24420.7
A/C 0,5	15	147.5	146.0	148.5	147.3	1.26	0.85	17048.7
TEOR 1,5%	30	135.0	132.5	140.5	136.0	4.09	3.01	14526.7
FABR. F1	45	126.0	127.5	128.0	127.2	1.04	0.82	12701.0
TEM. 16°C	60	121.0	122.0	117.5	120.2	2.36	1.97	11341.2
UR. 80%	75	116.0	113.0	112.0	113.7	2.08	1.83	10147.4
	90	109.5	108.5	110.0	109.3	0.76	0.70	9388.5
NUMERO 09	0	191.5	185.0	190.5	189.0	3.50	1.85	28055.2
A/C 0,5	15	154.0	154.0	158.5	155.5	2.60	1.67	18991.1
TEOR 2%	30	144.0	150.5	142.0	145.5	4.44	3.05	16627.1
FABR. F1	45	135.0	138.0	132.5	135.2	2.75	2.04	14349.2
TEM. 14°C	60	130.0	132.5	132.5	131.7	1.44	1.10	13615.7
UR. 75%	75	134.0	129.0	133.0	132.0	2.65	2.00	13684.8
	90	125.5	129.5	123.5	126.2	3.06	2.42	12502.0
NUMERO 10	0	187.5	195.0	206.5	196.3	9.57	4.87	30274.6
A/C 0,5	15	176.0	175.5	181.0	177.5	3.04	1.71	24745.0
TEOR 2,5%	30	159.0	164.5	163.0	162.2	2.84	1.75	20654.4
FABR. F1	45	151.0	149.5	147.0	149.2	2.02	1.35	17475.7
TEM. 14°C	60	144.0	144.5	145.0	144.5	0.50	0.35	16399.3
UR. 85%	75	138.5	140.0	135.5	138.0	2.29	1.66	14957.1
	90	134.0	137.5	139.0	136.8	2.57	1.88	14705.3
NUMERO 11	0	151.5	181.0	178.0	170.2	16.24	9.54	22742.5
A/C 0,65	15	172.0	173.0	157.5	167.5	8.67	5.18	22035.3
TEOR 0%	30	123.0	ESP.	127.0	125.0	2.83	2.26	12271.8
FABR. -	45	120.0	159.5	142.0	140.5	19.79	14.09	15504.0
TEM. 16°C	60	127.0	153.5	140.5	140.3	13.25	9.44	15467.2
UR. 75%	75	128.5	140.0	129.0	132.5	6.50	4.91	13788.6
	90	118.0	ESP.	116.5	117.3	1.06	0.90	10797.3
NUMERO 12	0	216.0	218.5	216.5	217.0	1.32	0.61	36983.6
A/C 0,65	15	172.0	201.0	209.5	194.2	19.66	10.13	29610.1
TEOR 1%	30	189.5	193.5	193.5	192.2	2.31	1.20	29003.2
FABR. F1	45	159.5	184.0	166.0	169.8	12.69	7.47	22653.5
TEM. 15,5°C	60	152.5	181.5	168.5	167.5	14.53	8.67	22035.3
UR. 80%	75	149.0	159.5	170.0	159.5	10.50	6.58	19980.7
	90	145.0	155.5	169.0	156.5	12.03	7.69	19236.2
NUMERO 13	0	229.5	237.5	255.5	240.8	13.32	5.53	45553.6
A/C 0,65	15	218.5	232.0	234.0	228.2	8.43	3.70	40887.9
TEOR 1,5%	30	196.5	203.5	203.5	201.2	4.04	2.01	31783.5
FABR. F1	45	192.5	208.5	188.0	196.3	10.77	5.49	30274.6
TEM. 15,5°C	60	181.5	184.5	174.5	180.2	5.13	2.85	25494.0
UR. 85%	75	168.0	181.0	181.0	176.7	7.51	4.25	24513.1
	90	169.5	172.5	183.5	175.2	7.37	4.21	24098.7
NUMERO 14	0	191.5	269.5	256.5	239.2	41.79	17.47	44925.3
A/C 0,65	15	206.5	211.0	203.5	207.0	3.77	1.82	33653.5
TEOR 2%	30	191.5	195.0	199.5	195.3	4.01	2.05	29967.0
FABR. F1	45	182.5	187.0	189.5	186.3	3.55	1.90	27269.1
TEM. 18,5°C	60	176.0	176.5	183.0	178.5	3.91	2.19	25024.6
UR. 85%	75	170.0	186.0	179.0	178.3	8.02	4.50	24977.8
	90	165.0	164.0	180.0	169.7	8.96	5.28	22609.1



PASTA DE CIMENTO	TEMPOS (min)	DIAMETROS (mm)			DIAM. MEDIO (mm)	DESV. PADR.	CV (%)	AREA (mm) <sup>2</sup>
		1	2	3				
NUMERO 15 A/C 0,65 TEOR 2,5% FABR. F1 TEM. 19°C UR. 75%	0	242.5	246.0	ESP.	244.3	2.47	1.01	46855.3
	15	264.0	218.0	276.5	252.8	30.81	12.18	50206.3
	30	261.0	271.0	256.0	262.7	7.64	2.91	54187.6
	45	257.5	272.5	272.5	267.5	8.66	3.24	56200.1
	60	226.0	239.5	215.5	227.0	12.03	5.30	40470.8
	75	216.5	215.5	211.5	214.5	2.65	1.23	36136.4
	90	194.5	200.0	199.0	197.8	2.93	1.48	30738.9
NUMERO 16 A/C 0,35 TEOR 0% FABR. - TEM. 19,5°C UR. 80%	0	42.0	42.0	42.0	42.0	0.00	0.00	1385.4
	15	38.5	39.5	40.5	39.5	1.00	2.53	1225.4
	30	36.5	39.5	41.5	39.2	2.52	6.43	1204.8
	45	41.0	41.5	-	41.3	0.35	0.86	1336.4
	60	41.0	39.0	39.5	39.8	1.04	2.61	1246.2
	75	35.5	40.5	40.0	38.7	2.75	7.12	1174.3
	90	41.0	40.5	40.5	40.7	0.29	0.71	1298.9
NUMERO 17 A/C 0,35 TEOR 1% FABR. F1 TEM. 20°C UR. 75%	0	47.5	44.5	-	46.0	2.12	4.61	1661.9
	15	41.5	40.5	41.5	41.2	0.58	1.40	1331.0
	30	40.0	41.5	40.0	40.5	0.87	2.14	1288.2
	45	39.5	40.5	40.5	40.2	0.58	1.44	1267.1
	60	35.5	39.0	41.0	38.5	2.78	7.23	1164.2
	75	40.0	45.0	36.5	40.5	4.27	10.55	1288.2
	90	40.5	35.5	44.0	40.0	4.27	10.68	1256.6
NUMERO 18 A/C 0,35 TEOR 1,5% FABR. F1 TEM. 20°C UR. 80%	0	68.0	60.5	48.0	58.8	10.10	17.17	2718,5
	15	45.0	45.0	44.0	44.7	0.58	1.29	1567.0
	30	40.5	40.5	41.0	40.7	0.29	0.71	1298.9
	45	40.0	40.0	41.5	40.5	0.87	2.14	1288.2
	60	32.0	30.0	24.5	28.8	3.88	13.47	652.9
	75	35.5	36.0	34.0	35.2	1.04	2.96	971.3
	90	35.0	28.5	32.5	32.0	3.28	10.25	804.2
NUMERO 19 A/C 0,35 TEOR 2% FABR. F1 TEM. 20°C UR. 85%	0	97.0	92.0	81.5	90.2	7.91	8.77	6385.3
	15	54.0	54.0	50.0	52.7	2.31	4.38	2178.5
	30	44.5	47.0	45.0	45.5	1.32	2.91	1626.0
	45	41.5	41.0	41.5	41.3	0.29	0.70	1341.8
	60	39.0	39.5	40.0	39.5	0.50	1.27	1225.4
	75	32.5	37.0	35.5	35.0	2.29	6.55	962.1
	90	36.0	34.5	34.0	34.8	1.04	2.99	953.0
NUMERO 20 A/C 0,35 TEOR 2,5% FABR. F1 TEM. 20,5°C UR. 85%	0	70.0	74.5	74.0	72.8	2.47	3.39	4166.3
	15	57.5	54.5	52.5	54.8	2.52	4.59	2361.5
	30	47.0	46.5	47.0	46.8	0.29	0.62	1722.7
	45	44.0	43.5	43.5	43.7	0.29	0.66	1497.6
	60	41.5	41.0	42.0	41.5	0.50	1.20	1352.7
	75	40.0	39.5	40.0	39.8	0.29	0.72	1246.2
	90	39.5	41.0	-	40.3	1.06	2.64	1272.4
NUMERO 21 A/C 0,5 TEOR 0% FABR. - TEM. 21°C UR. 80%	0	101.0	100.0	99.5	100.2	0.76	0.76	7880.2
	15	92.0	94.0	92.5	92.8	1.04	1.12	6768.6
	30	89.5	88.0	87.5	88.3	1.04	1.18	6128.3
	45	83.5	79.5	78.5	80.5	2.65	3.29	5089.6
	60	81.0	79.0	76.0	78.7	2.52	3.20	4860.4
	75	78.5	73.5	74.0	75.3	2.75	3.66	4457.2
	90	75.0	72.0	68.0	71.7	3.51	4.90	4033.9



PASTA DE CIMENTO	TEMPOS (min)	DIAMETROS (mm)			DIAM. MEDIO (mm)	DESV. PADR.	CV (%)	AREA (mm) <sup>2</sup>
		1	2	3				
NUMERO 22	0	146.0	145.0	141.5	144.2	2.36	1.64	16323.7
A/C 0,5	15	119.0	120.0	119.0	119.3	0.58	0.48	11184.4
TEOR 1%	30	108.5	106.5	110.5	108.5	2.00	1.84	9245.9
FABR. F1	45	103.0	102.0	104.0	103.0	1.00	0.97	8332.3
TEM. 20,5°C	60	98.0	95.5	96.0	96.5	1.32	1.37	7313.8
UR. 75%	75	90.0	93.5	92.5	92.0	1.80	1.96	6647.6
	90	89.5	86.0	85.5	87.0	2.18	2.51	5944.7
NUMERO 23	0	181.0	170.5	158.0	169.8	11.51	6.78	22653.5
A/C 0,5	15	144.0	146.0	141.0	143.7	2.52	1.75	16210.7
TEOR 1,5%	30	133.0	127.0	125.0	128.3	4.16	3.24	12935.1
FABR. F1	45	119.0	122.0	117.0	119.3	2.52	2.11	11184.4
TEM. 20°C	60	105.0	106.0	102.5	104.5	1.80	1.73	8576.7
UR. %	75	98.0	97.5	95.0	96.8	1.61	1.66	7364.4
	90	89.0	89.0	91.5	89.8	1.44	1.61	6338.2
NUMERO 24	0	198.5	206.5	212.0	205.7	6.79	3.30	33221.4
A/C 0,5	15	161.0	163.5	164.0	162.8	1.61	0.99	20824.6
TEOR 2%	30	148.5	149.5	150.0	149.3	0.76	0.51	17514.7
FABR. F1	45	137.5	137.5	135.5	136.8	1.15	0.84	14705.3
TEM. 22°C	60	128.5	128.5	128.0	128.3	0.29	0.22	12935.1
UR. 75%	75	123.5	123.5	123.0	123.3	0.29	0.23	11946.8
	90	106.5	110.0	106.5	107.7	2.02	1.88	9104.4
NUMERO 25	0	196.0	209.0	248.0	217.7	27.06	12.43	37211.2
A/C 0,5	15	205.5	208.5	206.5	206.8	1.53	0.74	33599.4
TEOR 2,5%	30	176.5	181.5	173.5	177.2	4.04	2.28	24652.1
FABR. F1	45	161.5	170.0	170.0	167.2	4.91	2.94	21947.7
TEM. 21°C	60	159.0	157.5	156.5	157.7	1.26	0.80	19524.0
UR. 75%	75	147.5	147.0	146.5	147.0	0.50	0.34	16971.7
	90	137.0	134.5	134.5	135.3	1.44	1.07	14384.7
NUMERO 26	0	138.0	143.0	150.0	143.7	6.03	4.20	16210.7
A/C 0,65	15	145.0	145.0	142.5	144.2	1.44	1.00	16323.7
TEOR 0%	30	127.5	146.5	141.0	138.3	9.78	7.07	15029.5
FABR. -	45	140.5	125.0	129.5	131.7	7.97	6.06	13615.7
TEM. 21°C	60	135.5	134.0	115.5	128.3	11.14	8.68	12935.1
UR. 75%	75	112.0	124.0	109.0	115.0	7.94	6.90	10386.9
	90	114.0	116.0	112.5	114.2	1.76	1.54	10236.9
NUMERO 27	0	216.5	197.5	197.0	203.7	11.12	5.46	32578.4
A/C 0,65	15	171.0	186.5	194.0	183.8	11.73	6.38	26542.3
TEOR 1%	30	158.5	166.0	168.0	164.2	5.01	3.05	21167.0
FABR. F1	45	169.0	155.0	154.5	159.5	8.23	5.16	19980.7
TEM. 21°C	60	154.0	144.5	157.0	151.8	6.53	4.30	18106.1
UR. 80%	75	137.0	162.5	157.5	152.3	13.51	8.87	18225.5
	90	146.0	155.0	138.5	146.5	8.26	5.64	16856.4
NUMERO 28	0	248.5	249.0	230.5	242.7	10.54	4.34	46249.8
A/C 0,65	15	206.0	196.5	201.0	201.1	4.75	2.36	31783.5
TEOR 1,5%	30	187.5	182.5	185.5	185.2	2.52	1.36	26928.7
FABR. F1	45	173.5	167.5	183.5	174.8	8.08	4.62	24007.0
TEM. 21°C	60	185.0	167.5	189.5	180.7	11.62	6.43	25635.7
UR. 80%	75	172.5	177.0	183.0	177.5	5.27	2.97	24745.0
	90	173.5	161.5	167.0	167.3	6.01	3.59	21991.5

PASTA DE CIMENTO	TEMPOS (min)	DIAMETROS (mm)			DIAM. MEDIO (mm)	DESV. PADR.	CV (%)	AREA (mm) <sup>2</sup>
		1	2	3				
NUMERO 29	0	259.5	275.0	276.0	270.2	9.25	3.42	57326.2
A/C 0,65	15	214.5	201.5	205.0	207.0	6.73	3.25	33653.5
TEOR 2%	30	199.5	202.5	186.5	196.2	8.50	4.34	30223.2
FABR. F1	45	190.5	193.0	188.5	190.7	2.25	1.18	28552.2
TEM. 21,5°C	60	180.5	188.5	178.5	182.5	5.29	2.90	26158.7
UR. 75%	75	165.5	179.5	161.5	168.8	9.45	5.60	22387.5
	90	201.5	167.0	172.0	180.2	18.64	10.35	25494.0
NUMERO 30	0	267.5	255.5	270.5	264.5	7.94	3.00	54946.7
A/C 0,65	15	291.5	280.5	287.5	286.5	5.57	1.94	64467.2
TEOR 2,5%	30	263.5	264.0	260.0	262.5	2.18	0.83	54118.8
FABR. F1	45	254.5	241.5	234.5	243.5	10.15	4.17	46568.0
TEM. 21°C	60	212.0	206.5	197.5	205.3	7.32	3.56	33113.8
UR. 70%	75	199.0	188.5	202.0	196.5	7.09	3.61	30326.0
	90	180.0	187.5	187.5	185.0	4.33	2.34	26880.3
NUMERO 31	0	42.5	40.5	41.5	41.5	1.00	2.41	1352.7
A/C 0,35	15	40.5	39.5	41.0	40.3	0.76	1.89	1277.7
TEOR 1%	30	41.0	37.0	41.0	39.7	2.31	5.82	1235.8
FABR. F2	45	39.5	40.0	37.5	39.0	1.32	3.39	1194.6
TEM. 20°C	60	39.0	39.0	40.0	39.3	0.58	1.47	1215.1
UR. 80%	75	38.5	38.0	37.0	37.8	0.76	2.02	1124.2
	90	37.0	32.0	40.0	36.3	4.04	11.12	1036.8
NUMERO 32	0	44.0	43.5	43.0	43.5	0.50	1.15	1486.2
A/C 0,35	15	42.0	41.0	42.0	41.7	0.58	1.39	1363.5
TEOR 1,5%	30	41.5	40.0	40.5	40.7	0.76	1.88	1298.9
FABR. F2	45	41.5	40.0	41.0	40.8	0.76	1.87	1309.5
TEM. 20°C	60	39.5	38.5	40.5	39.5	1.00	2.53	1225.4
UR. 80%	75	35.0	34.0	38.0	35.7	2.08	5.84	999.1
	90	37.5	38.0	38.0	37.8	0.29	0.76	1124.2
NUMERO 33	0	45.0	42.5	43.0	43.5	1.32	3.04	1486.2
A/C 0,35	15	44.0	42.5	44.5	43.7	1.04	2.38	1497.6
TEOR 2%	30	42.5	43.5	43.5	43.2	0.58	1.34	1463.5
FABR. F2	45	41.5	42.0	43.5	42.3	1.04	2.46	1407.5
TEM. 20,5°C	60	43.0	42.5	41.5	42.3	0.76	1.80	1407.5
UR. 75%	75	42.5	41.5	43.5	42.5	1.00	2.35	1418.6
	90	40.0	40.0	41.5	40.5	0.87	2.14	1288.2
NUMERO 34	0	44.5	45.0	43.0	44.2	1.04	2.36	1532.1
A/C 0,35	15	44.0	46.0	44.5	44.8	1.04	2.32	1578.7
TEOR 2,5%	30	44.5	44.5	44.0	44.3	0.29	0.65	1543.7
FABR. F2	45	44.0	45.0	43.5	44.2	0.76	1.73	1532.1
TEM. 19,5°C	60	43.0	42.5	43.0	42.8	0.29	0.67	1441.0
UR. 70%	75	42.0	41.5	43.0	42.2	0.76	1.81	1396.5
	90	42.0	42.5	41.0	41.8	0.76	1.83	1374.5
NUMERO 35	0	122.0	123.5	121.0	122.2	1.26	1.03	11721.8
A/C 0,5	15	111.0	110.5	112.0	111.2	0.76	0.69	9706.0
TEOR 1%	30	104.5	105.5	104.0	104.7	0.76	0.73	8604.1
FABR. F2	45	100.5	96.5	98.0	98.3	2.02	2.05	7594.4
TEM. 20°C	60	93.0	95.0	97.5	95.2	2.25	2.37	7113.1
UR. 70%	75	86.0	88.5	89.5	88.0	1.80	2.05	6082.1
	90	82.5	83.0	86.0	83.8	1.89	2.26	5519.8



PASTA DE CIMENTO	TEMPOS (min)	DIAMETROS (mm)			DIAM. MEDIO (mm)	DESV. PADR.	CV (%)	AREA (mm) <sup>2</sup>
		1	2	3				
NUMERO 36	0	148.5	146.5	146.0	147.0	1.32	0.90	16971.7
A/C 0,5	15	134.0	135.5	132.5	134.0	1.50	1.12	14102.6
TEOR 1,5%	30	122.0	123.5	119.5	121.7	2.02	1.66	11626.1
FABR. F2	45	111.5	111.5	109.5	110.8	1.15	1.04	9647.9
TEM. 20°C	60	102.0	103.5	102.0	102.5	0.87	0.84	8251.6
UR. 75%	75	96.5	92.0	98.0	95.5	3.12	3.27	7163.0
	90	92.0	90.5	91.0	91.2	0.76	0.84	6527.7
NUMERO 37	0	165.0	163.0	165.0	164.3	1.15	0.70	21210.0
A/C 0,5	15	154.5	159.5	159.0	157.7	2.75	1.75	19524.0
TEOR 2%	30	147.5	154.0	155.5	152.3	4.25	2.79	18225.5
FABR. F2	45	146.5	146.5	145.5	146.2	0.58	0.39	16779.8
TEM. 20,5°C	60	143.5	135.5	143.5	140.8	4.62	3.28	15577.6
UR. 75%	75	133.5	135.0	137.5	135.3	2.02	1.49	14384.7
	90	128.5	136.5	133.0	132.7	4.01	3.02	13823.4
NUMERO 38	0	168.5	168.0	172.0	169.5	2.18	1.29	22564.7
A/C 0,5	15	154.0	156.0	157.0	155.7	1.53	0.98	19031.9
TEOR 2,5%	30	148.5	147.5	148.5	148.2	0.58	0.39	17242.1
FABR. F2	45	138.5	137.0	139.0	138.2	1.04	0.75	14993.3
TEM. 21°C	60	132.5	139.5	135.0	135.7	3.55	2.61	14455.6
UR. 80%	75	125.5	130.5	131.0	129.0	3.04	2.36	13069.8
	90	123.5	127.0	126.0	125.5	1.80	1.44	12370.2
NUMERO 39	0	188.0	203.5	221.0	204.2	16.51	8.09	32738.6
A/C 0,65	15	175.0	203.5	202.5	193.7	16.17	8.35	29457.8
TEOR 1%	30	206.0	210.0	184.5	200.2	13.71	6.85	31468.3
FABR. F2	45	202.5	195.0	183.5	193.7	9.57	4.94	29457.8
TEM. 20,5°C	60	176.5	198.0	205.5	193.3	15.05	7.79	29356.4
UR. 80%	75	176.5	196.5	199.0	190.7	12.33	6.47	28552.2
	90	172.0	204.5	194.0	190.2	16.59	8.72	28402.6
NUMERO 40	0	198.0	193.0	184.5	191.8	6.83	3.56	28902.7
A/C 0,65	15	180.0	195.5	194.5	190.0	8.67	4.57	28352.9
TEOR 1,5%	30	175.0	153.5	174.5	167.7	12.27	7.32	22079.2
FABR. F2	45	166.0	176.5	173.5	172.0	5.41	3.14	23235.2
TEM. 20°C	60	138.0	172.0	154.5	154.8	17.00	10.98	18828.6
UR. 80%	75	140.5	162.5	149.0	150.7	11.09	7.36	17828.9
	90	139.5	144.0	ESP.	141.8	3.18	2.24	15781.1
NUMERO 41	0	216.5	22.5	212.0	217.0	5.27	2.43	36983.6
A/C 0,65	15	201.0	208.5	206.5	205.3	3.88	1.89	33113.8
TEOR 2%	30	194.5	217.0	215.5	209.0	12.58	6.02	34307.0
FABR. F2	45	188.5	199.5	197.0	195.0	5.77	2.96	29864.8
TEM. 22°C	60	183.5	206.0	202.0	197.2	12.00	6.09	30532.1
UR. 85%	75	180.5	180.5	183.5	181.5	1.73	0.95	25872.8
	90	171.5	174.5	181.0	175.7	4.86	2.76	24236.4
NUMERO 42	0	250.0	239.0	238.0	242.3	6.66	2.75	46122.9
A/C 0,65	15	220.5	229.5	221.5	223.8	4.93	2.20	39349.5
TEOR 2,5%	30	201.5	200.5	223.0	208.3	12.71	6.10	34088.5
FABR. F2	45	193.0	186.5	190.0	189.8	3.25	1.71	28303.2
TEM. 22°C	60	202.0	187.0	183.0	190.7	10.02	5.25	28552.2
UR. 85%	75	192.0	177.0	183.0	184.0	7.55	4.10	26590.4
	90	175.0	190.0	195.0	186.7	10.41	5.58	27366.8



PASTA DE CIMENTO	TEMPOS (min)	DIAMETROS (mm)			DIAM. MEDIO (mm)	DESV. PADR.	CV (%)	AREA (mm) <sup>2</sup>
		1	2	3				
NUMERO 43	0	162.0	163.5	162.5	162.7	0.76	0.47	20782.0
A/C 0,5	15	148.0	145.5	149.0	147.5	1.80	1.22	17087.3
TEOR 2%	30	145.0	139.0	147.0	143.7	4.16	2.90	16210.7
FABR. F2	45	134.0	137.0	137.0	136.0	1.73	1.27	14526.7
TEM. 22°C	60	127.0	132.0	127.5	128.8	2.75	2.14	13036.1
UR. 80%	75	120.5	123.5	120.5	121.5	1.73	1.43	11594.2
	90	114.5	119.0	116.5	116.7	2.25	1.93	10690.1
NUMERO 44	0	230.0	249.0	-	239.5	13.44	5.61	45050.6
A/C 0,65	15	236.5	202.0	-	219.3	24.40	11.13	37754.5
TEOR 2%	30	203.5	185.5	-	194.5	12.73	6.54	29711.8
FABR. F1	45	194.5	186.5	-	190.5	5.66	2.97	28502.3
TEM. 17°C	60	186.5	192.5	-	189.5	4.24	2.24	28203.8
UR. 75%	75	185.5	190.0	-	187.8	3.18	1.69	27685.3
	90	187.0	192.0	-	189.5	3.54	1.87	28203.8
NUMERO 45	0	98.0	101.5	101.5	100.3	2.02	2.01	7906.4
A/C 0,5	15	106.0	96.0	101.0	101.0	5.00	4.95	8011.8
TEOR 0%	30	98.0	96.5	101.0	98.5	2.29	2.33	7620.1
FABR. -	45	92.5	98.5	91.5	94.2	3.79	4.02	6964.4
TEM. 15°C	60	92.5	90.0	96.0	92.8	3.01	3.25	6768.6
UR. 75%	75	91.5	90.0	90.5	90.7	0.76	0.84	6456.3
	90	87.0	86.0	85.5	86.2	0.76	0.89	5831.3

**ANEXO 6**

ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO

- RAIOS - AMOSTRAS REFEITAS -

AMOSTRA	RAIOS (mm)																				
	0min			15min			30min			45min			60min			75min			90min		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
NUMERO 46																					
A/C 0,35	29	31	22	22	20	21	21	19	17	13	13	-	17	14	-						
TEOR 1,5%	33	24	23	22	22	22	20	22	24	24	24	-	23	24	-	-	-	-	-	-	-
FABR. F1	35	25	23	22	22	22	21	21	18	18	13	-	20	10	-						
TEM. 20°C	30	29	22	21	22	21	20	18	21	18	24	-	20	24	-						
UR. 80%																					
NUMERO 47																					
A/C 0,35	21	20	22	21	22	21	21	20	20	20	21	21	19	19	19	19	20	15	19	20	12
TEOR 0%	23	24	22	22	22	22	20	22	21	21	21	22	21	21	21	21	21	23	21	20	25
FABR. -	24	22	23	20	22	22	20	21	20	20	22	20	21	21	20	21	22	25	20	22	23
TEM. 19,5°C	18	20	21	22	20	22	22	21	20	20	21	22	19	19	21	18	19	15	19	20	15
UR. 75%																					
NUMERO 48																					
A/C 0,35	25	23	20	20	21	20	17	20	21	20	19	21	21	19	20	18	19	17	21	19	19
TEOR 1%	24	24	25	22	21	23	22	20	22	21	22	22	20	22	20	20	22	20	20	22	19
FABR. F1	25	21	24	19	22	21	13	21	21	21	20	21	18	20	22	18	17	21	18	18	19
TEM. 20°C	22	24	19	22	20	20	24	20	22	20	19	20	21	20	19	22	21	17	21	19	18
UR. 80%																					
NUMERO 49																					
A/C 0,35	40	38	35	22	24	23	21	23	22	20	21	20	20	19	17	17	16	9			
TEOR 2%	41	36	33	27	25	23	22	21	23	22	21	22	20	20	22	18	22	26			
FABR. F1	42	36	37	23	23	24	22	22	23	20	21	22	20	20	21	20	17	15			
TEM. 20°C	37	37	33	25	23	22	22	22	21	20	21	20	19	19	19	18	20	25			
UR. 80%																					
NUMERO 50																					
A/C 0,65	112	120	121	108	106	102	123	101	108	109	93	108	92	94	105	90	100	105	98	91	94
TEOR 2,5%	112	95	100	127	104	101	106	92	101	100	101	95	93	105	91	91	93	88	77	92	93
FABR. F1	150	134	112	150	121	150	109	115	110	109	109	105	93	100	100	90	100	89	82	98	87
TEM. 21°C	109	110	95	103	92	92	101	93	100	101	88	95	95	98	90	88	89	98	90	89	92
UR. 75%																					



AMOSTRA	RAIOS (mm)																				
	0min			15min			30min			45min			60min			75min			90min		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
NUMERO 51																					
A/C 0,65	101	97	102	88	88	86	82	75	71	92	72	74	61	64	68	61	67	60	60	64	74
TEOR 1%	100	87	85	87	85	77	80	72	64	79	67	62	65	73	63	62	65	64	65	59	63
FABR. F2	104	98	98	94	97	86	84	81	79	88	70	70	63	71	65	64	64	58	65	61	77
TEM.20,5°C	93	78	86	80	82	76	77	70	62	84	62	69	63	65	64	60	65	69	58	60	57
UR. 70%																					
NUMERO 52																					
A/C 0,65	122	127	109	115	120	109	104	104	97	102	101	118	98	104	99	92	100	90	97	98	87
TEOR 2%	98	104	102	95	102	106	101	107	100	108	103	102	99	99	104	89	97	102	93	84	86
FABR. F2	120	109	114	107	105	113	105	103	98	104	107	111	99	106	111	88	95	103	101	97	92
TEM.20,5°C	113	94	104	99	98	109	96	97	87	99	105	102	101	105	99	91	99	93	88	100	82
UR. 75%																					
NUMERO 53																					
A/C 0,5	64	70	64	61	65	65	56	57	51	53	48	57	48	49	48	48	45	45	42	42	46
TEOR 1,5%	71	72	58	63	57	60	57	56	57	55	51	53	52	48	45	47	46	49	46	43	45
FABR. F2	63	65	72	63	59	67	59	60	58	50	52	55	51	51	51	50	47	47	45	45	46
TEM. 20°C	64	58	55	58	61	56	54	53	55	54	50	49	51	50	45	45	43	44	44	43	41
UR. 75%																					
NUMERO 54																					
A/C 0,5	70	66	67	61	61	60	58	54	57	51	52	53	44	49	50	47	43	46	43	40	41
TEOR 1,5%	68	64	62	60	61	63	53	56	54	52	52	50	47	48	45	45	46	48	44	46	43
FABR. F2	68	67	63	60	65	61	57	58	55	55	51	54	49	51	48	47	46	45	46	42	42
TEM.20,5°C	67	62	64	60	57	57	55	53	54	50	52	48	45	47	48	43	43	43	40	44	44
UR. 80%																					

**ANEXO 7**

ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO

- AMOSTRAS REFEITAS - ANALISE DOS RAIOS -

PASTA DE CIMENTO	TEMPO (min)	DIAMETROS (mm)			DIAM. MEDIO (mm)	DESV. PADR.	CV (%)	AREA (mm) <sup>2</sup>
		1	2	3				
NUMERO 46	0	63.5	54.5	45.0	54.3	9.25	17.03	2318.6
A/C 0,35	15	43.5	43.0	43.0	43.2	0.29	0.67	1463.5
TEOR 1,5%	30	41.0	40.0	40.0	40.3	0.58	1.43	1277.7
FABR. F1	45	36.5	37.0	-	36.8	0.35	0.96	1060.7
TEM. 20°C	60	40.0	36.0	-	38.0	2.83	7.44	1134.1
UR. 80%	75	-	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	-	-	-	-
NUMERO 47	0	43.0	43.0	44.0	43.3	0.58	1.33	1474.8
A/C 0,35	15	42.5	43.0	43.5	43.0	0.50	1.16	1452.2
TEOR 0%	30	41.5	42.0	40.5	41.3	0.76	1.85	1341.8
FABR. -	45	40.5	42.5	42.5	41.8	1.15	2.76	1374.5
TEM. 19,5°C	60	40.0	40.0	40.5	40.2	0.29	0.72	1267.1
UR. 75%	75	39.5	41.0	39.0	39.8	1.04	2.61	1246.2
	90	39.5	41.0	37.5	39.3	1.76	4.46	1215.1
NUMERO 48	0	48.0	46.0	44.0	46.0	2.00	4.35	1661.9
A/C 0,35	15	41.5	42.0	42.0	41.8	0.29	0.69	1374.5
TEOR 1%	30	38.0	40.5	43.0	40.5	2.50	6.17	1288.2
FABR. F1	45	41.0	40.0	42.0	41.0	1.00	2.44	1320.3
TEM. 20°C	60	40.0	40.5	40.5	40.3	0.29	0.72	1277.7
UR. 80%	75	39.0	39.5	37.5	38.7	1.04	2.69	1174.3
	90	40.0	39.0	37.5	38.8	1.26	3.24	1184.4
NUMERO 49	0	80.0	73.5	69.0	74.2	5.53	7.46	4320.2
A/C 0,35	15	48.5	47.5	46.0	47.3	1.26	2.66	1759.6
TEOR 2%	30	43.5	44.0	44.5	44.0	0.50	1.14	1520.5
FABR. F1	45	41.0	42.0	42.0	41.7	0.58	1.39	1363.5
TEM. 20°C	60	39.5	39.0	39.5	39.3	0.29	0.73	1215.1
UR. 80%	75	36.5	37.5	37.5	37.2	0.58	1.55	1084.9
	90	-	-	-	-	-	-	-



PASTA DE CIMENTO	TEMPO (min)	DIANETROS (mm)			DIAM. MEDIO (mm)	DESV. PADR.	CV (%)	AREA (mm) <sup>2</sup>
		1	2	3				
NUMERO 50	0	241.5	229.5	214.0	228.3	13.79	6.04	40947.6
A/C 0,65	15	244.0	211.5	222.5	226.0	16.53	7.31	40115.0
TEOR 2,5%	30	219.5	200.5	209.5	209.8	9.50	4.53	34581.1
FABR. F1	45	209.5	195.5	201.5	202.2	7.02	3.47	32100.3
TEM. 21°C	60	186.5	198.5	193.0	192.7	6.01	3.12	29154.3
UR. 75%	75	179.5	191.0	190.0	186.8	6.37	3.41	27415.7
	90	173.5	185.0	183.0	180.5	6.14	3.40	25588.5
NUMERO 51	0	199.0	180.0	185.5	188.2	9.78	5.20	27808.4
A/C 0,65	15	174.5	176.0	162.5	171.0	7.40	4.33	22965.8
TEOR 1%	30	161.5	149.0	138.0	149.5	11.76	7.86	17553.8
FABR. F2	45	ESP.	135.5	137.5	136.5	1.41	1.04	14633.7
TEM. 21°C	60	126.0	136.5	130.0	130.8	5.30	4.05	13443.9
UR. 70%	75	123.5	130.5	125.5	126.5	3.61	2.85	12568.1
	90	124.0	122.0	135.5	127.2	7.29	5.73	12701.0
NUMERO 52	0	226.5	217.0	214.5	219.3	6.33	2.89	37783.2
A/C 0,65	15	208.0	212.5	218.5	213.0	5.27	2.47	35632.7
TEOR 2%	30	203.0	205.5	191.0	199.8	7.75	3.88	31363.6
FABR. F2	45	206.5	208.0	216.5	210.3	5.39	2.56	34746.1
TEM. 20,5°C	60	198.5	207.0	206.5	204.0	4.77	2.34	32685.1
UR. 75%	75	180.0	195.5	194.0	189.8	8.55	4.50	28303.2
	90	189.5	189.5	173.5	184.2	9.24	5.02	26638.6
NUMERO 53	0	131.0	132.5	124.5	129.3	4.25	3.29	13137.4
A/C 0,5	15	122.5	121.0	124.0	122.5	1.50	1.22	11785.9
TEOR 1,5%	30	113.0	113.0	110.5	112.2	1.44	1.29	9881.4
FABR. F2	45	106.0	100.5	107.0	104.5	3.50	3.35	8576.7
TEM. 20°C	60	101.0	99.0	94.5	98.2	3.33	3.39	7568.6
UR. 75%	75	95.0	90.5	92.5	92.7	2.25	2.43	6744.3
	90	88.5	86.5	89.0	88.0	1.32	1.50	6082.1
NUMERO 54	0	136.5	129.5	28.0	131.3	4.54	3.45	13546.9
A/C 0,5	15	120.5	122.0	120.5	121.0	0.87	0.72	11499.0
TEOR 1,5%	30	111.5	110.5	110.0	110.7	0.76	0.69	9618.9
FABR. F2	45	104.0	103.5	102.5	103.3	0.76	0.74	8386.3
TEM. 20,5°C	60	92.5	97.5	95.5	95.2	2.52	2.64	7113.1
UR. 80%	75	91.0	89.0	91.0	90.3	1.15	1.28	6408.9
	90	86.5	86.0	85.0	85.8	0.76	0.89	5786.3

**ANEXO 8**

**ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE**

**- RESULTADOS INDIVIDUAIS -**

MISTURA	TEMPER. (°C)	ABATIMENTO (mm)				
		0min	15min	30min	45min	60min
A/C 0,35	19,5	70	40	40	35	20
TEOR 0%	23,5	60	60	35	25	20
A/C 0,35	19,0	155	80	55	45	35
TEOR 1%	22,0	145	50	25	20	20
A/C 0,35	19,0	175	45	30	25	20
TEOR 1,5%	22,5	180	65	30	25	20
A\C 0,35	19,0	195	85	35	20	15
TEOR 2%	22,0	190	160	40	25	15
A/C 0,35	22,5	210	180	70	40	20
TEOR 2,5%	21,5	205	180	70	20	10
A/C 0,5	24,0	80	65	35	30	15
TEOR 0%	19,0	80	40	25	20	15
A/C 0,5	19,0	145	65	25	20	20
TEOR 1%	23,5	170	60	25	20	15
A/C 0,5	19,0	160	80	55	25	15
TEOR 1,5%	22,0	185	95	50	25	15
A/C 0,5	19,5	205	165	80	40	20
TEOR 2%	22,5	200	140	60	25	15
A/C 0,5	23,0	190	190	50	15	10
TEOR 2,5%	19,5	200	180	80	35	15
A/C 0,65	21,5	70	45	20	20	10
TEOR 0%	22,5	80	50	25	15	15
A/C 0,65	21,5	160	60	40	25	15
TEOR 1%	22,5	160	85	45	25	15
A/C 0,65	22,5	170	115	45	25	15
TEOR 1,5%	21,5	195	90	30	20	15
A/C 0,65	19,5	200	180	130	55	25
TEOR 2%	22,5	175	150	80	35	20
A/C 0,65	19,5	200	190	180	80	25
TEOR 2,5%	22,5	200	180	95	30	15



## **ANEXO 9**

**ENSAIO DE ABATIMENTO NO TRONCO DE CONE AO LONGO DO TEMPO**

**- RESULTADOS MÉDIOS -**

MISTURA	TEMPER. (°C)	ABATIMENTO (mm)				
		0min	15min	30min	45min	60min
A/C 0,35 TEOR 0%	21,5	65	50	40	30	20
A/C 0,35 TEOR 1%	20,5	150	65	40	35	30
A/C 0,35 TEOR 1,5%	21,0	180	55	30	25	20
A/C 0,35 TEOR 2%	21,5	195	125	40	25	15
A/C 0,35 TEOR 2,5%	22,0	210	180	70	30	15
A/C 0,5 TEOR 0%	21,5	80	55	30	25	15
A/C 0,5 TEOR 1%	21,5	160	65	25	20	20
A/C 0,5 TEOR 1,5%	20,5	175	90	55	25	15
A/C 0,5 TEOR 2%	21,0	205	155	70	35	20
A/C 0,5 TEOR 2,5%	21,5	195	185	65	25	15
A/C 0,65 TEOR 0%	22,0	75	50	25	20	15
A/C 0,65 TEOR 1%	22,0	160	75	45	25	15
A/C 0,65 TEOR 1,5%	22,0	185	105	40	25	15
A/C 0,65 TEOR 2%	21,0	190	165	105	45	25
A/C 0,65 TEOR 2,5%	21,0	200	185	140	55	20

## **ANEXO 10**

ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE AO LONGO DO TEMPO

COMPARATIVOS DE CIMENTOS

- RESULTADOS INDIVIDUAIS -



MISTURA	TEMPER.	ABATIMENTO (mm)				
	(°C)	0min	15min	30min	45min	60min
A/C 0,5 TEOR 0% CPE - 32	22,5	135	80	75	30	25
	21,5	125	70	65	30	20
A/C 0,5 TEOR 0% POZ <sub>2</sub> - 32	19,5	75	50	35	25	15
	22,5	70	40	35	15	10

**ANEXO 11**

ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE AO LONGO DO TEMPO

COMPARATIVOS DE CIMENTOS

- RESULTADOS MÉDIOS -

MISTURA	TEMPER. (°C)	ABATIMENTO (mm)				
		0min	15min	30min	45min	60min
A/C 0,5 TEOR 0% CPE - 32	22,0	130	75	70	30	25
A/C 0,5 TEOR 0% POZ <sub>2</sub> - 32	21,0	75	45	35	20	15



## **ANEXO 12**

**PROPORCIONAMENTO DE MISTURA DE CONCRETO**

**- MÉTODO DO ACI -**

CARACTERISTICA	TRAÇO 1
TRAÇO	1:2,13:2,18
FATOR a/c	0,50
m=AGREG.TOTAL	4,94
=TEOR ARGAM.	53%
CIM. (Kg/m <sup>3</sup> )	380,70
AREIA (Kg/m <sup>3</sup> )	811,00
BRITA (Kg/m <sup>3</sup> )	1069,90
AGUA (Kg/m <sup>3</sup> )	190,40
H=AG/MAT.SEC.	10,12%
ABATIM. (mm)	70±15

**ANEXO 13**

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

- RESULTADOS INDIVIDUAIS -



AMOSTRA	RESULTADOS INDIVIDUAIS (fcj)	IDADE DE RUPTURA (dias)					
		3	7	28	63	91	182
NUMERO 01	fcj1 (MPa)	22,01	28,50	44,86	53,33	46,56	39,94
A/C 0,35 TEOR 0% FABR. -	fcj2 (MPa)	20,88	30,05	46,27	46,98	60,66	48,53
	fcj3 (MPa)	22,22	32,17	44,44	50,65	62,07	57,12
NUMERO 02	fcj1 (MPa)	16,93	25,68	35,83	43,17	49,10	40,80
A/C 0,35 TEOR 2,5% FABR. F1	fcj2 (MPa)	14,46	23,28	36,67	44,72	44,02	45,95
	fcj3 (MPa)	15,17	17,35	37,53	41,20	51,07	48,10
NUMERO 03	fcj1 (MPa)	15,17	20,32	34,42	36,96	32,17	48,10
A/C 0,5 TEOR 0% FABR. -	fcj2 (MPa)	16,37	21,02	34,71	36,68	44,30	43,37
	fcj3 (MPa)	15,24	18,02	28,78	29,91	40,07	39,94
NUMERO 04	fcj1 (MPa)	10,16	16,65	30,47	35,27	41,20	39,94
A/C 0,5 TEOR 2% FABR. F1	fcj2 (MPa)	9,66	16,33	30,19	34,42	40,35	40,80
	fcj3 (MPa)	9,88	16,72	31,74	36,68	40,35	45,95
NUMERO 05	fcj1 (MPa)	9,52	12,98	21,30	26,38	35,65	31,35
A/C 0,65 TEOR 0% FABR. -	fcj2 (MPa)	10,16	11,99	21,73	26,95	30,92	30,06
	fcj3 (MPa)	9,52	11,07	20,17	23,98	29,16	28,34
NUMERO 06	fcj1 (MPa)	7,76	10,44	19,33	25,68	30,06	30,49
A/C 0,65 TEOR 1,5% FABR. F1	fcj2 (MPa)	7,41	10,51	16,08	26,24	27,49	27,49
	fcj3 (MPa)	7,12	8,75	18,06	24,83	27,92	29,20
NUMERO 07	fcj1 (MPa)	-	21,09	34,71	38,09	-	-
A/C 0,5 TEOR 0% FABR. -	fcj2 (MPa)	-	21,73	30,76	39,08	-	-
	fcj3 (MPa)	-	22,54	29,77	39,78	-	-
NUMERO 08	fcj1 (MPa)	-	17,32	27,93	33,86	-	-
A/C 0,5 TEOR 2,5% FABR. F2	fcj2 (MPa)	-	17,64	26,24	30,19	-	-
	fcj3 (MPa)	-	17,07	29,20	32,45	-	-
NUMERO 09 ACI	fcj1 (MPa)	-	20,88	35,27	46,84	-	-
A/C 0,5 TEOR 0% FABR. -	fcj2 (MPa)	-	23,84	37,25	42,32	-	-
	fcj3 (MPa)	-	24,12	38,00	47,97	-	-
NUMERO 10 ACI	fcj1 (MPa)	-	15,45	23,28	33,01	-	-
A/C 0,5 TEOR 2% FABR. F1	fcj2 (MPa)	-	15,31	22,71	29,06	-	-
	fcj3 (MPa)	-	15,45	24,97	30,76	-	-

**ANEXO 14**

REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO

- TRAÇOS FINAIS -

FATOR A/C	TEOR (%)	TRAÇO	n	w (%)	CIMEN. Kg/m <sup>3</sup>	AREIA Kg/m <sup>3</sup>	BRITA Kg/m <sup>3</sup>	ÁGUA l/m <sup>3</sup>	ADITI. Kg/m <sup>3</sup>	H (%)	ABATIM. (mm)
0,35	0	1:0,32:1,90	2,22	41	680,07	217,62	1292,13	238,02	-	10,87	60/65/75/80
	1	1:0,37:1,97	2,34	41	660,85	244,51	1301,87	224,69	6,61	10,48	120/65
	1,5	1:0,42:2,04	2,46	41	642,69	269,93	1311,09	215,30	9,64	10,12	170/60
	2	1:0,58:2,27	2,85	41	590,05	342,23	1339,41	194,72	11,80	9,09	215/75
	2,5	1:0,52:2,19	2,71	41	607,97	316,14	1331,45	197,59	15,20	9,43	200/65
0,5	0	1:1,85:3,78	5,63	43	351,71	650,66	1329,46	175,86	-	7,50	80/75/70/80
	1	1:1,98:3,95	5,93	43	338,94	671,10	1338,81	166,08	3,39	7,20	140/60
	1,5	1:2,03:3,97	6,00	43	335,98	682,04	1333,84	162,95	5,04	7,10	180/60
	2	1:2,18:4,22	6,40	43	320,71	699,15	1353,40	153,94	6,41	6,80	185/60
	2,5	1:2,23:4,28	6,50	43	316,71	706,26	1355,52	150,44	7,92	6,70	220/65
0,65	0	1:2,98:5,28	8,26	43	254,17	757,43	1342,02	165,21	-	7,02	60/65/65/60
	1	1:3,09:5,42	8,51	43	248,53	767,96	1347,03	159,06	2,49	6,84	115/60
	1,5	1:3,13:5,47	8,60	43	246,56	771,73	1348,68	156,56	3,70	6,77	170/65
	2	1:3,20:5,57	8,77	43	242,93	777,38	1353,12	153,04	4,86	6,65	185/75
	2,5	1:3,31:5,71	9,02	43	237,77	787,02	1357,67	148,61	5,94	6,49	205/60



## **ANEXO 15**

REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO

- TRAÇOS FINAIS - PROCESSO INTERATIVO -

FATOR A/C	TEOR (%)	TRAÇO	n	α (%)	CIMEN. Kg/m <sup>3</sup>	AREIA Kg/m <sup>3</sup>	BRITA Kg/m <sup>3</sup>	ÁGUA l/m <sup>3</sup>	ADITI. Kg/m <sup>3</sup>	H (%)	ABATIM. (mm)
0,35	0	1:0,32:1,90	2,22	41	680,07	217,62	1292,13	238,02	-	10,87	65
	2,5	1:0,74:2,50	3,24	41	545,37	403,57	1363,42	177,25	13,63	8,25	60
0,5	0	1:1,85:3,78	5,63	43	351,71	650,66	1329,46	175,86	-	7,50	75
	2	1:2,39:4,49	6,88	43	303,99	726,54	1364,92	145,92	6,08	6,34	60
0,65	0	1:2,98:5,28	8,26	43	254,17	757,43	1342,02	165,21	-	7,02	60
	1,5	1:3,64:6,15	9,79	43	223,18	812,38	1372,56	141,72	3,35	6,02	60

**ANEXO 16**

REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO

- RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO -

- RESULTADOS INDIVIDUAIS -



AMOSTRA	FASES DE ENSAIO	TEOR DE ADITIVO (%)												
		1			1,5			2			2,5			
NUMERO 01	FASE 1	ESP	33,72	34,71	39,93	38,09	39,78	31,88	43,88	43,73	37,39	39,78	38,23	
A/C 0,35	FASE 2		48,95	45,71	43,45	44,30	41,20	41,62	35,83	37,53	38,80	37,81	35,69	36,96
FABR. F1	FASE 3		43,88	51,49	52,90	47,97	57,42	53,47	48,11	46,98	47,97	44,58	46,42	41,76
NUMERO 02	FASE 1		31,04	26,81	30,76	30,47	29,91	28,22	26,24	32,17	29,91	26,24	29,49	27,65
A/C 0,5	FASE 2		27,79	33,58	35,83	29,06	27,93	29,06	26,52	26,52	25,68	22,57	21,02	22,57
FABR. F1	FASE 3		37,53	37,10	36,26	37,53	36,12	37,81	33,29	33,58	33,58	31,46	32,87	31,88
NUMERO 03	FASE 1		18,34	19,89	18,34	17,63	19,61	18,20	21,44	21,02	21,16	19,75	20,60	20,32
A/C 0,65	FASE 2		22,43	21,16	21,02	16,93	16,22	15,10	16,93	17,21	16,93	12,41	15,80	13,40
FABR. F1	FASE 3		21,44	22,57	22,43	21,87	21,02	19,47	21,02	20,74	21,02	21,02	21,16	21,87