

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

ESTUDO PROBABILÍSTICO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA  
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DOS CONCRETOS UTILIZADOS NA  
CONSTRUÇÃO DO DIQUE SECO DO ESTALEIRO RIO GRANDE, NO  
SUPERPORTO, EM RIO GRANDE-RS

Fábio Costa Magalhães

Rio Grande, dezembro de 2009.

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

ESTUDO PROBABILÍSTICO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA  
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DOS CONCRETOS UTILIZADOS NA  
CONSTRUÇÃO DO DIQUE SECO DO ESTALEIRO RIO GRANDE, NO  
SUPERPORTO, EM RIO GRANDE-RS

Fábio Costa Magalhães

Dissertação apresentada à comissão de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Prof. Dr. Mauro de Vasconcellos Real

Rio Grande, dezembro de 2009.

## RESUMO

A variação presente nos ensaios de aceitação do concreto, sobretudo a resistência, torna fundamental a utilização de uma grande quantidade de dados amostrais para estabelecer parâmetros de avaliação e calibração das normas técnicas. Distintos controles tecnológicos, metodologias de dosagem e características dos materiais, são alguns dos fatores que fazem com que o concreto tenha peculiaridades relacionadas à região do planeta onde o mesmo é produzido. O presente trabalho aplicou diversos métodos de controle e aceitação de estruturas de concreto aos resultados práticos oriundos do concreto lançado na execução do dique seco do Estaleiro Rio Grande em construção na cidade de Rio Grande - RS. Esta obra é uma importante fonte de informações sobre a resistência e o comportamento do concreto visto que, na mesma, foi empregado desde o início um rigoroso controle de qualidade; gerando dados raramente disponíveis em obras portuárias brasileiras. Foram utilizados como base para este trabalho dois traços de concreto; um com adição de fibras e  $f_{ck} = 35$  MPa e outro com adição de sílica ativa e  $f_{ck} = 40$  MPa. Foram realizadas comparações entre as estimativas de resistência das normas brasileira, européia e norte-americana de concreto. Realizadas análises estatísticas de modelos teóricos de distribuição de probabilidade destas resistências. Além disso, foram estabelecidas correlações entre as resistências à tração e à compressão do concreto. O incremento de resistência do concreto ao longo do tempo também foi estudado, tanto para compressão como para a tração. As análises apresentadas permitem atestar o atendimento dos concretos utilizados na execução do dique seco quanto aos requisitos estabelecidos pelas normas brasileiras de concreto.

Palavras-chave: dique seco; estudo probabilístico; resistência do concreto; adição de fibras; adição de sílica ativa.

## ABSTRACT

### **Probabilistic analysis of the compressive resistance and tensile resistance in bending of the concrete used in the construction of the Estaleiro Rio Grande drydock, in Rio Grande – RS.**

Due to the variability in the results of the concrete acceptance tests, especially in the resistance tests, it is fundamental to use a large number of sample data to establish the assessment parameters and to calibrate the standard codes. Different technological controls, mixing methodologies and material characteristics are some of the factors that cause the concrete having peculiarities proper of the region where it is produced. The present work has applied different methods of control and acceptance of concrete structures to the test results of the concrete used in the construction of the Estaleiro Rio Grande dry-dock, in the city of Rio Grande – RS. This construction site is an important source of information about the concrete resistance and behavior, because it was adopted, since the beginning of the construction, a rigorous quality control. This quality control produced a number of test results that is seldom available in the Brazilian harbors construction sites. In this work two different concrete mixes were studied: first a fiber reinforced concrete (FRC) with  $f_{ck} = 35$  MPa, and a second one with silica fume addition with  $f_{ck} = 40$  MPa. The resistance assessment formulations of the Brazilian, European and North American standard codes were compared. A statistical analysis of best the probability distribution models for the resistance test results was made. Besides, it was determined a correlation between the concrete tensile and compressive resistances. The increasing of the concrete resistance with time was also studied to compression as well as to tension. The analyses performed have showed that both concrete mixes used in the construction of this dry-dock have attained the quality standards required by the Brazilian standard codes for concrete.

Key-words: dry-dock, probabilistic analysis, concrete resistance, fiber reinforced concrete, concrete with silica fume addition.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	1
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	2
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	4
<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	21
1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	21
1.2 – OBJETIVOS .....	22
1.3 – DIQUE SECO .....	23
1.3.1 – Tipos de concretos empregados na obra do dique seco .....	25
1.4 – PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO .....	27
1.5 – PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO .....	28
1.6 – IMPORTÂNCIA DA CORRETA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO .....	29
1.7 – IMPORTÂNCIA DA CORRETA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO .....	29
1.8 – ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO .....	30
<b>2 – METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO</b> .....	32
2.1 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO .....	32
2.2 – RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO .....	36
2.2.1 – Resistência característica à compressão segundo a ABNT .....	36
2.2.1.1 – Distribuição Normal .....	37
2.2.1.2 – Distribuição LogNormal .....	39

2.2.2 – Resistência característica à compressão segundo o ACI-318.....	40
2.2.3 – Resistência característica à compressão segundo o EuroCode 2.....	40
2.3 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM O TEMPO.....	41
<b>3 – METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO .....</b>	<b>44</b>
3.1 – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO .....	44
3.2 – RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À TRAÇÃO DO CONCRETO.....	48
3.3 – METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO .....	48
3.4 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO COM O TEMPO.....	49
3.5 – CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO DO CONCRETO .....	49
<b>4 – ESTUDO PROBABILÍSTICO DAS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS.....</b>	<b>52</b>
4.1 – CONCRETO COM FIBRAS .....	52
4.1.1 – Fibras Metálicas e de Polipropileno .....	52
4.2 – RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS .....	59
4.2.1 – Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo a ABNT .....	63
4.2.1.1 – Controle estatístico por amostragem parcial .....	64
4.2.1.2 – Controle estatístico por amostragem total .....	66
4.2.1.3 – Resistência característica à compressão do concreto reforçado com fibras .....	66
4.2.2 – Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo o ACI-318.....	69

4.2.3 – Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo o EuroCode 2.....	71
4.2.4 – Relação entre as resistências estimadas pelas distintas normas para o concreto com adição de fibras.....	73
4.3 – AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS.....	74
4.4 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS COM O TEMPO.....	82
4.5 – AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS.....	88
4.6 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS COM O TEMPO.....	90
4.7 – CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DO CRF.....	93
4.8 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CRF EM FUNÇÃO DAS DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA.....	100
<b>5 – ESTUDO PROBABILÍSTICO DAS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA.....</b>	<b>111</b>
5.1 – CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA.....	111
5.1.1 – Sílica Ativa.....	114
5.2 – RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA.....	116
5.2.1 – Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo a ABNT.....	122
5.2.2 – Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo o ACI-318.....	124
5.2.3 – Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo o EuroCode 2.....	125

5.2.4 – Relação entre as resistências estimadas pelas distintas normas para o concreto com adição de sílica ativa.....	126
5.3 – AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA .....	128
5.4 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA COM O TEMPO .....	133
<b>6 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>138</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>142</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXO A – DADOS REFERENTES AO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS (<math>f_{ck} = 35</math> MPa) .....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO A – DADOS REFERENTES AO CONCRETO COM ADIÇÃO SÍLICA ATIVA (<math>f_{ck} = 40</math> MPa) .....</b>	<b>162</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Fator “s” em relação ao tipo de cimento (ABNT, 2007) .....	42
TABELA 4.1 – Classificação do concreto por grupos de resistência (ABNT, 1992).....	63
TABELA 4.2 - Valores para a formação de lotes de concreto (ABNT, 2006) .....	64
TABELA 4.3 - Valores de $\Psi_6$ (ABNT, 2006) .....	65
TABELA 4.4 - Média, desvio padrão e $f_{ck,estimado}$ do lote de 318 séries do concreto reforçado com fibras .....	67
TABELA 4.5 - Média, desvio padrão e $f_{ck,estimado}$ discriminado por pano segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006).....	68
TABELA 4.6 - Média, desvio padrão e $f_{ck,estimado}$ discriminado por pano segundo o ACI-318 .....	70
TABELA 4.7 - Média, desvio padrão e $f_{ck,estimado}$ discriminado por pano segundo o EuroCode 2 .....	72
TABELA 4.8 - Resultados do teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov .....	81
TABELA 4.9 - Número de elementos da amostra, resistência média e desvio padrão dos lotes aos 3, 7, 28, 56 e 61 dias de idade (MPa) .....	85

TABELA 4.10 - Relação $f_{cj}/f_{c28}$ determinada pelo modelo proposto para o concreto com adição de fibras .....	86
TABELA 4.11 - Relação $f_{cj}/f_{c28}$ média dos ensaios de canteiro para o concreto com adição de fibras.....	87
TABELA 4.13 - Resultados dos testes de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov para os resultados de resistência à tração na flexão .....	89
TABELA 4.13 - Relação $f_{ij}/f_{t28}$ determinada para o concreto com adição de fibras.....	92
TABELA 4.14 - Relação $f_{ij}/f_{t28}$ determinada para o concreto executado com diversos agregados (adaptado de SILVA et al., 2001, p.5) .....	93
TABELA 4.15 - Expressões de correlação $f_t / f_c$ (SILVA et al., 2001).....	99
TABELA 4.16 - Correção relativa à relação $h / d$ (ABNT, 1983) .....	101
TABELA 4.17 - Média, desvio padrão e $f_{ck,estimado}$ aos 28 dias dos corpos de prova de diferentes dimensões (MPa) .....	102
TABELA 4.18 - Média, desvio padrão e $f_{ckestimado}$ aos 28 dias dos corpos de prova de diferentes dimensões para os dados corrigidos.....	104
TABELA 4.19 - Resultados dos ensaios dos corpos de prova cilíndricos aos 7 e 28 dias considerando concreto sem adições (LIMA e BARBOSA <i>apud</i> BEZERRA, 2007)....	107
TABELA 5.1 - Classes de Agressividade Ambiental (ABNT, 2006).....	112
TABELA 5.2 - Total de ensaios à compressão realizados para cada idade .....	117

TABELA 5.3 - Coeficiente de variação, desvio padrão e média das resistências à compressão ao longo dos meses (MPa).....	120
TABELA 5.4 - Avaliação do controle de preparo do concreto com base no desvio padrão (ABNT, 1984).....	121
TABELA 5.5 - Avaliação dos ensaios do concreto com base no coeficiente de variação (ABNT, 1984).....	121
TABELA 5.6 - Avaliação do concreto com base no coeficiente de variação (ACI-214) .....	122
TABELA 5.7 - Média, desvio padrão e $f_{ck,estimado}$ discriminado por lote segundo o ACI 318 (MPa).....	125
TABELA 5.8 - Média, desvio padrão e $f_{ck,estimado}$ discriminado por lote segundo o EuroCode 2 (MPa).....	126
TABELA 5.9 - Resultados do teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov.....	132
TABELA 5.10 - Número de elementos da amostra, resistência média e desvio padrão dos lotes aos 3, 7, 28 e 91 dias de idade (MPa).....	134
TABELA 5.11 - Relação $f_{cj}/f_{c28}$ determinada pelo modelo proposto para o concreto com sílica ativa.....	136
TABELA 5.12 - Relação $f_{cj}/f_{c28}$ média dos ensaios de canteiro determinada para o concreto com sílica ativa .....	136
TABELA 5.13 - Coeficiente médio de crescimento da resistência à compressão do concreto com a idade (ABNT, 1983).....	137

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Localização da cidade de Rio Grande – RS (Fonte: Google <sup>®</sup> ).....	23
FIGURA 1.2 - Localização do Estaleiro Rio Grande na cidade de Rio Grande – RS (Fonte: Google <sup>®</sup> ) .....	24
FIGURA 1.3 - Vista área do dique seco do Estaleiro Rio Grande.....	25
FIGURA 1.4 - Determinação da consistência do concreto pelo ensaio de abatimento do tronco do cone segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998).....	28
FIGURA 2.1 - Corpos de prova cilíndricos moldados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008).....	33
FIGURA 2.2 - Sistema de cura dos corpos de prova de concreto com controle automático de temperatura.....	33
FIGURA 2.3 - Fratura no corpo de prova do concreto no momento do rompimento .....	34
FIGURA 2.4 - Prensa para rompimento de corpo de prova de concreto.....	35
FIGURA 2.5 - Distribuição Normal de probabilidade da resistência do concreto.....	37
FIGURA 2.6 - Distribuição LogNormal de probabilidade.....	39
FIGURA 3.1 - Diagrama do ensaio de tração por compressão diametral segundo a NBR 7222 (ABNT, 1994).....	44
FIGURA 3.2 - Diagrama do ensaio de tração na flexão segundo a NBR 12142 (ABNT, 1991).....	45
FIGURA 3.3 - Fibras metálicas adicionadas ao concreto .....	46
FIGURA 3.4 - Moldagem de corpos de prova prismáticos de concreto .....	46



FIGURA 3.5 - Execução de ensaio de resistência à tração na flexão e detalhe do plano de ruptura do corpo de prova.....	47
FIGURA 4.1 - Fibras de aço e polipropileno para concreto (Disponível em: < <a href="http://www.portaldoconcreto.com.br">www.portaldoconcreto.com.br</a> > Acesso em 10/out/2009).....	54
FIGURA 4.2 - Concreto com adição de fibras .....	54
FIGURA 4.3 - Execução do piso industrial da área de pré-edificação do estaleiro com utilização de CRF .....	55
FIGURA 4.4 - Rompimento por tração direta de corpos de prova de concreto reforçado com fibras metálicas (FORMAGINI et al., 2006, p.6).....	56
FIGURA 4.5 - Diagrama de tensão por deformação elástica da matriz e fibras de alto e baixo módulo de elasticidade formando um compósito (FIGUEIREDO, 2000, p.6) .....	57
FIGURA 4.6 - Cuidados na dosagem das fibras no concreto e exemplo deformação de ouriços .....	58
FIGURA 4.7 - Curva média de carga por deflexão obtidas no ensaio de tração na flexão de concretos de $f_{ck} = 20$ MPa com diferentes consumos de fibras (FIGUEIREDO, 2000, p.57).....	59
FIGURA 4.8 - Deflexão do compósito sujeito à tração na flexão com diferentes teores de fibras (FIGUEIREDO, 2000, p.14).....	60
FIGURA 4.9 - Resistência à flexão de concreto reforçado com fibras (TEZUZA apud HOLANDA, 2001, p.6) .....	60
FIGURA 4.10 - Variação da resistência à compressão do concreto com fibras aos 28 dias de idade .....	61
FIGURA 4.11 - Variação do abatimento do concreto no momento do lançamento .....	63
FIGURA 4.12 - Resistência média, resistências estimadas e desvio padrão dos lotes segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006) .....	69
FIGURA 4.13 - Resistência média, resistência estimada e desvio padrão dos lotes segundo o ACI-318.....	71

FIGURA 4.14 - Resistência média, resistência estimada e desvio padrão dos lotes segundo o EuroCode 2.....	72
FIGURA 4.15 - Resistência estimada em cada lote segundo as distintas normas .....	74
FIGURA 4.16 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 1 .....	75
FIGURA 4.17 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 2 .....	75
FIGURA 4.18 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 3 .....	76
FIGURA 4.19 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 4 .....	76
FIGURA 4.20 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 5 .....	76
FIGURA 4.21 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 6 .....	77
FIGURA 4.22 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 7 .....	77
FIGURA 4.23 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 8 .....	77
FIGURA 4.24 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 9 .....	78
FIGURA 4.25 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 10 .....	78
FIGURA 4.26 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 11 .....	78
FIGURA 4.27 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 12 .....	79

FIGURA 4.28 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 13 .....	79
FIGURA 4.29 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 14 .....	79
FIGURA 4.30 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 15 .....	80
FIGURA 4.31 - Relação entre a resistência à compressão do concreto e a relação água/cimento (MEHTA e MONTEIRO, 1994, p.48).....	83
FIGURA 4.32 - Evolução da resistência à compressão do concreto (NEVILLE, 1997, p.310).....	84
FIGURA 4.33 - Variação da resistência à compressão com o tempo para o concreto com adição de fibras .....	85
FIGURA 4.34 - Modelos de previsão de resistência à compressão e resultados médios obtidos pela amostra para concretos com adição de fibras.....	88
FIGURA 4.35 - Histogramas dos valores de resistência à tração na flexão e curvas de distribuição de probabilidade Normal e LogNormal.....	90
FIGURA 4.36 - Incremento da resistência à tração na flexão do concreto reforçado com fibras em função da idade do concreto .....	91
FIGURA 4.37 - Relação entre a resistência à compressão $f_c$ e a resistência média à tração $f_t$ segundo modelo adotado pela ABNT.....	94
FIGURA 4.38 - Comparação da relação $f_t/f_c$ obtida com a utilização de concreto com adição de metacaulim com diversos autores (SOUZA, 2006, p.7).....	95
FIGURA 4.39 - Relação entre a resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão do concreto (OLUOKUN <i>apud</i> NEVILLE, 1997, p.316).....	96
FIGURA 4.40 - Gráfico de dispersão dos resultados de resistência à tração na flexão e à compressão do concreto com adição de fibras para as idades de 28, 56 e 91 dias.....	97

FIGURA 4.41 - Correlação entre a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão do concreto com adição de fibras .....	98
FIGURA 4.42 - Relação entre as resistências à tração na flexão e à compressão de diversos autores em comparação com os dados do concreto com adição de fibras .....	100
FIGURA 4.43 - Variação da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova e médias .....	102
FIGURA 4.44 - Histograma e curva de probabilidade normal dos corpos de prova moldados em formas de dimensões 10 x 20 cm .....	103
FIGURA 4.45 - Histograma e curva de probabilidade normal dos corpos de prova moldados em formas de dimensões 15 x 30 cm .....	103
FIGURA 4.46 - Variação da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova e médias para o lote corrigido .....	105
FIGURA 4.47 - Histograma e curva de probabilidade normal corrigidos dos corpos de prova moldados em formas de dimensões 10 x 20 cm .....	105
FIGURA 4.48 - Histograma e curva de probabilidade normal corrigidos dos corpos de prova moldados em formas de dimensões 15 x 30 cm .....	106
FIGURA 4.49 - Resistências à compressão com diferentes tamanhos de corpos de prova (VIEIRA, 2007, p.12).....	108
FIGURA 4.50 - Correlação entre as resistências à compressão aos 28 dias dos corpos de prova de dimensões distintas .....	109
FIGURA 4.51 - Relação $f_c(10x20) / f_c(15x30)$ aos 28 dias para o concreto reforçado com fibras .....	110
FIGURA 5.1 - Concretagem da laje de fundo do dique seco .....	113
FIGURA 5.2 - Resistência à compressão aos 7 dias do concreto simples em comparação ao concreto com adição de sílica ativa e metacaulim para diversas dosagens (CARMO, 2007, p.7).....	115

FIGURA 5.3 - Resistência à compressão aos 28 dias do concreto simples em comparação ao concreto com adição de sílica ativa e metacaulim para diversas dosagens (CARMO, 2007, p.7).....	116
FIGURA 5.4 - Resistência à compressão aos 90 dias do concreto simples em comparação ao concreto com adição de sílica ativa e metacaulim para diversas dosagens (CARMO, 2007, p.8).....	116
FIGURA 5.5 - Variação das resistências médias à compressão ao longo dos meses para cada idade .....	118
FIGURA 5.6 - Variação do desvio padrão das resistências à compressão ao longo dos meses para cada idade .....	119
FIGURA 5.7 - Resistências estimadas dos lotes para cada uma das idades segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006) .....	123
FIGURA 5.8 - Resistências estimadas dos lotes para cada uma das idades segundo o ACI 318 .....	125
FIGURA 5.9 - Resistências estimadas dos lotes para cada uma das idades segundo o EuroCode 2 .....	126
FIGURA 5.10 - Resistências estimadas em cada lote aos 3 dias segundo distintas normas .....	127
FIGURA 5.11 - Resistências estimadas em cada lote aos 7 dias segundo distintas normas .....	127
FIGURA 5.12 - Resistências estimadas em cada lote aos 28 dias segundo distintas normas .....	128
FIGURA 5.13 - Resistências estimadas em cada lote aos 91 dias segundo distintas normas .....	128
FIGURA 5.14 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Novembro .....	129
FIGURA 5.15 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Dezembro .....	129

FIGURA 5.16 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Janeiro .....	130
FIGURA 5.17 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Fevereiro .....	130
FIGURA 5.18 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Março .....	130
FIGURA 5.19 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Abril .....	131
FIGURA 5.20 - Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Maio .....	131
FIGURA 5.21 - Variação da resistência a compressão com o tempo para o concreto com sílica ativa.....	135

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

MCC – Materiais Componentes do Concreto

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma MERCOSUL

CRF – Concreto Reforçado com Fibras

CRFA – Concreto Reforçado com Fibras de Aço

ACI – American Concrete Institute

CEB – Comité Euro-International du Beton

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

CP – Corpo de Prova

CAD – Concreto de Alto Desempenho

CAR – Concreto de Alta Resistência

a/c – Relação Água/Cimento

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A variabilidade da resistência do concreto torna fundamental a utilização de metodologias estatísticas capazes de estabelecer parâmetros para a aceitação das estruturas. A utilização de um grande número de resultados de ensaios de resistência, especialmente os obtidos em obras reais, é de grande importância para a validação e calibração das normas e especificações técnicas existentes.

Um dos parâmetros mais utilizados na análise estatística e probabilística do concreto é o de resistência característica à compressão,  $f_{ck}$ , que representa uma probabilidade pré-estabelecida de falha. Este conceito é estendido para a análise de resistência à tração na flexão com  $f_{ctM,k}$ . Estes conceitos são definidos após a prévia definição de uma distribuição de probabilidade e prévio conhecimento de parâmetros de resistência do concreto. AZEVEDO e DINIZ (2008) consideram que a descrição estatística da resistência do concreto deve refletir a prática construtiva atual em uma determinada região ou país.

Desta forma, a utilização de uma grande quantidade de resultados da resistência do concreto torna-se de fundamental importância para a determinação da variabilidade das propriedades mecânicas do concreto. Este conhecimento é de grande importância para a calibração de novas revisões das normas de projeto das estruturas de concreto. O conhecimento mais apurado dos parâmetros de projeto propicia a obtenção de um ponto de equilíbrio com confiabilidade entre os riscos e os custos envolvidos.



A obra do Estaleiro Rio Grande, na cidade de Rio Grande-RS é uma importante fonte de informações sobre a resistência e o comportamento do concreto visto que, na mesma, foi empregado, desde o início, um rigoroso sistema de controle de qualidade do concreto utilizado. Sendo assim, têm-se um grande número de resultados experimentais de medição de suas propriedades, que raramente estão disponibilizadas para pesquisa.

Segundo DINIZ (2006) *apud* AZEVEDO e DINIZ (2008) o fato de as normas técnicas e especificações atuais de projeto de estruturas basearem-se no Método dos Estados Limites, ou seja, em métodos semi-probabilísticos, faz com que a descrição estatística de todas as variáveis envolvidas no projeto seja um requisito básico para calibrar as metodologias.

## 1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise probabilística da resistência do concreto utilizado na construção do dique seco do Estaleiro Rio Grande, localizado na cidade de Rio Grande, extremo sul do Brasil.

Neste trabalho é avaliado um grande número de resultados de resistências à compressão e à tração na flexão do concreto. Com base nestes dados gerados na prática da construção, são estudadas as distribuições de probabilidade das resistências do concreto em diferentes idades. Sobretudo, são investigadas as adequações das curvas de distribuição Normal e LogNormal aos resultados obtidos. São comparadas também as metodologias de aceitação das estruturas de concreto sob a óptica da ABNT NBR 12655 (2006), EuroCode 2 (2002) e ACI 318 (2005).

Outra análise realizada a partir dos dados experimentais diz respeito à caracterização da relação entre as resistências à tração e à compressão do concreto. Além disso, foram estudadas as variações da resistência do concreto ao longo do tempo. Finalmente, foi investigada a influência da dimensão dos corpos de prova na resistência à compressão do concreto.

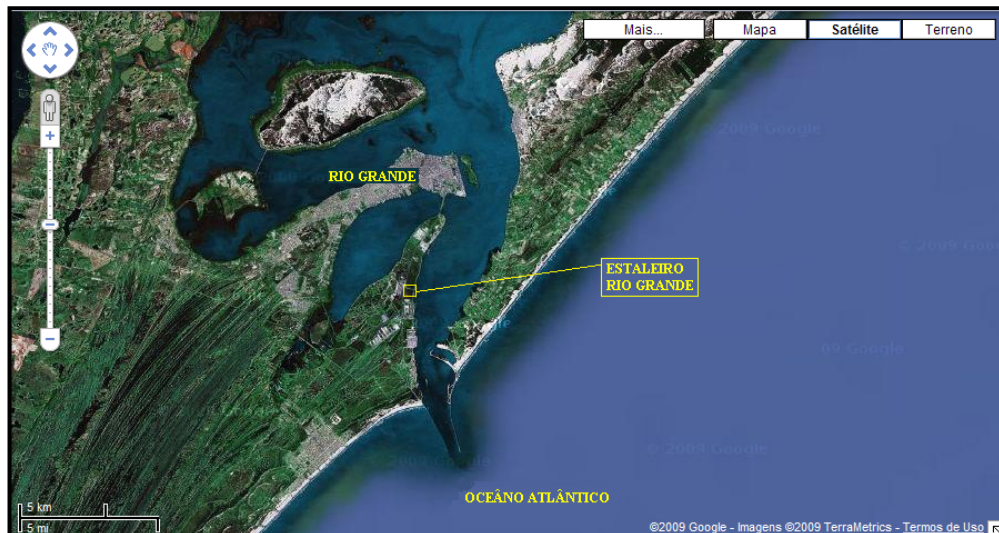
Todas as análises apresentadas neste trabalho tiveram como base os resultados de resistência obtidos com duas diferentes dosagens de concreto utilizados na referida obra: uma com adição de fibras e outra com adição de sílica ativa.

### 1.3 DIQUE SECO

Diques secos são estruturas construídas em áreas portuárias que têm por objetivo a construção, reforma ou manutenção de equipamentos navais, tais como navios, submarinos e plataformas de extração de petróleo. O dique seco do Estaleiro Rio Grande, em construção no Super Porto da cidade de Rio Grande-RS, possui 350 metros de comprimento, 133 metros de largura e 14 metros de profundidade, estando posicionado às margens da Laguna dos Patos, próximo ao encontro entre esta e o Oceano Atlântico.



**Figura 1.1** – Localização da cidade de Rio Grande – RS (Fonte: Google<sup>®</sup>)



**Figura 1.2** – Localização do Estaleiro Rio Grande na cidade de Rio Grande – RS  
(Fonte: Google®)

Este dique seco tem por objetivo a construção de plataformas de petróleo, sendo a maior obra em execução atualmente na América Latina (2009).

Por ser uma construção à beira mar e sujeita a grandes esforços provenientes de carregamentos externos, o desempenho do concreto utilizado, tanto em relação à durabilidade quanto em relação à resistência, se tornam fatores fundamentais na vida útil da obra e exigem um rígido controle de qualidade. Este rigoroso controle de qualidade foi utilizado na obra do Estaleiro Rio Grande, onde as estruturas de concreto possuem amostragem de 100 % das amassadas, conforme estabelecido no item 6.2.3.2 da norma brasileira NBR 12655 (ABNT, 2006).

Estas preocupações e critérios de avaliação da resistência do concreto resultaram na adoção de um programa de controle das propriedades do concreto muito extenso, o que propiciou uma grande quantidade de resultados experimentais que foi utilizada no presente trabalho.



**Figura 1.3** – Vista área do dique seco do Estaleiro Rio Grande

### 1.3.1 Tipos de concreto empregados na obra do dique seco

A obra do Estaleiro Rio Grande utilizou uma grande quantidade de traços e especificações distintas de concreto. Cada uma das partes do estaleiro possui uma especificação adequada às necessidades da peça, levando em consideração fatores como trabalhabilidade, durabilidade e resistência.

O concreto que possui maior volume executado nesta obra é o de  $f_{ck} = 40$  MPa, que foi utilizado na execução dos dois cais de atracação e de todas peças do dique seco, incluindo a laje de fundo (estrutura que sustenta as embarcações em construção).

Este traço possui as seguintes especificações de projeto:

- Consumo mínimo de aglomerante de  $400 \text{ kg/m}^3$ ;
- Consumo máximo de água de  $180 \text{ l/m}^3$ ;
- Consumo mínimo de 5 % de microsílica.

Estes parâmetros são estabelecidos em projeto visando à durabilidade da estrutura e o atendimento as normas brasileiras NBR 6118 (ABNT, 2007) e NBR 12655 (ABNT, 2006) que estabelecem, respectivamente, classe  $\geq C40$  e consumo de cimento  $\geq 360$

kg/m<sup>3</sup> para estruturas construídas em locais cuja classe de agressividade ambiental é IV. Este concreto tem lançamento do tipo bombeável, com abatimento  $100 \pm 20$  mm.

O presente trabalho pretende realizar uma análise estatística do concreto utilizado na laje de fundo do dique seco, possuindo um total de cerca de 40 mil metros cúbicos lançado com o mesmo traço. Este concreto possui um consumo de aglomerante de 400 kg/m<sup>3</sup>, sendo 380 kg/m<sup>3</sup> de cimento mais 20 kg/m<sup>3</sup> de microsilica. Segundo as especificações da norma brasileira NBR 8953 (ABNT, 1992), o mesmo é classificado com a classe de resistência C40, pertencendo ao grupo de resistência I.

Outro traço de concreto analisado neste trabalho é o de especificação  $f_{ck} = 35$  MPa;  $f_{ctM,k} = 4,5$  MPa. Este concreto foi utilizado na execução de um pavimento industrial portuário de 25 cm de espessura, na zona do estaleiro conhecida como Área de Pré-edificação. Este traço tem como principal característica a utilização de fibras em sua composição; possui 30 kg/m<sup>3</sup> de fibras metálicas e 0,6 kg/m<sup>3</sup> de fibras de polipropileno. Este concreto teve lançamento convencional e além das fibras, possui as seguintes especificações:

- Consumo de cimento:  $320 \geq c \geq 380$  kg/m<sup>3</sup>;
- Consumo máximo de água de 185 l/m<sup>3</sup>;
- Abatimento de  $80 \pm 10$  mm.

O objetivo da análise deste traço é a identificação de uma relação entre as resistências à compressão e à tração na flexão; além de uma análise de relação de resistência à compressão entre corpos de prova de dimensões distintas. Este estudo se dá sobre um total de cerca de 3 mil metros cúbicos de concreto com fibras. A fibra metálica utilizada nesta obra foi o modelo Harex KSF 60/0,75 da Vulkan® do Brasil Ltda. A fibra de polipropileno utilizada foi a do modelo FibroMac® 2 da empresa Macaferri.

Todos os concretos analisados foram executados com a utilização de brita 1, conforme definição da norma brasileira NBR 7211 (ABNT, 2005). Ou seja, o agregado graúdo possui dimensão máxima não superior a 19 mm. Também foi utilizado em ambos os traços, aditivo polifuncional marca Rheotec® 418. Segundo SOUZA et al.

(2006), a principal função do aditivo polifuncional é plastificar o concreto, reduzir o consumo de água e proporcionar redução no consumo de cimento.

Os concretos tomados como base para este estudo foram elaborados com a utilização de um cimento importado do Uruguai, marca ANCAP. Desta forma, as características não seguem rigidamente as classificações estabelecidas pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Porém, através de ensaios laboratoriais, com determinação de índices físicos e químicos, verificou-se uma grande semelhança deste cimento com a classificação Cimento Portland Comum CP-I. Essa informação leva em consideração o fato de o cimento em questão atender a todas as especificações da norma brasileira NBR 5732 (ABNT, 1991).

A utilização de microsilica no traço de  $f_{ck} = 40$  MPa tem por objetivo, o preenchimento dos vazios com material mais fino e, por consequência, a melhora nas condições de durabilidade do concreto. Esta melhora no concreto ocorre pela eficaz atuação da microsilica como agente químico na microestrutura do concreto além da atuação preenchendo os vazios do mesmo. Segundo CARMO (2007), a microsilica é um subproduto do processo de fabricação do ferrosilício, e sua denominação padrão é Sílica Ativa, conforme determinação da norma brasileira NBR 13956 (ABNT, 1997).

#### **1.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO**

São inúmeras as propriedades que podem ser determinadas no concreto em estado fresco; dentre as suas principais características destaca-se a trabalhabilidade. A trabalhabilidade de um dado concreto é função de características como a dimensão dos agregados, teor de argamassa, relação água cimento, entre outros, embora este conceito seja mais subjetivo do que físico. Para MEHTA e MONTEIRO (1994), a trabalhabilidade determina a facilidade com que um concreto pode ser manipulado sem segregação nociva.

Segundo FALCÃO BAUER (2000), a consistência é o mais importante dos fatores que afetam a trabalhabilidade do concreto. A consistência é normalmente associada ao resultado do ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme especificado na norma MERCOSUL NBR NM 67 (ABNT, 1998). Este ensaio consiste basicamente na determinação do assentamento do concreto adensado dentro de um tronco de cone. O



ensaio de abatimento do concreto, também conhecido como slump-test, tem seu resultado expresso em milímetros, e deve ser realizado a cada amassada de concreto como elemento de aceitação do mesmo antes do lançamento.



**Figura 1.4** – Determinação da consistência do concreto pelo ensaio de abatimento do tronco do cone segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998)

Outro método utilizado para determinar a consistência do concreto antes do lançamento é pelo espalhamento do tronco do cone, conforme prescrito na NBR NM 68 (ABNT, 1998). Este ensaio é conhecido como espalhamento na mesa de Graff e é aplicável ao concreto cujo valor determinado por este método é superior a 350 mm. O valor do ensaio é obtido através da média do espalhamento de 2 diâmetros ortogonais paralelos aos lados da mesa. A precisão considerada, a exemplo do slump-test, é de 5 mm.

## 1.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

O concreto é denominado endurecido a partir do momento em que se encerra a pega, suas características são função da idade e das condições a que o mesmo é submetido. A principal propriedade do concreto nesta fase é a resistência. Outras

propriedades importantes do concreto em estado sólido são a permeabilidade a líquido e gases, a densidade, a resistência ao fogo e o módulo de elasticidade, entre outras.

### **1.6 IMPORTÂNCIA DA CORRETA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

Atualmente, os projetistas estão especificando um número cada vez maior de propriedades do concreto em seus projetos. Isto se deve ao fato de que cada vez mais, os engenheiros estão buscando construir estruturas mais duráveis. Para FALCÃO BAUER (2000), o conhecimento das propriedades do concreto, de suas possibilidades e limitações são os elementos que permitem ao engenheiro escolher o material adequado para utilização nas obras. As características do concreto geralmente especificadas são o abatimento, o consumo mínimo de aglomerantes, consumo máximo de água e a resistência característica, seja ela à compressão ou à tração. Estruturas mais complexas, cujo concreto necessite atender mais quesitos, apresentam projetos contendo, além das especificações anteriores, conceitos como permeabilidade, teor de argamassa, módulo de elasticidade, calor específico, tempo de início e fim de pega do cimento, entre outros.

Em muitos casos, porém, a resistência à compressão é a única propriedade especificada para o concreto que é efetivamente controlada. Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), isto ocorre devido à facilidade desta propriedade ser determinada. É sabido que, somente o controle da resistência à compressão não é capaz de identificar a qualidade do concreto, porém este se caracteriza como um parâmetro de elevada importância para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas.

### **1.7 IMPORTÂNCIA DA CORRETA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO**

Conforme SILVA et al. (2001, p.2) “Usualmente é assumido no projeto estrutural, que o comportamento do concreto é governado por sua capacidade resistente à compressão, porém isto não significa que este parâmetro seja o único importante. Em



determinadas estruturas, as solicitações predominantes são de tração na flexão (pavimentos de rodovias e de aeroportos, lajes e vigas) ou tração pura (tirantes e reservatórios cilíndricos).” (SILVA et al., 2001, p.2)

Embora, a resistência à tração do concreto seja desconsiderada em alguns casos no momento de se projetar uma estrutura de concreto armado (estado limite último), esta não pode ser esquecida no momento em que são executadas estruturas sem a utilização de barras de aço. Os exemplos mais aplicáveis do conceito de resistência à tração são os pavimentos de concreto executados com adição de fibras metálicas. Estas fibras metálicas são adicionadas ao concreto no momento da mistura em proporções pré-determinadas (em geral de 15 a 40 kg/m<sup>3</sup>). Não possuindo armadura, a resistência à tração do maciço de concreto se torna a única forma de evitar rupturas na estrutura quando a mesma encontra-se sob esforço de flexão.

## **1.8 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO**

O presente trabalho teve sua estrutura dividida em seis capítulos, sendo este o primeiro.

No Capítulo 2, são realizadas considerações acerca da resistência à compressão do concreto. A seguir são expostas as definições de resistência característica à compressão pelas normas brasileiras, norte-americana e européia. Também é definida a metodologia de análise estatística da resistência à compressão do concreto, além de considerações acerca da variação da resistência à compressão do concreto com o tempo.

As considerações acerca da resistência à tração do concreto são descritas no Capítulo 3, onde também são estudadas diversas correlações entre a resistência à compressão e à tração do concreto.

No Capítulo 4 são estudadas as propriedades do concreto com adição de fibras e é realizada uma análise estatística deste tipo de compósito. Também são apontadas as formas de interpretação dos resultados dos ensaios de diversas normas e comparadas entre si. São testadas formas de distribuição de probabilidade quanto à aderência aos resultados de resistência à compressão e à tração do concreto com adição de fibras.

Além disso, são realizadas análises a respeito das variações da resistência do concreto com o tempo, em função da dimensão dos corpos de prova e a correlação entre a resistência à tração e à compressão do compósito estudado.

O Capítulo 5 apresenta uma análise estatística semelhante à apresentada no capítulo anterior, porém, considerando um concreto sem adição de fibras, mas com adição de sílica ativa.

O Capítulo 6 apresenta uma análise e interpretação dos resultados obtidos no presente trabalho.

Ao final deste documento encontram-se as referências bibliográficas utilizadas para a construção deste trabalho; além dos anexos com os resultados das resistências experimentais dos concretos utilizados na obra do Estaleiro Rio Grande.

## **2 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

A resistência é a propriedade do concreto mais valorizada pelos engenheiros projetistas e de controle de qualidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Como definição, resistência é a capacidade de um dado material de suportar uma dada tensão sem chegar à ruptura. No caso do concreto, a resistência à compressão caracteriza-se como a capacidade do mesmo absorver tensões que agem de forma a comprimir a peça.

### **2.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

A resistência a compressão do concreto é medida através do rompimento de testemunhos de concreto denominados corpos de prova (CP). Estes corpos de prova são moldados com concreto extraído do caminhão betoneira conforme recomendação da norma MERCOSUL NBR NM 33 (ABNT, 1998). A moldagem dos corpos de prova é executada seguindo as diretrizes da norma NBR 5738 (ABNT, 2008). A normalização destes processos é de fundamental importância para a padronização dos resultados e para possibilitar a comparação entre resultados obtidos nos mais diversos locais. Na NBR 5738 (ABNT, 2008) são definidos os principais parâmetros a serem considerados no momento de moldar os CP's, desde a escolha das dimensões, passando pela preparação das formas, adensamento, cura e identificação.



**Figura 2.1** – Corpos de prova cilíndricos moldados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008)

Ainda visando a padronização dos ensaios em todas as obras, é necessário providenciar a homogeneização do processo de cura dos corpos de prova. Este é realizado através do uso de câmaras úmidas ou tanques, conforme estabelecido na norma NBR 9479 (ABNT, 1994). Neste documento são estabelecidas as características dos locais de cura. A principal exigência desta norma é a fixação da temperatura da água de tanques ou do ar de câmaras úmidas que deve ser de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ . A obra do dique seco atendeu a esta exigência com a utilização de resistências elétricas e de controladores automáticos de temperatura, capazes de manter a temperatura entre 21 e 25°C.



**Figura 2.2** – Sistema de cura dos corpos de prova de concreto com controle automático de temperatura

Por fim, a resistência à compressão do corpo de prova é determinada pelo ensaio padronizado pela NBR 5739 (ABNT, 2007). Esta norma tem como escopo a descrição do método de ensaio pelo qual devem ser ensaiados os corpos de prova cilíndricos de concreto moldados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008). Nela estão definidos os aparelhos para a execução do ensaio, descritas as tolerâncias para as idades dos rompimentos, o método de cálculo da resistência e as informações mínimas para a apresentação dos resultados. É também a NBR 5739 (ABNT, 2007) que estabelece os tipos de ruptura apresentadas pelos corpos de prova quando sujeitos a compressão, além de definir uma avaliação estatística do desempenho do ensaio, que será detalhada em capítulo posterior.

Um fator importante a ser considerado em relação à resistência à compressão do concreto é o fato de a mesma não estar diretamente relacionada com o surgimento de fratura. Diferentemente da maioria dos materiais estruturais, o concreto apresenta microfissuras antes mesmo de ser submetido a tensões. Neste caso, a grande fissuração interna torna o CP incapaz de suportar um incremento de carga, sendo considerada esta a resistência à compressão da peça.



**Figura 2.3** – Fratura no corpo de prova do concreto no momento do rompimento

Os projetos recorrentes de engenharia geralmente especificam a resistência a compressão do concreto para a idade de 28 dias. Isto se deve ao fato de grande parte da resistência final do concreto ser alcançada nesta idade, embora o crescimento de

resistência seja observado claramente até os 360 dias (FALCÃO BAUER, 2000). Esta idade é padronizada e amplamente difundida como a principal para a aceitação da estrutura. Porém, a ABNT, através da norma NBR 5739 (ABNT, 2007) apresenta outras idades para o rompimento. São elas: 24 horas, 3, 7, 63 e 91 dias; embora outras idades possam ser consideradas, dependendo das necessidades da obra. Em geral, rompimentos em idades inferiores aos 28 dias servem para acelerar retiradas de formas ou escoras, enquanto idades superiores são utilizadas para estabelecer o crescimento da resistência do concreto em idades avançadas e servem como testemunhos para os casos em que a resistência especificada não tenha sido atingida aos 28 dias. A amostragem deve ser realizada sempre com a utilização de dois corpos de prova para cada idade de rompimento. O maior valor de resistência encontrado dentre estes é tomado como o valor da resistência do exemplar. SOUSA et al. (2008) concluem que a recomendação vem do fato de que, durante este tipo de ensaio, o objetivo é a determinação da resistência potencial do concreto, ou seja, da resistência máxima possível de ser obtida no corpo de prova que foi submetido a procedimentos normalizados de ensaio.”



**Figura 2.4** – Prensa para rompimento de corpos de prova de concreto

## **2.2 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

Os autores AZEVEDO e DINIZ (2008, p.2) relatam que, “dada a variabilidade da resistência à compressão do concreto, a sua descrição estatística é de especial interesse. Dentro do contexto do projeto semi-probabilístico, o conceito de resistência característica,  $f_{ck}$  - aquela que apresenta uma probabilidade pré-estabelecida de não ser atingida - é largamente utilizado. Para que a resistência característica possa ser definida, o tipo de distribuição de probabilidade e parâmetros descritivos da resistência à compressão do concreto devem ser conhecidos”.

### **2.2.1 Resistência característica à compressão segundo a ABNT**

A resistência característica à compressão do concreto é definida pela NBR 12655 (ABNT, 2006) como o valor de resistência à compressão acima do qual se espera que estejam 95% dos resultados de ensaios de amostragem feitos conforme as normas NBR NM 33 (ABNT, 1998) e NBR 5738 (ABNT, 2008). Segundo ANG e TANG (1975), a distribuição de probabilidade do concreto pode ser estabelecida como variável Normal (distribuição de Gauss). Esta consideração recebe algumas críticas pelo fato de a distribuição Normal admitir valores negativos de resistência, o que fisicamente não é possível. Uma alternativa para isto seria, por exemplo, considerar a distribuição de probabilidade LogNormal, na qual os valores são definidos apenas para valores positivos. As normas brasileiras de concreto adotam a distribuição Normal de probabilidade ou distribuição de Gauss para descrever a resistência do concreto.

Neste contexto, surge o conceito de  $f_{ck}$ , resistência característica à compressão do concreto. Este é o valor de resistência abaixo do qual existe a probabilidade de se ter apenas 5 % dos resultados inferiores a ele.

### 2.2.1.1 Distribuição Normal

Pesquisas apontam o século XVII como a época em que a distribuição de probabilidade normal foi estudada pela primeira vez. Nessa época foi observado que os padrões em erros de medida seguiam uma distribuição simétrica em forma de sino. Este modelo matemático foi apresentado pela primeira vez por DeMoivre em 1733; esta distribuição também era conhecida por Laplace já no ano de 1775. Entretanto, a referência histórica sobre a definição formal da distribuição normal tem sido atribuída a Gauss, cuja primeira publicação sobre o tema ocorreu no ano de 1809. Desde então, o termo Distribuição Gaussiana tem sido utilizado para determinar este tipo de distribuição de probabilidade (HINES et al., 2006).

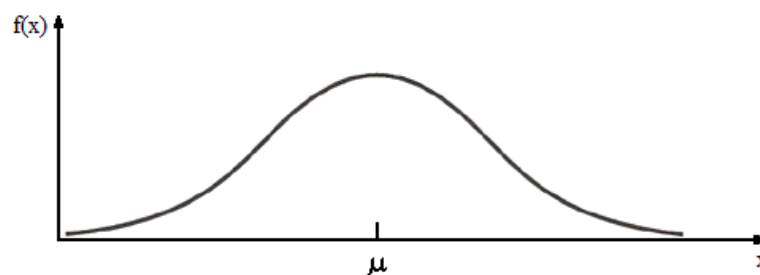
Diz-se que uma variável aleatória possui uma distribuição de probabilidade normal, com média  $\mu$  ( $-\infty < \mu < \infty$ ) e variância  $\sigma^2 > 0$  quando possui a seguinte função densidade:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-(1/2)[(x-\mu)/\sigma]^2} \quad (2.1)$$

Este modelo de distribuição de probabilidades é o mais utilizado para descrever o comportamento da resistência do concreto.

O valor de desvio padrão adotado pela norma brasileira é definido através da expressão a seguir.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2}{n - 1}} \quad (2.2)$$



**Figura 2.5** – Distribuição Normal de probabilidade da resistência do concreto



Com a consideração de que possa ocorrer até 5 % dos valores de  $f_c$  abaixo de  $f_{ck}$  e utilizando a distribuição Normal de probabilidade, chega-se a equação:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65.s \quad (2.3)$$

Onde:

$f_{cm}$  é a resistência média do concreto na idade considerada (MPa);

$f_{ck}$  é a resistência característica à compressão (MPa);

“s” é o desvio padrão da dosagem.

Esta equação é utilizada pela NBR 12655 (ABNT, 2006), que estabelece a resistência de dosagem necessária para o traço ( $f_{cj}$ ) com um dado desvio padrão de dosagem apresentar 95 % dos resultados acima do  $f_{ck}$  estipulado em projeto:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65.s \quad (2.4)$$

Onde:

$f_{cj}$  é a resistência média do concreto à compressão, previsto para j dias (MPa);

$f_{ck}$  é a resistência característica à compressão (MPa);

“s” é o desvio padrão da dosagem.

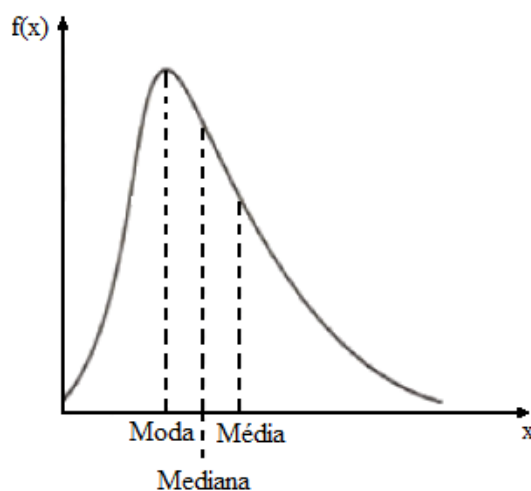
Sendo assim, a resistência de dosagem do concreto  $f_{cj}$ , deve ser a estabelecida pela equação (2.4) para a idade considerada.

O desvio padrão da dosagem é determinado de acordo com as condições de preparo do concreto. A NBR 12655 (ABNT, 2006) classifica as condições de preparo em três diferentes tipos: A, B e C. Esta classificação varia de acordo com o método de medição das quantidades dos componentes do concreto. Por exemplo, para a condição de preparo do tipo A, na qual o cimento e os agregados são medidos massa e a água de amassamento é medida em massa ou volume e corrigida em função da umidade dos agregados, o desvio padrão é 4,0 MPa.

### 2.2.1.2 Distribuição LogNormal

A distribuição LogNormal de probabilidade é a distribuição de uma variável aleatória cujo logaritmo segue uma distribuição Normal. O modelo LogNormal de distribuição de probabilidades não possui simetria em relação à média dos resultados.

Esta distribuição de probabilidade tem sido muito estudada como alternativa ao modelo proposto por Gauss, quando este último não apresenta aderência adequada aos resultados estudados. Atualmente existem diversos trabalhos que estabelecem comparações entre os dois modelos no intuito de determinar qual se adapta melhor às variações da resistência do concreto. Entre estes estudos, podem-se destacar os apresentados por AZEVEDO e DINIZ (2008).



**Figura 2.6** – Distribuição LogNormal de probabilidade

### 2.2.2 Resistência característica à compressão segundo o ACI-318

Da mesma forma do estabelecido na ABNT, o modelo norte americano ACI COMMITTEE 318 (ACI, 2005) admite como sendo Normal a distribuição de probabilidade da resistência do concreto.

A relação entre a resistência de dosagem e a resistência característica é estabelecida segundo as equações a seguir:

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,34.s \quad (2.5)$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 2,33.s - 3,45 \text{ MPa} \quad (2.6)$$

$$f_{cm} = 0,90.f_{ck} + 2,33.s \quad (2.7)$$

As equações (2.5) e (2.6) são equivalentes quando o desvio padrão atinge um valor de aproximadamente 3,45 MPa. Ambas referem-se a concretos com  $f_{ck} \leq 34,5$  MPa. Para concretos com resistência característica a compressão superior a 34,5 MPa o ACI-318 determina o uso da equação (2.7). Estas equações tiveram a sua notação original modificada para uniformizar e facilitar o entendimento deste documento.

### 2.2.3 Resistência característica à compressão segundo o Eurocode 2

A norma européia EuroCode 2 (2002) apresenta muitas semelhanças com a norma brasileira no que se refere à aceitação de estruturas de concreto. À exemplo da NBR 12655 (ABNT, 2006) e do ACI COMMITTEE 318 (ACI, 2005), esta norma prevê a distribuição de probabilidade como Normal. A diferença mais importante é que o

modelo europeu atribui um valor fixo de desvio padrão para todas as classes de concreto. A relação entre a resistência de dosagem e a resistência característica do concreto segundo o EuroCode 2 segue a seguinte equação:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8,0 \text{ MPa} \quad (2.8)$$

Nota-se, em comparação com a equação (2.4), que esta norma admite o desvio padrão como um valor fixo igual a aproximadamente 4,85 MPa.

### **2.3 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM O TEMPO**

A grande maioria das normas de concreto baseia seus cálculos na resistência do concreto na idade de 28 dias. O fato é que o incremento de resistência observado no concreto após esta idade não pode ser desconsiderado, especialmente para cimentos com adições ativas.

Um fator importante para o conhecimento da relação resistência/tempo é a velocidade de construção. Ou seja, a necessidade de se estimar a resistência final do concreto a partir de ensaios executados nas primeiras idades.

FALCÃO BAUER (2000) apresenta uma correlação entre as resistências de 7 e 28 dias, estabelecida por Epaminondas do Amaral Filho em 1945.

$$f_{c28} = 1,23.(f_{c7} + 2,7) \text{ (MPa)} \quad (2.9)$$

Esta equação não especifica o tipo de cimento utilizado na elaboração do concreto, embora se possa considerar como Cimento Portland Comum, visto que, na época, não se produzia cimentos pozolânicos.

A correlação estabelecida pela NBR 6118 (ABNT, 2007), por sua vez, estabelece uma função entre as resistências aos 28 dias e a uma idade inferior para todos os cimentos classificados pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP.

$$f_{cj} = f_{c28} \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (2.10)$$

Onde,  $f_{cj}$  representa a resistência em uma idade diferente de 28 dias, “t” representa a idade do concreto em dias e “s” é um fator que varia entre 0,20 e 0,38, de acordo com o tipo de cimento.

**Tabela 2.1** – Fator “s” em relação ao tipo de cimento (ABNT, 2007)

Fator "s"	Tipo de Cimento
0,38	CP-III e CP-IV
0,25	CP-I e CP-II
0,20	CP-V ARI

O Comité Euro-International du Beton, CEB-90, apresenta através da equação (2.11), um modelo idêntico ao anterior.

$$f_c(t) = f_c \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t/t_1} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (2.11)$$

Onde  $t_1$  é um fator que leva em consideração a maturidade do concreto, sendo que nos casos usuais utiliza-se  $t_1 = 1$ . À exemplo da equação (2.8), o parâmetro “s” depende do tipo de cimento e varia de 0,20 a 0,38.

MEHTA e MONTEIRO (1994) apresentam a relação recomendada pelo ACI – American Concrete Institute para um concreto submetido à cura úmida e produzido com

cimento cujas características correspondem ao cimento Portland comum, CP-I normalizado pela ABNT.

$$f_{cm} = f_{c28} \left( \frac{t}{4+0,85.t} \right) \quad (2.12)$$

Onde:

$f_{cm}$  é a resistência média à compressão do concreto na idade “t” dias;

$f_{c28}$  é a resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade;

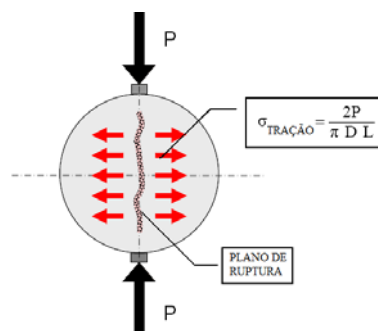
“t” é a idade do concreto expressa em dias.

### 3 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO

#### 3.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO

Existem basicamente três métodos de determinação da resistência à tração do concreto. O ensaio de tração direta consiste em um mecanismo de fixação que traciona uma peça padrão de concreto, semelhante aos ensaios de tração de aço destinado a construção. Os ensaios de tração direta do concreto são raramente utilizados, principalmente porque os dispositivos de fixação do corpo de prova introduzem tensões secundárias difíceis de mensurar e que não podem ser ignoradas (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

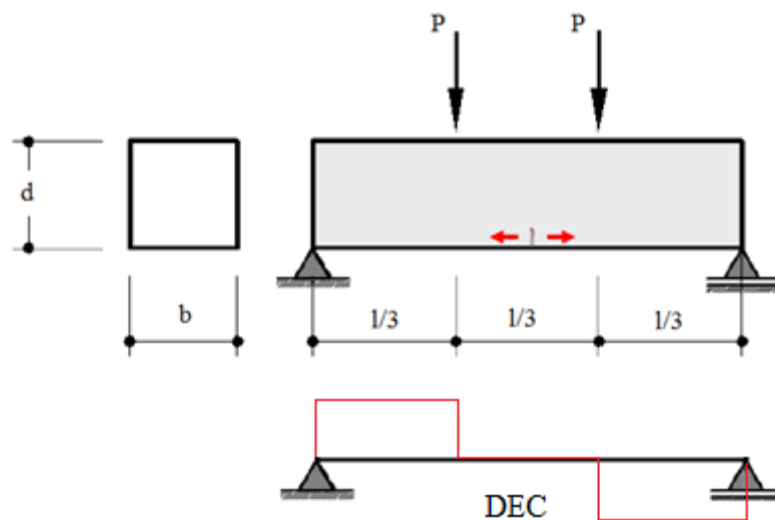
A resistência à tração obtida através de compressão diametral é outra forma de medir esta grandeza. Este método consiste em comprimir um corpo de prova cilíndrico de medidas 15 x 30 cm, ao longo de duas linhas axiais diametralmente opostas. Este ensaio é amplamente utilizado, visto que não necessita de grandes adaptações na prensa, e por utilizar as mesmas formas de corpos de prova de ensaios à compressão.



**Figura 3.1** – Diagrama do ensaio de tração por compressão diametral, segundo a NBR 7222 (ABNT, 1994)

O ensaio de tração por compressão diametral é conhecido mundialmente como o ensaio brasileiro, uma vez que o mesmo foi desenvolvido no Brasil, em 1943, pelo professor Fernando Luiz Lobo Carneiro.

O terceiro método de ensaio da resistência à tração do concreto é a chamada determinação da resistência à tração na flexão. Este método consiste em romper corpos de prova prismáticos moldados de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2008). A norma brasileira NBR 12142 (ABNT, 1991) determina o procedimento de ensaio de tração na flexão. Este consiste basicamente em aplicar duas cargas linearmente distribuídas nos terços médios de um prisma, de modo a provocar tração na face inferior do CP. Esta face terá suas fibras tracionadas até a ruptura do concreto. Devido à forma de aplicação da carga de ruptura do elemento de concreto, o terço central da peça fica sob ação de flexão pura, não havendo efeitos de esforços cortantes como pode ser observado através de diagrama de esforços solicitantes.



**Figura 3.2** – Diagrama do ensaio de tração na flexão segundo a NBR 12142 (ABNT, 1991)

A resistência à tração do concreto é da ordem de 10% da resistência à compressão. A razão desta grande diferença entre a resistência à tração e à compressão é atribuída à estrutura heterogênea e complexa do concreto (KATAOKA, 2007).



No presente trabalho são apresentados resultados de ensaios de tração do concreto reforçado com fibras de aço (CRFA). Este tipo de concreto tem tido seu uso cada vez mais difundido no Brasil, sobretudo na execução de pavimentos rígidos. Segundo FIGUEIREDO (2006), o teor de fibras de aço geralmente utilizado não ultrapassa 0,5 % em volume, o que equivale a cerca de 40 kg por metro cúbico de concreto. A Figura 3.3 apresenta a fibra de aço utilizada na execução do piso industrial da área de pré-edificações do dique seco.



**Figura 3.3** – Fibras metálicas adicionadas ao concreto

Os dados utilizados para o controle estatístico aqui apresentados, referem-se a ensaios de tração na flexão de corpos de prova prismáticos de concreto com medidas 15x15x50 cm, conforme estabelecido na norma brasileira NBR 5738 (ABNT, 2008).



**Figura 3.4** – Moldagem de corpos de prova prismáticos de concreto



**Figura 3.5** – Execução de ensaio de resistência á tração na flexão e detalhe do plano de ruptura do corpo de prova

A resistência à tração na flexão do concreto ( $f_{ctM}$ ) pode ser determinada de duas formas distintas. Dependendo do local onde ocorre a ruptura, a norma NBR 12142 (ABNT, 1991) estabelece duas equações para o cálculo da resistência. As equações (3.1) e (3.2) referem-se, respectivamente, a rupturas ocorridas no terço médio e fora do terço médio da peça.

$$f_{ctM} = \frac{p.l}{b.d^2} \quad (3.1)$$

$$f_{ctM} = \frac{3.p.a}{b.d^2} \quad (3.2)$$

Onde:

“p” é carga aplicada em Newton;

“l” é a distância entre os cutelos de suporte em milímetros;

“b” e “d” são a largura e a altura média do CP em milímetros;

“a” representa a distância entre a linha de ruptura e o apoio mais próximo.

### **3.2 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À TRAÇÃO DO CONCRETO**

O conceito de resistência característica à tração do concreto possui a mesma base do já exposto acerca da resistência à compressão. Sendo assim, a norma brasileira estabelece o  $f_{ctM,k}$  como o valor de resistência à tração acima do qual se espera que estejam 95% de todos os resultados de ensaio. A distribuição de amostragem segue a mesma distribuição de probabilidade Normal definida anteriormente.

### **3.3 METODOLOGIA PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO**

Para a análise estatística da resistência à tração do concreto foram utilizados os valores de resistência obtidos nos ensaios das amostras do concreto aplicado no piso da área de pré-edificação dos módulos das plataformas de petróleo do estaleiro.

A primeira etapa foi a coleta dos dados de resistência à tração na flexão oriundos dos ensaios realizados no laboratório da obra durante a execução do concreto. Após a organização destes dados foram elaborados histogramas e curvas da variação da resistência à tração na flexão média do concreto durante os dias de concretagem.

Também foi realizada uma análise da distribuição de probabilidade, buscando modelos matemáticos com maior adaptação aos valores obtidos nos ensaios. Desta forma, necessitaram ser realizados testes de aderência estatística. A seguir, foram estabelecidas correlações entre a resistência à tração na flexão e à compressão do concreto.

### **3.4 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO COM O TEMPO**

Outro fator de grande importância no momento de projetar uma estrutura de concreto é conhecer uma relação entre a resistência do mesmo e o tempo. Muitos pesquisadores têm trabalhado no intuito de estabelecer uma relação direta entre estas variáveis. Porém, existem muitos fatores que influenciam no aumento da resistência do concreto.

O pequeno número de resultados experimentais encontrados torna ainda mais difícil definir uma correlação entre o tempo e a resistência à tração do concreto. Muitos pesquisadores utilizam dados de correlação entre a resistência à compressão e o tempo, para depois correlacionar a primeira com a resistência à tração. Estes resultados, porém, apresentam um grau muito elevado de incerteza.

No presente trabalho são analisados diversos resultados experimentais, através dos quais se buscou estabelecer uma relação entre  $f_{ctM}$  e o tempo, para o concreto estudado.

### **3.5 CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

As normas de concreto vigentes em vários países mencionam expressões que correlacionam as resistências à tração e à compressão do concreto. Estas expressões permitem ao engenheiro estimar a previsão de uma dada resistência a partir de outra.

A norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2007) estabelece uma correlação direta entre o valor do  $f_{ck}$  do concreto e a resistência média à tração do concreto. Esta relação é expressa pela equação a seguir:

$$f_{ct,m} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (3.3)$$

Onde  $f_{ck}$  e  $f_{ct,m}$  devem ser expressos em MPa.

A mesma NBR 6118 (ABNT, 2007) prevê ainda, modelos de relação entre os três tipos de ensaio à tração do concreto. Estes modelos são expressos através das equações a seguir:

$$f_{ct}=0,90. f_{ct,sp} \quad (3.4)$$

$$f_{ct}=0,70. f_{ct,f} \quad (3.5)$$

Onde:

$f_{ct}$  é a resistência à tração direta do concreto (MPa);

$f_{ct,sp}$  é a resistência à tração indireta ou por compressão diametral do concreto (MPa);

$f_{ct,f}$  é a resistência à tração na flexão do concreto (MPa).

As equações anteriores mostram claramente que a resistência à tração medida através de esforço direto apresenta os menores resultados; os maiores valores são os da resistência à tração medida através da flexão.

SILVA et al. (2001) relatam que, de acordo com SHEHATA et al. (1993), a resistência à tração usada como referência nas normas atuais de cálculo e dimensionamento é a resistência à tração direta. Entretanto, devido à dificuldade da aplicação direta de um esforço de tração pura, é usual determinar-se a resistência à tração do concreto indiretamente, realizando-se ensaios de tração na flexão ou tração por compressão diametral.

A correlação entre as resistências à tração e à compressão estabelecida pelas normas é, porém, muito simplista. Segundo MEHTA E MONTEIRO (1994), as resistências à compressão e à tração estão intimamente relacionadas; contudo, não há uma proporcionalidade direta. Para estes autores, as duas resistências aumentam com o tempo, mas a resistência à tração aumenta sob um regime de velocidade decrescente em relação à compressão. Este fato foi comprovado por SILVA et al. (2001), que obtiveram uma proporcionalidade entre a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão variando de 9 a 16 %.

CUPERTINO et al. (2007) por sua vez, apresentaram em seu trabalho, gráficos correlacionando de forma linear a resistência à compressão e à tração do concreto. No mesmo artigo, é apresentada uma relação tração/compressão como função da classe de resistência do concreto. Cupertino relatou também, que a relação entre tração e compressão, obtida por ele experimentalmente, apresentou valores inferiores aos definidos pela NBR 6118 através da equação (3.3).

O código europeu EuroCode 2 apresenta uma tabela na qual a relação de proporcionalidade entre a resistência à tração por compressão axial e a resistência à compressão varia entre 5 e 8 % para concretos com  $f_{ck}$  entre 15 e 105 MPa.

Todas estas correlações entre as resistências à tração e à compressão, no entanto, foram estabelecidas com base em concretos simples. As correlações obtidas através dos dados apresentados no presente trabalho foram baseadas em concretos com adição de fibras metálicas e de polipropileno. As mudanças que este fato pode trazer para as características do concreto são estudadas ao longo do trabalho.

## **4 ESTUDO PROBABILÍSTICO DAS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS**

### **4.1 CONCRETO COM FIBRAS**

Os materiais compósitos vêm sendo utilizados na construção civil desde a antiguidade. Mais recentemente surgiram novas possibilidades tecnológicas como os concretos reforçados com fibras de aço. A adição de fibras de aço aos concretos minimiza o comportamento frágil característico do concreto (FIGUEIREDO, 2000).

A adição de fibras ao concreto vem sendo utilizada desde, pelo menos, a década de 1960. São inúmeros os materiais utilizados: aço, polipropileno, nylon, acrílico, carbono, entre outros. Porém, as duas primeiras são as fibras mais utilizadas na elaboração dos Concretos Reforçados com Fibras (CRF).

“O homem percebeu o grande potencial da utilização de fibras para construção civil há mais de 3.000 anos. Há relatos da utilização de misturas de solo com raízes de árvores, que faziam a função de fibras naturais, para construção de muros na Mesopotâmia. Parte da famosa Muralha da China também foi reforçada com raízes de árvores. Na Bíblia há descrições do uso de crina de cavalo em argamassa. Os Incas usavam lã de lhama para reforçar o sub-leito de algumas de suas estradas.” (Disponível em: <[www.diprotec.com.br](http://www.diprotec.com.br)> Acesso em: 10/out/2009)

#### **4.1.1 Fibras de Aço e de Polipropileno**

Conforme já exposto, as principais fibras utilizadas atualmente são as de polipropileno e as de aço.

As fibras de polipropileno são compostas por filamentos extremamente finos, produzidos através de extrusão. A introdução deste tipo de fibra é justificada pela minimização da fissuração do concreto que ocorre quando o mesmo está no estado plástico e na primeira etapa do endurecimento. A diminuição desta fissuração nas primeiras idades proporciona um concreto mais impermeável e, conseqüentemente, com maior durabilidade. Porém, FIGUEIREDO (2000), relata a constatação de ARMELIN e HAMASSAKI (1990) evidenciando que quando o módulo de elasticidade da matriz (concreto) é maior do que o módulo de elasticidade das fibras, estas tendem a apresentar uma capacidade de reforço bastante limitada. Existem também, projetistas e executores que acreditam que o alto custo das fibras de polipropileno não seja recompensado pelos benefícios apresentados.

Segundo JOHNSTON *apud* RODRIGUES (2002, p.5), “as fibras em uma matriz cimentada podem, em geral, ter dois efeitos importantes. Primeiro, elas tendem a reforçar o compósito sobre todos os modos de carregamento que induzem tensões de tração, isto é, retração restringida, tração direta ou na flexão e cisalhamento e, secundariamente, elas melhoram a ductilidade e a tenacidade de uma matriz frágil”.

É importante notar que as fibras de polipropileno possuem um baixo módulo de elasticidade. Portanto, pelo acima exposto, sua função se extingue na medida em que o concreto inicia o processo de endurecimento e assim aumenta seu módulo de elasticidade.

“Os materiais baseados em cimento Portland são uma opção natural para a aplicação de materiais fibrosos a base de fibras poliméricas, uma vez que são baratos, mas apresentam problemas relativos à ductilidade, resistência ao impacto e capacidade de absorção de energia de deformação” (TAYLOR *apud* RODRIGUES, 2002, p.5).





**Figura 4.1** – Fibras de aço e polipropileno para concreto (Disponível em: <[www.portaldoconcreto.com.br](http://www.portaldoconcreto.com.br)> Acesso em 10/out/2009)

As fibras de aço são outro material utilizado para conferir reforço às estruturas executadas em concreto. No ano de 2007, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a norma NBR 15530 (ABNT, 2007) que estabelece os parâmetros de classificação para as fibras de aço de baixo teor de carbono, além dos requisitos de dimensões, formas geométricas e resistência à tração e ao dobramento.

Quando adicionadas ao concreto, as fibras de aço dificultam a propagação de fissuras devido ao seu elevado módulo de elasticidade. Sobre a utilização de fibras de aço, FIGUEIREDO (2000, p.12) diz que: “Pela capacidade portante pós-fissuração que o compósito apresenta, as fibras permitem uma redistribuição de esforços no material mesmo quando utilizada em baixos teores”.



**Figura 4.2** – Concreto com adição de fibras

TEZUKA *apud* HOLANDA (2001) relata que a adição de fibras curtas na matriz de concreto resulta num composto de maior resistência à tração, resistente ao impacto, resistente à fadiga, tenaz e dúctil. Além disso, evidencia a inibição de fissuras proporcionadas pelas fibras na matriz.

As maiores aplicações das fibras de aço e polipropileno em concretos são em pavimentos rígidos e pisos industriais. Estes casos são estruturas calculadas como placas apoiadas sobre base elástica, apresentando esforços de tração na parte inferior da peça, devido à flexão exercida pelas cargas na superfície. A introdução de fibras de alto módulo de elasticidade aumenta a capacidade destas placas em resistir a estes esforços, uma vez que as mesmas redistribuem as cargas no maciço de concreto, de modo a evitar fraturas no mesmo. A introdução das fibras de baixo módulo, por sua vez, diminui a probabilidade de surgimento de fissuras nas primeiras horas após o lançamento, fato comum devido ao grande volume de água perdido em pisos e pavimentos.



**Figura 4.3** – Execução do piso industrial da área de pré-edificação do estaleiro com utilização de CRF

Segundo NUNES (2005), o uso de fibras metálicas no concreto teve início há quase quarenta anos, através de ROMUALDI e MANDEL, que utilizaram os conceitos de mecânica da fratura, prevendo que a resistência à tração do concreto, na formação da primeira fissura poderia ser significativamente melhorada com a adição de pedaços curtos de arame metálico.

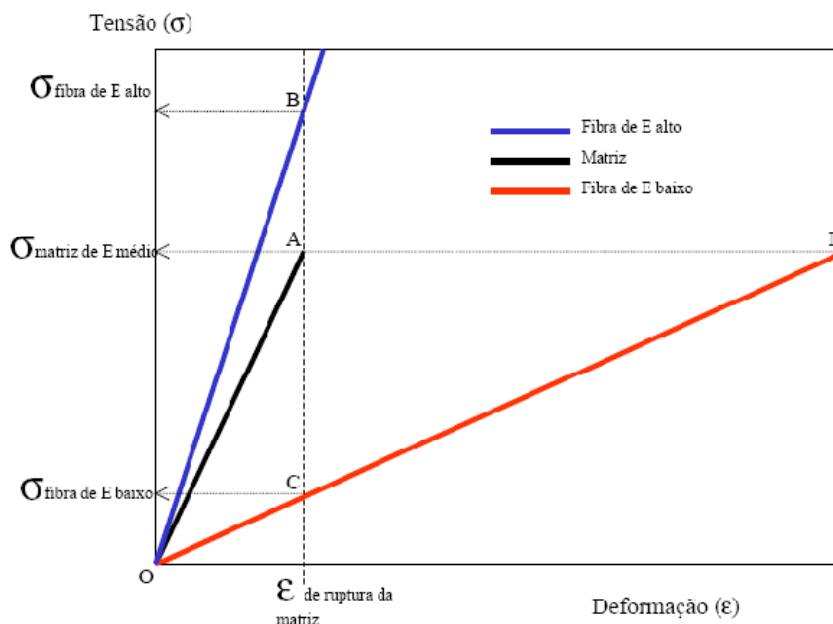
Ao contrário do que ocorre no uso de fibras de polipropileno, as fibras metálicas conferem ao concreto no estado endurecido um melhor desempenho na contenção da propagação de fissuras e na redistribuição das tensões. Por outro lado, no estado fresco, as fibras de aço aumentam a coesão, pois aumentam o atrito interno entre os materiais. Com isto, a trabalhabilidade do concreto é reduzida, podendo ocasionar prejuízos à sua compactação e, conseqüentemente, à sua durabilidade e desempenho mecânico (NUNES, 2005).



**Figura 4.4** – Rompimento por tração direta de corpos de prova de concreto reforçado com fibras metálicas (FORMAGINI et al., 2006, p.6)

FIGUEIREDO (2000) apresenta um estudo sobre a atuação das fibras de baixo e alto módulo de elasticidade como reforço ao concreto. Para tal, é apresentada a Figura 4.5, que mostra o trabalho de uma matriz de concreto reforçada com fibras de baixo e alto módulo. A linha O-A representa a tensão por deformação da matriz e as linhas O-B

e O-C representam o trabalho elástico das fibras de alto e baixo módulo, respectivamente.



**Figura 4.5** – Diagrama de tensão por deformação elástica da matriz e fibras de alto e baixo módulo de elasticidade formando um compósito (FIGUEIREDO, 2000, p.6)

Atualmente, muitas estruturas de concreto estão sendo executadas com a utilização de fibras de aço. Peças pré-moldadas de concreto são exemplos desta aplicação, assim como reservatórios, tanques, concreto projetado e concreto celular.

Os tubos de concreto utilizados em redes de sistemas de saneamento de cidades são uma das mais novas utilizações das fibras de aço como reforço. A norma brasileira NBR 8890 (ABNT, 2007) incorpora em seu texto a possibilidade de utilização de fibras de aço na execução destas peças pré-moldadas de concreto. Segundo esta norma, os tubos reforçados com fibras de aço seguem a mesma classificação dos tubos convencionais de concreto armado.

Na dosagem de fibras metálicas no concreto alguns cuidados devem ser tomados. Uma mistura dos materiais realizada de forma insuficiente pode provocar a formação de ouriços de fibras que, além de prejudicarem o adensamento do concreto, fazem com que se perca uma quantidade considerável de fibras.



O percentual de fibras adicionadas ao concreto depende das especificações e necessidades projetadas para a peça. Sabe-se que o teor de fibras afeta de forma direta algumas das principais propriedades do concreto, tais como: resistência à fadiga, ao cisalhamento e à tração.

HOLANDA (2001) apresenta algumas conclusões de BENTUR e MINDESS (1990). Segundo estes, a resistência à compressão estática do concreto recebe um incremento pequeno ou mesmo nulo na adição de fibras; já a resistência a flexão estática apresenta acréscimos que chegam a 100 %. Esta consideração, no entanto, é válida sob alguns aspectos, dependendo do tipo de concreto que compõe a matriz original do compósito.



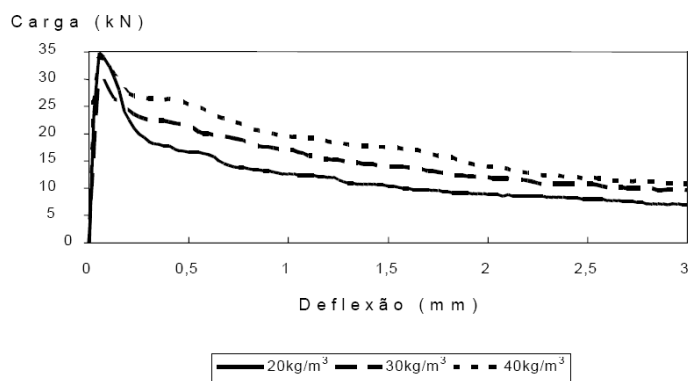
**Figura 4.6** – Cuidados na dosagem das fibras no concreto e exemplo deformação de ouriços

#### **4.2 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS**

A influência das fibras na resistência à compressão do concreto não é algo fácil de determinar. Diversos são os fatores que implicam variações nos valores de resistência do concreto. A quantidade de água e cimento, características físicas e químicas dos agregados e aditivos, o adensamento, a temperatura, são alguns dos fatores que interferem na resistência do concreto.

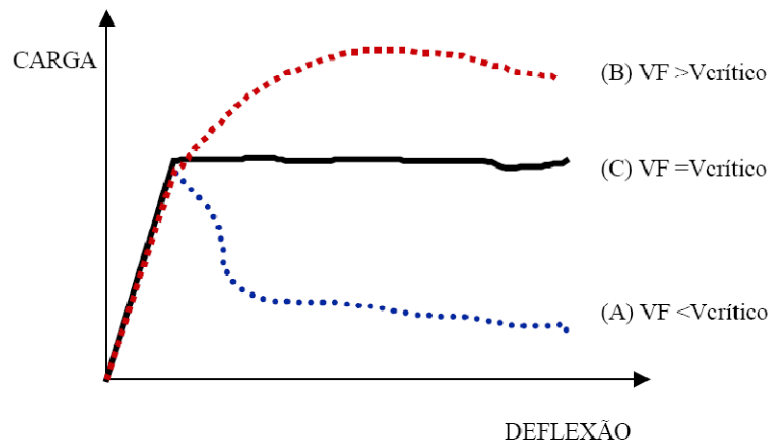
O concreto é um material cuja capacidade de resistir à tração é reduzida. À medida que este é submetido a esforços que produzem tração no compósito, são geradas fissuras que o concreto simples não é capaz de resistir. O fato destas fissuras surgirem perpendicularmente à direção principal de tensão faz com que esta situação seja agravada. A introdução de fibras metálicas no concreto faz com que as mesmas realizem um trabalho de transferência de tensões através das fissuras, diminuindo o processo de fissuração.

A quantidade de fibras adicionadas ao concreto é um dos fatores de maior relevância no aumento do desempenho do mesmo. Quanto mais elevado for o teor de fibras, maior será o número de elementos resistindo aos esforços pós-fissuração do concreto. O gráfico a seguir, apresenta as curvas médias de deformação do concreto, obtidos através de ensaio de tração na flexão, com diferentes teores de fibras de aço.



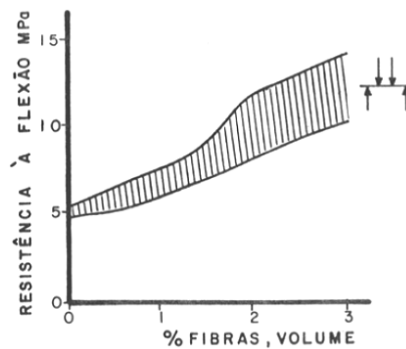
**Figura 4.7** – Curva média de carga por deflexão obtidas no ensaio de tração na flexão de concretos de  $f_{ck} = 20$  MPa com diferentes consumos de fibras (FIGUEIREDO, 2000, p.57)

A Figura 4.8 apresenta a relação carga / deflexão do concreto para diferentes volumes de fibras metálicas. Evidenciando o fato de que o concreto com adição de fibras metálicas apresenta um volume (volume crítico) no qual a capacidade portante do compósito permanece a mesma após a ruptura da matriz. Desta forma, um teor de fibras abaixo do volume crítico acarreta queda na carga que o material tem capacidade de suportar. Acima do volume crítico, o compósito continua aceitando carregamentos crescentes, mesmo após a ruptura da matriz.



**Figura 4.8** – Deflexão do compósito sujeito à tração na flexão com diferentes teores de fibras (FIGUEIREDO, 2000, p.14)

O gráfico a seguir mostra a influência do consumo de fibras metálicas do compósito na capacidade de resistir aos esforços de flexão de concreto reforçado com fibras.



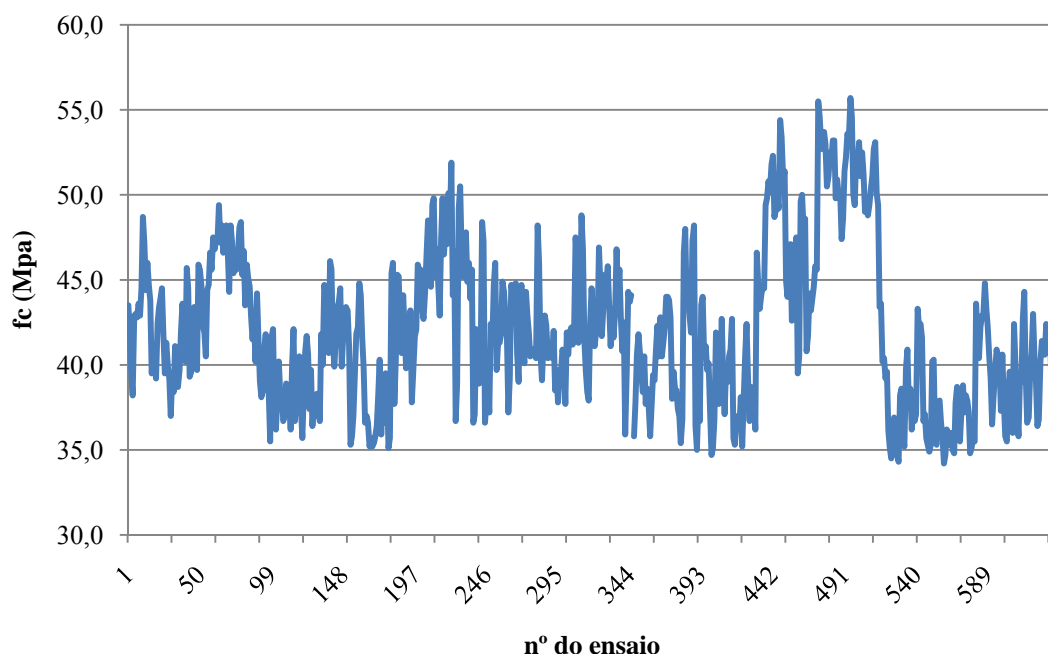
**Figura 4.9** – Resistência à flexão de concreto reforçado com fibras (TEZUZA apud HOLANDA, 2001, p.6)

Outro fator que interfere no desempenho das fibras no concreto é o chamado fator de forma. Este valor é representado pela razão entre o comprimento da fibra e o diâmetro do círculo cuja área deve ser igual à seção transversal da mesma.

Alguns fatores, no entanto, tornam o uso das fibras um tanto complicado. Segundo ISAIA (2005), o uso de fibras no concreto, além de diminuir a fissuração, altera as condições de consistência do concreto influenciando em sua trabalhabilidade.

A partir deste momento do trabalho, são apresentadas as análises de um total de 318 séries de corpos de prova de concreto com adição de fibras metálicas e fibras de polipropileno (ver Anexo A).

A figura a seguir mostra a variação apresentada nos resultados de rompimentos à compressão destes CP's.



**Figura 4.10** – Variação da resistência à compressão do concreto com fibras aos 28 dias de idade

Através da Figura 4.10, observa-se claramente um período cujos valores de resistência apresentaram um aumento repentino, divergindo e saindo da faixa de resistências apresentados pelas demais séries.

A variação do abatimento do concreto no momento do lançamento medido através do ensaio de “slump test” (NBR NM 67, ABNT, 1998) é exposta na Figura 4.11, a



seguir. O valor de abatimento do concreto é um dos fatores de maior importância no momento da concretagem de uma dada estrutura, à medida que influencia de forma direta a trabalhabilidade e adensamento do material.

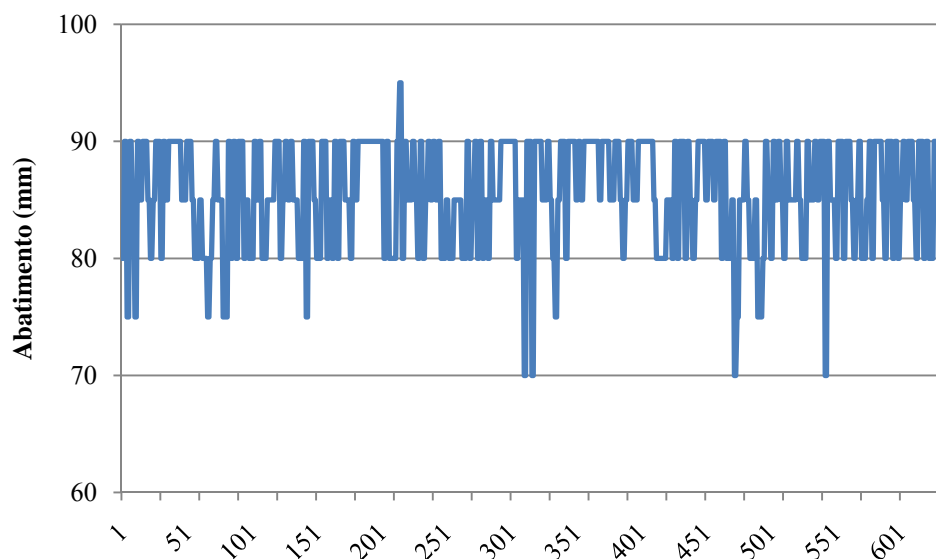
A norma brasileira NBR 7212 (ABNT, 1984) estabelece que os materiais sólidos componentes do concreto sejam misturados em sua totalidade no caminhão betoneira com parte da água prevista no traço. Esta água seria complementada na obra imediatamente antes da mistura final e descarga.

Em muitas obras, no entanto, o controle tecnológico não é aplicado rigidamente. Assim, a quantidade de água adicionada na amassada é altamente influenciada pelos executores, que buscam um concreto com maior trabalhabilidade. Esta trabalhabilidade é, nestes casos, normalmente alcançada através da adição de água além do especificado na carta traço.

Existem, no entanto, estudos que mostram que a água adicionada para compensar a água perdida por evaporação no momento da mistura e transporte, não influencia de forma decisiva na resistência do concreto. Desta forma, a resistência do traço seria garantida através da garantia do valor de abatimento especificado.

A norma NBR 7212 (ABNT, 1984) admite uma adição de água para correção de abatimento devido à evaporação, antes da descarga, desde que:

- antes de se proceder a adição, o valor de abatimento medido seja superior ou pelo menos igual a 10 mm;
- a correção do abatimento não seja superior a 25 mm;
- o abatimento corrigido fique dentro das especificações de projeto;
- o tempo transcorrido entre a dosagem e o início da descarga seja superior a 15 minutos.



**Figura 4.11** – Variação do abatimento do concreto no momento do lançamento

#### 4.2.1 Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo a ABNT

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da norma NBR 8953 (ABNT, 1992), classifica os concretos para fins estruturais em dois grupos, I e II. Esta classificação é realizada em função da resistência do mesmo, sendo apresentada na tabela a seguir.

**Tabela 4.1** – Classificação do concreto por grupos de resistência (ABNT, 1992)

Grupo I de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)	Grupo II de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C10	10	C55	55
C15	15	C60	60
C20	20	C70	70
C25	25	C80	80
C30	30		
C35	35		
C40	40		
C45	45		
C50	50		

A norma NBR 12655 (ABNT, 2006), determina o método de controle da resistência à compressão do concreto. Este é o documento que estipula os controles de aceitação para cada tipo de estrutura a ser executada utilizando este material.

É esta norma também, que estabelece o critério de formação de lotes de amostragens para a validação das estruturas de concreto. Os lotes, segundo a ABNT, devem atender aos limites especificados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2** – Valores para a formação de lotes de concreto (ABNT, 2006)

Limites Superiores	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão Simples
Volume de Concreto	50 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
Número de andares	1	1
Tempo de Concretagem	3 dias de concretagem <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de 7 dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento das juntas		

Esta norma estabelece também, dois métodos de controle de resistência do concreto: o controle estatístico por amostragem parcial e o controle estatístico por amostragem total. Uma diferente forma de cálculo para cada tipo de amostragem é prevista neste documento para determinar o valor estimado da resistência característica do lote.

#### 4.2.1.1 Controle estatístico por amostragem parcial

O controle estatístico por amostragem parcial consiste em retirar exemplares de algumas betonadas. Neste caso, o número mínimo de exemplares é 6 e 12 para concretos de classe I e II, respectivamente.

A análise estatística deve ser realizada com um número mínimo de seis exemplares por amostragem. Neste caso, o controle pode ser feito por dois casos distintos, dependendo do número de elementos.

Em situações em que se tenha um número de elementos  $n$  tal que  $6 \leq n < 20$ , a resistência característica estimada é determinada pela equação a seguir:

$$f_{ck,est} = 2 \cdot \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \tag{4.1}$$

Onde:

$$m = n/2;$$

$f_1, f_2, \dots, f_m$  são os valores de resistência dos exemplares em ordem crescente.

O valor de  $f_{ck,est}$  não deve, no entanto, ser inferior a  $\Psi_6 \cdot f_1$ , adotando para  $\Psi_6$  os valores apresentados na Tabela 4.3, em função da condição de preparo do concreto e do número de exemplares da amostra.

**Tabela 4.3** – Valores de  $\Psi_6$  (ABNT, 2006)

Condição de Preparo	Número de Exemplares										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	$\geq 16$
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

NOTA: Os valores de 2 a 5 são empregados para os casos excepcionais

Quando o número de elementos for superior a vinte,  $n \geq 20$ , a resistência característica estimada é dada por:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \cdot s \tag{4.2}$$

Onde:

$f_{cm}$  é a resistência média do lote expressa em MPa.

“s” é o desvio padrão da amostra expresso em MPa.

#### 4.2.1.2 Controle estatístico por amostragem total

A análise estatística com amostragem de 100 % consiste no ensaio de exemplares de todas as amassadas de concreto. Neste caso, existem dois métodos distintos para a determinação da resistência característica estimada.

Para  $n \leq 20$ , o valor da resistência característica estimada do lote é igual ao valor da menor resistência dentre os exemplares ensaiados; ou seja,  $f_{ck,est} = f_1$ .

Para  $n > 20$ ,  $f_{ck,est} = f_i$ , onde  $i = 0,05.n$ . Ou seja, a resistência estimada é igual ao valor do elemento que representa o quinto percentil dentre os exemplares colocados em ordem crescente.

Em casos especiais, a ABNT prevê uma amostra com um número de exemplares entre 2 e 5. Neste caso, a resistência estimada é dada por  $f_{ck,est} = \Psi_6.f_1$ , com o valor de  $\Psi_6$  extraído da Tabela 4.3.

#### 4.2.1.3 Resistência característica à compressão do concreto reforçado com fibras

A norma brasileira estabelece os métodos acima citados para o controle de aceitação de uma estrutura de concreto. O método por amostragem parcial utiliza uma metodologia estatística difundida há algum tempo na literatura sobre o tema. Esta metodologia é baseada no modelo estatístico que admite como Normal a distribuição de probabilidades das resistências do concreto.

A amostragem total, por sua vez, apresenta um método bastante simplificado para a aceitação das estruturas. Neste caso, um único valor abaixo do especificado pode ser suficiente para rejeitar a peça, principalmente quando estudadas pequenas amostras.

Desta forma, muitos são os pesquisadores que utilizam as duas metodologias como forma de determinar a qualidade de uma dada série de concretagens. BAUER et al. (2007) apresentam um estudo de caso de lotes de um dado concreto através dos estimadores propostos pela NBR 12655 (ABNT, 2006), evidenciando as diferenças apontadas por cada um deles.

A amostragem de lotes utilizados para o concreto com adição de fibras do presente trabalho foi de 100 %. Assim, todas as amassadas de concreto aplicadas tiveram corpos de prova moldados e rompidos para a determinação da resistência à compressão aos 28 dias de idade.

Por tratar-se de uma amostragem total, com um número de elementos maior do que vinte, a resistência característica à compressão estimada,  $f_{ck,est}$ , é igual a  $f_i$  com  $i = 0,05.n$ . Porém, para fins de comparação, foram feitas as análises também através da expressão de desvio padrão considerando uma distribuição normal de probabilidade (equação 4.2).

É importante observar que a norma brasileira especifica um número mínimo de dois corpos de prova por exemplar. A resistência à compressão da amassada,  $f_c$ , é determinada como o maior dos valores obtidos no ensaio do exemplar. Portanto, a partir deste ponto, neste item, foram descartadas as menores resistências de cada par de uma mesma série.

Considerando todas as séries moldadas como um único lote, tem-se um total de 318 séries. Desta forma a resistência característica estimada à compressão do lote é igual a  $f_i$ , onde  $i = 0,05.318 = 15,9$ . Ou seja, o  $f_{ck,est}$  é determinado pelo 16º valor de resistência considerando-se os mesmos ordenados de forma crescente. Este  $f_{ck,est}$ , assim como a resistência média e o desvio padrão, são apresentados na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4** – Média, desvio padrão e  $f_{ck,estimado}$  do lote de 318 séries do concreto reforçado com fibras

$f_{ck}$	$f_{ck,estimado}$	Desvio Padrão	Média
35,0	35,8	4,54	42,67

Pode-se observar que, se fosse utilizada a metodologia apresentada no item 6.2.3.1 da NBR 12655 (ABNT, 2006), teríamos um valor ligeiramente inferior de resistência à compressão estimada, sendo  $f_{ck,est} = 42,67 - 1,65 \times 4,54 = 35,18$  MPa.

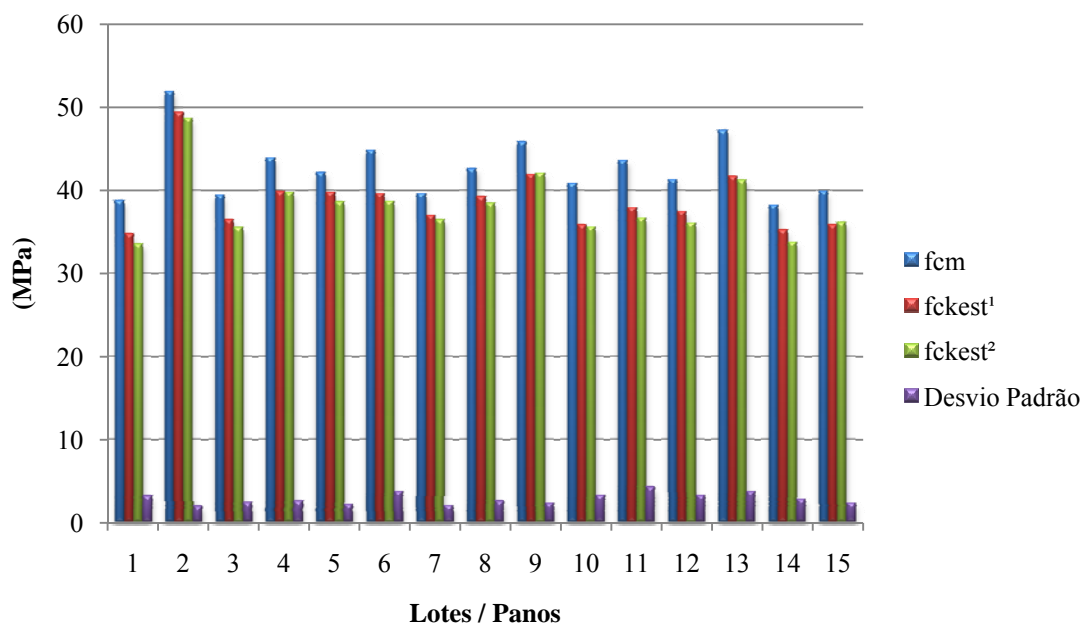
É importante notar que, na determinação dos valores apresentados na Tabela 4.4 foi considerado um lote único, com um tamanho igual ao total de séries moldadas. Este procedimento serve como controle de aceitação da peça concretada como um todo; porém, uma metodologia mais usual é a divisão da peça em lotes menores. Como a peça executada trata-se de um pavimento industrial para a pré-montagem dos módulos de plataformas de petróleo, composto por 15 panos concretados em dias diferentes; o mesmo foi tratado estatisticamente dividido em 15 lotes; cada um correspondente a um pano.

Utilizando a metodologia de divisão do pavimento em lotes correspondentes a cada um dos panos concretados foram determinados os novos valores de caracterização da peça. A Tabela 4.5 mostra estes resultados.

**Tabela 4.5** – Média, desvio padrão e  $f_{ck,estimado}$  discriminado por pano segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006)

Pano	Número de exemplares $n$	$f_{ck,estimado}^1$	$f_{ck,estimado}^2$	Média	Desvio Padrão	$i$
1	20	34,7	33,5	38,7	3,15	1
2	21	49,4	48,7	51,9	1,94	2
3	21	36,4	35,5	39,4	2,36	2
4	21	39,8	39,7	43,9	2,53	2
5	21	39,7	38,6	42,1	2,13	2
6	21	39,6	38,7	44,8	3,70	2
7	22	37,0	36,4	39,6	1,94	2
8	22	39,2	38,4	42,6	2,54	2
9	22	41,9	42,1	45,8	2,26	2
10	23	35,8	35,5	40,8	3,18	2
11	21	37,9	36,6	43,6	4,23	2
12	21	37,4	36,0	41,3	3,21	2
13	21	41,7	41,2	47,2	3,64	2
14	21	35,2	33,7	38,2	2,73	2
15	20	35,8	36,1	39,9	2,28	1

$$f_{ck,estimado}^1 = f_i; f_{ck,estimado}^2 = f_{cm} - 1,65.s$$



**Figura 4.12** – Resistência média, resistências estimadas e desvio padrão dos lotes segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006)

Percebe-se, através da análise dos resultados expostos no gráfico acima, que o valor de  $f_{ck, estimado}$  pode variar para mais ou para menos, dependendo das características do lote que está sendo analisado e da metodologia considerada. No entanto, pode-se observar que os resultados obtidos pelos dois casos foram próximos; a maior diferença entre os métodos foi de 1,5 MPa no pano nº 14. Outro aspecto importante é que em apenas dois dos quinze lotes considerados a resistência obtida pela equação 4.2 ( $f_{ck, est}^2$ ), apresentou valor superior ao do  $f_{ck, est}^1$ , que é o valor adotado pela NBR 12655 (ABNT, 2006) quando a amostragem é total.

#### 4.2.2 Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo o ACI-318

A resistência característica à compressão estimada através do modelo norte-americano, conforme exposto no Capítulo 2, apresenta basicamente três equações. Como o concreto deste estudo possui especificação de resistência característica igual a

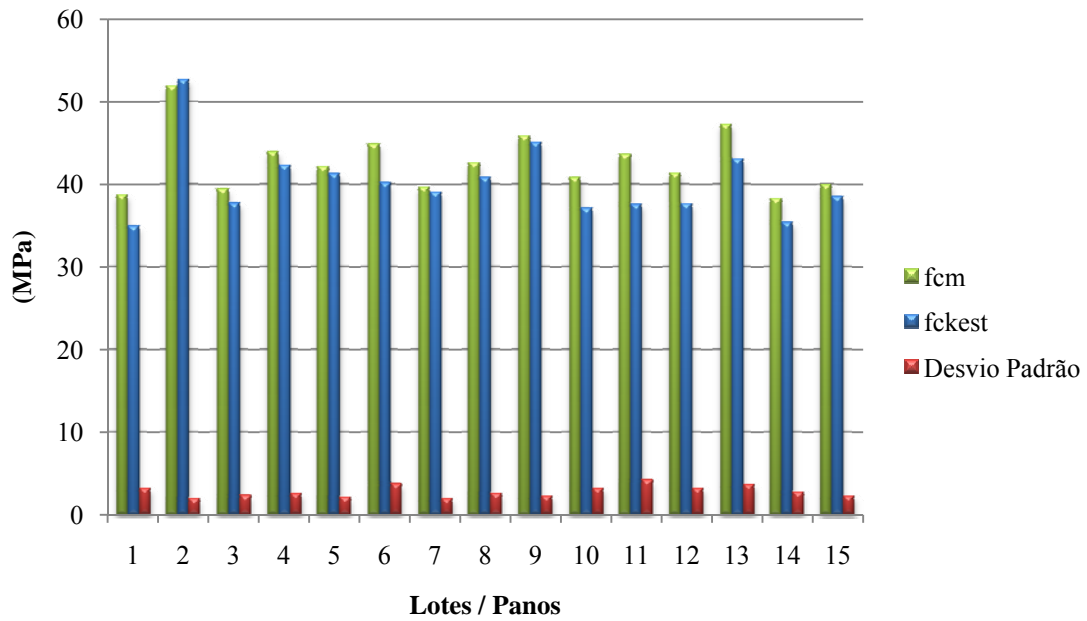


35 MPa, deve-se utilizar a metodologia descrita pela equação (2.7). Desta forma, chegou-se aos valores de resistência à compressão estimados apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 4.6** – Média, desvio padrão e  $f_{ck, estimado}$  discriminado por pano segundo o ACI-

318

Pano	Número de exemplares <i>n</i>	$f_{ck, estimado}$	Média	Desvio Padrão
1	20	34,9	38,7	3,15
2	21	52,7	51,9	1,94
3	21	37,7	39,4	2,36
4	21	42,2	43,9	2,53
5	21	41,3	42,1	2,13
6	21	40,2	44,8	3,70
7	22	39,0	39,6	1,94
8	22	40,8	42,6	2,54
9	22	45,0	45,8	2,26
10	23	37,1	40,8	3,18
11	21	37,5	43,6	4,23
12	21	37,6	41,3	3,21
13	21	43,0	47,2	3,64
14	21	35,4	38,2	2,73
15	20	38,4	39,9	2,28



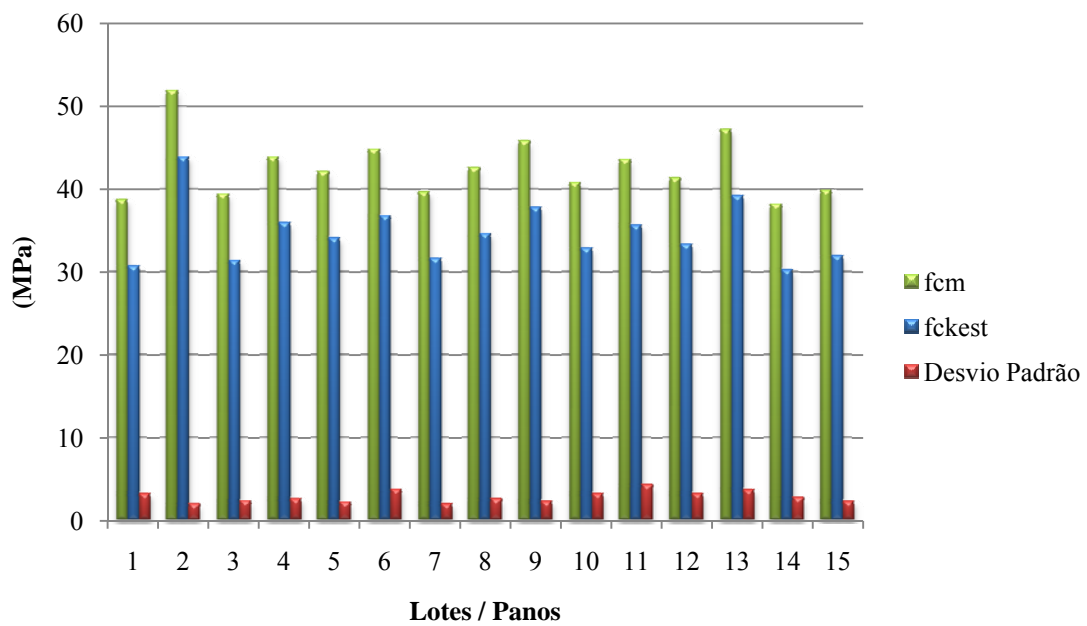
**Figura 4.13** – Resistência média, resistência estimada e desvio padrão dos lotes segundo o ACI-318

### 4.2.3 Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo o EuroCode 2

A norma EuroCode 2 estabelece uma metodologia de aceitação da estrutura similar ao adotado pela norma brasileira. A grande distinção entre estes dois documentos é o fato de a norma europeia prever um valor fixo de desvio padrão, independente da condição de preparo do concreto. A tabela a seguir apresenta os valores determinados pelo método europeu para os lotes considerados.

**Tabela 4.7** – Média, desvio padrão e  $f_{ck,estimado}$  discriminado por pano segundo o EuroCode 2

Pano	Número de exemplares $n$	$f_{ck,estimado}$	Média	Desvio Padrão
1	20	30,7	38,7	3,15
2	21	43,9	51,9	1,94
3	21	31,4	39,4	2,36
4	21	35,9	43,9	2,53
5	21	34,1	42,1	2,13
6	21	36,8	44,8	3,70
7	22	31,6	39,6	1,94
8	22	34,6	42,6	2,54
9	22	37,8	45,8	2,26
10	23	32,8	40,8	3,18
11	21	35,6	43,6	4,23
12	21	33,3	41,3	3,21
13	21	39,2	47,2	3,64
14	21	30,2	38,2	2,73
15	20	31,9	39,9	2,28



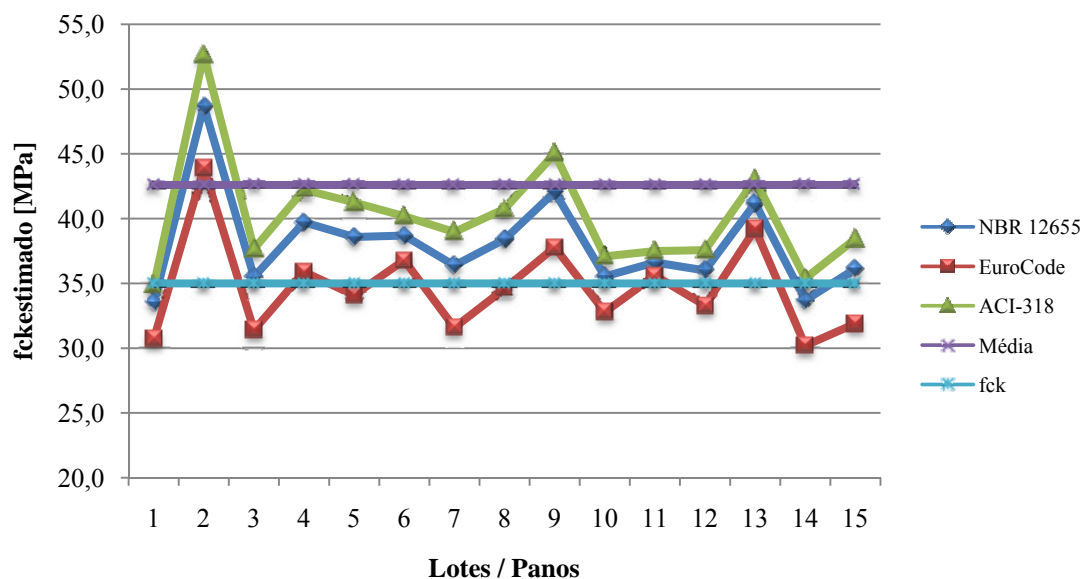
**Figura 4.14** – Resistência média, resistência estimada e desvio padrão dos lotes segundo o EuroCode 2

Percebe-se que a resistência estimada através da metodologia europeia independe do valor do desvio padrão da amostra. Isso ocorre porque esta norma estipula um valor fixo de desvio padrão para determinar o  $f_{ck,est}$ .

#### **4.2.4 Relação entre as resistências estimadas pelas distintas normas para o concreto reforçado com fibras**

A Figura 4.15, a seguir, resume de forma gráfica os valores de resistência estimada pelas diferentes normas para os lotes estudados. Nota-se que a norma EuroCode 2 apresenta valores mais rigorosos; isso ocorre porque este documento apresenta na formulação de sua equação, um valor de desvio padrão superior aos determinados no cálculo dos lotes. Assim como ocorre na regulamentação brasileira, o EuroCode 2 assume como  $f_{ck}$  o valor correspondente ao quinto percentil em uma distribuição normal de probabilidade. Desta forma, quando comparadas às duas normas, pode-se concluir que a norma europeia adota como fixo para todas as classes o valor de desvio padrão igual a 4,85 MPa.

Também é possível notar, que a norma norte-americana apresenta a menor rigidez em relação aos resultados apresentados, porém estes valores são muito próximos aos da regulamentação brasileira. Talvez este menor rigor na aceitação das estruturas na norma norte-americana seja consequência de uma maior rigidez na dosagem e lançamento do concreto.



**Figura 4.15** – Resistência estimada em cada lote segundo as distintas normas

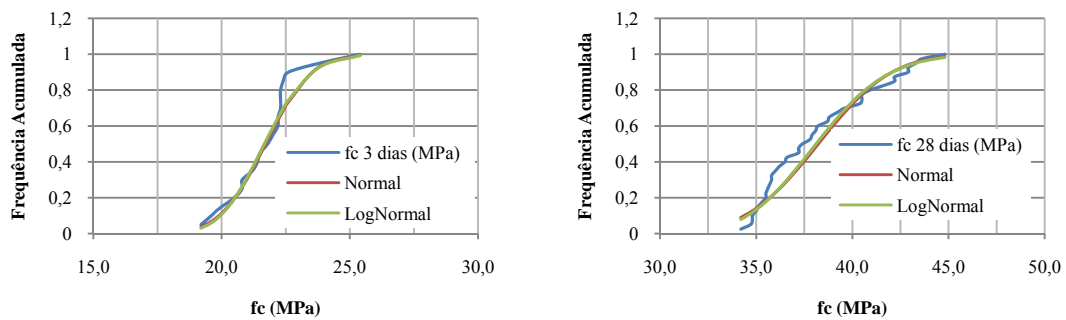
Contudo, AZEVEDO e DINIZ (2008) apontam que, antes de se concluir apressadamente que uma norma é mais conservadora do que outra se deve ter conhecimento dos níveis de confiabilidade implícitos em cada caso, sem tratar de forma isolada as variáveis envolvidas no processo.

Embora as amostras estudadas no presente caso sejam de um concreto com adição de fibras metálicas e de polipropileno, o tratamento estatístico utilizado foi o mesmo adotado para concretos sem adições.

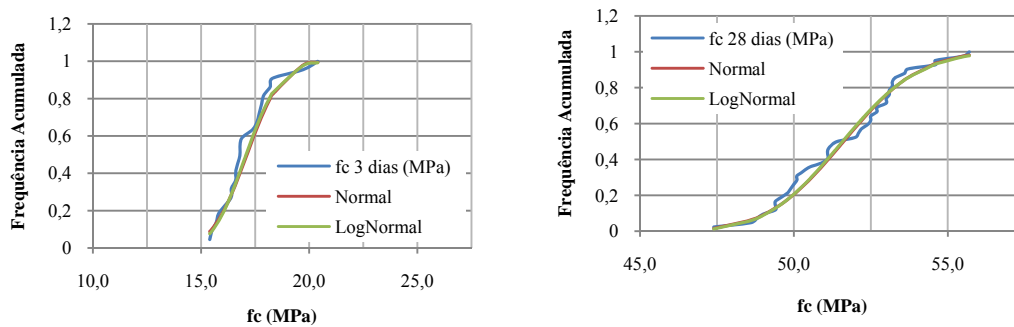
### 4.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS

Serão apresentados os resultados, através dos gráficos expostos nas Figuras 4.16-4.30, de todo o pavimento industrial executado na área conhecida como pré-edificação do dique seco. Foram analisadas as distribuições de probabilidade Normal e LogNormal; sendo a primeira em atendimento à sugestão da NBR 12655 (ABNT, 2006). A título de estudo, foram realizadas análises baseadas nos ensaios de resistência

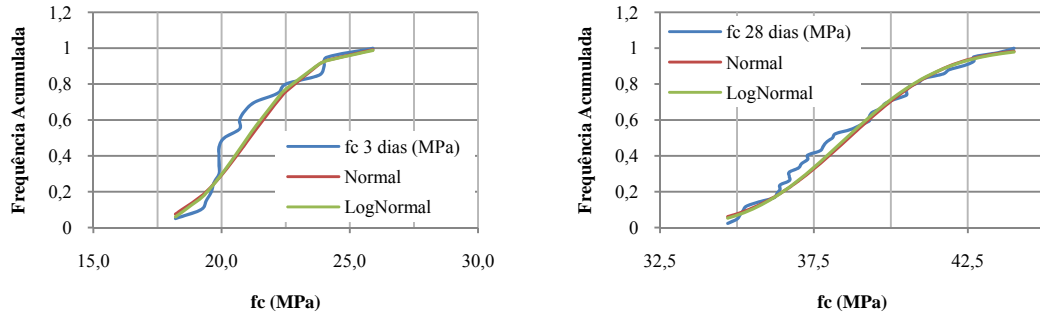
aos 3 e 28 dias de idade, envolvendo, respectivamente, 324 e 636 rompimentos para cada idade. Foram considerados, neste caso, os valores de rompimento dos dois corpos de prova ensaiados em cada idade, sem desconsiderar o valor menor, conforme instruções da ABNT. Os gráficos a seguir mostram as curvas de probabilidade acumulada da amostra e as curvas de distribuição Normal e LogNormal para os rompimentos com 3 e 28 dias, divididos conforme a divisão dos lotes / panos considerados.



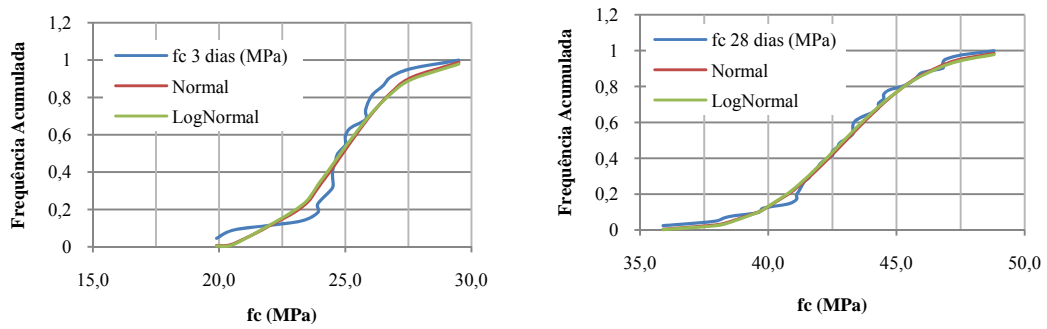
**Figura 4.16** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 1



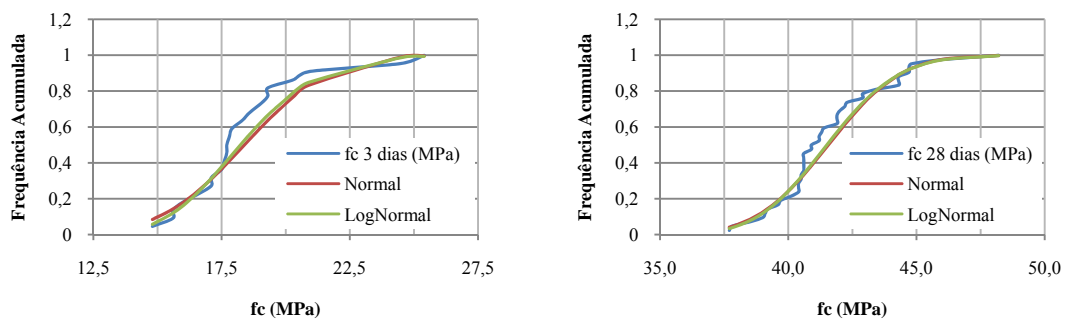
**Figura 4.17** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 2



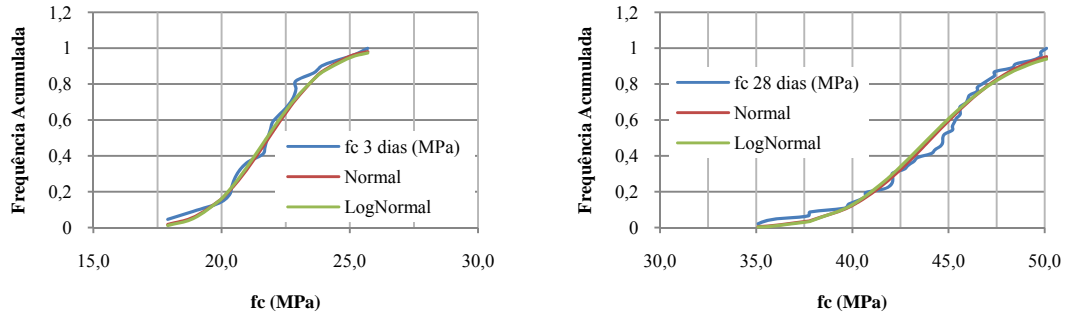
**Figura 4.18** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 3



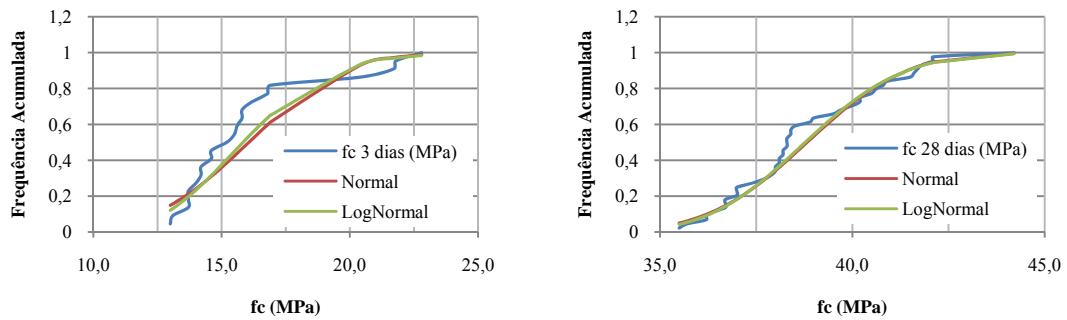
**Figura 4.19** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 4



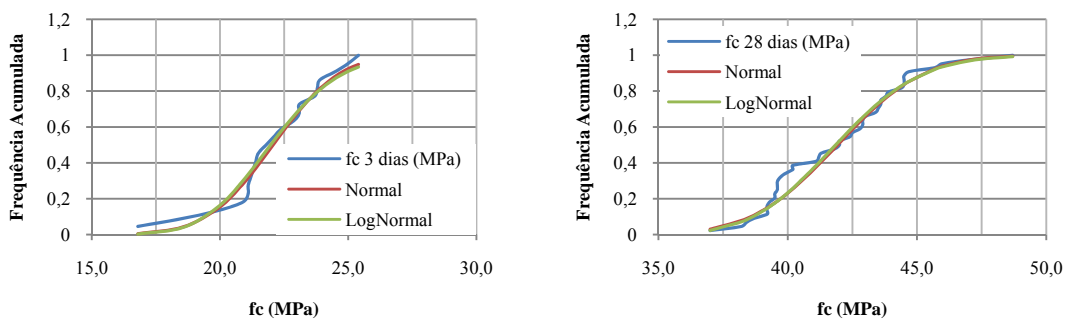
**Figura 4.20** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 5



**Figura 4.21** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 6

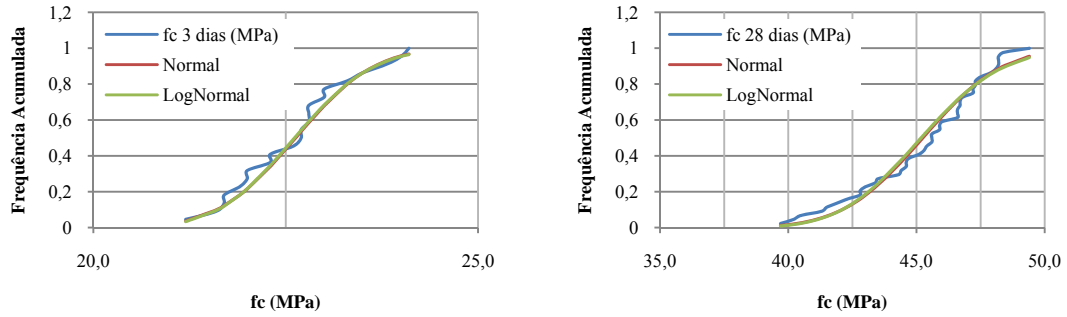


**Figura 4.22** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 7

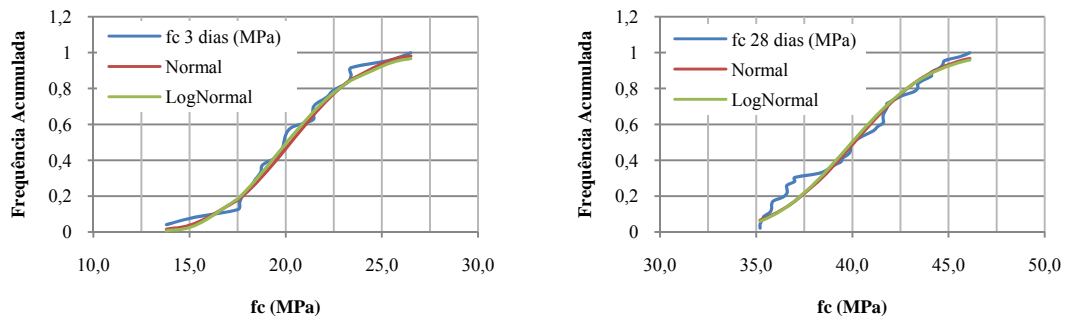


**Figura 4.23** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 8

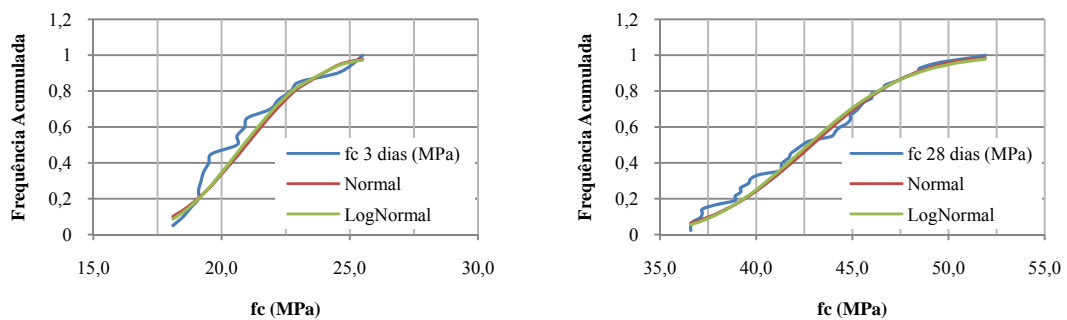




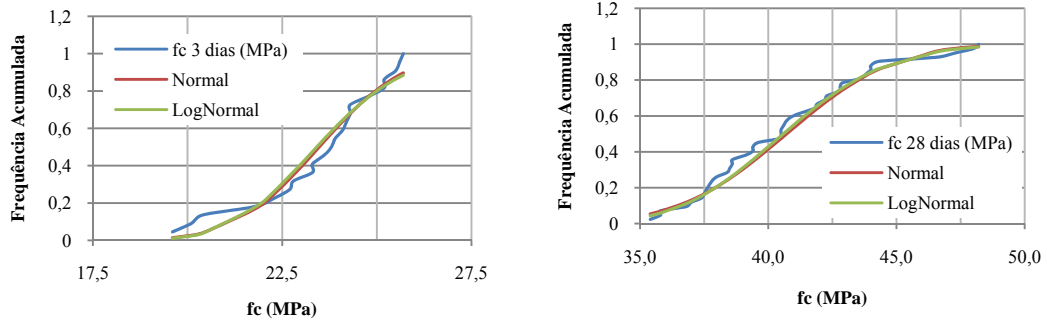
**Figura 4.24** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 9



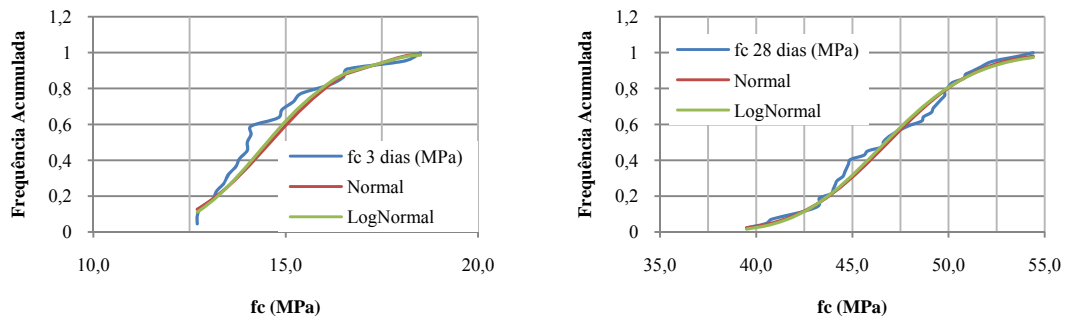
**Figura 4.25** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 10



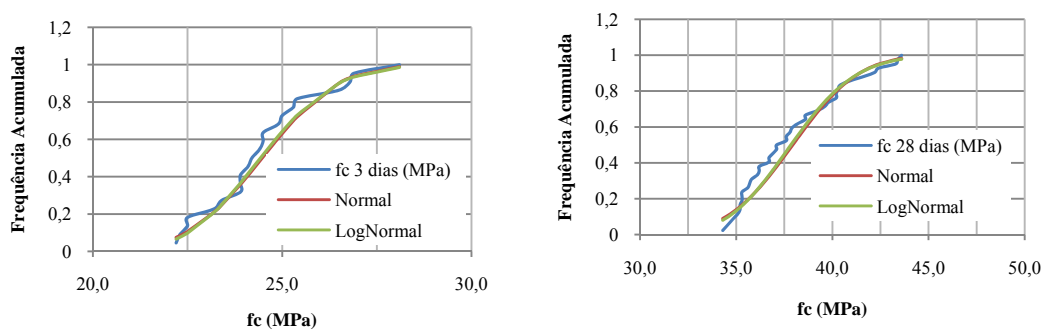
**Figura 4.26** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 11



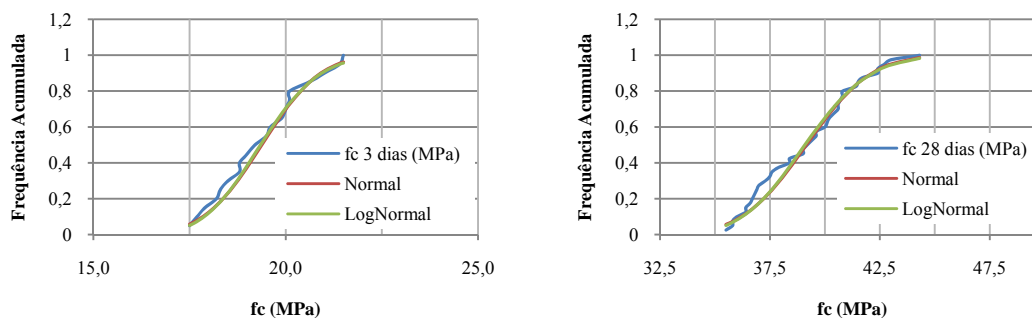
**Figura 4.27** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 12



**Figura 4.28** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 13



**Figura 4.29** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 14



**Figura 4.30** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com fibras Lote / Pano 15

Os testes de Kolmogorov-Smirnov para adequabilidade de ajustamento foram utilizados para avaliação dos modelos propostos para descrever a resistência à compressão do concreto com adição de fibras. Estes testes foram elaborados pelos matemáticos russos Andrey Kolmogorov e Vladimir Ivanovich Smirnov. Os resultados destes testes estão expostos na Tabela 4.8. O nível de significância adotado foi de 95 %.

Neste caso, segundo os testes de Kolmogorov-Smirnov, um modelo analítico de ajuste de uma distribuição é aceitável quando a distância máxima entre a distribuição de probabilidade acumulada da amostra e a distribuição teórica ( $D_{m\acute{a}x}$ ) for inferior ao valor de referência adotado com base no nível de significância,  $D(0,05; n)$ . Ou seja;  $D(0,05; n) \geq D_{m\acute{a}x}$ ; onde “n” representa o tamanho da amostra.

Percebe-se, através dos resultados expostos na Tabela 4.8, que na grande maioria dos casos o ajustamento através da curva de distribuição LogNormal mostrou-se mais adequado. Tanto para os rompimentos aos 3 dias, quanto para os realizados aos 28 dias; dos 30 casos considerados, 24 tiveram na distribuição LogNormal a melhor representação dos resultados.

**Tabela 4.8** – Resultados do teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov

Pano/ Lote	Idade (dias)	Diferença Máxima		Número de Ensaaios (n)	$D(0,05;n)=\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	Decisão
		Normal	LogNormal			
1	3	0,1659	0,1578	20	0,3041	LogNormal
1	28	0,1316	0,1260	40	0,2150	LogNormal
2	3	0,1603	0,1488	22	0,2900	LogNormal
2	28	0,0896	0,0874	42	0,2099	LogNormal
3	3	0,1892	0,1838	20	0,3041	LogNormal
3	28	0,1049	0,0985	42	0,2099	LogNormal
4	3	0,1318	0,1477	22	0,2900	Normal
4	28	0,0644	0,0715	42	0,2124	Normal
5	3	0,1816	0,1516	22	0,2900	LogNormal
5	28	0,1238	0,1142	42	0,2099	LogNormal
6	3	0,1022	0,0944	22	0,2900	LogNormal
6	28	0,0950	0,1089	42	0,2005	Normal
7	3	0,2169	0,1863	22	0,2900	LogNormal
7	28	0,1544	0,1453	44	0,2050	LogNormal
8	3	0,1005	0,1184	22	0,2900	Normal
8	28	0,1318	0,1281	44	0,2050	LogNormal
9	3	0,1023	0,1012	22	0,2900	LogNormal
9	28	0,0962	0,0992	44	0,2050	Normal
10	3	0,0789	0,0706	24	0,2776	LogNormal
10	28	0,1338	0,1323	46	0,2005	LogNormal
11	3	0,1776	0,1737	20	0,3041	LogNormal
11	28	0,0889	0,0838	42	0,2099	LogNormal
12	3	0,1033	0,1148	22	0,2900	Normal
12	28	0,0955	0,0915	42	0,2099	LogNormal
13	3	0,2087	0,1951	22	0,2900	LogNormal
13	28	0,1083	0,0981	42	0,2099	LogNormal
14	3	0,1295	0,1172	22	0,2900	LogNormal
14	28	0,1212	0,1176	42	0,2099	LogNormal
15	3	0,0862	0,0789	20	0,3041	LogNormal
15	28	0,0999	0,0998	40	0,2150	LogNormal

Estes resultados são compatíveis com os apresentados por AZEVEDO e DINIZ (2008), que mostram uma maior adaptação da distribuição LogNormal para uma série de resultados do concreto utilizado nas torres do sistema de transmissão de energia

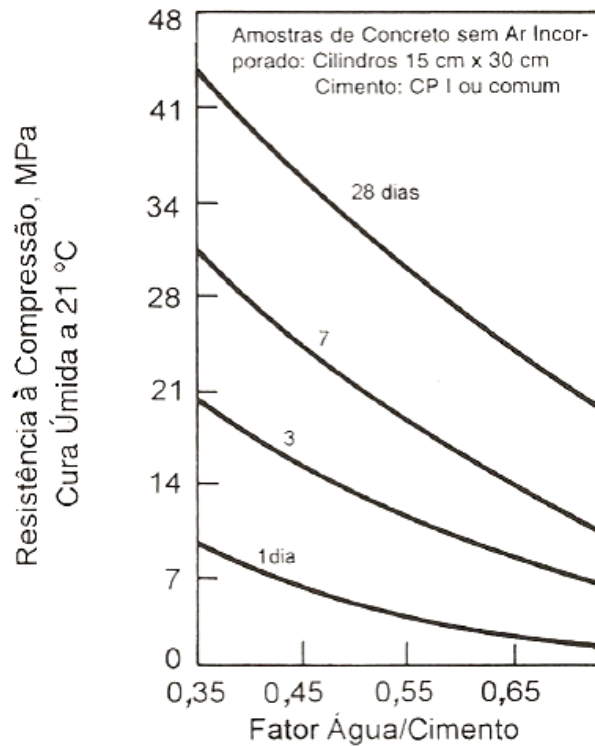
Norte-Nordeste. Neste caso, o teste de aderência estatística adotado foi o qui-quadrado, com grau de significância igual a 99 %.

Contudo, deve ser considerado que o fato de a distribuição LogNormal adaptar-se melhor aos resultados de resistência do concreto não quer dizer que a distribuição Normal não possa ser adotada como modelo. Esta afirmação é confirmada pelo fato de que, em todos os lotes estudados, o valor  $D(0,05; n)$  ser inferior a  $D_{\text{máx}}$  para a distribuição Normal. Da mesma forma, o estudo apresentado por AZEVEDO e DINIZ (2008) mostra que, embora a distribuição LogNormal tenha sido mais aceitável como modelo; a distribuição Normal também pode ser utilizada, pois em todos os casos este modelo foi considerado satisfatório segundo os testes de aderência estatística adotados.

#### **4.4 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS COM O TEMPO**

Diversos são os estudos que buscam determinar uma correlação entre as resistências à compressão do concreto e a idade do mesmo. Sabe-se que são vários os fatores que influenciam a resistência do concreto durante os primeiros meses de vida. As condições de cura, temperatura e umidade do meio são alguns exemplos destes fatores.

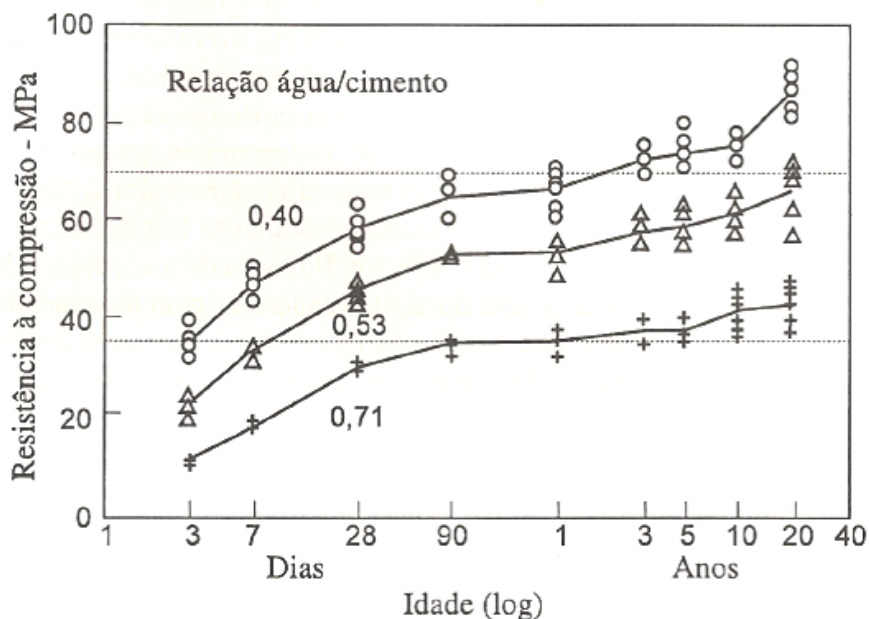
Em 1918, Duff Abrams descobriu que existe uma relação entre relação água/cimento e a resistência do concreto. Esta relação é conhecida como a Lei de Abrams da relação água/cimento e suas curvas ilustrando a relação entre o valor de a/c e a resistência a uma dada idade de cura úmida são apresentadas na Figura 4.31.



**Figura 4.31** – Relação entre a resistência à compressão do concreto e a relação água/cimento (MEHTA e MONTEIRO, 1994, p.48)

NEVILLE (1997) relata que os cimentos Portland cuja composição apresentava altos teores de silicato dicálcico ( $C_2S$ ), típicos do início do século XX, mostravam um aumento de resistência nos concretos exposto no ambiente, em escala logarítmica até os 50 anos de idade. Com a menor proporção de  $C_2S$  utilizada nos cimentos atuais, e com o aumento da área específica proporcionada pelas melhores técnicas de fabricação, as resistências máximas passaram a se dar com idades entre 10 e 25 anos.

A Figura 4.32 mostra a evolução da resistência do concreto determinada em corpos de prova cúbicos com cura realizada em ambiente úmido.



**Figura 4.32** – Evolução da resistência à compressão do concreto (NEVILLE, 1997, p.310)

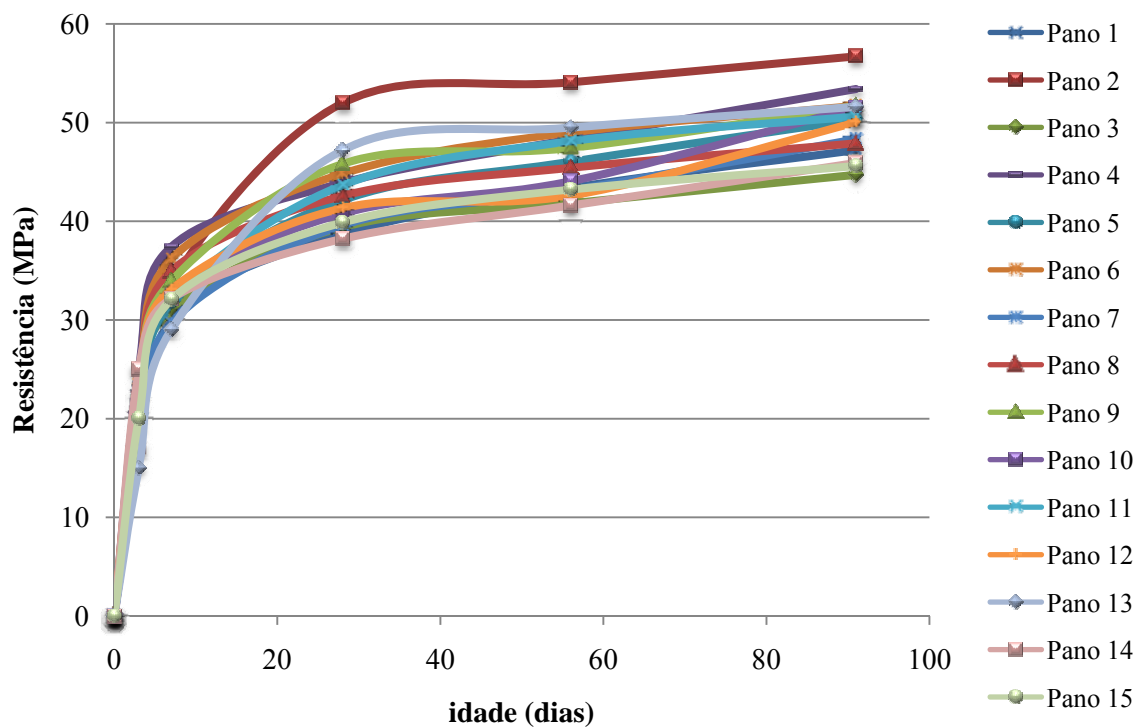
Os 15 lotes que compõe a amostragem do concreto reforçado com fibras estudado neste capítulo do trabalho tiveram corpos de prova moldados e rompidos com idades de 3, 7, 28, 56 e 91 dias. Desta forma, tem-se um número considerável de resultados capazes de gerar metodologias de análise da variação da resistência à compressão do concreto com adição de fibras ao longo do tempo.

A Tabela 4.9 mostra os valores de resistência média para cada uma das idades, assim como o número de séries que compõe a amostra e o desvio padrão dos dados amostrados.

**Tabela 4.9** – Número de elementos da amostra, resistência média e desvio padrão dos lotes aos 3, 7, 28, 56 e 91 dias de idade (MPa)

PANO	3 dias			7 dias			28 dias			56 dias			91 dias		
	n	média	desvpad	n	média	desvpad	n	média	desvpad	n	média	desvpad	n	média	desvpad
1	10	22,0	1,30	10	31,2	2,54	20	38,7	3,15	7	43,4	3,93	7	47,2	2,74
2	11	17,0	1,30	10	33,7	1,06	21	52,0	1,93	7	54,1	1,71	7	56,7	1,65
3	10	21,0	2,10	11	31,0	1,39	21	39,4	2,36	7	41,8	2,59	7	44,7	2,36
4	11	25,0	2,20	10	37,4	3,35	21	43,9	2,53	7	48,3	3,25	7	53,4	5,50
5	11	19,0	2,60	10	31,7	2,12	21	42,2	2,13	7	46,0	2,79	7	50,3	2,70
6	11	23,0	1,60	10	36,2	1,56	21	44,8	3,70	6	49,0	2,81	7	51,7	1,87
7	11	17,0	3,00	11	29,7	1,96	22	39,6	1,94	8	43,1	2,23	8	48,3	2,14
8	11	22,8	2,02	11	34,9	2,02	22	42,6	2,02	7	45,4	2,02	7	47,9	2,02
9	11	22,9	0,86	11	33,9	2,38	22	45,8	2,26	8	47,4	1,44	8	51,7	1,87
10	12	21,0	3,00	11	32,5	3,81	23	40,8	3,18	8	44,1	3,02	8	51,5	5,03
11	10	22,0	2,30	11	32,1	2,89	21	43,7	4,22	7	48,1	4,19	7	50,6	4,26
12	11	24,0	1,70	10	33,1	1,61	21	41,3	3,21	7	42,6	1,99	7	50,0	5,27
13	11	15,0	1,90	10	29,0	3,43	21	47,2	3,64	7	49,5	2,95	7	51,6	2,38
14	11	25,0	1,60	10	32,2	2,19	21	38,2	2,73	8	41,6	3,14	8	45,9	4,20
15	10	20,0	1,10	10	32,1	2,07	20	39,9	2,28	7	43,2	2,02	7	45,6	2,23

Com base nos dados observados na tabela anterior, chega-se as curvas apresentadas na Figura 4.33, que representam a variação da resistência à compressão do concreto com o tempo.



**Figura 4.33** – Variação da resistência à compressão com o tempo para o concreto com adição de fibras



Através dos gráficos apresentados na Figura 4.33 pode-se perceber uma tendência comum entre os lotes considerados. Desta forma chega-se a uma correlação que permite determinar a resistência à compressão do concreto em uma dada idade.

$$f_c = 7,974 \cdot \ln(t) + 14,630 \text{ MPa} \tag{4.3}$$

Onde:

“t” representa a idade do concreto, expressa em dias.

A tabela a seguir resume as relações entre a resistência à compressão do concreto obtida nas idades de ensaio mais utilizadas e a resistência aos 28 dias estabelecidas pelo modelo da equação (4.3).

**Tabela 4.10** – Relação  $f_{cj}/f_{c28}$  determinada pelo modelo proposto para o concreto com adição de fibras

Especificações do Traço	Idade						
	1 dia	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias	56 dias	91 dias
Cimento Portland CP-I, adição de fibras metálica e de polipropileno, $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$	0,31	0,54	0,72	0,94	1,00	1,15	1,26

A equação (4.3) é o modelo matemático que mais se adapta aos resultados experimentais determinados através dos ensaios dos lotes de concreto utilizados.

A tabela a seguir mostra as relações  $f_{cj}/f_{c28}$  médias obtidas através dos ensaios de canteiro.

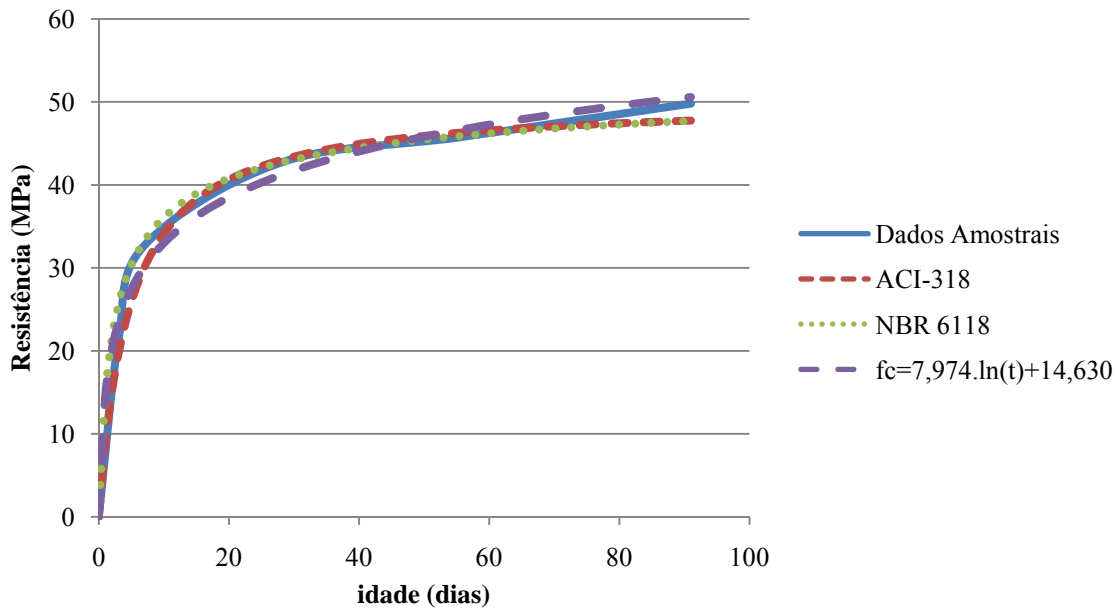
**Tabela 4.11** – Relação  $f_{cj}/f_{c28}$  média dos ensaios de canteiro determinada para o concreto com adição de fibras

Especificações do Traço	Idade				
	3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias
Cimento Portland CP-I, adição de fibras metálica e de polipropileno, $f_{ck} = 35$ MPa	0,49	0,77	1,00	1,07	1,16

Nota-se que o modelo matemático proposto adapta-se com bastante semelhança para idades inferiores aos 28 dias; sendo pouco preciso nos demais casos. É importante observar que esta expressão foi estabelecida para concretos executados com cimento Portland comum e com adição de fibras ao compósito; podendo sofrer variações em concretos cuja classe de resistência difira do valor considerado neste estudo ( $f_{ck} = 35$  MPa).

Conforme exposto no Capítulo 2, diversos são os modelos apresentados pelas normas vigentes e por autores da área para prever o comportamento da resistência à compressão do concreto com o aumento da sua idade. Todas as equações presentes naquele capítulo, porém, baseiam-se em concretos sem nenhum tipo de adição.

A Figura 4.34, a seguir, apresenta o gráfico dos valores de resistência obtidos através dos ensaios à compressão segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007). Também nesta figura são apresentados os modelos de previsão de resistência à compressão do concreto recomendado pela ABNT (equação 2.10) e pelo ACI-318 (equação 2.12).



**Figura 4.34** – Modelos de previsão de resistência à compressão e resultados médios obtidos pela amostra para concretos com adição de fibras

Percebe-se, através da análise das curvas apresentadas na Figura 4.34, que os modelos previstos nas normas vigentes podem ser adaptados para concretos com adição de fibras, metálicas e de polipropileno. Esta adaptação é válida para concretos executados com cimento classificado pela ABCP como CP-I e com adições de fibras metálicas na ordem de 30 kg/m<sup>3</sup>.

A variação da resistência do concreto é uma propriedade intimamente ligada ao tipo de cimento utilizado na elaboração do compósito. Neste caso, pode-se perceber um grande acréscimo de resistência nas primeiras quatro semanas de idade do concreto, sendo esta bem inferior nas demais semanas, até completar os primeiros três meses. Em média, o acréscimo de resistência à compressão entre o terceiro e o vigésimo oitavo dia deste concreto foi próximo a 95 %. Para o período compreendido entre o rompimento aos 28 e aos 91 dias, o acréscimo médio de resistência à compressão foi de aproximadamente 15 %.

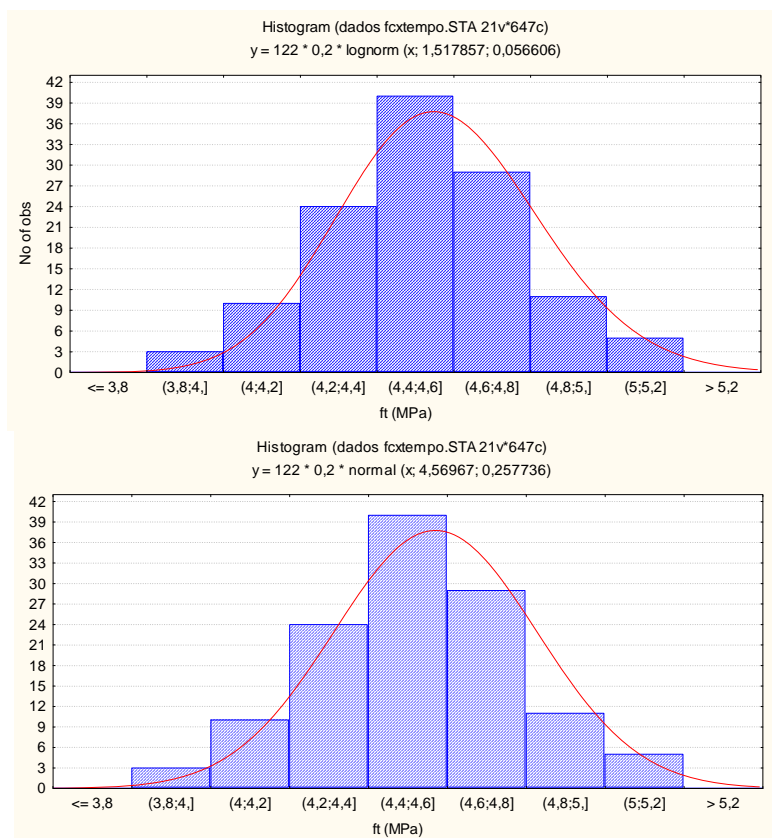
#### 4.5 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS

A amostragem de resultados de resistência à tração na flexão do concreto com fibras objeto deste estudo foi de 122 corpos de prova, divididos em 61 séries rompidas aos 28 dias. Com base neste lote, foi realizada uma análise comparativa entre os modelos de distribuição Normal e LogNormal, a exemplo do que foi realizado com a resistência à compressão. Têm-se poucos trabalhos sobre a distribuição de probabilidades da resistência à tração do concreto. Desta forma, este lote apresenta-se como importante ferramenta no intuito de decidir por um modelo de distribuição que represente a realidade dos dados amostrais da resistência à tração do concreto.

Foram adotados os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov para determinar qual dos modelos representa melhor os valores determinados pelos ensaios de tração na flexão do concreto com adição de fibras. Como pode ser observado através da Tabela 4.12 e da Figura 4.35, a distribuição LogNormal apresentou maior fidelidade na representação da distribuição da resistência à tração na flexão do concreto com fibras estudado neste trabalho. No entanto, é importante que se perceba que as distribuições Normal e LogNormal são praticamente equivalentes, pois a diferença nos valores de  $D_{máx}$  é muito pequena.

**Tabela 4.12** – Resultados dos testes de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov para os resultados de resistência à tração na flexão

Diferença Máxima		$D(0,05;n)=\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	Número de Ensaios (n)	Decisão
Normal	LogNormal			
0,0934	0,0924	0,1231	122	LogNormal



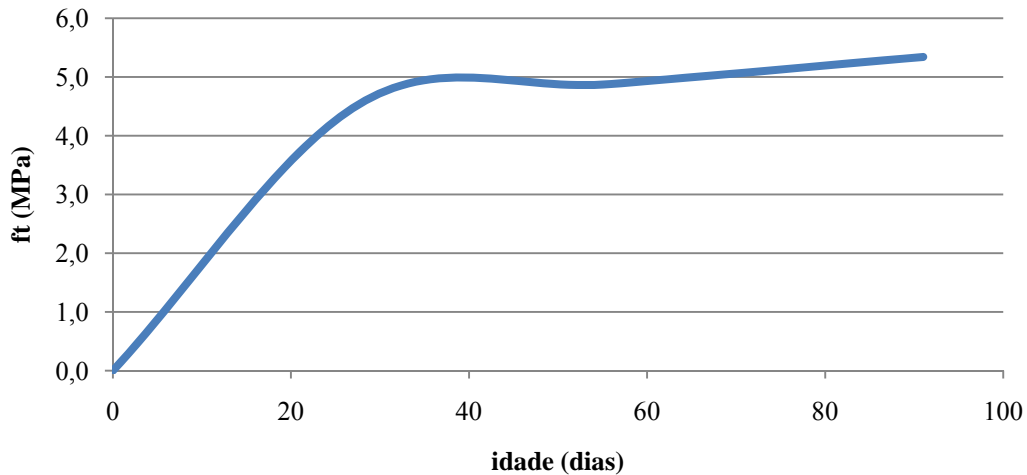
**Figura 4.35** – Histogramas dos valores de resistência à tração na flexão e curvas de distribuição de probabilidade Normal e LogNormal

#### 4.6 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS COM O TEMPO

Sendo a resistência à tração do concreto uma propriedade cada vez mais solicitada pelos projetistas, principalmente de pavimentos e pisos de concreto, o conhecimento da variação de suas características com o tempo torna-se cada vez mais fundamental. O aumento da resistência à tração de um concreto não cresce com muita intensidade após o mesmo atingir 28 dias de idade. Além disso, a resistência à tração do concreto é mais sensível às variações dos efeitos externos, tais como cura inadequada e adensamento insuficiente.

Este incremento de resistência à tração após os 28 dias de idade é ainda menos conhecido quando tratados os concretos com adição de fibras. A Figura 4.36 apresenta o

aumento da resistência à tração média dentre os corpos de prova de concreto com fibras amostrados e rompidos sob tração na flexão.



**Figura 4.36** – Incremento da resistência à tração na flexão do concreto reforçado com fibras em função da idade do concreto

Através das relações estabelecidas entre as resistências à tração na flexão em idades superiores a 28 dias, chega-se a uma correlação entre as resistências à tração a partir da idade do concreto ensaiado para o concreto com adição de fibras objeto deste estudo.

(4.4)

Onde:

$f_t$  é a resistência à tração na flexão, em MPa;

“t” é a idade do concreto, expressa em dias; com  $t \geq 28$  dias.

Percebe-se através da relação estabelecida pela equação (4.4) e pela Figura 4.34 que a resistência à tração na flexão do concreto possui um incremento de resistência na

ordem de 15 % desde os 28 dias de idade até os três primeiros meses do concreto. Este incremento da resistência à tração foi, em média, pouco inferior a 1,0 MPa. O aumento da resistência à compressão, também é algo em torno de 15 a 20 %, chegando a valores de 7,0 MPa; em média neste mesmo período.

No entanto, deve-se levar em consideração que o tipo de cimento utilizado neste concreto adapta-se a classificação CP-I da ABCP. Sendo assim, o incremento da resistência em idades superiores a 28 dias não são muito relevantes; fato que, em geral, não acontece com concretos executados com cimento com adições de materiais pozolânicos como o CP-IV, por exemplo.

**Tabela 4.13** – Relação  $f_{ij}/f_{t28}$  determinada para o concreto com adição de fibras

Especificações do Traço	Idade		
	28 dias	56 dias	91 dias
Cimento Portland CP-I, adição de fibras metálica e de polipropileno, $f_{ck} = 35$ MPa	1,00	1,05	1,13

SILVA et al. (2001) apresentam a variação da resistência à tração na flexão de concretos simples, executados com diferentes tipos de agregado. A tabela a seguir apresenta estes resultados em que se pode notar uma pequena elevação na resistência à tração do concreto a partir dos 28 dias de idade. Este incremento de resistência foi inferior ao percentual determinado pelos dados experimentais com concreto com adição de fibras analisado (Tabela 4.13).

**Tabela 4.14** - Relação  $f_{ij}/f_{i28}$  determinada para o concreto executado com diversos agregados (adaptado de SILVA et al., 2001, p.5)

Idade	Granulito	Calcário	Seixo Rolado
1	0,56	0,52	0,51
3	0,67	0,67	0,67
7	0,85	0,84	0,88
28	1,00	1,00	1,00
56	1,01	1,04	1,03
91	1,06	1,05	1,03

#### 4.7 CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DO CRF

Poucos são os dados consistentes que se tem acerca da correlação entre a resistência à compressão e a resistência à tração de uma mesma amassada de concreto. A resistência à compressão, como exposto anteriormente, é a propriedade do concreto mais valorizada e mais ensaiada pelos construtores. Porém, em muitos casos o conhecimento da capacidade de o concreto resistir à tração torna-se fundamental para a correta utilização da estrutura. Na impossibilidade de se medir esta grandeza por meio de ensaios em laboratórios, as correlações se apresentam como um grande auxílio para estimar dados não medidos.

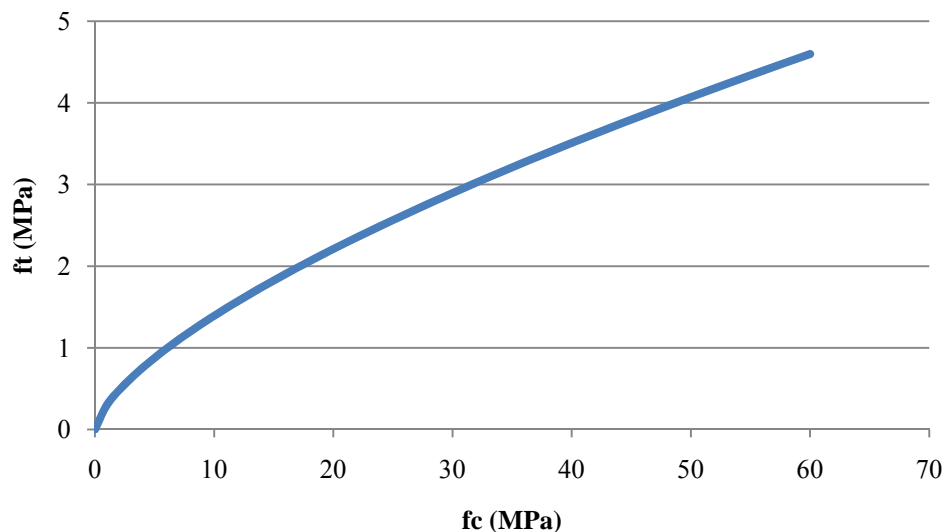
“Na relação da resistência à compressão com a resistência à tração, tem-se os trabalhos realizados pelo ACI (1991) e pelo CEB (1990), que apontam para a diminuição desta razão com o aumento da resistência à compressão”. (SOUZA, 2006, p.2)

Para SOUZA (2006), o fato acima citado faz com que muitas correlações entre a resistência à tração e à compressão não forneçam resultados satisfatórios, sobretudo quando relacionados a concretos de alta resistência.



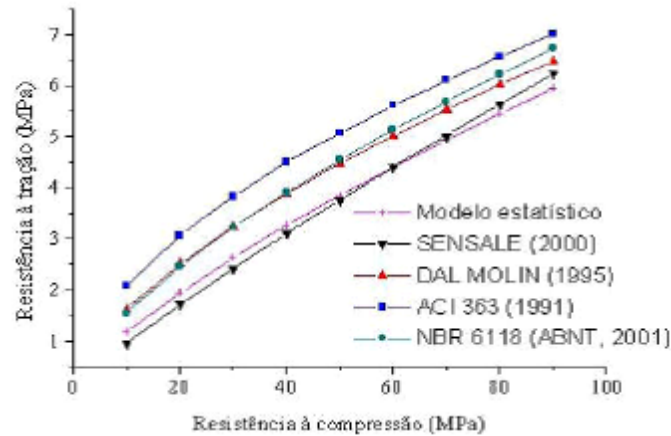
NEVILLE (1997) argumenta que, quando aumenta a resistência à compressão do concreto  $f_c$ , aumenta também a resistência à tração  $f_t$ , porém em uma razão decrescente. Além disso, ele expõe que a relação  $f_t/f_c$  diminui com o tempo na medida em que a resistência à compressão cresce mais rapidamente do que a resistência à tração a partir do primeiro mês após a execução do concreto.

RAPHAEL *apud* NEVILLE (1997) sugeriu o modelo de relação entre as resistências à tração e à compressão do concreto. Este modelo foi adotado pela norma brasileira (equação 3.3), através da NBR 6118 (ABNT, 2007). Esta relação é apresentada através do gráfico da Figura 4.37.



**Figura 4.37** – Relação entre a resistência à compressão  $f_c$  e a resistência média à tração  $f_t$  segundo modelo adotado pela ABNT

SOUZA (2006) apresenta uma relação  $f_t/f_c$  obtida através de ensaios de resistência à tração por compressão diametral em concreto com adição de metacaulim; comparando esta com as relações propostas pelo ACI, pela ABNT e pelos pesquisadores DAL MOLIN (1995) e SENSALÉ (2000). Estas últimas relações foram determinadas com a utilização de concreto com adição de sílica ativa e cinza de casca de arroz, respectivamente.

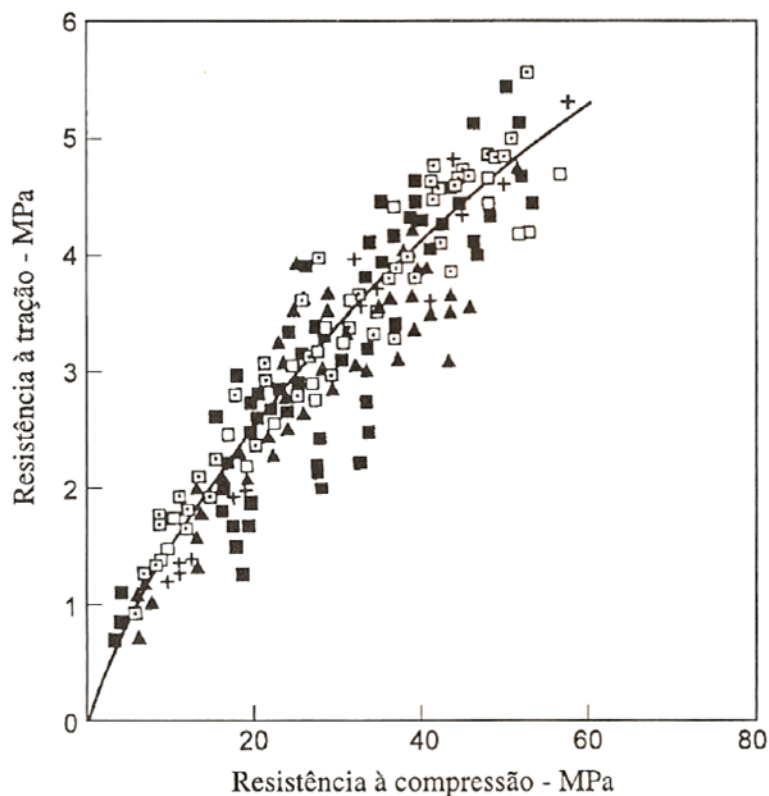


**Figura 4.38** – Comparação da relação  $f_t/f_c$  obtida com a utilização de concreto com adição de metacaulim com diversos autores (SOUZA, 2006, p.7)

A partir destes dados, SOUZA (2006) propôs uma equação que correlaciona a resistência à tração por compressão diametral ( $f_{tD}$ ) com a resistência à compressão ( $f_c$ ).

$$(4.5)$$

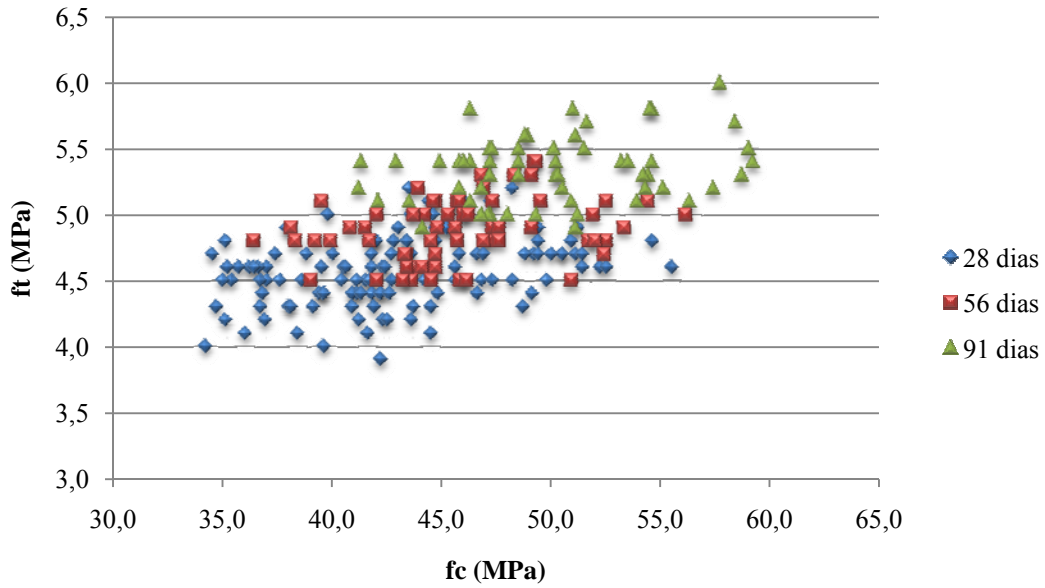
Outros resultados presentes na bibliografia mostram relações semelhantes ao previsto pela norma brasileira; cada um referente a um tipo de ensaio de tração. A Figura 4.37 apresenta uma série de resultados coletados por OLUOKUN *apud* NEVILLE (1997) estabelecendo a correlação entre a resistência à compressão e a resistência à tração do concreto obtido através de ensaio de compressão diametral.



**Figura 4.39** – Relação entre a resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão do concreto (OLUOKUN *apud* NEVILLE, 1997, p.316)

É importante observar que, mais uma vez, nenhuma das considerações apresentadas até o momento refere-se a concretos com adição de fibras; fato que, como já discutido anteriormente, pode provocar grandes variações nas resistências, sobretudo em relação à tração. Os resultados apresentados a seguir foram obtidos através do rompimento do concreto com adição de fibras metálicas e de polipropileno utilizados nesta etapa do trabalho, sob esforço de tração na flexão.

A série de resultados de resistência à compressão e à tração na flexão determinadas para o concreto reforçado com fibras (ver Anexo A), obtidos para as idades de 28, 56 e 91 dias possibilita a geração do gráfico de dispersão apresentado na Figura 4.40.



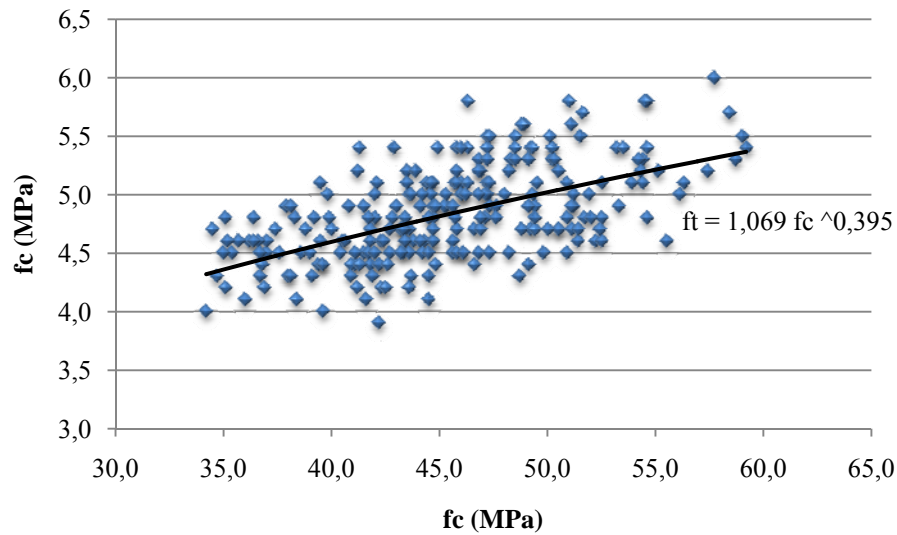
**Figura 4.40** – Gráfico de dispersão dos resultados de resistência à tração na flexão e à compressão do concreto com adição de fibras para as idades de 28, 56 e 91 dias

Este gráfico de dispersão possibilita estabelecer uma correlação entre  $f_t$  e  $f_c$  com base nas resistências estabelecidas nas três idades ensaiadas.

(4.6)

Onde:

$f_t$  e  $f_c$  são a resistência à tração na flexão e à compressão do concreto em MPa, respectivamente.



**Figura 4.41** – Correlação entre a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão do concreto com adição de fibras

Esta correlação foi estabelecida com a utilização de um CRF na ordem de  $30 \text{ kg/m}^3$  de fibra metálica e  $0,60 \text{ kg/m}^3$  de polipropileno. SILVA et al. (2001) estabelecem uma relação de equações de correlação entre as resistências à tração na flexão e a resistências à compressão estabelecidas por diversos pesquisadores. Estas correlações estão expostas na tabela a seguir.

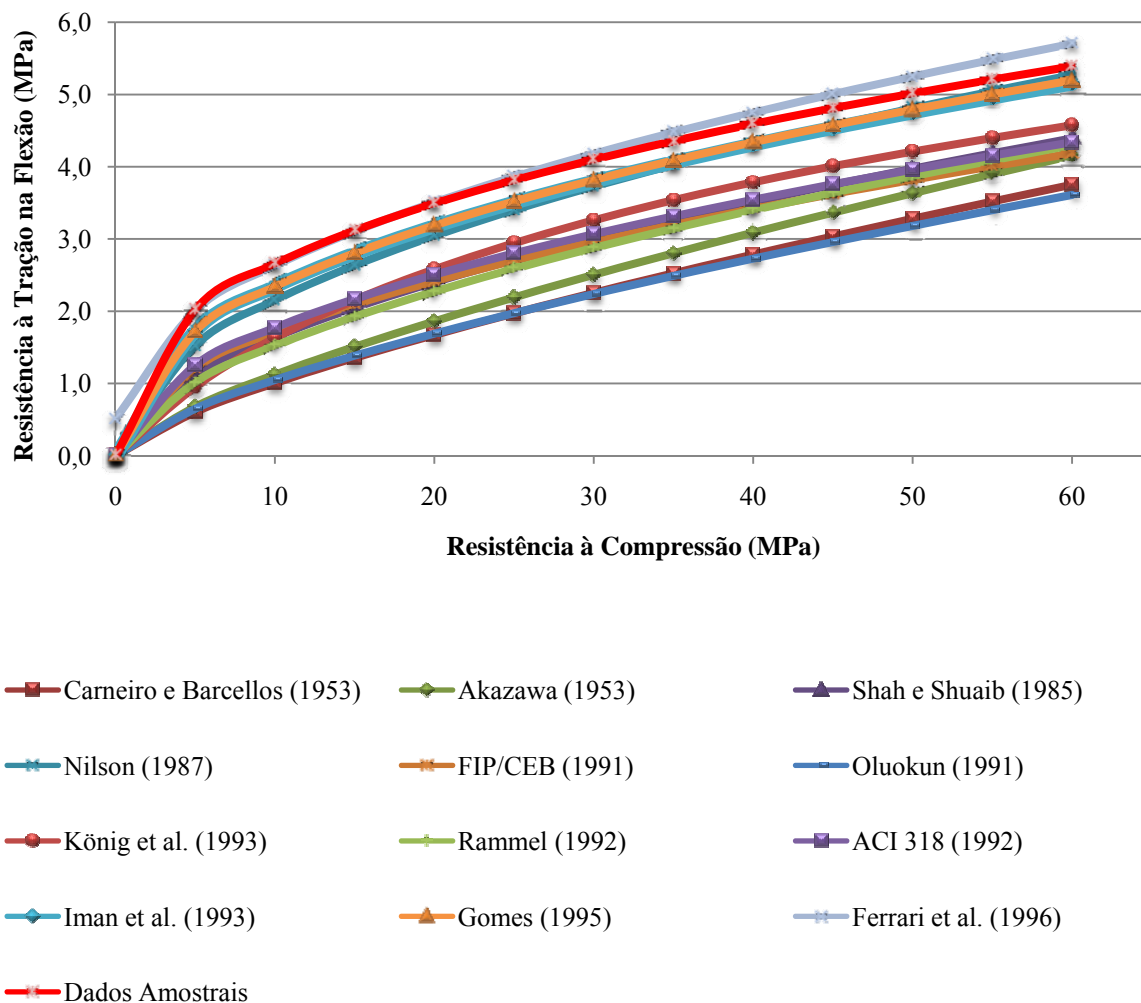
**Tabela 4.15** – Expressões de correlação  $f_t / f_c$  (SILVA et al., 2001)

Pesquisador	Equação de Correlação	Faixa de Aplicação (Mpa)
Carneiro e Barcellos (1953) <i>apud</i> Oluokun (1991)	$f_t=0,185.f_c^{(0,735)}$	-
Akazawa (1953) <i>apud</i> Oluokun (1991)	$f_t=0,209.f_c^{(0,730)}$	-
Shah e Shuaib (1985) <i>apud</i> Iman et al. (1993)	$f_t=0,462.f_c^{(0,550)}$	$f_c < 84$
Nilson (1987)	$f_t=0,680.f_c^{(0,500)}$	$40 < f_c < 85$
FIP/CEB (1990) - calcário e seixo	$f_t=0,540.f_c^{(0,500)}$	$f_c < 75$
Oluokun (1991)	$f_t=0,214.f_c^{(0,690)}$	$27 < f_c < 62$
König et al. (1993) <i>apud</i> Gomes (1995)	$f_t=2,35\ln(1+0,1.f_c)$	$f_c < 68$
Rammel (1992) <i>apud</i> Iman et al. (1993)	$f_t=0,400.f_c^{(0,580)}$	$f_c < 80$
ACI 318 (1992)	$f_t=0,560.f_c^{(0,500)}$	$14 < f_c < 42$
Iman et al. (1993) - pórfiro e seixo	$f_t=0,850.f_c^{(0,440)}$	$70 < f_c < 115$
Gomes (1995) - traquito e gnaisse	$f_t=0,840.f_c^{(0,445)}$	$32,5 < f_c < 96,8$
Ferrari et al. (1996) - calcário e gnaisse	$f_t=-0,51+0,67.f_c^{(0,5)}$	$10 < f_c < 70$

As correlações apresentadas na tabela anterior permitem visualizar de forma gráfica as relações entre as resistências à tração na flexão e à compressão. A Figura 4.42 mostra as correlações estabelecidas na Tabela 4.15 em comparação com os dados amostrais determinados através da análise do concreto com adição de fibras, utilizado na área de pré-edificação do estaleiro.

Como era possível se esperar em virtude da semelhança das equações de correlação, os gráficos apresentados na Figura 4.42 apresentam formato similar, diferindo na escala de resistência que cada pesquisador determinou.

A correlação definida no presente trabalho para o concreto com adição de fibras está próxima às demais correlações estabelecidas pelos autores exposto na Tabela 4.15, sobretudo para a expressão definida por Ferrari et al. (1996).



**Figura 4.42** – Relação entre as resistências à tração na flexão e à compressão de diversos autores em comparação com os dados do concreto com adição de fibras

#### 4.8 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CRF EM FUNÇÃO DAS DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA

A norma brasileira NBR 5738 (ABNT, 2008), padroniza várias dimensões de corpos de prova para ensaio de resistência à compressão. Todos apresentam geometria cilíndrica, distinguindo-se por suas dimensões. Segundo a ABNT, os CP's devem ter altura igual ao dobro do diâmetro. Quando a relação altura (h) / diâmetro (d) for diferente de dois, um fator de correção deverá ser utilizado, conforme determinação da NBR 7680 (ABNT, 1983).

**Tabela 4.16** – Correção relativa à relação  $h / d$  (ABNT, 1983)

Relação $h / d$	Fator de Correção
2,00	1,00
1,75	0,97
1,50	0,93
1,25	0,89
1,00	0,83
0,75	0,70
0,50	0,50

Os diâmetros dos corpos de prova devem ser 10, 15, 20, 25, 30 ou 45 cm, com tolerância de 1 %. Usualmente, no entanto, ensaios deste tipo são realizados com apenas duas dimensões de CP's: um com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura; outro com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Os corpos de prova com dimensões 15 x 30 cm são utilizados, em geral, para moldagem de concretos que utilizam agregados graúdos de dimensões superiores a 19 mm.

A correlação entre as resistências à compressão estabelecidas por corpos de prova de diferentes dimensões torna-se importante na medida em que se procura utilizar cada vez mais os CP's de menores dimensões. Os corpos de prova menores necessitam de menor quantidade de material, evitando desperdícios, além de serem mais facilmente manuseados pelos laboratoristas.

Segundo NEVILLE *apud* CUPERTINO (2007), dentro do intervalo de tamanhos de corpos de prova normalmente usados, o efeito do tamanho não é tão grande, mas é significativo e não deve ser ignorado em trabalhos de grande precisão ou pesquisa.

Nesta etapa do trabalho foi realizada a comparação entre a resistência à compressão obtida através de corpos de prova 10 x 20 cm e 15 x 30 cm de um total de 90 séries, formadas por 180 rompimentos para cada dimensão.

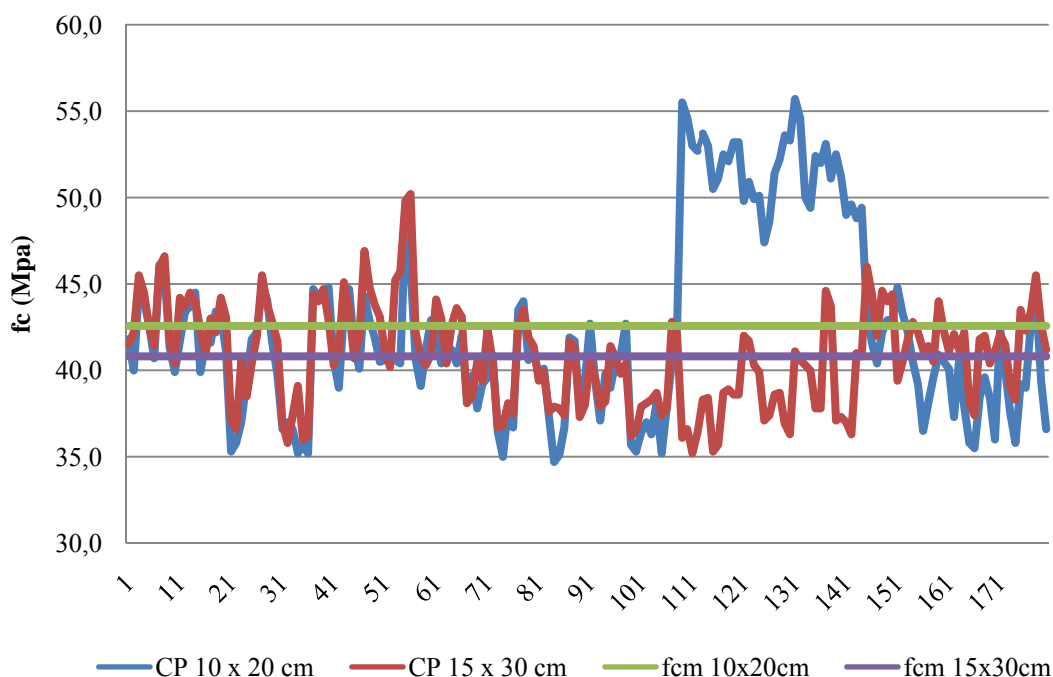
Todos os corpos de prova de mesma série foram moldados com concreto da mesma amassada e todos os rompimentos foram realizados aos 28 dias de idade. A Figura 4.44 mostra a variação dos resultados de  $f_c$  para os dois tipos de corpos de prova, além de apresentar a média de cada um.



A Tabela 4.17 resume os valores de média, desvio padrão e resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias, segundo a ABNT.

**Tabela 4.17** – Média, desvio padrão e  $f_{ck,estimado}$  aos 28 dias dos corpos de prova de diferentes dimensões (MPa)

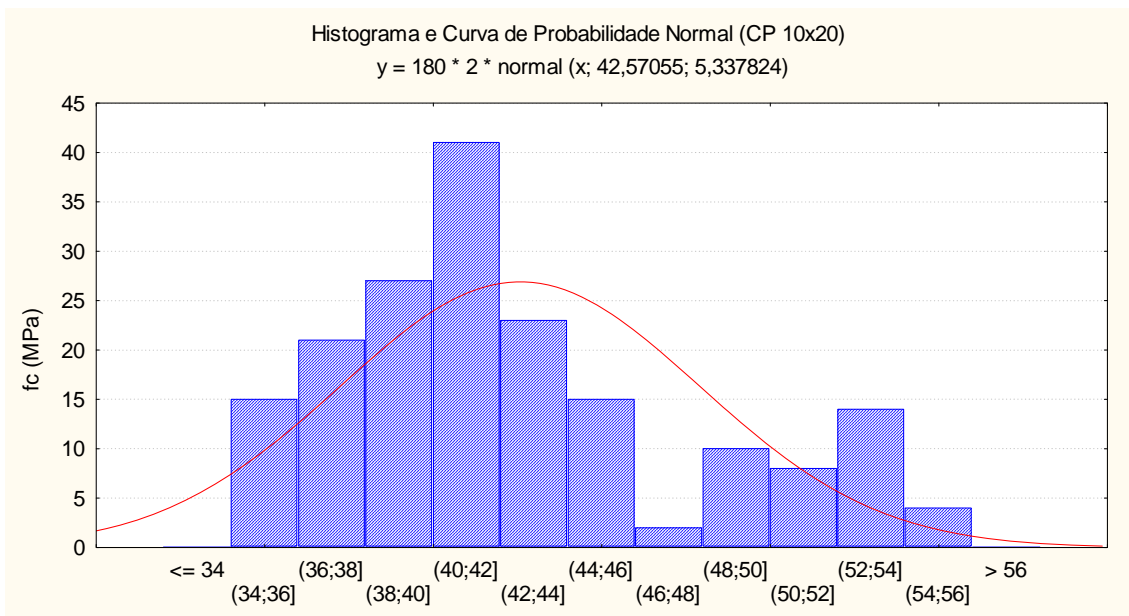
Dimensões dos corpos de prova	Média	Desvio Padrão	$f_{ck,estimado}$
10 x 20 cm	42,57	5,33	36,4
15 x 30 cm	40,81	2,91	36,6



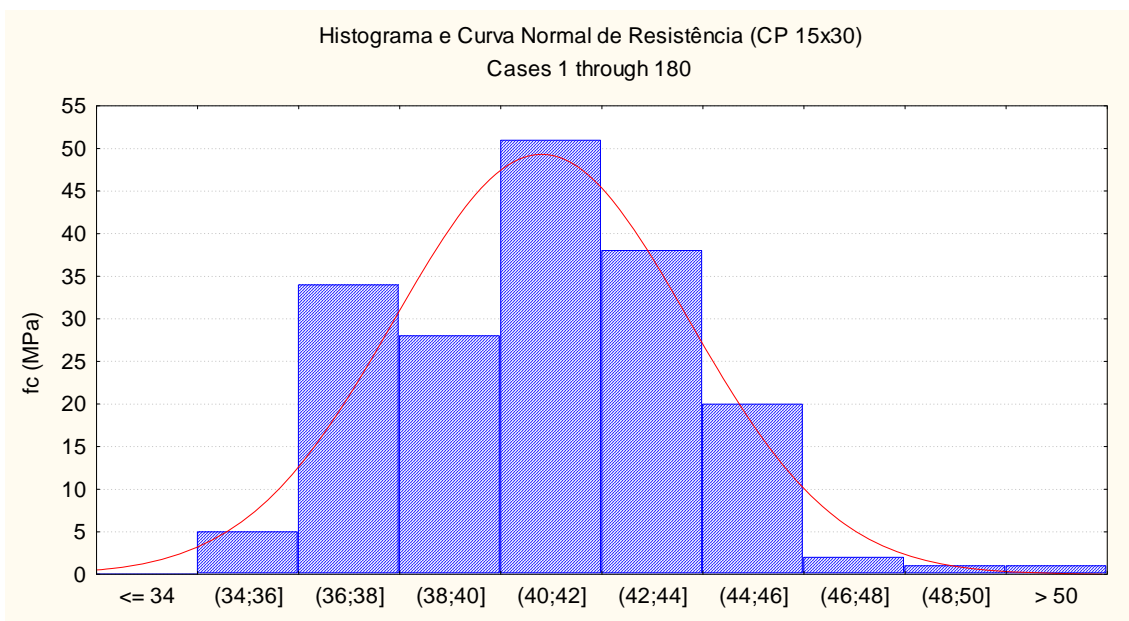
**Figura 4.43** – Variação da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova e médias

É importante notar que, no cálculo do desvio padrão, foram considerados todos os corpos de prova rompidos, enquanto que na determinação do  $f_{ck,estimado}$  o menor valor de cada série foi descartado conforme descrito na ABNT. O cálculo da resistência à compressão estimada foi realizado de acordo com o item 6.2.3.2 da NBR 12655

(ABNT, 2006), admitindo-se um número de exemplares igual a 90 e uma amostragem de 100 %.



**Figura 4.44** – Histograma e curva de probabilidade normal dos corpos de prova moldados em formas de dimensões 10 x 20 cm



**Figura 4.45** – Histograma e curva de probabilidade normal dos corpos de prova moldados em formas de dimensões 15 x 30 cm

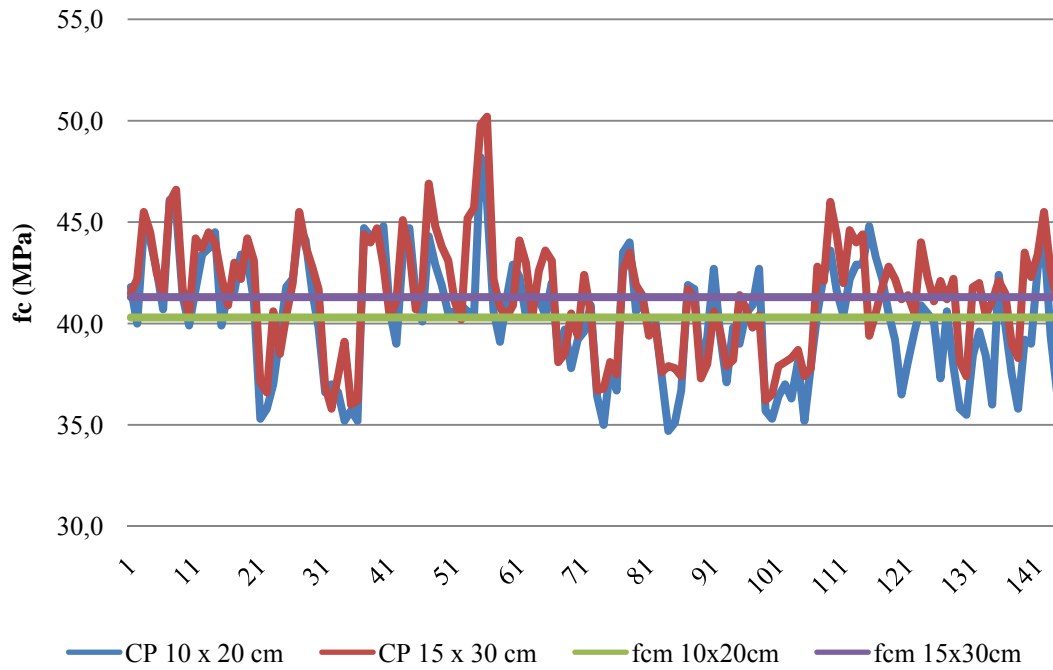
Nota-se, através do gráfico da Figura 4.44, que os dados de resistência dos CP's de 10 x 20 cm apresentaram alguns valores que divergem do padrão apresentado pelos demais. A Tabela 4.17 confirma esta consideração pelo elevado valor de desvio padrão encontrado. A Figura 4.42 também mostra uma não coerência entre os resultados de  $f_c$  e a curva normal para CP's de 10 x 20 cm. A consideração destes valores para estabelecer uma correlação entre os dois tipos de corpos de prova tornaria a mesma errônea devido ao elevado desvio padrão do lote. Foram, portanto, desconsiderados a partir deste ponto do trabalho as séries de número 237 a 254. Este elevado desvio pode ser devido a algum tipo de erro no momento da moldagem do concreto nas formas.

Com esta consideração, chega-se a novos valores de resistência média, desvio padrão e  $f_{ck,estimado}$ , conforme Tabela 4.18. A determinação da resistência à compressão estimada admitiu um número de 72 exemplares e uma amostragem total, segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006).

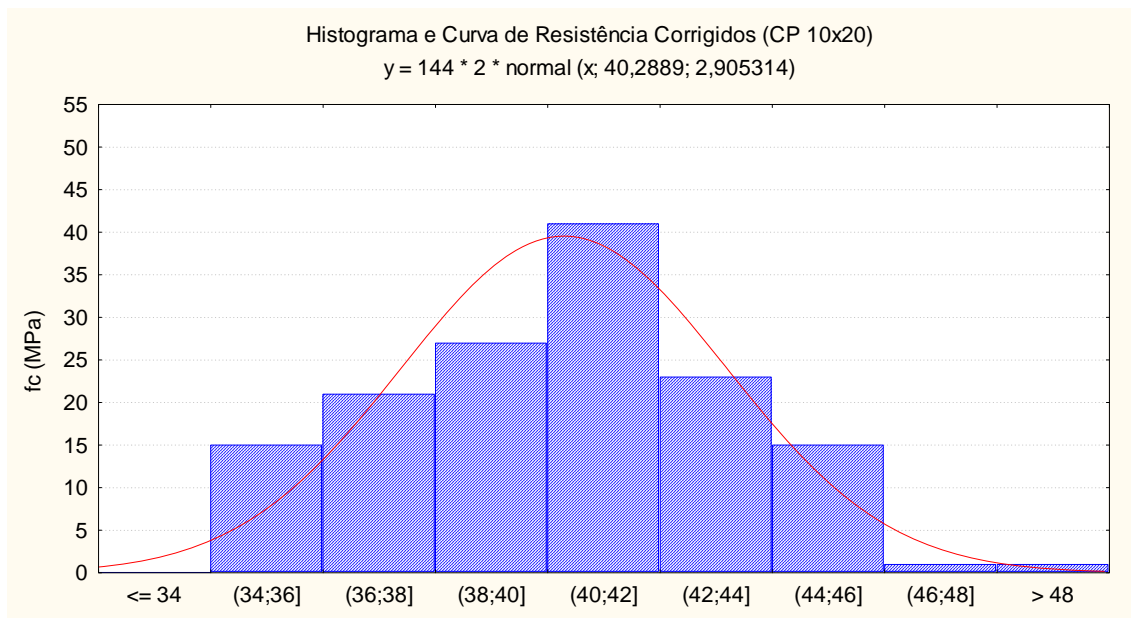
**Tabela 4.18** – Média, desvio padrão e  $f_{ck,estimado}$  aos 28 dias dos corpos de prova de diferentes dimensões para os dados corrigidos

Dimensões dos corpos de prova	Média	Desvio Padrão	$f_{ck,estimado}$
10 x 20 cm	40,3	2,91	35,8
15 x 30 cm	41,3	2,80	36,9

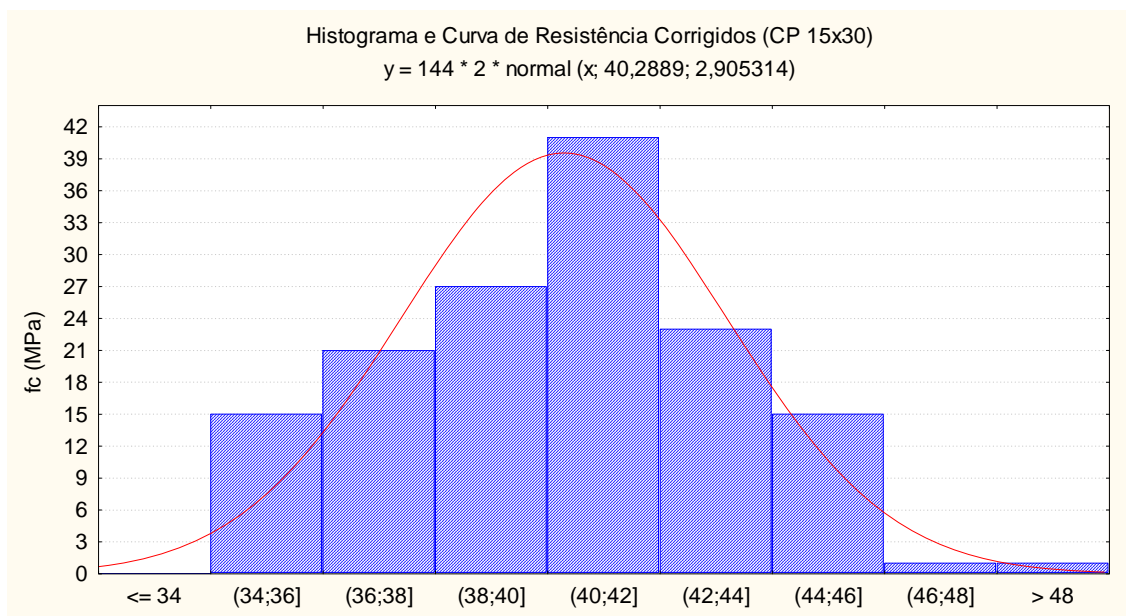
Nota-se que, com a desconsideração das séries acima citadas, os valores de desvio padrão passaram a ser mais coerentes, tornando mais consistentes os dados para a correlação. O gráfico de variação das resistências, Figura 4.47, mostra uma boa conformidade e coerência entre as duas dimensões de CP's.



**Figura 4.46** – Variação da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova e médias para o lote corrigido



**Figura 4.47** – Histograma e curva de probabilidade normal corrigidos dos corpos de prova moldados em formas de dimensões 10 x 20 cm



**Figura 4.48** – Histograma e curva de probabilidade normal corrigidos dos corpos de prova moldados em formas de dimensões 15 x 30 cm

É interessante notar que, com a correção do lote, os corpos de prova de 15 x 30 cm passaram a apresentar um valor médio maior do que o estimado através dos CP's de 10 x 20 cm. Este resultado é contrário ao exposto por ISAIA (2005) que mostra os resultados estabelecidos por MONTOYA, MESEGUER & CABRE (2000) no qual a relação  $f_{c(15x30)} / f_{c(10x20)}$  é igual a 0,97. Segundo ele, os resultados comparativos obtidos com ensaios de corpos de prova de dimensões diferentes mostram que os de maiores dimensões, ou seja, com maior volume de concreto, apresentam menores valores de resistência. Esta consideração é compartilhada por KLIEGER e LAMOND *apud* CUPERTINO (2007) que afirmam que o aumento da dimensão do corpo de prova resulta em uma diminuição da resistência do concreto e a um aumento na variabilidade dos resultados.

A grande maioria dos pesquisadores considera uma diminuição da resistência à compressão do concreto em função do aumento do corpo de prova devido ao consequente aumento no volume de vazios e pela maior possibilidade de se ter falhas em uma maior quantidade de concreto.

Porém, existem alguns resultados na bibliografia sobre o tema que apresentam resultados contrários. LIMA e BARBOSA *apud* BEZERRA (2007) apresentam

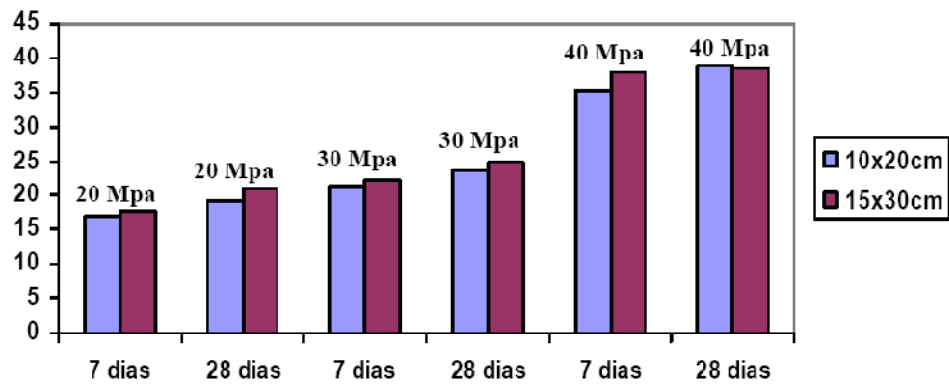
resultados de ensaios de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias para corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 e 15 x 30 cm. A tabela a seguir mostra estes resultados.

**Tabela 4.19** - Resultados dos ensaios dos corpos de prova cilíndricos aos 7 e 28 dias considerando concreto sem adições (LIMA e BARBOSA *apud* BEZERRA, 2007)

Tipo de CP	7 dias		28 dias	
	Resistência {Mpa}	Média {Mpa}	Resistência {Mpa}	Média {Mpa}
Cilindro 15 x 30 cm	23,2	21,6	31,5	27,3
	20,9		22,9	
	20,6		27,4	
Cilindro 10 x 20 cm	20,4	21,7	26,8	26,7
	21,1		24,3	
	23,7		28,9	

Os resultados apresentados na Tabela 4.18 são compatíveis com os apresentados por BEZERRA (2007) na Tabela 4.19. É importante observar que os resultados apresentados no presente trabalho utilizam concreto com adição de fibras, enquanto que os demais autores citados estudam as características dos concretos sem adições.

VIEIRA (2008, p.12) apresenta uma análise comparativa entre as resistências à compressão obtidas com corpos de prova de diferentes dimensões, conforme apresentado na Figura 4.50. Segundo este estudo, “[...] na média geral os CP’s de 15 x 30 cm obtiveram um crescimento percentual de 5,5 %, em comparação aos CP’s de 10 x 20 cm”.



**Figura 4.49** – Resistências à compressão com diferentes tamanhos de corpos de prova (VIEIRA, 2007, p.12)

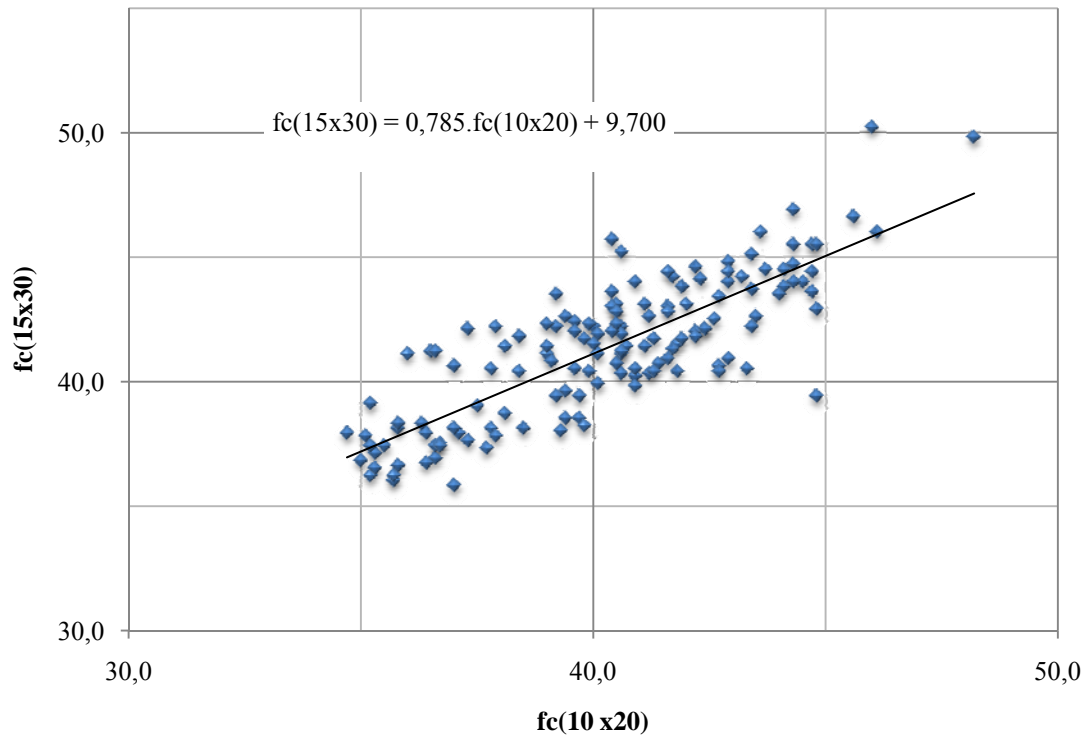
Através da análise de dispersão entre os dados de resistência chega-se a uma correlação entre as resistências à compressão de corpos de prova 10 x 20 e 15 x 30 cm. A equação 4.7 representa a relação linear entre as resistências para valores entre 30 e 50 MPa.

$$f_c(15x30) = 0,785.f_c(10x20) + 9,700 \quad (4.7)$$

Onde:

$f_c(10x20)$  é a resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm em MPa;

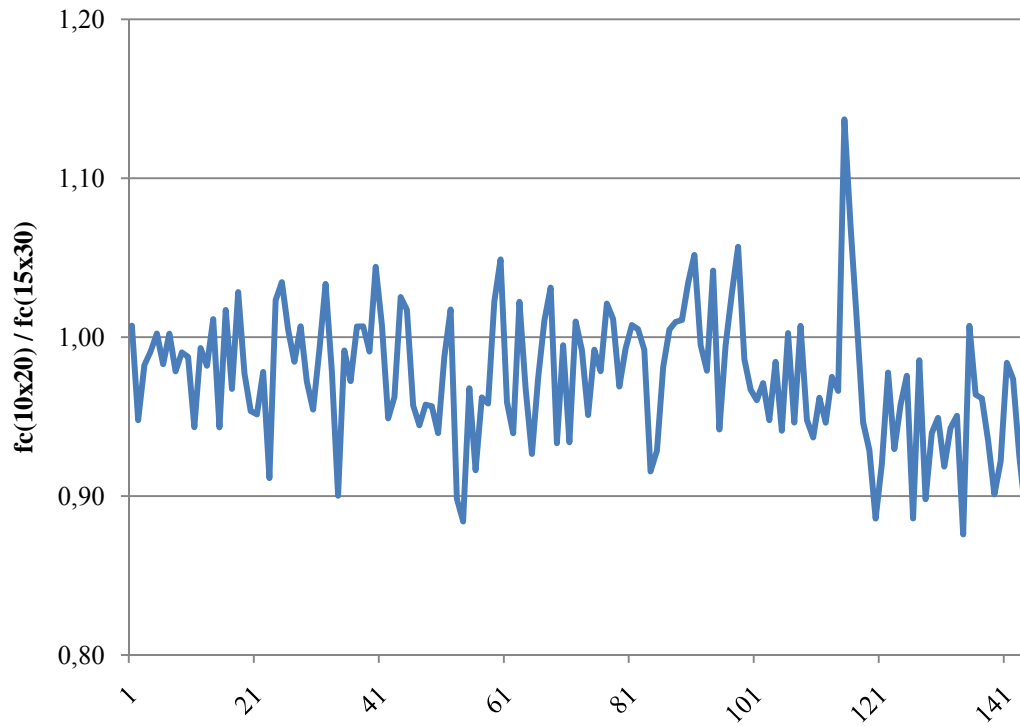
$f_c(15x30)$  é a resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos de 15 x 30 cm em MPa.



**Figura 4.50** – Correlação entre as resistências à compressão aos 28 dias dos corpos de prova de dimensões distintas

A relação entre as resistências obtidas através dos dois tipos de corpos de prova é apresentada na Figura 4.51. Por meio da análise dos resultados de resistência à compressão do concreto com adição de fibras, percebe-se que o valor médio da relação  $f_c(10 \times 20) / f_c(15 \times 30)$  foi igual a 0,97. O desvio padrão apresentado pelos dados foi 0,04.





**Figura 4.51** – Relação  $f_c(10x20) / f_c(15x30)$  aos 28 dias para o concreto reforçado com fibras

## **5 ESTUDO PROBABILÍSTICO DAS RESISTÊNCIAS DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA**

### **5.1 CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA**

O concreto passou a ter seu uso difundido há cerca de um século. Naquela época, acreditava-se que este material era praticamente eterno. Porém, com o passar do tempo, foi sendo percebida a ocorrência de manifestações patológicas, causando acidentes e/ou provocando a necessidade de manutenção nas estruturas.

São inúmeras as causas de manifestações patológicas que afetam uma estrutura de concreto. Algumas das patologias mais encontradas, sobretudo em estruturas como a laje de fundo do dique seco, são a deterioração por abrasão, impacto, erosão e cavitação. Estes fenômenos são, em geral, agravados com a falta de aderência entre os agregados e a pasta de cimento. Outro problema encontrado nas peças de concreto armado é a corrosão das armaduras, fator que possui relação direta com a segurança de uma estrutura de concreto, a corrosão das armaduras está ligada normalmente à porosidade do compósito que facilita a penetração de agentes agressivos. As características de reatividade de certos agregados quando em contato com os álcalis do cimento, conhecida como reatividade álcali-agregado, é outro grande problema enfrentado pelo concreto. Esta reação é expansiva, provocando tensões de tração no interior do maciço de concreto, o que facilmente acarreta a formação de fissuras na estrutura.

Fatores externos como as características ambientais da região em que a estrutura é construída também afetam de forma direta o desempenho do concreto. Normalmente, os fatores analisados em projeto, como as cargas a que está sujeita uma a estrutura, não são os fatores mais importantes no momento de se prever a vida útil de dada estrutura.

Com o intuito de mensurar a influência das características ambientais do local sobre a vida útil de uma dada estrutura surge o conceito de classe de agressividade ambiental.

“A agressividade do meio ambiente está correlacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto”. (ABNT NBR 6118, 2007, p.16)

A ABNT, através da norma NBR 12655 (ABNT, 2006) estabelece os critérios de classificação da classe de agressividade ambiental na qual a estrutura projetada está inserida. Esta classificação possui grande importância na elaboração de um bom projeto de engenharia, visto que influencia de forma direta em itens como cobrimento da armadura, consumo de cimento e classe do concreto a ser utilizado.

**Tabela 5.1** – Classes de Agressividade Ambiental (ABNT, 2006)

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Riscos de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

A obra do Estaleiro Rio Grande está localizada em uma zona cujas características ambientais podem ser classificadas como classe IV, conforme a Tabela 5.1. A laje de fundo deste dique é uma peça de fundamental importância para o sucesso estrutural do empreendimento. Esta peça de concreto está inserida em um micro clima cujas condições ambientais são muito severas.

A água da Laguna dos Patos na região do Superporto de Rio Grande possui uma grande variabilidade na sua salinidade. Em virtude da proximidade desta parte da laguna com o Oceano Atlântico, suas águas estão sujeitas à ação das correntes do canal de acesso ao porto de Rio Grande, que, quando se deslocam em direção ao estuário, aumentam o teor salino da região portuária.

Este panorama, acentuado pelo fato de a laje de fundo sofrer efeitos parecidos com o das marés (fica submerso e exposto ao ar dependendo das atividades do dique), faz com que se necessite de muitos cuidados com o concreto utilizado no que diz respeito à sua durabilidade.



**Figura 5.1** – Concretagem da laje de fundo do dique seco

Com base no acima exposto, o projeto das estruturas de concreto do estaleiro teve um grande estudo no que diz respeito às condições que visam à durabilidade do compósito. Fato que levou os projetistas a buscarem alternativas para melhorar o desempenho deste material.

Neste contexto, surge a consideração sobre a utilização do concreto de alto desempenho (CAD). O CAD é um concreto que apresenta vantagens quando comparado a um concreto dito comum, propiciando benefícios para a estrutura executada.

“[...] CAD está relacionado ao atributo de desempenho buscado, frente à determinada necessidade imposta pela obra ou o meio em que a mesma está inserida. Ou seja, em obras de edifícios altos, a busca é por desempenho mecânico de resistência;

já em uma obra marítima, a busca é pelo desempenho a ataques de cloretos.” (Fonte: [www.tecnosilbr.com.br](http://www.tecnosilbr.com.br). Acesso em: 12/10/2009)

O projeto da laje de fundo do dique possui algumas especificações que visam à durabilidade da estruturas frente à agressividade a que a peça está sujeita. Uma destas especificações é o consumo máximo de água; limitado em  $180 \text{ l/m}^3$ . O consumo mínimo de aglomerante também é determinado; devendo ser superior a  $400 \text{ kg/m}^3$ . Outra especificação definida em projeto é a utilização de microssílica em um teor mínimo de 5 % em peso.

### 5.1.1 Sílica Ativa

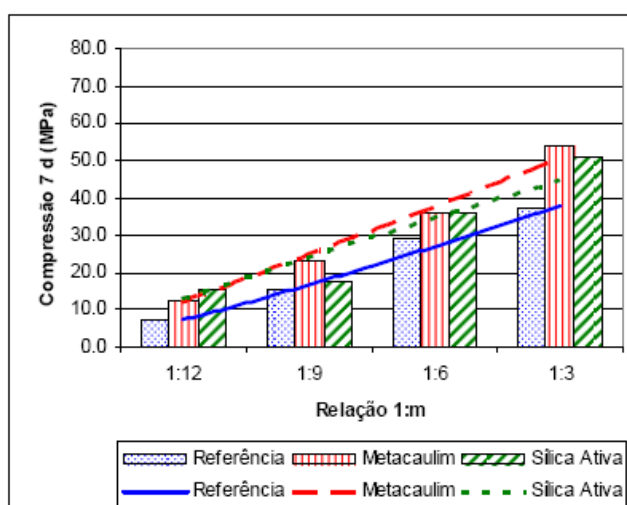
“A sílica ativa, ou microssílica, é um resíduo oriundo das indústrias de ferro-ligas e silício metálico. Pelas suas propriedades químicas (teor de  $\text{SiO}_2 > 85\%$ ) e físicas (superfície específica média de  $20 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) este material é considerado uma excelente pozolana que, quando usado no concreto, além de atuar quimicamente também atua de forma física, através do efeito microfíler. Desta forma, a sílica ativa é proposta como um material alternativo para melhorar as características de concretos e argamassas de revestimento superficial. O emprego deste material melhora as condições de porosidade, melhora a aderência pasta/agregado e a reação com os produtos de hidratação do cimento resulta em compostos mais resistentes, diminuindo a lixiviação e aumentando a resistência à abrasão.” (DAL MOLIN, p.2)

Segundo CARMO (2007, p.2), a utilização de sílica ativa na elaboração do CAD, “[...] além do ótimo resultado relacionado à durabilidade do concreto, também proporcionou à estrutura altos valores de resistência, fazendo com que se começasse a utilizar este resíduo com o intuito de se obter o concreto de alta resistência”.

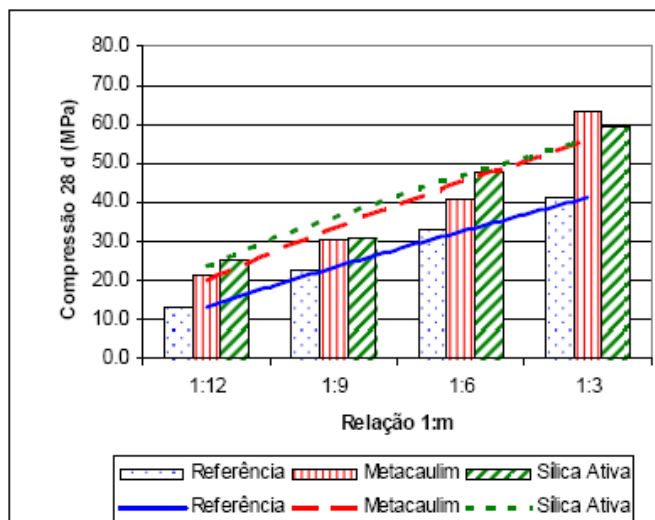
MEHTA e MONTEIRO (1994) relatam que a adição de microssílica, embora possibilite melhorias no compósito em virtude do alto poder pozolânico, cria um problema de manuseio, aumentando o consumo de água para manter a trabalhabilidade do concreto. Este fato ocorre devido ao elevado valor de área específica da sílica ativa,

aumentando a área para hidratação. A necessidade de aumento no consumo de água é, na grande maioria dos casos, eliminada com a utilização de aditivos redutores de água.

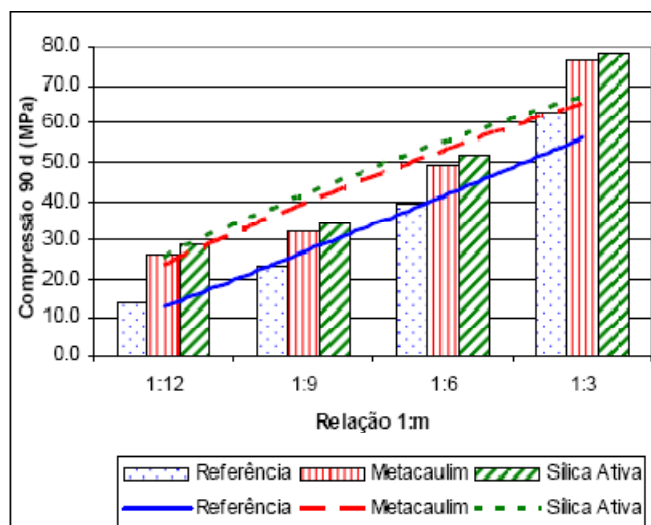
CARMO (2007) apresenta resultados que mostram o aumento de resistência à compressão do concreto nas idades de 7, 28 e 90 dias; obtidas com a utilização de sílica ativa e de metacaulim, material pozolânico proveniente da calcinação de argilas caulínicas. A relação a/c adotada nos traços utilizados neste trabalho, no entanto, não é citada neste trabalho.



**Figura 5.2** – Resistência à compressão aos 7 dias do concreto simples em comparação ao concreto com adição de sílica ativa e metacaulim para diversas dosagens (CARMO, 2007, p.7)



**Figura 5.3** – Resistência à compressão aos 28 dias do concreto simples em comparação ao concreto com adição de sílica ativa e metacaulim para diversas dosagens (CARMO, 2007, p.7)



**Figura 5.4** – Resistência à compressão aos 90 dias do concreto simples em comparação ao concreto com adição de sílica ativa e metacaulim para diversas dosagens (CARMO, 2007, p.8)

## 5.2 – RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA

Como foi estudado no capítulo anterior, existem diversas metodologias apontadas por diferentes normas para determinar qual a resistência do concreto que deve ser considerada para avaliar a execução de uma estrutura de concreto.

Esta diversidade nos modelos adotados em cada região ou país é um reflexo da grande variabilidade que está relacionada à execução do concreto. Controles tecnológicos, metodologias de dosagem, características dos materiais, são alguns dos fatores que fazem com que o concreto tenha peculiaridades relacionadas à região do planeta onde o mesmo é produzido.

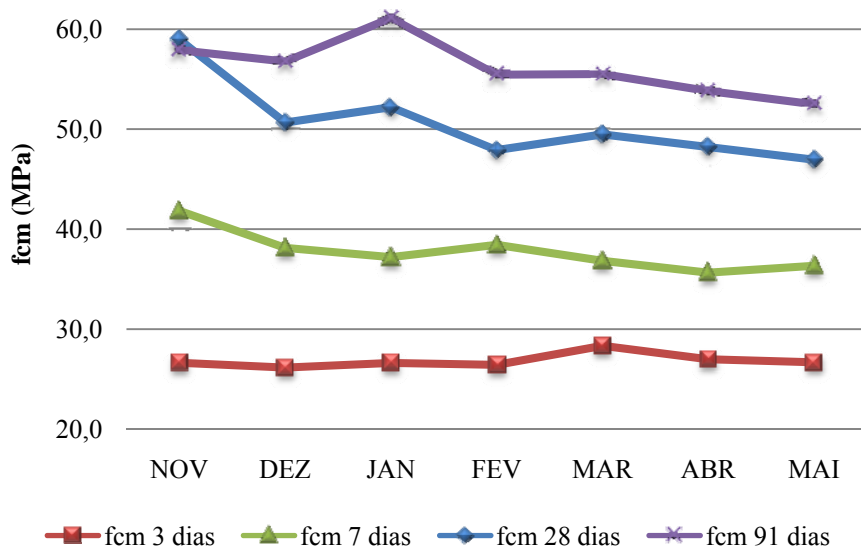
O grande número de dados experimentais oriundos do controle tecnológico adotado na execução da laje de fundo do dique seco do Estaleiro Rio Grande propicia um estudo probabilístico da resistência à compressão do concreto com adição de microssílica.

Nesta etapa do trabalho são realizadas análises probabilísticas de um total de 6041 rompimentos de corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm. Estes CP's pertencem a um total de 1389 séries, com rompimentos nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias, conforme a tabela a seguir. Os ensaios realizados referem-se aos panos da laje de fundo do dique executados no período compreendido entre os dias 27/11/2008 e 06/05/2009.

**Tabela 5.2** – Total de ensaios à compressão realizados para cada idade

Total de Rompimentos			
3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1408	1363	2778	492

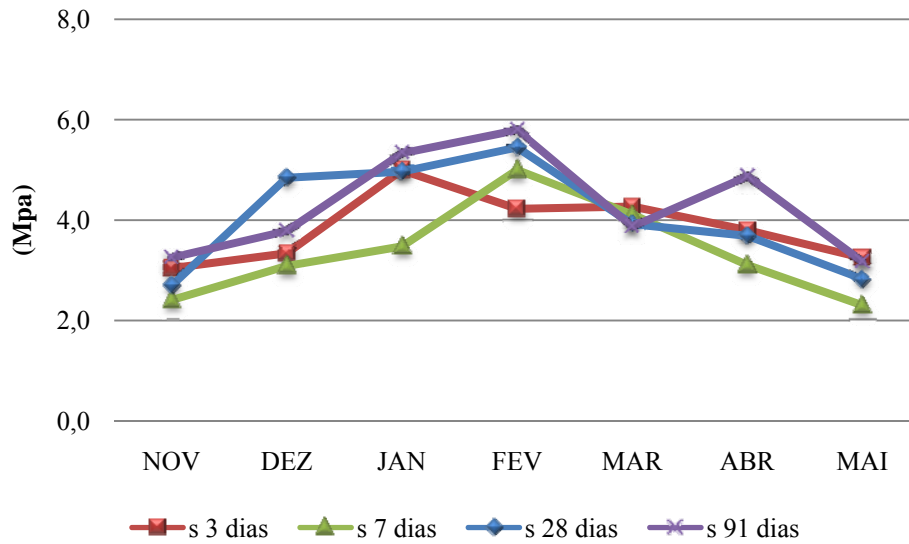




**Figura 5.5** – Variação das resistências médias à compressão ao longo dos meses para cada idade

É possível perceber, com base nos dados mostrados no gráfico da Figura 5.5, que no mês de novembro determinou-se um valor médio de resistência aos 28 dias superior ao encontrado na medição posterior, aos 91 dias. Uma análise mais criteriosa dos resultados dos concretos executados no mês de novembro (ver Anexo B) mostra que apenas duas das sete séries moldadas para a idade de 91 dias apresentaram valores inferiores ao determinado com 28 dias de idade. Este fato pode ser atribuído a uma moldagem deficiente nos CP's para os 91 dias, como também pode ser decorrência de danos causados por um manuseio inadequado dos corpos de prova. Outra hipótese que não pode ser descartada é a possível troca das amostras no laboratório da obra.

A Figura 5.6 apresenta a variação do desvio padrão dos valores de resistência à compressão do concreto nos meses considerados. Os valores de “s” são determinados para cada uma das idades de rompimento. Percebe-se através do gráfico, que existe uma coerência entre os valores apresentados para cada idade. Ou seja, os valores de desvio padrão apresentam semelhança para uma mesma idade considerada. Esta constatação mostra a variabilidade da dosagem do concreto produzida pela central dosadora ao longo do período estudado.



**Figura 5.6** – Variação do desvio padrão das resistências à compressão ao longo dos meses para cada idade

O coeficiente de variação dentro do ensaio é obtido através da razão entre o desvio padrão e o valor médio de resistência à compressão do concreto. Deve ser expresso em porcentagem.

Os valores de desvio padrão, bem como o coeficiente de variação dentro do lote ensaiado são apresentados na Tabela 5.3 para cada um dos lotes estudados. Foi considerada nesta etapa do trabalho uma divisão em lotes correspondentes a cada um dos sete meses de concretagem analisados.

**Tabela 5.3** – Coeficiente de variação, desvio padrão e média das resistências à compressão ao longo dos meses (MPa)

Lote / Mês	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
idade	3 dias						
c.v.	11,1%	12,3%	18,4%	15,6%	14,7%	13,7%	11,9%
desvpad	3,0	3,3	5,0	4,2	4,3	3,8	3,2
Média	27,3	26,5	27,1	27,1	29,0	27,6	27,3
idade	7 dias						
c.v.	6,0%	7,7%	8,93%	12,6%	10,8%	8,6%	6,1%
desvpad	2,6	3,0	3,4	4,9	4,1	3,0	2,2
Média	42,3	38,8	37,9	39,0	37,5	36,4	37,0
idade	28 dias						
c.v.	4,3%	9,5%	9,1%	11,4%	7,6%	7,4%	6,0%
desvpad	2,6	4,9	4,8	5,5	3,8	3,6	2,8
Média	59,5	51,3	53,0	48,5	50,4	48,9	47,5
idade	91 dias						
c.v.	5,6%	6,7%	8,8%	10,2%	6,8%	4,1%	5,8%
desvpad	3,3	3,9	5,4	5,7	3,8	2,2	3,1
Média	58,5	57,4	62,0	56,2	56,3	53,3	53,0

Os cálculos de desvio padrão e coeficiente de variação foram realizados de acordo com o estabelecido na NBR 7212 (ABNT, 1984), ou seja, apenas o maior valor de resistência determinado do ensaio de dois corpos de prova moldados para cada amassada foi considerado.

A classificação da qualidade do controle na dosagem e nos ensaios realizados no concreto é estabelecida pela NBR 7212 (ABNT, 1984). Este é o documento que fixa as condições exigíveis para a execução do concreto dosado em central no Brasil.

A NBR 7212 (ABNT, 1984) estabelece uma avaliação do controle de preparo do concreto e dos cuidados no ensaio das amostras. Estas avaliações são realizadas com base nas tabelas a seguir, de acordo com os valores obtidos de desvio padrão e coeficiente de variação.

Para a ABNT, o desvio padrão é o parâmetro utilizado para avaliar a qualidade (controle) do preparo do concreto. Avalia-se, desta forma, a ausência de erros de pesagem, as variações nas características dos materiais, diferenças de dosagem, entre

outros fatores que interferem de forma direta a qualidade do produto final. O coeficiente de variação, por sua vez, é o parâmetro que avalia a qualidade dos ensaios realizados.

**Tabela 5.4** – Avaliação do controle de preparo do concreto com base no desvio padrão (ABNT, 1984)

Local de preparo do concreto	Desvio Padrão (MPa)			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Central	3,0	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	> 5,0
Laboratório	1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	> 2,5

**Tabela 5.5** – Avaliação dos ensaios do concreto com base no coeficiente de variação (ABNT, 1984)

Local de preparo do concreto	Coeficiente de Variação			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Central	3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 6,0	> 6,0
Laboratório	2,0	2,0 - 4,0	4,0 - 5,0	> 5,0

Com base nos valores apresentados na Tabela 5.3 e analisando a classificação da Tabela 5.4, percebe-se que a qualidade do preparo do concreto utilizado na laje de fundo pode ser considerado com níveis de 2 a 3 na grande maioria dos casos. Apenas o mês de fevereiro apresentou desvio padrão aos 28 dias superior a 5,0 MPa; sendo classificado desta forma como nível 4.

É importante notar que a Tabela 5.5 apresenta a classificação do coeficiente de variação do ensaio do concreto. O modelo norte-americano, por sua vez apresenta, através do código ACI COMMITTE-214R-02 (ACI, 1997), duas diferentes escalas de classificação segundo o coeficiente de variação. Neste caso, o coeficiente de variação é classificado para os dados de canteiro e de laboratório. Com base nesta classificação norte-americana, o coeficiente de variação pode ser considerado como bom ou muito bom para os ensaios aos 28 dias de idade. A exceção foi o mês de fevereiro, que apresentou um valor mais elevado para o coeficiente de variação.

**Tabela 5.6** – Avaliação do concreto com base no coeficiente de variação (ACI-214)

Variação Global					
Classe de Operação	Coeficiente de Variação para diferentes padrões de controle %				
	Excelente	Muito Bom	Bom	Razoável	Ruim
Ensaio de Obra	< 7,0	7,0 a 9,0	9,0 a 11,0	11,0 a 14,0	> 14,0
Ensaio em Laboratório	< 3,5	3,5 a 4,5	4,5 a 5,5	5,5 a 7,0	> 7,0

Variação do Ensaio					
Classe de Operação	Coeficiente de Variação para diferentes padrões de controle %				
	Excelente	Muito Bom	Bom	Razoável	Ruim
Ensaio de obra	< 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	5,0 a 6,0	> 6,0
Ensaio em Laboratório	< 2,0	2,0 a 3,0	3,0 a 4,0	4,0 a 5,0	> 5,0

### 5.2.1 Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo a ABNT

Conforme a norma NBR 12655 (ABNT, 2006) uma obra ou peça com grandes volumes de concreto pode ter seu controle tecnológico realizado através de lotes. Como forma de otimização do processo de análise das resistências à compressão do concreto da laje de fundo do dique seco, os concretos foram divididos em 7 grandes lotes; cada um correspondente a um mês de concretagem na obra.

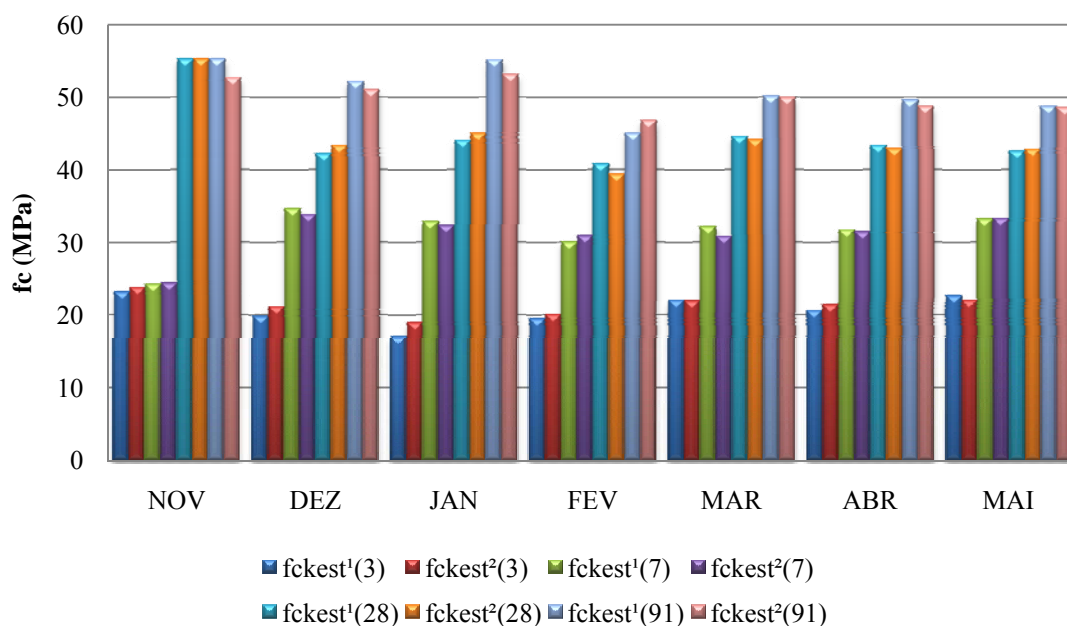
Percebe-se, através dos valores de resistência à compressão apresentados no Anexo B deste trabalho, que para a idade de 28 dias foi utilizada a metodologia de amostragem total das betonadas de concreto. As idades de 3, 7 e 91 dias, por sua vez, tiveram amostras retiradas aleatoriamente de algumas betonadas; ou seja, caracterizam-se como amostragem parcial, conforme estabelecido na NBR 12655 (ABNT, 2006).

Dentre as amostragens parciais de algumas idades dos meses de novembro e maio, têm-se alguns lotes apresentando um número de elementos inferior a vinte. Desta forma a determinação da resistência característica à compressão estimada foi realizada com

base na equação (4.1). Nos demais casos de amostragem parcial foram utilizados a equação (4.2).

Como metodologia comparativa entre os dois métodos matemáticos de determinação da resistência estimada à compressão do concreto, todos os lotes foram analisados pelos métodos de controle por amostragem total e parcial. A Figura 5.7 apresenta um gráfico com os valores determinados de  $f_{ck,estimado}$  para todos os lotes. Desta forma, pode-se realizar uma análise do rigor de cada uma das metodologias.

Em todos os casos considerados neste item, são descartados os menores valores de  $f_c$  de cada uma das séries. Conforme exposto anteriormente, a norma brasileira especifica um número mínimo de dois corpos de prova por exemplar. A resistência a compressão da amassada,  $f_c$ , é determinada como o maior dos valores obtidos no ensaio do exemplar.



**Figura 5.7** – Resistências estimadas dos lotes para cada uma das idades segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006)

Onde:

$$f_{ck,est}^1 = f_i \begin{cases} i = 0,05.n \text{ se } n > 20 \\ i = 1 \text{ se } n \leq 20 \end{cases} \text{ e } f_{ck,est}^2 = \begin{cases} 2 \cdot \frac{f_1+f_2+\dots+f_m}{m-1} - f_m \text{ se } n \leq 20 \\ f_{cm} - 1,65.s \text{ se } n > 20 \end{cases}$$

Conforme exposto anteriormente,  $f_{ck,est}^1$  representa a resistência característica à compressão estimada através de uma amostragem total das betonadas de concreto lançadas na peça analisada. O valor  $f_{ck,est}^2$ , por sua vez, é obtido em amostragens que não possuem testemunhos retirados de todas as amassadas de concreto utilizadas.

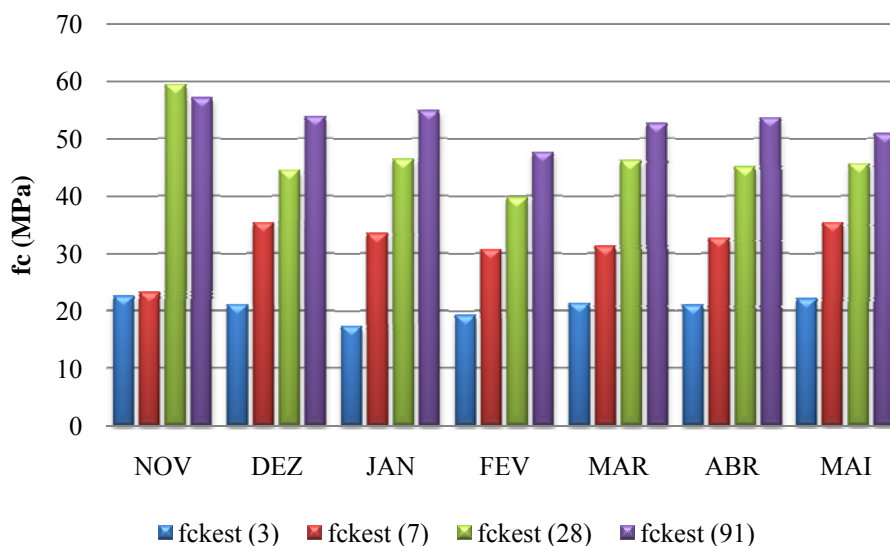
Pode-se perceber que as duas metodologias apresentaram valores muito próximos entre si. Dos sete lotes analisados, três apresentaram estimativas maiores de  $f_{ck,est}^1$ ; três maiores de  $f_{ck,est}^2$  e um lote apresentou valor igual nos dois casos. Outro aspecto importante é que a maior diferença entre os estimadores de resistência foi de apenas 1,4 MPa, determinado no mês de fevereiro.

### 5.2.2 Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo o ACI-318

A resistência característica à compressão estimada através do modelo norte-americano divide a análise em dois grupos de concretos; com  $f_{ck}$  inferior e superior a 34,5 MPa. Como o concreto da laje de fundo do dique possui especificação  $f_{ck} = 40$  MPa, a equação (2.7) deve ser utilizada para determinar a resistência à compressão estimada. Os valores estimados de acordo com o modelo norte-americano são apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 5.7** – Média, desvio padrão e  $f_{ck,estimado}$  discriminado por lote segundo o ACI 318 (MPa)

Lote / Mês	3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
	$f_{ck,est}$	desvio padrão	$f_{cm}$	$f_{ck,est}$	desvio padrão	$f_{cm}$	$f_{ck,est}$	desvio padrão	$f_{cm}$	$f_{ck,est}$	desvio padrão	$f_{cm}$
NOV	22,5	3,0	27,3	23,1	2,9	27,6	59,4	2,6	59,5	57,0	2,0	56,0
DEZ	21,0	3,3	26,5	35,3	3,0	38,8	44,4	4,9	51,3	53,8	3,9	57,4
JAN	17,2	5,0	27,1	33,4	3,4	37,9	46,3	4,8	53,0	54,8	5,4	62,0
FEV	19,1	4,2	27,1	30,6	4,9	39,0	39,6	5,5	48,5	47,6	5,7	56,2
MAR	21,2	4,3	29,0	31,2	4,1	37,5	46,1	3,8	50,4	52,6	3,8	56,3
ABR	20,9	3,8	27,6	32,6	3,0	36,4	45,0	3,6	48,9	53,6	2,2	53,3
MAI	22,0	3,2	27,3	35,3	2,2	37,0	45,5	2,8	47,5	50,8	3,1	53,0



**Figura 5.8** – Resistências estimadas dos lotes para cada uma das idades segundo o ACI 318

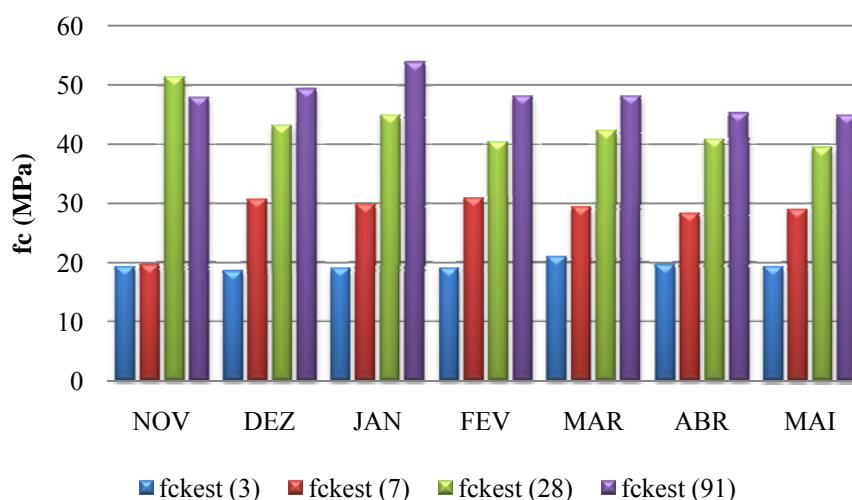
### 5.2.3 Determinação da resistência característica à compressão do concreto segundo o EuroCode 2

Conforme já foi comentado neste trabalho, o EuroCode 2 (2002) não utiliza o valor determinado do desvio padrão do lote para estabelecer a resistência à compressão estimada para um determinado conjunto de dados. O modelo europeu fixa o valor de desvio padrão, fazendo com que  $f_{ck,est}$  seja função apenas da resistência média do lote analisado.



**Tabela 5.8** – Média, desvio padrão e  $f_{ck,estimado}$  discriminado por lote segundo o EuroCode 2 (MPa)

Lote / Mês	3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
	$f_{ck,est}$	desvio padrão	$f_{cm}$	$f_{ck,est}$	desvio padrão	$f_{cm}$	$f_{ck,est}$	desvio padrão	$f_{cm}$	$f_{ck,est}$	desvio padrão	$f_{cm}$
NOV	19,3	3,0	27,3	19,6	2,9	27,6	51,5	2,6	59,5	48,0	2,0	56,0
DEZ	18,5	3,3	26,5	30,8	3,0	38,8	43,3	4,9	51,3	49,4	3,9	57,4
JAN	19,1	5,0	27,1	29,9	3,4	37,9	45,0	4,8	53,0	54,0	5,4	62,0
FEV	19,1	4,2	27,1	31,0	4,9	39,0	40,5	5,5	48,5	48,2	5,7	56,2
MAR	21,0	4,3	29,0	29,5	4,1	37,5	42,4	3,8	50,4	48,3	3,8	56,3
ABR	19,6	3,8	27,6	28,4	3,0	36,4	40,9	3,6	48,9	45,3	2,2	53,3
MAI	19,3	3,2	27,3	29,0	2,2	37,0	39,5	2,8	47,5	45,0	3,1	53,0

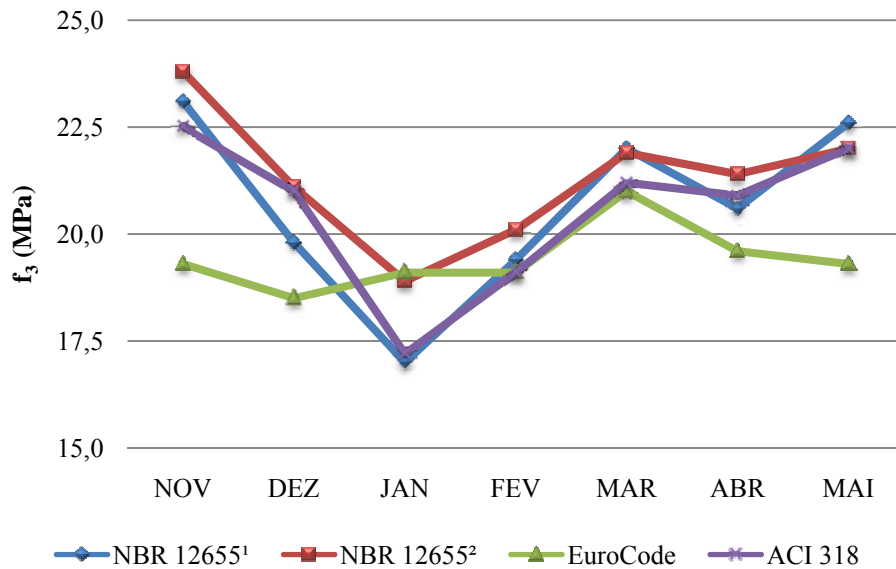


**Figura 5.9** – Resistências estimadas dos lotes para cada uma das idades segundo o EuroCode 2

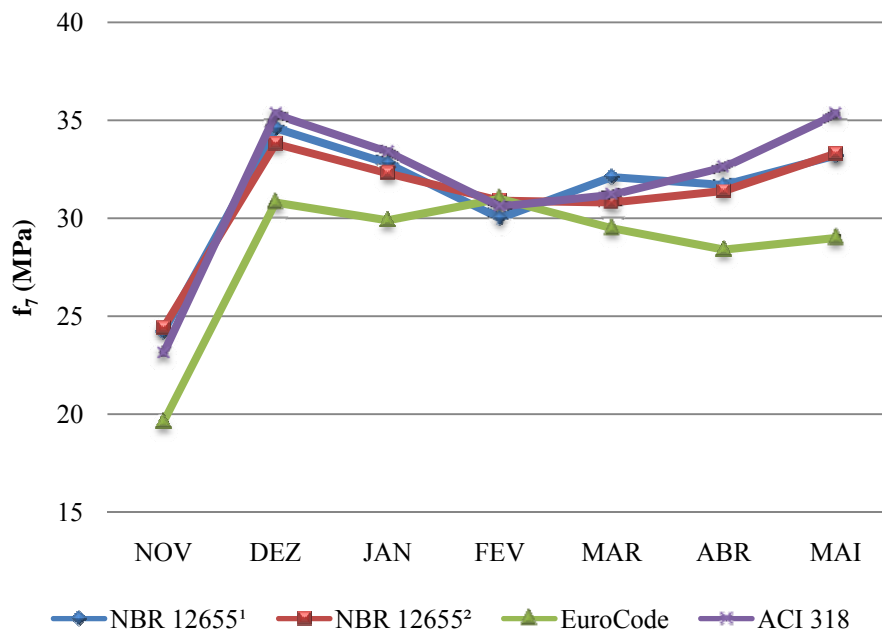
#### 5.2.4 Relação entre as resistências estimadas pelas distintas normas para o concreto com adição de sílica ativa

Os resumos das resistências à compressão estimadas pelas normas consideradas no presente trabalho para cada idade estão apresentados através dos gráficos a seguir. Percebe-se uma coerência entre os resultados encontrados para cada caso; com estimativas mais rigorosas para uma ou outra norma dependendo do mês (lote) considerado. Este fato pode ser atribuído, principalmente, à grande variação de desvio

padrão apresentada entre os casos e ao fato de alguns modelos considerarem o desvio padrão calculado e outros não.



**Figura 5.10** – Resistências estimadas em cada lote aos 3 dias segundo distintas normas



**Figura 5.11** – Resistências estimadas em cada lote aos 7 dias segundo distintas normas

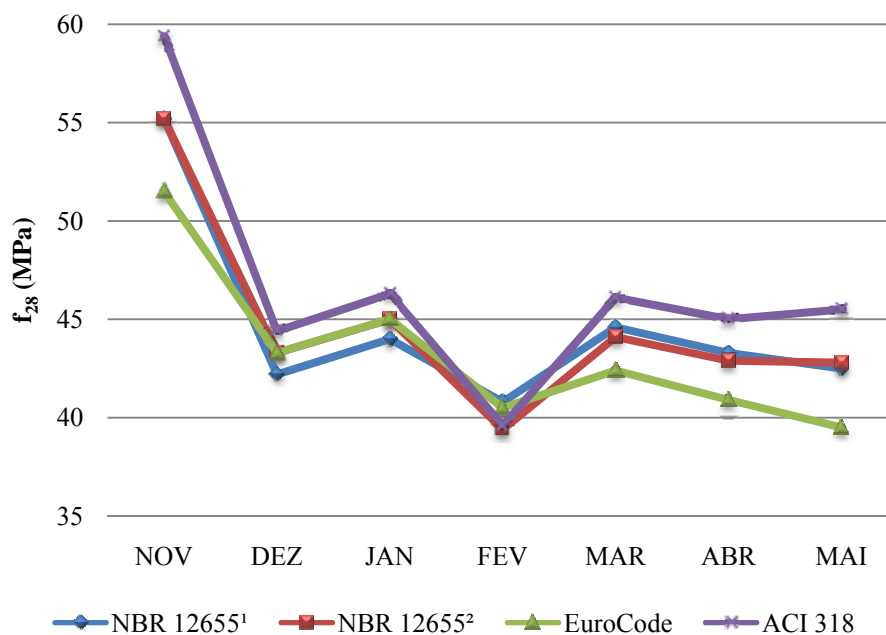


Figura 5.12 – Resistências estimadas em cada lote aos 28 dias segundo distintas normas

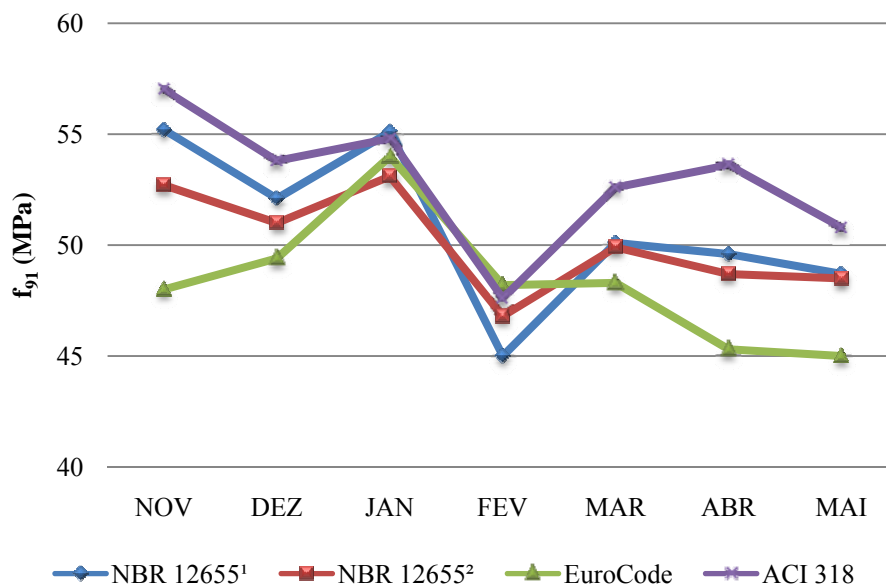


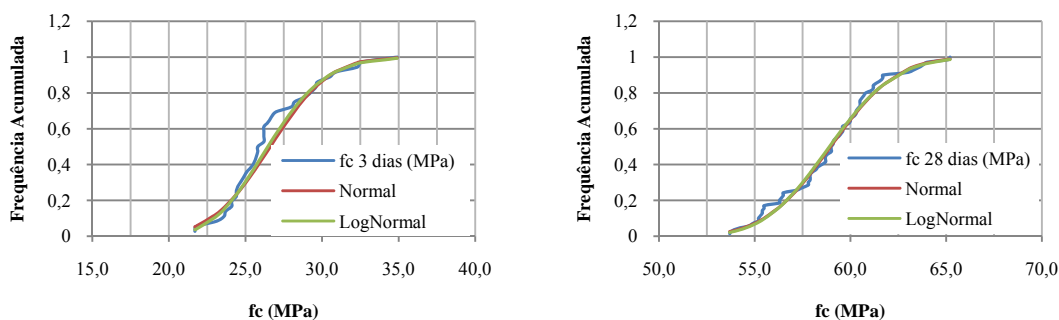
Figura 5.13 – Resistências estimadas em cada lote aos 91 dias segundo distintas normas

### 5.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA

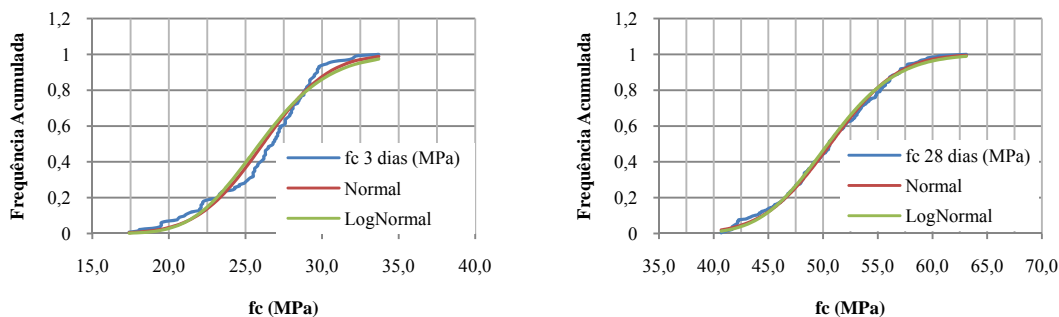
Os resultados das resistências à compressão do concreto aplicado na laje de fundo do dique seco no período considerado, serão utilizados para avaliar qual modelo de distribuição de probabilidade, Normal ou LogNormal, se adequa melhor aos valores ensaiados.

A avaliação dos modelos de distribuição de probabilidade das resistências do concreto é realizada para cada um dos sete lotes (meses) considerados neste trabalho. Para que se obtenha uma análise similar à utilizada no capítulo anterior, esta foi baseada nos resultados com 3 e 28 dias de idade.

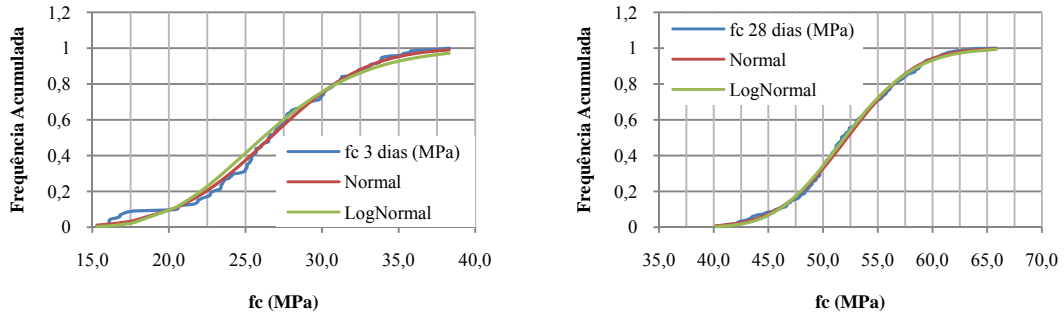
A visão gráfica da aderência dos modelos de distribuição é exposta, para cada caso, nas figuras a seguir.



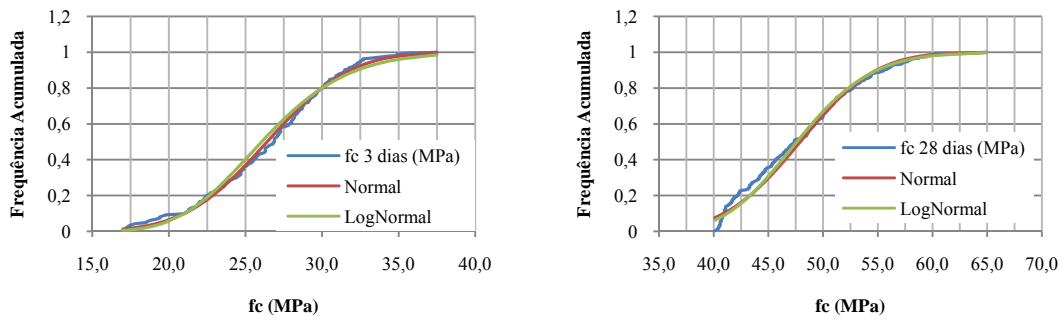
**Figura 5.14** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Novembro



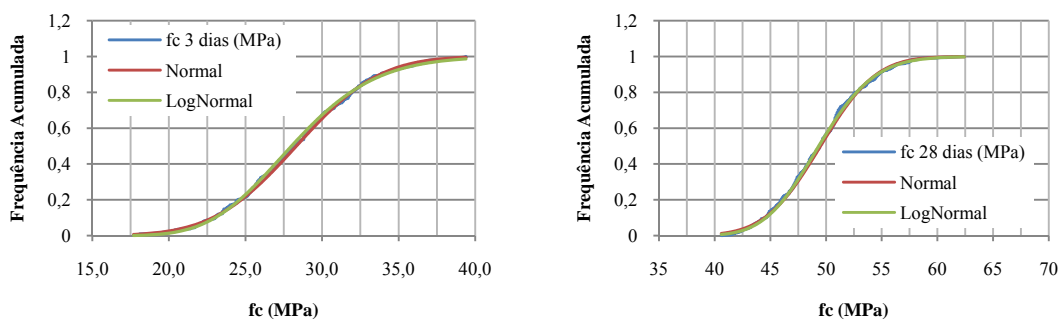
**Figura 5.15** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Dezembro



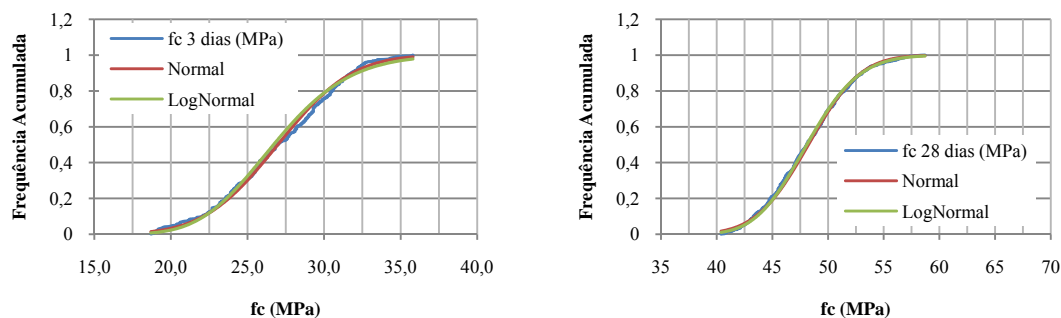
**Figura 5.16** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Janeiro



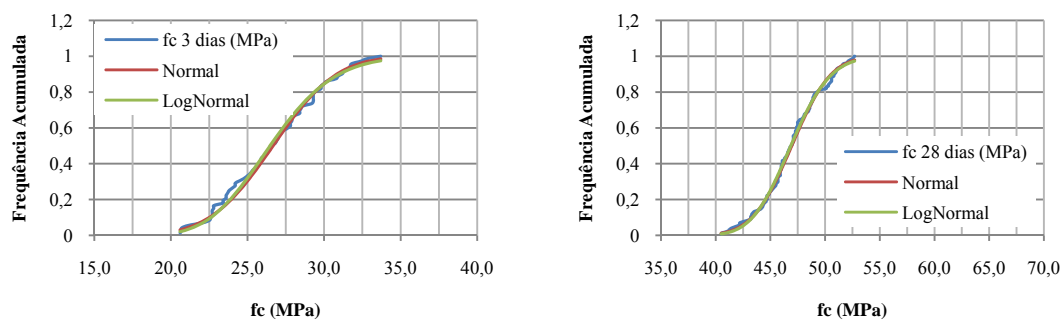
**Figura 5.17** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Fevereiro



**Figura 5.18** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Março



**Figura 5.19** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Abril



**Figura 5.20** – Resistência à compressão aos 3 e 28 dias e distribuições Normal e LogNormal para o concreto com adição de sílica ativa Lote / Mês Maio

Os modelos de distribuição de probabilidade são testados quanto à sua aderência aos resultados de resistência à compressão através dos testes de Kolmogorov-Smirnov. O nível de significância adotado para esta análise foi de 95 %.

Conforme exposto anteriormente, segundo os testes de Kolmogorov-Smirnov, um modelo teórico de ajuste de uma série de dados é considerado adequado quando a distância máxima entre os valores de distribuição de probabilidade acumulada dos dados experimentais e a curva considerada exata ( $D_{m\acute{a}x}$ ), for inferior a um valor de referência adotado. Neste caso, o modelo é considerado como satisfatório quando  $D_{m\acute{a}x} \leq D(p; n)$ , onde o “p” representa o nível de significância adotado e “n” representa o tamanho da amostra.

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, apresentando o processo decisório de qual o modelo de distribuição de probabilidade possui maior aderência aos valores de resistência à compressão.

**Tabela 5.9** – Resultados do teste de ajustamento de Kolmogorov-Smirnov

Lote / Mês	Idade (dias)	Diferença Máxima		Número de Ensaio (n)	$D(0,05;n)=\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	Decisão
		Normal	LogNormal			
NOV	3	0,1659	0,1463	36	0,2267	LogNormal
NOV	28	0,0715	0,0744	70	0,1626	Normal
DEZ	3	0,1055	0,1342	132	0,1184	Normal
DEZ	28	0,0350	0,6482	260	0,0843	Normal
JAN	3	0,0552	0,0959	132	0,1184	Normal
JAN	28	0,0448	0,0342	260	0,0843	LogNormal
FEV	3	0,0482	0,0782	164	0,1062	Normal
FEV	28	0,0727	0,0748	324	0,0756	Normal
MAR	3	0,0313	0,0363	438	0,0650	Normal
MAR	28	0,0423	0,0305	868	0,0462	LogNormal
ABR	3	0,0483	0,0638	434	0,0653	Normal
ABR	28	0,0359	0,0273	852	0,0466	LogNormal
MAI	3	0,0680	0,0590	72	0,1603	LogNormal
MAI	28	0,0555	0,0448	144	0,1133	LogNormal

Percebe-se, com base nos dados apresentados na Tabela 5.9, que o modelo de distribuição Normal apresentou ligeira vantagem em relação ao modelo LogNormal. Este resultado foi contrário ao encontrado nos lotes de concreto com o  $f_{ck} = 35$  MPa analisados no capítulo anterior. O estudo realizado por AZEVEDO e DINIZ (2008) também classificou a distribuição LogNormal como de melhor aderência aos valores de resistência do concreto.

Um fator importante a ser considerado é que o modelo de estudo apresentado por AZEVEDO e DINIZ (2008) utiliza concretos com resistências características à compressão,  $f_{ck}$ , iguais a 18 e 21 MPa, para concretos moldados *in loco* e pré-moldados, respectivamente. O concreto com adição de fibras, que apresentou resultados semelhantes, possuía  $f_{ck} = 35$  MPa.

Os resultados expostos na Tabela 5.9 com concreto de  $f_{ck} = 40$  MPa, fazem crer que a distribuição Normal de probabilidade possui resultados de aderência mais satisfatórios a medida que cresce a resistência do concreto analisado. Porém, os dados apresentados no presente trabalho são insuficientes para comprovar esta hipótese. Um estudo realizado com uma quantidade maior de resistências características poderia contribuir para a obtenção de conclusões mais satisfatórias sobre o caso.

#### **5.4 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA COM O TEMPO**

Conforme relatado anteriormente, o concreto possui diversos fatores que podem interferir de forma direta nas propriedades do mesmo. Erros de dosagem, pesagem, variações nos materiais componentes do concreto (MCC), são alguns problemas que podem levar a valores de resistência do concreto inferiores ao especificado em projeto.

Nestes casos, uma análise mais criteriosa deve ser realizada para manter a estrutura com os requisitos mínimos de segurança e durabilidade previstos no momento da elaboração do projeto estrutural da peça.

Uma nova verificação no projeto, considerando os valores obtidos nos ensaios torna-se fundamental para verificar se os coeficientes de segurança adotados durante o projeto são suficientes para manter com plena utilização a estrutura concretada.

Em muitas situações, são necessárias intervenções na peça concretada, através de reforços que visam garantir a segurança da estrutura e sua utilização nas condições previstas no momento do projeto. Outra solução utilizada é a redução das especificações de cargas na utilização da peça, ou seja, diminuir a especificação de capacidade da estrutura. Porém, esta solução é muito difícil de ser aceita pelo dono da obra cuja finalidade da construção foi prevista no princípio do projeto.

Neste ponto surge a importância de se ter conhecimento da variação das propriedades do concreto ao longo do tempo. Uma especificação de resistência à compressão que, por alguma variação no processo, não foi atingida na idade determinada, pode ter em um ensaio realizado em uma idade posterior uma garantia de



qualidade desejada. Em outras palavras, um concreto que não atingiu a especificação de resistência de projeto no ensaio de campo pode ser ensaiado com maior idade, considerando o esperado crescimento da resistência do concreto que ocorre a partir dos 28 dias.

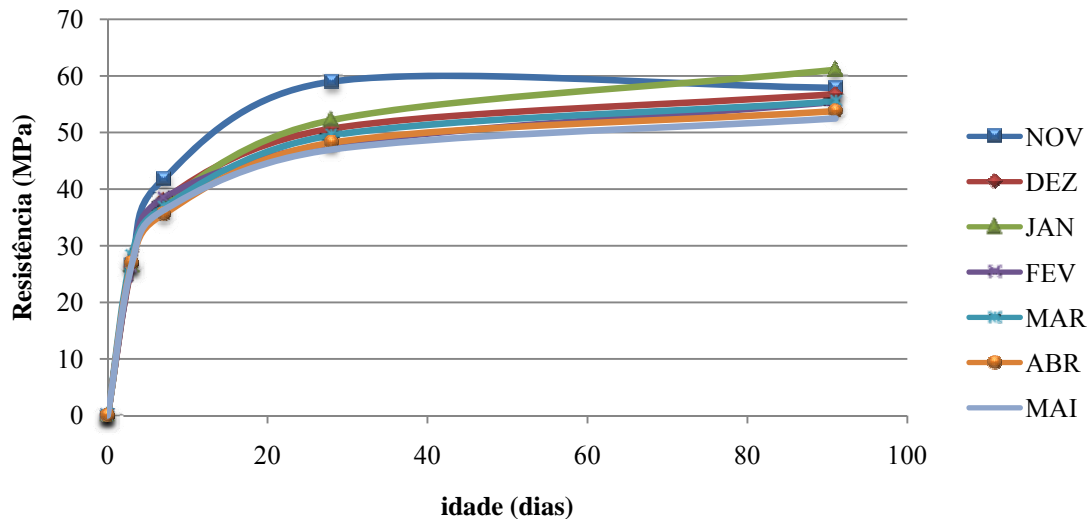
O esperado acréscimo de resistência à compressão do concreto com o aumento da idade do concreto é avaliado por diversas normas técnicas e pesquisadores; conforme discutido no capítulo anterior. Com base nos dados amostrais obtidos através dos ensaios do concreto com adição de sílica ativa da laje de fundo do dique seco, buscou-se estabelecer uma correlação entre a resistência à compressão do concreto e sua idade.

Durante os sete meses das concretagens estudadas neste trabalho, foram moldados e rompidos corpos de prova com idades de 3, 7, 28 e 91 dias. Desta forma, tem-se um número considerável de resultados capazes de gerar análises da variação da resistência a compressão do concreto com adição de sílica ativa.

**Tabela 5.10** – Número de elementos da amostra, resistência média e desvio padrão dos lotes aos 3, 7, 28 e 91 dias de idade (MPa)

MÊS	3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
	n	média	desvpad	n	média	desvpad	n	média	desvpad	n	média	desvpad
NOV	36	26,6	3,0	34	41,8	2,4	70	59,0	2,7	14	57,9	3,3
DEZ	132	26,1	3,3	128	38,1	3,1	260	50,7	4,8	48	56,8	3,8
JAN	132	26,6	5,0	128	37,2	3,5	260	52,2	5,0	48	61,1	5,3
FEV	164	26,4	4,2	160	38,4	5,0	324	47,9	5,4	50	55,4	5,8
MAR	438	28,3	4,3	428	36,8	4,1	868	49,5	3,9	144	55,5	3,9
ABR	434	27,0	3,8	413	35,6	3,1	852	48,2	3,7	160	53,8	4,9
MAI	72	26,7	3,2	72	36,3	2,3	144	47,0	2,8	28	52,5	3,2

Com base nos dados observados na tabela anterior, chega-se às curvas apresentadas na Figura 5.21, que representam a variação da resistência à compressão do concreto com o tempo.



**Figura 5.21** – Variação da resistência a compressão com o tempo para o concreto com sílica ativa

Através dos gráficos apresentados na Figura 5.21 pode-se perceber uma tendência comum entre os lotes considerados. Desta forma chega-se a uma correlação que permite determinar a resistência à compressão do concreto em uma dada idade.

$$f_c = 8,594 \cdot \ln(t) + 19,440 \text{ MPa} \quad (5.1)$$

Onde:

“t” representa a idade do concreto, expressa em dias.

A equação (5.1) permite estabelecer uma relação direta entre a resistência à compressão do concreto para uma idade considerada e a resistência aos 28 dias de idade que na maioria dos projetos é o valor tomado com referência. A tabela a seguir apresenta estas relações.

**Tabela 5.11** – Relação  $f_{cj}/f_{c28}$  determinada pelo modelo proposto para o concreto com sílica ativa

Especificações do Traço	Idade					
	1 dia	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias	3 meses
Cimento Portland CP-I, adição de sílica ativa, $f_{ck} = 40$ MPa, consumo de aglomerante = 400 $kg/m^3$	0,37	0,57	0,73	0,87	1,00	1,21

Os valores de relação  $f_{cj}/f_{c28}$  médios de resistência à compressão obtidos através dos ensaios no canteiro de obras estão estabelecidos na tabela a seguir. Pode-se observar que o modelo matemático proposto representa os resultados práticos de forma bastante similar para as idades inferiores aos 28 dias. Para idades superiores, no entanto, o modelo matemático apresenta previsões de resistência superiores ao determinado nos resultados de práticos para o concreto da laje de fundo do dique seco.

**Tabela 5.12** – Relação  $f_{cj}/f_{c28}$  média dos ensaios de canteiro determinada para o concreto com sílica ativa

Especificações do Traço	Idade			
	3 dias	7 dias	28 dias	3 meses
Cimento Portland CP-I, adição de sílica ativa, $f_{ck} = 40$ MPa, consumo de aglomerante = 400 $kg/m^3$	0,53	0,74	1,00	1,11

A norma brasileira NBR 7680 (ABNT, 1983) apresenta, por meio da Tabela 5.13, a seguir, uma estimativa dos coeficientes médios de crescimento da resistência à compressão do concreto com a idade. Com os dados analisados, oriundos do concreto da laje de fundo do dique, obteve-se a relação entre as resistências à compressão nas idades de ensaio usuais e a resistência aos 28 dias de idade. Devido à ausência de dados amostrais com idades superiores a 91 dias, não foi possível concluir acerca da validade do modelo proposto na equação (5.1) para idades superiores a três meses.

**Tabela 5.13** – Coeficiente médio de crescimento da resistência à compressão do concreto com a idade (ABNT, 1983)

Natureza do Cimento	Idade					
	≤ 7 dias	14 dias	28 dias	3 meses	1 ano	≥ 2 anos
Portland Comum (NBR 5732)	0,68	0,88	1,00	1,11	1,18	1,20
Alta Resistência Inicial (NBR 5733)	0,80	0,91	1,00	1,10	1,15	1,15
Alto Forno, Pozolânico (NBR 5735, 5736 e 5737)		0,71	1,00	1,40	1,59	1,67

Uma comparação entre os resultados amostrais da Tabela 5.12 e os valores prescritos pela ABNT da Tabela 5.13, mostra semelhança quando comparados os resultados para o Cimento Portland Comum, CP-I. Estes resultados possibilitam concluir sobre o comportamento do concreto com adição de sílica ativa, que apresenta valores muito próximos aos normalizados quando a propriedade medida é a relação entre  $f_c$  e o tempo nas primeiras idades do concreto.

## 6 CONCLUSÕES

A variação ocorrida nos ensaios das propriedades do concreto, sobretudo a resistência, faz com que a utilização de uma grande quantidade de dados amostrais seja extremamente útil para estabelecer parâmetros de aceitação das estruturas.

Atualmente, existem diversos modelos propostos para estabelecer o controle estatístico das estruturas de concreto. Esta diversidade de modelos adotados em cada região ou país é um reflexo da grande variabilidade que está relacionada à execução do concreto. Controles tecnológicos, metodologias de dosagem e características dos materiais são alguns dos fatores que fazem com que o concreto tenha peculiaridades relacionadas à região do planeta onde o mesmo é produzido.

Um bom controle tecnológico é fundamental para garantir à estrutura de concreto as condições de segurança estabelecidas no momento do projeto. Embora existam distintas metodologias para a aceitação destas estruturas, as mesmas devem refletir de forma adequada os resultados práticos estabelecidos em obra. Este trabalho aplicou diversos métodos de controle e aceitação de estruturas de concreto aos resultados práticos oriundos do concreto utilizado na execução da obra do dique seco do Estaleiro Rio Grande em construção na cidade de Rio Grande - RS.

A obra do Estaleiro Rio Grande é uma importante fonte de informações sobre a resistência e o comportamento do concreto visto que, na mesma, foi empregado desde o início um rigoroso sistema de controle de qualidade do concreto utilizado. Sendo assim, têm-se um grande número de resultados experimentais de medição de suas propriedades, que raramente estão disponíveis em obras portuárias brasileiras.

Os diversos fatores que influenciam a execução de um concreto de qualidade devem ser rigorosamente controlados durante uma obra para garantir uma estrutura resistente e

durável. As propriedades do concreto em seu estado fresco e após o endurecimento devem ser controladas de modo a se evitar problemas técnicos futuros.

Na atualidade, existem diversos tipos de concretos, cada tipo destinado a uma utilização distinta. Neste trabalho foram realizadas análises estatísticas com base nos dados amostrais de concretos com adição de fibras e  $f_{ck} = 35$  MPa e com adição de sílica ativa e  $f_{ck} = 40$  MPa.

A partir da análise de 1885 rompimentos de corpos de prova à compressão e 245 à tração na flexão, o presente trabalho determinou os parâmetros de aceitação dos lotes ensaiados da área de pré-edificação do estaleiro.

As metodologias apresentadas pelas normas brasileiras da ABNT foram analisadas e comparadas com os modelos norte-americano do ACI-COMMITTEE 318 e europeu do EuroCode 2. Foi evidenciado o fato de o modelo europeu apresentar estimativas de resistência característica inferiores aos demais para um mesmo lote analisado. Fato que, embora não possa ser conclusivo para classificar uma metodologia como mais rigorosa do que outra, pode refletir a qualidade do controle utilizado em cada uma das regiões, visto que estas tendem a serem reflexos da prática construtiva de determinado local. Foi evidenciado o fato de a norma norte-americana apresentar estimativas mais generosas para um mesmo lote analisado, quando comparado com as demais normas testadas. O modelo de previsão da ABNT apresentou valores de resistência estimada bem próximos aos do ACI-318. O modelo de estimativa europeu foi o que apresentou os menores valores de resistência estimada. Isso se deve ao fato de o EuroCode 2 estabelecer um desvio padrão fixo para a resistência à compressão do concreto da ordem de 4,85 MPa independente do desvio padrão determinado em canteiro. Os valores de desvio padrão obtidos na obra foram inferiores ao estabelecido no EuroCode 2. Foi realizada também, uma análise comparativa entre os modelos de aceitação do concreto definidos pela NBR 12655 (ABNT, 2006), para a amostragem total e amostragem parcial das amassadas de concreto. Desta forma foi determinado que o modelo de amostragem total estabelece valores maiores em grande parte dos lotes considerados. Contudo, foi constatado que os modelos de aceitação previstos pela NBR apresentam valores muito similares; fato que torna indiferente a escolha do critério adotado no momento da aceitação do lote.

Os modelos de distribuição de probabilidade Normal e LogNormal foram testados com os dados amostrais de modo a estabelecer qual possui maior aderência estatística

aos resultados de canteiro. A distribuição LogNormal mostrou-se mais adaptada aos valores de resistência à compressão do concreto com adição de fibras, embora o modelo Normal de distribuição também tenha se mostrado satisfatório através dos testes de Kolmogorov-Smirnov. Esta conclusão torna importante a realização de um estudo mais detalhado sobre o tema, visto que, atualmente, todas as normatizações brasileiras de concreto utilizam o modelo Normal em sua formulação.

A validação dos modelos de distribuição de probabilidade Normal e LogNormal foram testadas e mostraram-se adequadas para descrever o comportamento da variação da resistência à tração na flexão do concreto reforçado com fibras.

Foi definido para o concreto reforçado com fibras (CRF) objeto deste estudo, um modelo de correlação das resistências à compressão com o tempo, através do rompimento de CP's com 3, 7, 28, 56 e 91 dias de idade. Através desta correlação pode-se verificar uma grande compatibilidade entre esta e os modelos previstos na norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2007) e norte-americana ACI-318 para concreto simples. Desta forma, foi observado que os modelos de previsão de resistência à compressão do concreto simples com o tempo, quando aplicados ao concreto reforçado com fibras apresentam uma boa aderência com os resultados experimentais. Isso indica que os modelos para concreto simples podem ser aplicados para esse tipo de CRF, com o este nível de resistência e teor de fibras. Neste trabalho foi estabelecido também, um modelo para a evolução da resistência à tração na flexão do CRF em relação à idade do mesmo.

A correlação existente entre as resistências à tração e à compressão do concreto com adição de fibras foi determinada e comparada com os modelos previstos por pesquisadores e normas técnicas. Os resultados obtidos mostraram que os modelos de previsão das normas ACI-318, CEB 1990 e NBR 6118 estabelecidos para concretos simples, apresentaram uma boa correlação para o CRF, para este nível de resistência e teor de fibras.

A última análise realizada com base nos resultados de resistência à compressão do concreto reforçado com fibras foi a correlação entre os valores determinados com corpos de prova de dimensões 15 x 30 cm e 10 x 20 cm. Após a análise de um total de 360 rompimentos, foi identificado que os CP's de maior dimensão apresentaram valores de resistência cerca de 3 % superiores aos resultados obtidos com os de menor dimensão para concretos com resistência característica próxima a 35 MPa. Este fato

mostra a grande influência das fibras no momento da moldagem dos corpos de prova. Os CP's de maior dimensão apresentam maior facilidade de adensamento do CRF, determinando uma amostra de melhor qualidade e, portanto, de maior desempenho mecânico.

Para o concreto com adição de sílica ativa foi analisado um total de 6041 rompimentos à compressão de corpos de prova de 10 x 20 cm. Este concreto foi utilizado na execução da laje de fundo do dique seco do Estaleiro Rio Grande. Foram estabelecidos os parâmetros do concreto como desvio padrão, coeficiente de variação e resistência média para os rompimentos com 3, 7, 28 e 91 dias de idade.

Foi determinado o valor de  $f_{ck,est}$  para o concreto com adição de sílica ativa de acordo com as normas da ABNT, ACI-318 e EuroCode 2. Como o EuroCode 2 emprega um valor fixo para o desvio padrão, em torno de 4,85 MPa, normalmente foi esta norma que produziu o menor valor para a resistência estimada. Somente nos meses em que o desvio padrão foi superior a 4,85 MPa, o EuroCode 2 gerou valores para  $f_{ck,est}$  superiores aos das normas ABNT e do ACI. De um modo geral, os valores de resistência estimada determinados pelas normas da ABNT e do ACI apresentaram valores próximos entre si.

Foi estudado qual o tipo de distribuição de probabilidade melhor representava a variação das resistências à compressão do concreto. Foi constatada uma maior aderência da curva de distribuição Normal frente ao modelo LogNormal. É notável, no entanto, que para todos os lotes considerados os dois modelos apresentaram-se satisfatórios para representar os dados amostrais segundo os testes de Kolmogorov-Smirnov.

Estabeleceram-se, com os dados amostrais, modelos de previsão do incremento de resistência à compressão do concreto com adição de sílica ativa com o tempo. O modelo de previsão do aumento da resistência à compressão com o tempo da norma NBR 7680 (ABNT, 1983) apresentou um bom ajuste aos resultados dos ensaios da obra.

Finalmente, as análises estatísticas realizadas mostraram que tanto o concreto com adição de fibras, empregado na construção do piso industrial da área de pré-edificação do estaleiro, com  $f_{ck} = 35$  MPa, quanto o concreto com adição de sílica ativa, utilizado na laje de fundo do dique seco, com  $f_{ck} = 40$  MPa; atenderam aos requisitos de qualidade em relação à resistência prescritos pelas normas brasileiras.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI COMMITTEE 214. **Evolution of Strength Test Results of Concrete (ACI 214R-02)**. American Concrete Institute, 2002.
- ACI COMMITTEE 318. **Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-05)**. American Concrete Institute, 2005.
- ANG, A. H.; TANG, W. H. **Probability Concepts in Engineering Planning and Design – Basic Principles**. Vol 1, New York, John Wiley & Sons, 1975.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Amostragem de concreto fresco**. NBR NM 33. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco do cone**. NBR NM 67. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff**. NBR NM 68. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Determinação da Resistência a Compressão**. NBR 7215. Rio de Janeiro, 1996.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland Comum**. NBR 5732. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. NBR 5738. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de Compressão de corpos de prova cilíndricos**. NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto – Especificações**. NBR 7211. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de concreto dosado em central**. NBR 7212. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado**. NBR 7480. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto**. NBR 7680. Rio de Janeiro, 1983.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários - Requisitos e métodos de ensaios.** NBR 8890. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência.** NBR 8953. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova de argamassa e concreto.** NBR 9479. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos.** NBR 12142. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Controle tecnológico de materiais componentes do concreto.** NBR 12654. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento.** NBR 12655. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland - Especificação.** NBR 13956. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fibras de Aço para Concreto - Especificação.** NBR 15530. Rio de Janeiro, 2007.

- AZEVEDO, C. P. B.; DINIZ, S. M. C. **Estudo Probabilístico da Resistência a Compressão de Concretos Utilizados em Fundações**. In: 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Salvador – BA, 2008.
- BAUER, E.; KRAUSS, E.; MOTA, N. M. B.; COSTA, C. M. C.; PEREIRA, M. S. **Discussão da Variabilidade do Concreto e dos Estimadores da Resistência Característica – Estudo de Caso**. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Bento Gonçalves – RS, 2007.
- BEZERRA, A. C. da S. **Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concretos: Uma análise experimental e computacional**. Dissertação. UFMG, Belo Horizonte – MG, 2007.
- BHANJA, S.; SENGUPTA, B. **Investigations on the compressive strength of silica fume concrete using statistical methods**. Cement and Concrete Research, USA, March, 2002.
- CARMO, J. B. M.; PORTELLA, K. F.; VALDUGA, L. **Análise comparativa do desempenho de concretos com sílica ativa e metacaulim**. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Bento Gonçalves – RS, 2007.
- CERQUEIRA, F. C. **Controle Estatístico da Resistência a Compressão do Concreto**. Revista Tecnologia n° 21, p. 49-56, Fortaleza, dezembro, 2000.
- CHEN, S. **Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete Grounds Slabs**. Structures & Buildings, USA, April, 2004.
- CHOI, Y.; YUAN, R. L. **Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PRFC**. Cement and Concrete Research, USA, April, 2003.
- COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETON. **CEB-FIP Model Code 1990**. London, Thomas Telford, 1993.

- CUPERTINO, M. A. L.; CASTRO A. de; INÁCIO, J. J.; ANDRADE, M. A. S. **Avaliação de fatores de ensaio que interferem na resistência à compressão e na resistência à tração simples do concreto.** In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Bento Gonçalves – RS, 2007.
- DAL MOLIN, D. C. C.; OLIVEIRA, A.P. M.; KULAKOWISKI, M. P. **Estudos de Concretos com adição de sílica ativa (microssílica) frente ao ataque de agentes agressivos para emprego em piso especiais.** Porto Alegre. Disponível em <[www.allquimica.com.br](http://www.allquimica.com.br)>. Acesso em 12/10/2009.
- EUROCODE 2. **Design of Concrete Structures.** Bruxelas, 2002.
- FALCÃO BAUER, L. A. **Materiais de Construção.** Vol 1 e 2, São Paulo, LTC, 2000.
- FIGUEIREDO, A. D. de; **Concreto com Fibras de Aço.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, PCC-USP. Tese de Doutorado. São Paulo, 2000.
- FIGUEIREDO, A. D. de; FRANCO, B. L. M.; HIGA, L. H.; PAIVA, G. P.; SILVA, R. M. da; MONTE, R. **Metodologia de dosagem do concreto reforçado com fibras de aço para pavimentos.** In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Rio de Janeiro - RJ, 2006.
- FORMAGINI, S.; FAIRBAIRN, E. M. R.; TOLEDO FILHO, R. D. **Efeito escala em prismas de concreto de altíssimo desempenho reforçados com fibras submetidos à flexão.** In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Rio de Janeiro - RJ, 2006.
- FUSCO, P. B. **Estruturas de Concreto: Fundamentos estatísticos da segurança das estruturas.** São Paulo, McGraw-Hill, 1977.

- GAVA, G. P.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; SILVA JR, W. L. A. **Variabilidade do ensaio de flexão em vigas de concreto reforçado com fibras de aço.** In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Bento Gonçalves – RS, 2007.
- HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M. **Probabilidade e Estatística na Engenharia.** 4ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2006.
- HOLANDA, K. M. A.; PINHEIRO, L. M. **Desempenho estrutural de concretos reforçados com fibras.** In: 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Foz do Iguaçu – PR, 2001.
- ISAIA, G. C. **Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações.** Vol. 1 e 2. São Paulo, IBRACON, 2005.
- KATAOKA, L. T.; MARQUES, A. C.; HELENE, P.; BITTENCOURT, T. N. **Reavaliação das Resistências a Compressão e a Tração de Concretos com Diferentes Consistências e Relações a/c.** In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Bento Gonçalves – RS, 2007.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo, PINI, 1994.
- NEVES, R. D.; ALMEIDA, J. C. O. F. **Compressive behaviour of steel fibre reinforced concrete.** Structural Concrete n.1. Lisboa, Portugal, 2005.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Tradução Salvador E. Giamamusso, 2ª ed. São Paulo, PINI, 1997.
- NUNES, N. L.; **Potencialidades para a aplicação do concreto reforçado com fibras de aço em estruturas metroviárias.** In: Revista Técnica IPEP, v. 5. São Paulo – SP, 2005.

- RODRIGUES, P. P. F.; **A influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades do concreto para piso e pavimentos.** In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Belo Horizonte – MG, 2002.
- SILVA, E. F.; SILVA, M. R.; OLIVEIRA, M. O. F. **Resistências à tração por compressão diametral e por flexão de prismas em concretos de alto desempenho.** In: 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Foz do Iguaçu – PR, 2001.
- SOUSA, G. G. de; SIEWERT, L.; CIUPKA, V.; PRUDÊNCIO JR, L. R. **Análise da Variabilidade do Controle Tecnológico do Concreto Dosado em Centrais da Grande Florianópolis.** In: 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Salvador - BA, 2008.
- SOUZA, J. de; PEREIRA, L. A.; BIANCHINI, M. **Avaliação da influência de altas dosagens de aditivo polifuncional em concreto dosado em central. Estudo de Caso – Sul do Brasil.** In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., RIO DE JANEIRO - RJ, 2006.
- SOUZA, P. S. L.; DAL MOLIN, D. C. C. **Comportamento da Relação da Resistência a Compressão com a Resistência à Tração e com o Módulo de Elasticidade em Concreto com Metacaulim de Alta Reatividade, Proveniente de Rejeito Industrial.** In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Rio de Janeiro - RJ, 2006.
- VIEIRA, T. M.; VASCONSELOS, A. S.; LAGO, L. B.; BRANCO, V. H. L.; SOUZA, P. S. L. **Influência da Dimensão do Corpo de Prova de Concreto e da Forma de Capeamento, nos Resultados de Resistência à Compressão e Módulo de Elasticidade.** In: 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Salvador - BA, 2008.

## **ANEXOS**



**ANEXO A**

**DADOS REFERENTES AO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS**

**( $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ )**

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão			
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm	CP 15 x 15 x 50 cm		
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	28 dias	56 dias
1	80	15/04/2009	35	24,5 23,1		43,5 42,0	46,8 47,3	48,5 48,9		5,2 4,8	5,3 5,1	5,5 5,6
2	90	15/04/2009	35		30,1 32,2	39,6 38,2						
3	75	15/04/2009	35	21,4 23,8		42,9 43,0						
4	90	15/04/2009	35		33,4 35,5	42,8 43,6	44,7 45,7	46,3 47,2		4,8 5,0	5,1 5,1	5,4 5,4
5	85	15/04/2009	35	20,9 21,1		42,9 44,5						
6	75	15/04/2009	35		37,8 35,6	48,7 47,2						
7	90	15/04/2009	35	25,0 23,7		44,4 46,0	48,3 49,1	50,2 51,1		5,1 5,0	5,3 5,3	5,3 5,6
8	85	15/04/2009	35		38,2 32,3	44,7 43,8						
9	90	15/04/2009	35	22,4 21,2		39,5 41,2						
10	90	15/04/2009	35		33,0 34,1	40,2 39,2	42,0 42,9	43,4 46,0				
11	85	15/04/2009	35	23,9 21,1		42,5 43,4						
12	80	15/04/2009	35		36,0 37,1	43,9 44,5						
13	85	15/04/2009	35	20,0 21,3		41,8 39,5	44,3 44,8	46,9 45,8				
14	90	15/04/2009	35		30,6 29,3	41,3 39,9						
15	90	15/04/2009	35	16,8 18,6		39,2 37,0						
16	80	15/04/2009	35		32,0 29,7	39,2 38,4	39,8 40,9	43,7 42,1				
17	90	15/04/2009	35	21,8 21,5		41,1 39,6						
18	85	15/04/2009	35		34,4 36,2	38,7 39,7						
19	90	15/04/2009	35	25,4 23,1		42,0 43,6	46,7 47,2	51,5 50,1				
20	90	15/04/2009	35		35,5 36,9	42,4 40,2						
21	90	15/04/2009	35	22,1 22,9		45,7 44,5						
22	90	15/04/2009	35		33,6 31,7	39,3 39,6						
23	90	16/04/2009	35	21,9 22,0		43,0 43,4	44,6 45,6	49,0 46,9		4,9 4,8	5,1 4,9	
24	85	16/04/2009	35		32,5 30,4	41,3 39,7						
25	85	16/04/2009	35	23,5 24,1		45,9 45,6						
26	90	16/04/2009	35		30,0 31,7	44,6 42,3	48,7 46,7	49,3 50,5		5,0 4,2		5,0 5,2
27	90	16/04/2009	35	22,3 21,7		41,9 40,5						
28	85	16/04/2009	35		33,7 34,5	44,4 44,7						
29	80	16/04/2009	35	23,0 22,7		46,6 45,6	47,1 46,9	49,6 50,9		4,7 4,6	4,8 4,8	
30	80	16/04/2009	35		34,7 35,0	47,5 46,8						
31	85	16/04/2009	35	23,0 22,6		47,3 47,3						

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão			
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm 28 dias	CP 15 x 15 x 50 cm		
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	56 dias	91 dias
32	80	16/04/2009	35		33,9	49,4	49,3	54,6			4,9	5,8
					34,5	47,2	49,5	51,6			5,1	5,7
33	80	16/04/2009	35	22,8		48,2						
				23,3		46,6						
34	75	16/04/2009	35		36,3	47,9						
					34,4	48,2						
35	80	16/04/2009	35	22,0		46,7	47,3	49,3				
				21,7		44,3	48,2	50,6				
36	85	16/04/2009	35		33,4	48,2						
					35,8	47,2						
37	90	16/04/2009	35	22,8		45,4						
				23,8		46,0						
38	85	16/04/2009	35		37,6	45,6	47,2	52,5				
					34,5	46,6	47,6	53,7				
39	85	16/04/2009	35	21,6		48,1						
				21,2		48,4						
40	75	16/04/2009	35		33,2	45,3						
					31,7	46,7						
41	75	16/04/2009	35	24,0		43,5	47,4	51,0				
				22,7		45,9	46,8	52,6				
42	90	16/04/2009	35		32,6	45,1						
					33,2	44,6						
43	80	16/04/2009	35	22,8		42,8						
				22,3		41,5						
44	90	16/04/2009	35		29,0	42,8	45,3	50,8				
					27,5	40,2	44,4	48,4				
45	80	17/04/2009	35	22,8		44,2	44,7	50,7		4,5	4,6	
				21,8		41,5	45,8	51,0		4,5	4,5	
46	90	17/04/2009	35		28,0	39,0						
					29,3	38,1						
47	90	17/04/2009	35	21,7		38,4						
				20,4		40,9						
48	80	17/04/2009	35		32,0	41,8	44,3	47,2		4,6	5,5	
					34,4	39,5	45,7	48,8		4,6	5,6	
49	85	17/04/2009	35	16,2		38,4						
				16,9		35,5						
50	80	17/04/2009	35		29,8	41,6						
					30,7	42,1						
51	80	17/04/2009	35	15,8		37,0	40,8	47,2		4,5	4,9	
				14,6		36,2	41,5	48,6		4,6	4,9	
52	90	17/04/2009	35		29,5	38,0						
					28,6	40,2						
53	85	17/04/2009	35	15,6		38,1						
				13,7		38,2						
54	90	17/04/2009	35		28,0	36,7	39,9	44,9		4,3	5,4	
					30,5	37,0	40,7	43,5		4,6	5,1	
55	80	17/04/2009	35	13,7		38,9						
				13,0		38,5						
56	80	17/04/2009	35		26,2	38,2						
					26,8	36,2						
57	85	17/04/2009	35	14,6		40,0	45,0	49,9				
				15,8		42,1	43,5	48,5				
58	85	17/04/2009	35		30,0	36,7						
					30,2	38,3						
59	85	17/04/2009	35	13,1		40,2						
				14,0		40,5						
60	90	17/04/2009	35		28,9	37,7	42,6	47,2				
					29,3	35,7	40,7	46,9				
61	90	17/04/2009	35	13,7		38,3						
				15,5		40,8						
62	80	17/04/2009	35		27,8	41,7						
					29,6	40,6						
63	85	17/04/2009	35	14,2		37,4	43,1	48,5				
				14,2		39,7	43,5	50,1				

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão				
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm	CP 15 x 15 x 50 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	28 dias	56 dias	91 dias
64	90	17/04/2009	35		27,7	36,4							
					29,4	37,9							
65	85	17/04/2009	35	16,8		37,0							
				15,2		38,3							
66	90	17/04/2009	35		27,3	38,0	40,2	45,9					
					27,2	36,7	39,5	45,5					
67	85	18/04/2009	35	26,5		41,8	44,8	58,7	41,5	4,7	4,9	5,3	
				25,4		40,0	45,5	59,4	42,2	4,7			
68	85	18/04/2009	35		35,9	44,7			45,5				
					38,0	44,1			44,5				
69	80	18/04/2009	35	22,1		42,6			42,5				
				23,2		40,7			41,4				
70	80	18/04/2009	35		36,3	46,1	47,3	57,7	46,0	4,5	4,9	6,0	
					38,2	45,6	48,5	54,8	46,6	4,5			
71	90	18/04/2009	35	23,4		41,3			41,7				
				21,5		39,9			40,4				
72	75	18/04/2009	35		34,7	41,7			44,2				
					36,2	43,4			43,7				
73	90	18/04/2009	35	22,5		43,7	46,1	50,9	44,5	4,3	4,5	5,1	
				23,4		44,5	46,8	53,4	44,0	4,3			
74	90	18/04/2009	35		35,3	39,9			42,3				
					32,6	41,6			40,9				
75	85	18/04/2009	35	20,3		41,6			43,0				
				21,4		43,4			42,2				
76	80	18/04/2009	35		32,5	43,2	43,8	47,2	44,2	4,7	4,6	5,0	
					33,6	41,1	44,7	48,8	43,1	4,4			
77	80	18/04/2009	35	19,9		35,3			37,1				
				18,2		35,8			36,6				
78	90	18/04/2009	35		26,9	37,0			40,6				
					24,3	39,4			38,5				
79	90	18/04/2009	35	21,4		41,8	44,1	48,0	40,4	4,4	4,6	5,0	
				20,0		42,2	43,6	46,9	42,0	4,4			
80	80	18/04/2009	35		36,9	44,8			45,5				
					35,4	44,1			43,8				
81	85	18/04/2009	35	18,7		41,6			42,8				
				19,5		39,8			41,7				
82	80	18/04/2009	35		31,1	36,6	39,9	44,6	36,9				
					33,1	37,0	41,0	43,9	35,8				
83	90	18/04/2009	35	15,3		36,6			37,4				
				13,8		35,2			39,1				
84	80	18/04/2009	35		30,1	35,7			36,0				
					30,6	35,2			36,2				
85	90	18/04/2009	35	17,8		35,4	38,2	49,5					
				18,8		35,8	39,3	47,4					
86	90	18/04/2009	35		31,3	36,4							
					31,1	38,2							
87	85	18/04/2009	35	19,8		40,3							
				17,6		35,9							
88	85	18/04/2009	35		28,6	38,7	40,9	50,3					
					25,9	36,6	42,5	48,6					
89	80	18/04/2009	35	17,5		39,5							
				18,4		39,0							
90	90	21/04/2009	35	21,0		35,1		50,2		4,8	4,7	5,4	
				18,9		35,7		48,6		4,6			
91	85	21/04/2009	35		35,8	45,4							
					35,0	46,0							
92	90	21/04/2009	35	21,9		37,7							
				20,7		40,3							
93	90	21/04/2009	35		35,1	45,3	49,1	50,3		4,9	4,9	5,3	
					35,7	45,2	48,1	49,7		4,9			
94	90	21/04/2009	35	19,9		42,1							
				17,9		40,7							



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão				
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm 28 dias	CP 15 x 15 x 50 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	56 dias	91 dias	
95	90	21/04/2009	35		36,7 33,6	44,1 42,1							
96	90	21/04/2009	35	21,7 23,6		39,8 42,0	45,3 46,0	50,2 50,6			5,0 4,8	5,0	5,4
97	90	21/04/2009	35		33,3 34,6	40,7 43,2							
98	90	21/04/2009	35	20,3 22,9		37,8 39,6							
99	90	21/04/2009	35		33,5 35,6	41,7 42,1	45,7 46,7	50,8 50,8					
100	90	21/04/2009	35	22,0 24,0		45,9 45,6							
101	90	21/04/2009	35		35,8 38,1	45,6 43,4							
102	80	21/04/2009	35	21,6 20,4		42,7 44,3	47,5 47,3	51,4 51,0					
103	90	21/04/2009	35		37,0 34,8	46,5 48,5							
104	80	21/04/2009	35	25,7 25,0		47,4 44,6							
105	80	21/04/2009	35		37,1 38,2	49,4 49,8	51,2 51,9	54,2 52,5					
106	80	21/04/2009	35	22,3 22,8		45,2 46,8							
107	90	21/04/2009	35		32,0 33,1	44,7 42,9							
108	95	21/04/2009	35	21,8 22,9		47,4 49,8	52,8 51,2	54,6 54,4					
109	80	21/04/2009	35		34,6 36,9	46,5 48,3							
110	90	21/04/2009	35	22,6 20,5		47,1 50,1							
111	85	21/04/2009	35		36,4 37,1	48,5 51,9	52,3 52,1	54,3 54,0					
112	85	21/04/2009	35	23,0 22,2		44,1 46,7							
113	90	21/04/2009	35		28,7 29,6	36,7 38,9							
114	85	21/04/2009	35	21,9 24,5		49,2 50,5	52,4 53,4	54,5 55,6			4,7 4,7	4,7	5,8
115	80	21/04/2009	35		35,3 33,1	46,6 45,2							
116	90	21/04/2009	35	20,6 22,7		45,4 47,8							
117	80	21/04/2009	35		34,0 34,4	44,9 46,0	47,2 48,6	50,1 50,8					
118	85	21/04/2009	35	20,9 19,1		43,9 45,6							
119	90	21/04/2009	35		27,3 28,0	36,6 37,1							
120	85	21/04/2009	35	18,5 19,1		42,1 40,1	43,9 44,1	48,7 48,5					
121	90	21/04/2009	35		30,4 30,9	38,9 39,6							
122	85	21/04/2009	35	25,5 25,1		48,4 47,3							
123	90	21/04/2009	35		28,9 29,3	36,6 37,9	39,5 41,5	42,1 42,5			4,6 4,9	5,1	5,1
124	80	21/04/2009	35	19,2 19,5		39,2 37,2							
125	80	21/04/2009	35		30,4 30,9	42,4 41,4							
126	85	21/04/2009	35	21,0 20,6		44,7 46,0	48,3 47,0	49,0 50,6					

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão				
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm	CP 15 x 15 x 50 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	56 dias	91 dias	
127	80	21/04/2009	35		29,6	39,7							
					32,7	41,3							
128	80	21/04/2009	35	19,6		41,3							
				18,8		41,8							
129	85	21/04/2009	35		34,4	44,9	47,8	50,0					
					34,7	44,3	48,5	51,6					
130	85	21/04/2009	35	19,3		42,8							
				18,1		41,7							
131	85	21/04/2009	35		30,6	37,2							
					29,6	39,2							
132	80	22/04/2009	35	24,5		44,7	46,0	53,2	44,4	4,8	5,0	5,4	
				25,4		44,3	47,9	51,9	44,0	4,6			
133	80	22/04/2009	35		37,0	44,3			44,7				
					34,6	44,8			42,9				
134	90	22/04/2009	35	17,5		40,6			40,3				
				19,3		39,0			41,1				
135	80	22/04/2009	35		31,5	43,4	47,6	54,4	45,1	4,6	4,9	5,3	
					31,8	44,7	48,6	51,0	43,6	4,6			
136	85	22/04/2009	35	18,3		41,4			40,7				
				20,3		40,1			41,9				
137	90	22/04/2009	35		30,9	44,3			46,9				
					31,5	42,9			44,8				
138	80	22/04/2009	35	17,6		41,9	44,2	46,3	43,8	4,3	5,0	5,1	
				17,1		40,5	45,9	48,1	43,1	4,6			
139	90	22/04/2009	35		30,0	40,6			41,1				
					30,5	40,9			40,2				
140	80	22/04/2009	35	15,6		40,6			45,2				
				17,7		40,4			45,7				
141	85	22/04/2009	35		32,1	48,2	49,2	51,0	49,8	5,2	5,4	5,8	
					31,4	46,0	49,5	49,7	50,2	5,1			
142	80	22/04/2009	35	17,7		40,6			42,2				
				17,9		39,1			40,8				
143	90	22/04/2009	35		31,7	41,2			40,3				
					30,2	42,9			40,9				
144	85	22/04/2009	35	15,6		42,3	44,5	47,1	44,1	4,6	4,8	5,0	
				17,1		40,4	45,1	49,6	43,0	4,5			
145	85	22/04/2009	35		28,5	41,3			40,4				
					29,5	41,2			42,6				
146	85	22/04/2009	35	20,9		40,4			43,6				
				18,6		42,0			43,1				
147	90	22/04/2009	35		29,7	38,5	42,2	46,2	38,1				
					27,3	39,7	41,7	47,5	38,5				
148	90	22/04/2009	35	16,0		37,8			40,5				
				14,8		39,2			39,4				
149	90	22/04/2009	35		29,1	39,6			42,4				
					30,5	40,9			40,5				
150	90	22/04/2009	35	16,6		40,5	42,2	45,3					
				17,8		37,7	43,0	48,1					
151	90	22/04/2009	35		29,5	41,9							
					32,2	40,6							
152	90	22/04/2009	35	19,0		41,9							
				19,3		42,2							
153	80	24/04/2009	35	24,5		41,2	43,9	46,3		4,2	5,2	5,8	
				23,9		42,2	45,6	49,1		3,9			
154	85	24/04/2009	35		41,0	47,5							
					41,9	46,0							
155	85	24/04/2009	35	25,8		41,3							
				25,2		43,3							
156	70	24/04/2009	35		40,2	48,8	52,5	59,2		4,7	5,1	5,4	
					40,0	46,8	50,9	56,9		4,5			
157	90	24/04/2009	35	27,6		41,4							
				29,5		39,6							

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão				
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm	CP 15 x 15 x 50 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	28 dias	56 dias	91 dias
158	90	24/04/2009	35		31,8	38,4							
					31,5	37,9							
159	70	24/04/2009	35	24,6		42,5	46,9	47,3		4,2	5,2	5,5	
				24,5		44,5	47,2	50,6		4,1			
160	90	24/04/2009	35		34,9	42,8							
					34,8	41,1							
161	90	24/04/2009	35	24,2		41,9							
				23,9		42,0							
162	90	24/04/2009	35		36,0	46,9	49,3	58,4		4,7	5,4	5,7	
					37,9	44,7	50,5	56,5		4,9			
163	85	24/04/2009	35	25,8		41,7							
				26,8		43,3							
164	85	24/04/2009	35		38,7	45,3							
					37,4	44,5							
165	90	24/04/2009	35	26,5		45,8	49,5	50,1		4,7	5,1	5,5	
				26,1		43,4	50,0	53,0		4,6			
166	85	24/04/2009	35		35,5	41,1							
					36,9	43,3							
167	80	24/04/2009	35	20,6		41,6							
				19,9		43,1							
168	75	24/04/2009	35		38,4	46,8	48,1	58,5					
					39,5	44,3	49,4	57,1					
169	85	24/04/2009	35	24,7		45,6							
				24,5		42,7							
170	90	24/04/2009	35		32,6	40,8							
					32,4	42,5							
171	90	24/04/2009	35	25,0		35,9	41,7	43,1					
				25,9		39,8	43,0	45,0					
172	80	24/04/2009	35		39,4	44,3							
					39,8	43,7							
173	90	24/04/2009	35	23,2		44,1							
				25,0									
174	90	27/04/2009	35	21,8		35,8	38,9	42,5					
				20,1		37,8	40,5	44,4					
175	90	27/04/2009	35		34,7	40,6							
					33,4	41,8							
176	85	27/04/2009	35	23,8		40,7							
				25,5		39,4							
177	90	27/04/2009	35		32,2	38,4	41,9	43,7					
					31,4	40,5	41,7	42,8					
178	85	27/04/2009	35	22,7		37,7							
				23,9		38,6							
179	90	27/04/2009	35		29,9	37,5							
					28,6	35,8							
180	90	27/04/2009	35	22,3		37,6							
				24,3		39,4							
181	90	27/04/2009	35		33,7	39,1	43,6	53,9		4,3	4,5	5,1	
					34,0	40,9	42,8	54,3		4,4			
182	90	27/04/2009	35	24,8		42,3							
				24,3		40,5							
183	90	27/04/2009	35		33,5	42,8							
					33,8	40,5							
184	90	27/04/2009	35	25,7		41,3	44,5	51,2		4,4	4,5	5,0	
				24,1		42,2	43,4	50,5		4,4			
185	85	27/04/2009	35		35,8	44,0							
					34,7	44,0							
186	90	27/04/2009	35	25,6		43,8							
				23,6		42,8							
187	90	27/04/2009	35		33,0	38,0	43,2	44,1		4,3	4,5	4,9	
					32,1	39,6	41,9	52,6		4,0			
188	90	27/04/2009	35	23,3		38,6							
				25,2		38,5							



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão				
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm	CP 15 x 15 x 50 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	56 dias	91 dias	
189	85	27/04/2009	35		31,8	37,4							
					32,3	37,0							
190	85	27/04/2009	35	24,2		35,4	39,2	57,4		4,5	4,8	5,2	
				25,2		36,8	39,6	57,1		4,4			
191	90	27/04/2009	35		32,5	46,6							
					30,8	48,0							
192	90	27/04/2009	35	20,4		43,6							
				19,6		44,3							
193	85	27/04/2009	35		31,7	42,9	44,8	45,7					
					32,6	41,9	44,0	46,2					
194	80	27/04/2009	35	23,3		47,3				4,5	5,1	5,4	
				22,8		48,2				4,5			
195	85	28/04/2009	35	21,3		36,4	39,9	42,9	36,7	4,6	4,8	5,4	
				20,9		35,0	40,7	45,4	36,8	4,5			
196	90	28/04/2009	35		32,9	37,8			38,1				
					30,7	36,7			37,5				
197	90	28/04/2009	35	24,1		43,5			42,6				
				24,0		44,0			43,5				
198	85	28/04/2009	35		30,7	40,6	43,4	45,8	41,9	4,6	4,7	5,4	
					29,3	41,1	44,3	46,8	41,4	4,5			
199	85	28/04/2009	35	22,5		39,7			39,4				
				22,2		40,1			39,9				
200	90	28/04/2009	35		28,3	37,3			37,6				
					29,8	34,7			37,9				
201	90	28/04/2009	35	19,9		35,1	38,1	41,3	37,8	4,2	4,9	5,4	
				20,7		36,7	38,5	39,5	37,4	4,5			
202	90	28/04/2009	35		31,9	41,9			41,7				
					32,5	41,7			41,3				
203	90	28/04/2009	35	19,4		37,7			37,3				
				19,9		39,3			38,0				
204	90	28/04/2009	35		32,7	42,7	43,4	46,8	40,6	4,5	4,6	5,2	
					29,8	39,4	44,2	45,4	39,6	4,4			
205	90	28/04/2009	35	19,6		37,1			37,9				
				19,2		39,8			38,2				
206	85	28/04/2009	35		31,0	39,0			41,4				
					31,8	40,5			40,7				
207	80	28/04/2009	35	19,9		40,9	43,3	46,0	39,8	4,3	4,7	5,4	
				20,7		42,7	44,0	45,0	40,4	4,7			
208	80	28/04/2009	35		29,5	35,7			36,2				
					30,6	35,3			36,5				
209	80	28/04/2009	35		29,1	36,4			37,9				
					30,3	37,0			38,1				
210	80	28/04/2009	35	25,9		36,3	38,5	40,7	38,3				
				23,8		38,1	38,5	41,4	38,7				
211	85	28/04/2009	35		27,7	35,2			37,4				
					28,7	37,9			37,8				
212	85	28/04/2009	35	20,1		40,5			42,8				
				19,9		42,4			42,1				
213	80	28/04/2009	35		31,5	39,3	40,8	43,5					
					29,8	36,7	42,5	44,9					
214	90	28/04/2009	35	19,7		38,7							
				18,2		37,3							
215	80	28/04/2009	35		29,5	38,2							
					28,3	36,2							
216	90	29/04/2009	35	14,8		46,6	47,6	51,5		4,4	4,8	5,5	
				15,4		44,8	48,2	51,5		4,4			
217	90	29/04/2009	35		24,0	43,3							
					25,2	44,1							
218	80	29/04/2009	35	16,5		44,7							
				18,5		44,5							
219	90	29/04/2009	35		31,1	49,4	51,7	54,2		4,7	4,8	5,3	
					32,6	49,8	50,7	51,8		4,5			



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão				
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm	CP 15 x 15 x 50 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	28 dias	56 dias	91 dias
220	85	29/04/2009	35	18,1 16,1		50,8 50,2							
221	80	29/04/2009	35		33,1 34,5	51,8 52,3							
222	85	29/04/2009	35	12,8 14,0		48,7 49,1	50,9 49,8	51,1 51,4		4,3 4,4	4,5	4,9	
223	90	29/04/2009	35		26,5 24,2	49,8 49,2							
224	90	29/04/2009	35	13,1 12,7		54,4 53,4							
225	90	29/04/2009	35		27,8 29,1	50,9 51,4	52,5 53,2	54,3 54,2		4,8 4,6	4,8	5,2	
226	85	29/04/2009	35	13,5 13,8		44,9 44,0							
227	90	29/04/2009	35		29,8 28,9	46,6 47,1							
228	90	29/04/2009	35	13,7 14,0		42,6 43,3	44,7 45,9	47,2 48,0		4,4 4,5	4,7	5,3	
229	85	29/04/2009	35		31,5 33,3	46,8 47,5							
230	90	29/04/2009	35	13,4 13,2		39,5 40,5							
231	90	29/04/2009	35		27,4 26,9	49,6 50,0	50,7 50,9	52,5 52,2					
232	80	29/04/2009	35	14,1 15,2		48,0 48,6							
233	90	29/04/2009	35		26,9 26,6	40,8 41,7							
234	80	29/04/2009	35	12,7 14,1		44,2 43,2	44,6 45,6	47,8 49,1					
235	80	29/04/2009	35		23,6 25,0	43,9 44,6							
236	85	29/04/2009	35	16,6 14,9		45,8 45,6							
237	70	30/04/2009	35	20,4 19,7		55,5 54,6	56,1 57,2	59,0 60,0	36,1 36,6	4,6 4,8	5,0	5,5	
238	75	30/04/2009	35		35,2 34,3	53,0 52,7			35,2 36,4				
239	85	30/04/2009	35	17,7 18,2		53,7 53,0			38,3 38,4				
240	85	30/04/2009	35		33,5 32,8	50,5 51,1	52,0 53,0	55,1 56,8	35,3 35,7	4,7 4,7	4,8	5,2	
241	90	30/04/2009	35	17,9 16,7		52,5 52,1			38,7 38,9				
242	85	30/04/2009	35		33,2 33,0	53,2 53,2			38,6 38,6				
243	80	30/04/2009	35	16,4 15,8		49,8 50,9	52,3 53,1	56,1 55,8	42,0 41,7				
244	80	30/04/2009	35		33,4 33,1	49,9 50,1			40,3 39,9				
245	85	30/04/2009	35	16,9 17,6		47,4 48,6			37,1 37,4				
246	75	30/04/2009	35		29,4 31,8	51,4 52,2	54,4 55,8	56,3 57,4	38,6 38,7	4,7 4,6	5,1	5,1	
247	75	30/04/2009	35	18,3 17,8		53,6 53,3			36,9 36,3				
248	80	30/04/2009	35		34,5 33,4	55,7 54,6			41,1 40,6				
249	90	30/04/2009	35	16,8 16,6		50,0 49,4	51,9 52,9	53,5 55,8	40,3 40,0	4,7 4,8	5,0	5,4	
250	85	30/04/2009	35		33,6 33,0	52,4 52,0			37,8 37,8				

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão				
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm	CP 15 x 15 x 50 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	28 dias	28 dias	56 dias	91 dias	
251	80	30/04/2009	35	17,4 16,4		53,1 51,1				44,6 43,7			
252	90	30/04/2009	35		32,7 34,3	52,5 51,2	53,3 53,3	54,6 55,2		37,1 37,3	4,6 4,9	4,9	5,4
253	85	30/04/2009	35	15,7 15,5		49,0 49,6				37,0 36,3			
254	90	30/04/2009	35		32,3 30,3	48,8 49,4				41,0 40,8			
255	85	30/04/2009	35	15,4 16,1		50,3 51,1	52,3 53,2	55,1 55,5					
256	80	30/04/2009	35		34,7 33,2	52,7 53,1							
257	90	30/04/2009	35	16,6 16,8		50,1 49,4							
258	85	05/05/2009	35	23,9 22,5		43,4 43,6	45,7 46,0	48,5 49,1			4,8 4,7	4,8	5,3
259	85	05/05/2009	35		32,5 33,2	40,2 40,4							
260	85	05/05/2009	35	24,9 24,4		39,2 39,6							
261	90	05/05/2009	35		26,9 25,2	36,1 35,1	37,9 36,7	39,0 38,3					
262	85	05/05/2009	35	22,5 23,4		34,5 35,2	36,4 37,8	41,2 39,5			4,7 4,6	4,8	5,2
263	80	05/05/2009	35		29,2 29,9	36,9 36,2							
264	80	05/05/2009	35	25,0 25,3		34,7 34,3							
265	90	05/05/2009	35		32,6 31,0	38,2 38,6	41,1 41,7	47,1 46,9					
266	85	05/05/2009	35	22,3 23,9		35,8 35,2							
267	85	05/05/2009	35		32,6 32,5	39,8 40,9							
268	90	05/05/2009	35	24,5 24,5		37,6 38,6	42,0 40,9	48,5 48,6			4,5 4,5	5,0	5,4
269	85	05/05/2009	35		33,9 31,9	36,2 37,6							
270	90	05/05/2009	35	23,9 24,2		36,7 37,1							
271	90	05/05/2009	35		33,2 31,8	43,3 42,2	44,2 45,7	49,8 51,6					
272	70	05/05/2009	35	26,9 28,1		42,4 41,6							
273	90	05/05/2009	35		32,2 34,0	36,7 37,1							
274	85	05/05/2009	35	23,2 22,2		35,7 35,3	39,4 39,5	46,1 45,7					
275	85	05/05/2009	35		31,4 32,0	34,9 35,3							
276	80	05/05/2009	35	26,5 24,1		40,2 40,3							
277	90	05/05/2009	35		31,6 33,3	35,6 35,3	41,5 42,1	44,3 42,7					
278	90	05/05/2009	35	25,4 26,8		37,8 37,9							
279	80	05/05/2009	35		30,7 31,7	36,6 35,8							
280	90	05/05/2009	35	22,4 22,2		34,2 34,7	39,0 38,1	46,8 45,7			4,0 4,3	4,5	5,0
281	90	05/05/2009	35		31,0 28,6	36,2 35,6							

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão				
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm	CP 15 x 15 x 50 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	28 dias	56 dias	91 dias
282	85	05/05/2009	35	19,6 20,5		35,3 36,0							
283	80	05/05/2009	35		30,5 29,0	35,0 34,8	39,2 37,0	42,4 41,8					
284	85	05/05/2009	35	21,8 22,0		37,8 38,7							
285	90	05/05/2009	35		27,1 28,1	35,8 35,5							
286	80	05/05/2009	35	25,4 23,8		37,4 38,8	41,7 43,1	45,8 45,4		4,7 4,7	4,8	5,2	
287	80	05/05/2009	35		29,8 29,2	37,2 38,2							
288	85	05/05/2009	35	19,2 22,3		37,9 37,2							
289	90	05/05/2009	35		26,3 26,9	34,8 35,1							
290	80	05/05/2009	35	22,3 22,6		35,7 35,5	39,6 41,2	49,1 49,8					
291	90	07/05/2009	35	20,8 21,2		43,6 41,6	46,2 47,2	46,6 47,4	46,0 44,4	4,2 4,1	5,0		
292	90	07/05/2009	35		33,3 32,4	40,4 42,2			42,0 44,6				
293	90	07/05/2009	35	21,4 20,0		42,9 42,9			44,0 44,4				
294	85	07/05/2009	35		35,3 34,8	44,8 43,3	47,3 49,3	50,8 48,5	39,4 40,5				
295	80	07/05/2009	35	22,3 22,2		42,2 40,5			41,8 42,8				
296	90	07/05/2009	35		31,9 30,9	39,2 36,5			42,2 41,2				
297	90	07/05/2009	35	21,5 20,8		38,1 39,6	43,7 44,6	46,6 47,5	41,4 40,5	4,3 4,4	5,0		
298	80	07/05/2009	35		33,5 32,9	40,9 40,5			44,0 42,3				
299	90	07/05/2009	35	20,1 17,9		40,1 37,3			41,1 42,1				
300	80	07/05/2009	35		33,8 31,3	40,6 37,9	43,4 44,8	45,8 47,8	41,2 42,2				
301	85	07/05/2009	35	19,9 20,1		35,8 35,5			38,1 37,4				
302	90	07/05/2009	35		33,3 32,1	38,4 39,6			41,8 42,0				
303	85	07/05/2009	35	19,5 18,2		38,4 36,0	42,0 43,0	45,2 46,1	40,4 41,1	4,1 4,1	4,5		
304	90	07/05/2009	35		29,6 30,7	42,4 40,0			42,1 41,5				
305	90	07/05/2009	35	17,5 19,2		37,5 35,8			39,0 38,3				
306	85	07/05/2009	35		29,1 31,3	39,2 39,0	43,0 40,7	43,1 43,8	43,5 42,3				
307	80	07/05/2009	35	18,8 20,6		42,7 44,3			43,4 45,5				
308	90	07/05/2009	35		26,8 28,1	39,4 36,6			42,6 41,2				
309	90	07/05/2009	35	18,5 18,3		36,9 39,6	38,3 39,6	43,1 42,0		4,2 4,4	4,8		
310	80	07/05/2009	35		35,0 32,9	40,7 43,0							
311	90	07/05/2009	35	19,0 21,5		40,4 39,0							
312	80	07/05/2009	35		29,4 30,0	36,4 36,8	40,8 42,1	46,0 45,0					

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência à Compressão					Resist. à Tração na Flexão			
				CP 10 x 20 cm					CP 15x30cm	CP 15 x 15 x 50 cm		
				3 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias		28 dias	28 dias	56 dias
313	80	07/05/2009	35	21,4		40,2						
				19,6		41,4						
314	90	07/05/2009	35		31,2	40,8						
					31,9	40,6						
315	90	07/05/2009	35	20,0		42,4	45,8	48,8		4,6	5,1	
				21,0		41,7	45,8	47,1		4,5		
316	90	07/05/2009	35		33,2	41,5						
					32,3	40,8						
317	90	07/05/2009	35	17,7		36,7						
				18,8		36,4						
318	85	07/05/2009	35		33,3	37,6	44,2	43,4				
					32,4	37,0	42,9	42,0				

## **ANEXO B**

### **DADOS REFERENTES AO CONCRETO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA**

**( $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$ )**



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	80	27/11/2008	40	32,6 34,9		60,3 61,7		36	90	15/12/2008	40	32,3 33,7		52,7 52,1	
2	90	27/11/2008	40		44,9 44,3	63,6 63,3		37	100	15/12/2008	40		37,5 38,7	54,2 52,9	
3	90	27/11/2008	40	29,7 29,6		64,0 63,8		38	100	15/12/2008	40	29,0 28,8		47,3 47,0	
4	100	27/11/2008	40		44,7 43,4	60,3 58,7		39	100	15/12/2008	40		36,8 36,9	50,8 53,5	
5	90	27/11/2008	40	32,3 30,9		61,6 60,5	58,2 60,5	40	100	15/12/2008	40	28,5 29,2		51,9 50,0	55,0 54,6
6	95	27/11/2008	40		44,5 42,7	59,0 60,5		41	115	15/12/2008	40		38,7 40,4	56,1 54,9	
7	95	27/11/2008	40	26,2 28,9		57,9 58,8		42	100	15/12/2008	40	25,6 25,5		50,6 49,9	
8	90	27/11/2008	40		46,4 44,7	58,2 58,3		43	110	15/12/2008	40		40,4 41,4	48,3 45,3	
9	90	27/11/2008	40	25,8 25,8		58,5 57,2		44	110	15/12/2008	40	26,3 26,1		52,9 51,0	
10	90	27/11/2008	40		42,6 42,2	58,7 58,0	61,8 62,2	45	115	15/12/2008	40		40,3 38,5	56,8 54,9	57,2 57,4
11	90	27/11/2008	40	24,9 21,7		56,3 54,9		46	110	15/12/2008	40	26,0 24,9		57,7 57,0	
12	100	27/11/2008	40		43,4 42,4	59,4 60,4		47	90	15/12/2008	40		38,3 37,4	56,8 56,2	
13	100	27/11/2008	40	26,2 26,5		59,9 59,1		48	120	15/12/2008	40	29,6 29,5		53,7 53,3	
14	100	27/11/2008	40		39,2 39,2	55,4 54,7		49	120	15/12/2008	40		40,7 39,4	56,1 54,9	
15	100	27/11/2008	40	24,4 25,6		55,3 56,5	60,2 59,2	50	115	15/12/2008	40	29,7 29,3		54,8 53,0	64,0 65,7
16	100	27/11/2008	40		44,2 42,4	57,8 56,5		51	120	15/12/2008	40		41,0 42,2	49,0 51,3	
17	100	27/11/2008	40	30,5 28,0		58,7 59,2		52	135	15/12/2008	40	22,0 23,5		51,1 49,7	
18	100	27/11/2008	40		40,1 39,9	55,2 53,7		53	110	15/12/2008	40		39,5 41,9	57,7 55,6	
19	95	27/11/2008	40	26,2 25,1		60,5 60,0		54	120	15/12/2008	40	19,5 21,1		41,1 41,2	
20	95	27/11/2008	40		40,3 38,8	60,6 59,5	56,1 55,6	55	120	15/12/2008	40		38,8 40,2	60,0 58,7	63,2 64,9
21	90	27/11/2008	40	26,2 25,7		56,4 57,9		56	120	15/12/2008	40	21,5 23,3		48,2 46,3	
22	100	27/11/2008	40		40,7 41,7	59,6 61,1		57	120	15/12/2008	40		38,7 39,9	57,0 55,7	
23	90	27/11/2008	40	24,7 24,1		61,2 61,7		58	100	15/12/2008	40	25,9 25,8		45,6 45,6	
24	80	27/11/2008	40		40,6 41,3	60,2 59,0		59	120	15/12/2008	40		39,9 38,7	47,3 46,7	
25	90	27/11/2008	40	29,3 28,2		61,4 63,0	53,2 51,4	60	100	15/12/2008	40	27,7 26,9		50,4 50,7	61,1 60,1
26	80	27/11/2008	40		44,1 42,8	65,1 65,2		61	105	15/12/2008	40		37,3 38,7	56,1 54,8	
27	100	27/11/2008	40	24,5 27,0		60,0 60,8		62	100	15/12/2008	40	27,2 27,6		47,9 46,6	
28	100	27/11/2008	40		41,9 42,8	61,2 60,7		63	105	15/12/2008	40		35,8 37,4	51,5 50,6	
29	80	27/11/2008	40	24,4 23,6		59,6 57,9		64	100	15/12/2008	40	28,6 27,5		57,1 55,7	
30	95	27/11/2008	40		40,4 39,8	53,8 55,2	55,7 56,5	65	100	15/12/2008	40		38,7 40,6	41,7 41,7	57,5 56,8
31	100	27/11/2008	40	25,4 24,1		59,0 59,6		66	120	15/12/2008	40	25,5 25,8		56,4 54,8	
32	100	27/11/2008	40		41,8 42,1	55,5 55,4		67	105	15/12/2008	40		35,4 37,7	60,6 59,6	
33	95	27/11/2008	40	21,8 23,1		59,1 57,8		68	110	15/12/2008	40	26,5 27,6		45,5 43,5	
34	100	27/11/2008	40		36,1 35,7	54,1 55,5		69	100	15/12/2008	40		33,8 35,2	57,7 56,0	
35	100	27/11/2008	40	23,7 26,7		56,3 57,5	60,9 59,1	70	100	15/12/2008	40	26,2 27,0		55,3 52,8	60,0 59,0

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
71	115	15/12/2008	40		33,6	54,2		106	110	22/12/2008	40	27,6		48,3	49,3
					34,6	53,3						28,1		46,8	49,8
72	100	15/12/2008	40	26,8		52,9		107	105	22/12/2008	40		35,5	55,7	
				26,5		52,0							35,8	54,4	
73	100	15/12/2008	40		38,7	54,0		108	100	22/12/2008	40	27,8		44,2	
					38,5	53,1						28,5		43,1	
74	110	15/12/2008	40	25,6		49,9		109	100	22/12/2008	40		39,1	48,0	
				26,3		49,1							38,5	46,5	
75	95	18/12/2008	40	28,8		43,7		110	105	22/12/2008	40	29,2		47,9	
				28,0		41,7						28,4		46,8	
76	120	18/12/2008	40		39,1	42,2		111	100	22/12/2008	40		36,6	49,2	52,1
					39,2	42,2							34,8	48,2	53,4
77	120	18/12/2008	40	30,5		53,5		112	110	22/12/2008	40	25,0		40,8	
				29,4		51,4						25,5		41,7	
78	110	18/12/2008	40		37,5	50,5		113	100	22/12/2008	40		36,6	45,9	
					40,0	48,3							35,6	45,5	
79	100	18/12/2008	40	28,9		52,1	58,5	114	100	29/12/2008	40	23,1		55,0	
				28,0		55,3	56,9					24,6		53,9	
80	120	18/12/2008	40		44,4	57,7		115	100	29/12/2008	40		33,3	47,5	
					44,6	59,5							32,0	46,2	
81	100	18/12/2008	40	26,3		47,6		116	110	29/12/2008	40	19,8		48,6	
				25,6		46,4						19,5		47,0	
82	110	18/12/2008	40		45,1	52,7		117	105	29/12/2008	40		35,3	49,5	
					44,1	54,1							34,5	47,5	
83	120	18/12/2008	40	27,0		53,9		118	110	29/12/2008	40	26,2		51,9	57,0
				28,1		53,1						24,6		49,6	55,6
84	100	18/12/2008	40		45,0	43,4	60,7	119	100	29/12/2008	40		37,3	51,8	
					44,2	42,3	59,3						36,5	50,5	
85	100	18/12/2008	40	27,1		50,3		120	120	29/12/2008	40	28,1		50,6	
				26,2		48,2						28,4		48,9	
86	100	18/12/2008	40		41,1	44,2		121	120	29/12/2008	40		37,4	52,2	
					42,0	44,9							36,0	49,1	
87	105	18/12/2008	40	28,8		43,2		122	105	29/12/2008	40	27,9		53,4	
				27,9		44,1						27,1		52,0	
88	100	18/12/2008	40		43,6	50,6		123	100	29/12/2008	40		37,6	49,6	52,4
					44,5	51,1							35,2	46,8	50,8
89	110	18/12/2008	40	28,0		50,6	57,5	124	100	29/12/2008	40	25,2		56,1	
				27,3		48,4	59,4					23,4		55,2	
90	110	18/12/2008	40		44,7	50,5		125	110	29/12/2008	40		39,5	57,0	
					44,5	49,0							37,3	55,8	
91	115	18/12/2008	40	26,7		49,8		126	110	29/12/2008	40	18,1		54,9	
				27,2		49,7						19,4		54,4	
92	100	22/12/2008	40	28,9		46,5		127	105	29/12/2008	40		36,1	57,5	
				29,5		44,8							35,2	57,0	
93	110	22/12/2008	40		37,2	42,2		128	120	29/12/2008	40	25,7		58,8	62,5
					36,4	42,0						25,5		55,5	60,2
94	95	22/12/2008	40	30,0		58,5		129	110	29/12/2008	40		39,8	51,0	
				29,8		56,3							37,3	50,6	
95	105	22/12/2008	40		37,1	42,2		130	110	29/12/2008	40	23,3		53,5	
					37,8	41,9						24,3		49,6	
96	115	22/12/2008	40	32,0		54,2	54,9	131	120	29/12/2008	40		38,7	50,3	
				29,7		53,2	55,5						37,3	48,6	
97	120	22/12/2008	40		39,7	42,1		132	100	29/12/2008	40	22,0		51,7	
					38,4	41,7						22,2		51,0	
98	120	22/12/2008	40	30,3		52,2		133	110	29/12/2008	40		39,6	51,1	54,4
				30,9		50,6							37,4	50,2	54,7
99	115	22/12/2008	40		33,3	42,9		134	100	29/12/2008	40	28,2		41,8	
					34,7	41,5						27,2		40,7	
100	110	22/12/2008	40	29,7		50,5		135	110	29/12/2008	40		39,7	48,8	
				29,0		48,3							37,9	46,9	
101	110	22/12/2008	40		33,1	48,5	51,0	136	105	29/12/2008	40	25,3		48,2	
					35,5	48,0	52,1					25,1		46,1	
102	120	22/12/2008	40	32,1		47,1		137	110	29/12/2008	40		41,7	48,0	
				31,7		45,1							40,2	47,4	
103	110	22/12/2008	40		36,9	44,4		138	105	29/12/2008	40	21,0		51,8	58,2
					36,0	44,6						22,1		50,6	58,9
104	110	22/12/2008	40	29,2		48,1		139	120	29/12/2008	40		32,5	57,1	
				29,8		46,4							31,8	55,7	
105	100	22/12/2008	40		38,4	50,2		140	110	29/12/2008	40	26,8		47,5	
					39,5	49,1						26,3		45,8	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
141	120	29/12/2008	40		40,3	53,4		176	100	05/01/2009	40	32,4		46,6	
					37,0	51,9						30,6		45,6	
142	120	29/12/2008	40	19,0		63,1		177	105	05/01/2009	40		40,9	48,7	
				19,5		61,8							37,8	47,7	
143	105	29/12/2008	40		36,4	51,2	54,0	178	100	05/01/2009	40	28,9		48,1	
					36,4	50,5	55,7					30,4		50,8	
144	110	29/12/2008	40	23,2		60,5		179	110	05/01/2009	40		38,7	54,2	
				22,1		59,5							37,5	52,8	
145	120	29/12/2008	40		29,3	50,0		180	100	05/01/2009	40	29,4		47,0	53,6
					28,0	48,3						30,1		49,4	55,1
146	110	29/12/2008	40	27,6		58,9		181	110	05/01/2009	40		34,9	49,4	
				27,3		57,6							36,8	50,7	
147	110	29/12/2008	40		41,5	47,3		182	90	05/01/2009	40	30,0		61,5	
					40,2	46,1						30,9		60,9	
148	100	29/12/2008	40	29,2		53,1	54,5	183	110	05/01/2009	40		36,2	48,4	
				29,1		51,1	56,8						35,6	50,5	
149	110	29/12/2008	40		41,4	48,3		184	120	05/01/2009	40	25,1		43,2	
					40,3	46,7						26,5		40,9	
150	110	29/12/2008	40	21,3		56,1		185	115	05/01/2009	40		35,6	46,7	50,4
				22,3		55,4							36,5	47,5	52,5
151	120	29/12/2008	40		39,6	45,0		186	115	05/01/2009	40	25,1		48,3	
					37,2	44,4						25,1		48,4	
152	120	29/12/2008	40	24,3		53,7		187	95	15/01/2009	40	25,4		59,4	
				24,1		53,1						23,5		60,0	
153	110	29/12/2008	40		40,1	53,2	53,9	188	120	15/01/2009	40		36,4	56,1	
					37,7	52,6	56,3						38,3	54,2	
154	120	29/12/2008	40	20,7		54,7		189	110	15/01/2009	40	27,7		58,4	
				22,2		53,6						27,6		59,4	
155	120	29/12/2008	40		37,2	49,1		190	120	15/01/2009	40		37,9	54,9	
					36,4	48,1							35,7	56,2	
156	115	29/12/2008	40	26,4		58,3		191	120	15/01/2009	40	25,0		49,0	63,6
				26,9		56,1						23,3		47,8	61,6
157	105	29/12/2008	40		36,1	52,5		192	120	15/01/2009	40		36,2	54,5	
					35,2	51,4	55,1						33,2	53,1	
158	120	29/12/2008	40	28,6		51,5	56,0	193	120	15/01/2009	40	25,2		48,9	
				27,1		48,7						27,0		49,9	
159	120	29/12/2008	40		38,8	49,8		194	120	15/01/2009	40		34,6	51,6	
					37,0	49,0							33,3	51,2	
160	100	29/12/2008	40	20,5		48,7		195	120	15/01/2009	40	25,7		49,7	
				22,1		47,3						25,7		51,1	
161	110	29/12/2008	40		36,5	44,0		196	120	15/01/2009	40		35,4	56,6	62,4
					35,1	42,3							36,8	54,5	63,3
162	100	29/12/2008	40	17,4		56,0		197	120	15/01/2009	40	26,0		57,2	
				18,0		55,2						25,3		53,9	
163	120	29/12/2008	40		37,5	55,2	54,4	198	110	16/01/2009	40	15,3		54,7	
					35,3	51,4	56,2					17,0		52,3	
164	120	29/12/2008	40	20,6		59,1		199	105	16/01/2009	40		33,0	54,0	
				22,6		57,8							31,8	52,7	
165	100	29/12/2008	40		39,7	57,1		200	120	16/01/2009	40	16,0		51,7	
					39,3	55,4						17,7		49,7	
166	100	05/01/2009	40	32,7		42,5		201	120	16/01/2009	40		33,2	46,6	
				31,2		42,2							32,1	44,5	
167	100	05/01/2009	40		35,7	43,5		202	120	16/01/2009	40	16,8		46,4	63,0
					34,9	43,1						16,1		45,7	62,4
168	100	05/01/2009	40	34,3		49,7		203	120	16/01/2009	40		33,5	46,7	
				33,1		49,3							32,3	44,8	
169	100	05/01/2009	40		33,8	47,0		204	110	16/01/2009	40	17,2		51,7	
					35,5	45,5						16,2		50,1	
170	110	05/01/2009	40	29,1		50,0	56,3	205	120	16/01/2009	40		35,4	50,9	
				29,8		48,6	55,4						33,1	49,4	
171	110	05/01/2009	40		40,6	56,5		206	120	16/01/2009	40	16,1		49,3	
					41,1	55,1						16,1		47,9	
172	110	05/01/2009	40	33,6		51,1		207	100	16/01/2009	40		36,2	57,1	60,6
				33,1		52,4							35,4	55,9	62,0
173	110	05/01/2009	40		37,2	51,1		208	100	16/01/2009	40	16,8		58,7	
					38,7	49,8						16,6		57,3	
174	105	05/01/2009	40	35,8		57,3		209	110	16/01/2009	40		34,0	50,8	
				35,3		56,2							31,1	48,5	
175	120	05/01/2009	40		34,4	40,9	53,6	210	120	21/01/2009	40	31,2		53,8	
					33,5	42,3	58,3					31,3		50,3	



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
211	100	21/01/2009	40		38,6	48,0		246	100	21/01/2009	40	22,3		56,3	
					39,7	48,8						22,1		57,4	
212	100	21/01/2009	40	32,4		56,1		247	100	21/01/2009	40		38,8	51,4	
				30,7		55,8							38,0	49,6	
213	110	21/01/2009	40		39,1	51,7		248	105	21/01/2009	40	22,7		60,2	
					39,0	50,3						22,6		59,4	
214	120	21/01/2009	40	28,7		50,3	62,6	249	120	21/01/2009	40		35,4	55,4	65,0
				26,5		51,7	63,1						34,9	55,6	62,5
215	120	21/01/2009	40		41,0	51,8		250	120	21/01/2009	40	21,8		48,7	
					40,1	49,8						20,4		50,9	
216	120	21/01/2009	40	25,0		58,8		251	110	21/01/2009	40		37,0	63,3	
				23,4		58,1							36,7	61,9	
217	120	21/01/2009	40		39,5	54,6		252	100	27/01/2009	40	20,7		42,2	
					38,2	52,9						23,0		43,4	
218	120	21/01/2009	40	25,7		53,8		253	105	27/01/2009	40		31,8	43,5	
				24,1		52,4							32,1	44,6	
219	115	21/01/2009	40		36,6	51,2	58,3	254	110	27/01/2009	40	25,7		49,7	
					34,1	52,0	59,7					25,4		49,4	
220	100	21/01/2009	40	29,9		59,7		255	110	27/01/2009	40		34,0	41,3	
				30,3		60,6							32,4	40,2	
221	120	21/01/2009	40		34,6	58,4		256	115	27/01/2009	40	24,6		42,9	58,5
					34,1	58,5						27,4		44,0	56,2
222	120	21/01/2009	40	26,9		50,7		257	100	27/01/2009	40		42,7	50,8	
				27,7		52,4							42,3	48,9	
223	120	21/01/2009	40		35,3	50,6		258	105	27/01/2009	40	31,3		48,7	
					35,4	52,4						30,1		49,9	
224	110	21/01/2009	40	26,5		58,3	67,9	259	100	27/01/2009	40		41,3	47,2	
				26,5		59,1	68,4						43,2	46,8	
225	120	21/01/2009	40		38,4	53,1		260	110	27/01/2009	40	28,5		49,7	
					35,6	51,4						27,6		48,5	
226	110	21/01/2009	40	27,0		54,4		261	110	27/01/2009	40		38,8	53,4	58,2
				27,2		52,9							41,4	51,5	58,7
227	120	21/01/2009	40		37,6	52,1		262	105	27/01/2009	40	35,3		53,2	
					38,1	50,2						33,9		50,8	
228	110	21/01/2009	40	28,0		43,6		263	100	27/01/2009	40		36,4	58,4	
				27,5		55,4							38,2	55,3	
229	120	21/01/2009	40		44,8	51,0	80,5	264	105	27/01/2009	40	35,8		53,6	
					43,8	53,1	75,9					33,2		54,0	
230	100	21/01/2009	40	25,4		56,8		265	120	27/01/2009	40		46,5	65,8	
				23,6		57,7							45,9	63,6	
231	110	21/01/2009	40		39,1	49,0		266	120	27/01/2009	40	28,9		54,8	63,4
					37,5	46,7						28,2		53,9	60,2
232	120	21/01/2009	40	22,8		53,5		267	120	27/01/2009	40		40,7	63,1	
				21,6		52,3							37,8	62,2	
233	110	21/01/2009	40		42,8	56,2		268	120	27/01/2009	40	33,8		51,2	
					41,2	56,4						33,8		53,0	
234	115	21/01/2009	40	26,0		60,7	63,7	269	100	27/01/2009	40		45,1	55,7	
				26,1		59,2	66,9						46,4	54,8	
235	120	21/01/2009	40		33,3	51,3		270	105	27/01/2009	40	33,9		58,8	
					31,1	53,2						32,1		57,0	
236	115	21/01/2009	40	25,3		61,3		271	120	27/01/2009	40		38,7	52,0	61,9
				25,5		58,9							39,8	51,7	62,7
237	110	21/01/2009	40		41,7	53,5		272	120	27/01/2009	40	23,4		60,8	
					39,2	52,1						26,9		58,9	
238	110	21/01/2009	40	28,0		55,7		273	120	27/01/2009	40		39,7	56,0	
				27,7		53,8							39,3	54,6	
239	115	21/01/2009	40		39,4	49,0	60,8	274	115	27/01/2009	40	30,2		49,0	
					37,7	47,4	62,0					29,9		47,0	
240	110	21/01/2009	40	20,6		55,3		275	120	27/01/2009	40		36,0	56,1	
				21,9		54,3							36,6	57,5	
241	110	21/01/2009	40		40,9	50,8		276	120	27/01/2009	40	27,8		47,8	60,6
					40,6	48,3						27,3		50,0	61,4
242	115	21/01/2009	40	20,6		54,8		277	120	27/01/2009	40		38,1	55,8	
				21,9		53,8							36,7	54,0	
243	120	21/01/2009	40		38,0	50,2		278	110	27/01/2009	40	32,2		49,7	
					34,9	49,2						30,7		48,3	
244	110	21/01/2009	40	23,4		41,8	64,0	279	120	27/01/2009	40		36,8	46,1	
				22,7		50,5	60,9						38,1	45,0	
245	105	21/01/2009	40		32,8	56,7		280	115	27/01/2009	40	38,3		61,2	
					30,9	55,1						37,3		59,9	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
281	110	27/01/2009	40		30,4	47,9	64,3	316	110	01/02/2009	40	30,0		48,5	
					31,8	45,4	62,3					28,2		52,0	
282	120	27/01/2009	40	32,1		56,8		317	110	01/02/2009	40		45,6	50,5	
				31,0		55,5							46,6	53,4	
283	115	27/01/2009	40		41,6	59,3		318	115	01/02/2009	40	30,2		58,2	
					40,6	60,5						31,0		56,3	
284	115	27/01/2009	40	27,0		59,0		319	120	01/02/2009	40		41,2	50,0	
				26,2		57,6							42,0	49,2	
285	110	27/01/2009	40		38,1	53,4		320	100	01/02/2009	40	30,9		52,5	55,1
					35,8	51,3						30,2		53,9	57,2
286	120	27/01/2009	40	23,6		52,1	58,8	321	115	01/02/2009	40		47,5	50,0	
				23,9		50,3	57,4						48,4	52,9	
287	120	27/01/2009	40		31,1	52,6		322	100	01/02/2009	40	28,7		51,1	
					32,5	53,0						28,0		54,3	
288	115	27/01/2009	40	26,6		57,6		323	105	01/02/2009	40		46,9	56,2	
				24,1		55,8							45,8	54,4	
289	120	27/01/2009	40		40,4	52,4		324	110	01/02/2009	40	28,0		49,9	
					38,7	51,7						28,8		50,8	
290	120	27/01/2009	40	24,9		51,2		325	115	01/02/2009	40		44,5	51,0	58,8
				26,6		50,2							42,4	49,3	57,0
291	110	27/01/2009	40		38,9	46,1	57,2	326	115	01/02/2009	40	21,3		56,0	
					40,5	43,9	55,0					22,7		56,1	
292	120	27/01/2009	40	23,5		51,6		327	120	01/02/2009	40		44,5	58,7	
				24,0		49,9							43,0	57,3	
293	115	27/01/2009	40		37,1	57,9		328	120	01/02/2009	40	23,4		56,3	
					34,7	58,7						22,2		58,0	
294	120	27/01/2009	40	27,4		49,8		329	110	01/02/2009	40		43,3	49,1	
				25,6		49,7							43,2	51,2	
295	120	27/01/2009	40		36,0	53,0		330	120	01/02/2009	40	23,6		50,4	58,7
					35,4	51,2						22,5		50,8	57,6
296	110	01/02/2009	40	25,8		54,4		331	120	01/02/2009	40		38,6	52,9	
				25,4		52,7							39,7	51,3	
297	120	01/02/2009	40		45,3	56,3		332	120	01/02/2009	40	21,3		51,1	
					44,5	57,0						22,7		54,4	
298	110	01/02/2009	40	21,6		57,8		333	105	01/02/2009	40		46,2	53,2	
				22,3		59,8							44,4	54,1	
299	105	01/02/2009	40		42,9	53,0		334	110	01/02/2009	40	24,2		56,1	
					42,6	53,7						21,1		55,5	
300	105	01/02/2009	40	24,9		52,5	56,3	335	100	01/02/2009	40		40,5	59,5	63,8
				27,8		54,3	57,3						41,9	58,0	66,4
301	100	01/02/2009	40		43,0	48,7		336	120	01/02/2009	40	25,7		55,9	
					40,3	53,4						24,4		53,8	
302	100	01/02/2009	40	25,1		51,0		337	105	01/02/2009	40		40,3	52,0	
				25,8		50,9							39,1	53,4	
303	110	01/02/2009	40		42,3	50,7		338	100	01/02/2009	40	24,6		51,1	
					40,9	54,2						23,2		51,8	
304	110	01/02/2009	40	28,7		51,3		339	95	06/02/2009	40	31,8		45,7	
				27,6		53,0						32,7		46,9	
305	120	01/02/2009	40		44,0	47,4	52,6	340	100	06/02/2009	40		36,9	50,0	
					45,4	46,0	54,3						35,7	49,5	
306	120	01/02/2009	40	27,3		50,6		341	100	06/02/2009	40	30,9		44,9	
				28,2		52,0						28,8		44,1	
307	120	01/02/2009	40		44,0	44,7		342	100	06/02/2009	40		33,2	40,9	
					42,9	46,6							33,0	41,1	
308	120	01/02/2009	40	27,1		58,8		343	105	06/02/2009	40	26,8		40,1	46,8
				29,6		57,8						26,3		40,6	48,6
309	115	01/02/2009	40		44,1	50,4		344	140	06/02/2009	40		27,2	40,6	
					43,0	54,4							28,9	40,4	
310	120	01/02/2009	40	26,3		46,4	55,3	345	120	06/02/2009	40	28,1		48,1	
				25,1		45,3	57,3					26,3		46,1	
311	105	01/02/2009	40		39,6	47,0		346	120	06/02/2009	40		32,7	42,3	
					39,7	48,6							31,7	41,8	
312	105	01/02/2009	40	24,8		59,6		347	120	06/02/2009	40	26,9		44,3	
				26,3		60,3						27,0		42,1	
313	115	01/02/2009	40		44,0	52,8		348	120	06/02/2009	40		35,0	44,4	50,4
					44,2	51,2							33,7	45,6	49,2
314	120	01/02/2009	40	26,9		57,7		349	105	06/02/2009	40	34,0		40,7	
				26,4		57,3						34,9		41,1	
315	120	01/02/2009	40		43,7	59,0	61,2	350	100	06/02/2009	40		37,2	45,9	
					45,6	60,3	61,4						39,3	45,7	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
351	100	06/02/2009	40	32,3		40,5		386	115	16/02/2009	40		36,3	41,6	
				33,5		40,7							33,2	40,2	
352	100	06/02/2009	40		42,6	50,2		387	120	16/02/2009	40	27,2		41,7	
					44,0	48,5						24,7		42,4	
353	100	06/02/2009	40	32,3		53,5	57,1	388	120	16/02/2009	40		33,5	41,7	
				31,3		51,9	58,7						30,9	42,5	
354	120	06/02/2009	40		42,8	44,7		389	120	16/02/2009	40	26,9		46,2	
					43,5	47,4						26,0		43,9	
355	120	06/02/2009	40	37,5		46,1		390	105	16/02/2009	40		32,3	44,5	56,0
				34,9		45,8							32,8	41,9	54,8
356	120	06/02/2009	40		34,5	43,2		391	120	16/02/2009	40	27,3		43,2	
						32,8	43,3						26,5		41,0
357	110	06/02/2009	40	29,7		40,4		392	120	16/02/2009	40		31,4	42,1	
				29,2		41,0							32,0	41,1	
358	120	06/02/2009	40		32,5	40,6	44,4	393	100	16/02/2009	40	29,6		47,1	
					31,2	40,8	46,0						28,7	44,7	
359	120	06/02/2009	40	23,7		40,4		394	120	16/02/2009	40		33,9	41,7	
				23,0		40,6							32,3	42,9	
360	115	06/02/2009	40		31,2	41,6		395	100	16/02/2009	40	28,1		41,7	60,1
					29,9	41,4						29,3		41,6	61,5
361	120	06/02/2009	40	25,5		40,5		396	115	16/02/2009	40		33,0	44,3	
				25,3		40,8							33,3	42,3	
362	120	06/02/2009	40		34,5	45,2		397	120	16/02/2009	40	30,3		49,4	
					33,6	44,5						28,4		46,7	
363	120	06/02/2009	40	19,6		40,3	42,7	398	100	16/02/2009	40		33,6	48,9	
				17,3		40,5	45,0						32,0	48,2	
364	120	06/02/2009	40		25,4	40,6		399	120	16/02/2009	40	31,8		51,7	
					23,1	40,8						30,4		50,2	
365	120	06/02/2009	40	17,2		40,5		400	100	16/02/2009	40		35,7	51,7	59,1
				19,1		41,1							35,0	50,0	57,4
366	120	06/02/2009	40		28,9	40,7		401	105	16/02/2009	40	32,7		48,6	
					29,6	40,7						31,5		46,5	
367	120	06/02/2009	40	22,4		40,7		402	110	16/02/2009	40		33,4	45,9	
				21,8		40,9							33,4	46,4	
368	120	06/02/2009	40		30,0	41,9	43,3	403	120	16/02/2009	40	25,6		43,1	
					28,7	40,9	45,0						28,2	44,1	
369	120	06/02/2009	40	28,5		42,2		404	115	16/02/2009	40		41,1	44,2	
				27,3		40,8							39,1	45,0	
370	110	06/02/2009	40		36,8	40,7		405	120	16/02/2009	40	29,1		50,0	57,5
					35,3	41,0						27,3		48,6	58,4
371	100	06/02/2009	40	26,9		44,5		406	120	16/02/2009	40		38,7	43,7	
				26,6		44,7							37,2	45,6	
372	110	06/02/2009	40		37,6	54,7		407	120	16/02/2009	40	24,0		45,3	
					37,7	51,5						24,9		44,7	
373	120	06/02/2009	40	24,7		48,6	50,0	408	110	16/02/2009	40		33,5	51,0	
				24,7		48,0	52,4						35,3	49,5	
374	100	06/02/2009	40		38,7	47,4		409	110	16/02/2009	40	29,7		46,8	
					40,6	46,8						28,5		45,4	
375	120	06/02/2009	40	31,5		43,8		410	105	16/02/2009	40		39,2	40,9	60,3
				29,9		42,4							40,1	41,1	58,6
376	120	06/02/2009	40		42,2	41,0		411	110	16/02/2009	40	30,8		47,4	
					41,9	41,8						30,5		46,6	
377	110	06/02/2009	40	19,4		41,3		412	115	16/02/2009	40		39,2	43,3	
				18,6		41,0							37,9	44,2	
378	110	06/02/2009	40		41,7	45,4	49,3	413	110	16/02/2009	40	30,2		40,6	
					42,9	45,4	50,8						28,8	41,2	
379	115	06/02/2009	40	24,7		44,8		414	115	16/02/2009	40		36,6	45,5	
				23,8		43,6							33,6	43,3	
380	120	06/02/2009	40		36,5	41,4		415	120	16/02/2009	40	28,4		44,0	58,2
					35,2	41,0						26,8		44,2	56,7
381	110	16/02/2009	40	32,1		50,4		416	120	16/02/2009	40		36,9	44,2	
				32,5		49,1							36,2	40,8	
382	105	16/02/2009	40		43,5	52,5		417	110	16/02/2009	40	29,4		52,7	
					42,9	52,0						30,5		50,6	
383	105	16/02/2009	40	35,3		50,2		418	120	16/02/2009	40		35,2	41,9	
				32,5		48,9							34,0	42,3	
384	110	16/02/2009	40		37,3	49,8		419	110	16/02/2009	40	31,1		44,9	
					36,3	48,8						29,8		43,5	
385	120	16/02/2009	40	28,3		40,6	58,7	420	110	16/02/2009	40		38,3	50,3	61,0
				26,2		40,9	61,1						37,2	49,5	62,2



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
421	115	16/02/2009	40	31,4 28,0		54,4 55,5		456	120	20/02/2009	40	17,0 17,4		48,4 47,3	
422	120	16/02/2009	40		35,5 37,3	43,3 45,7		457	120	20/02/2009	40		36,5 35,6	50,9 51,0	
423	110	16/02/2009	40	25,7 23,6		51,0 50,6		458	105	02/03/2009	40	28,5 31,8		46,8 46,8	
424	120	16/02/2009	40		41,2 40,5	48,5 50,6		459	120	02/03/2009	40		40,2 41,1	53,9 54,5	
425	120	16/02/2009	40	22,3 24,9		46,3 44,1	59,8 60,9	460	120	02/03/2009	40	34,3 35,0		45,0 45,2	
426	115	20/02/2009	40	30,2 32,1		47,1 45,3		461	115	02/03/2009	40		39,7 38,7	50,6 52,3	
427	115	20/02/2009	40		43,9 42,7	57,2 54,8		462	120	02/03/2009	40	31,7 29,8		51,1 53,6	
428	115	20/02/2009	40	29,2 29,5		46,3 43,5		463	120	02/03/2009	40		36,8 35,2	49,8 49,8	
429	120	20/02/2009	40		42,3 41,5	48,6 50,0		464	120	02/03/2009	40	25,2 26,7		46,1 48,6	
430	120	20/02/2009	40	27,1 24,5		43,4 42,4		465	120	02/03/2009	40		41,7 39,4	54,3 56,0	
431	110	20/02/2009	40		43,4 44,6	64,4 64,9		466	115	02/03/2009	40	33,8 32,3		56,0 57,3	
432	110	20/02/2009	40	27,8 29,1		60,0 59,7		467	120	02/03/2009	40		36,2 34,0	48,4 50,7	
433	120	20/02/2009	40		43,4 42,6	46,6 48,3		468	110	02/03/2009	40	32,1 29,5		49,7 51,2	
434	120	20/02/2009	40	20,9 21,9		42,2 44,4		469	105	02/03/2009	40		41,8 39,8	53,1 53,6	
435	100	20/02/2009	40		43,6 41,4	47,6 49,0		470	95	02/03/2009	40	25,0 23,5		51,3 52,2	
436	120	20/02/2009	40	27,2 27,3		53,2 53,8		471	110	02/03/2009	40		35,8 36,4	53,7 50,7	
437	110	20/02/2009	40		45,4 45,8	49,2 49,2		472	115	02/03/2009	40	25,8 25,3		52,1 51,0	
438	100	20/02/2009	40	25,5 23,7		49,4 47,0		473	100	02/03/2009	40		36,0 36,7	55,7 56,3	
439	120	20/02/2009	40		40,3 41,1	43,3 45,3		474	120	02/03/2009	40	28,0 26,1		51,5 49,3	
440	120	20/02/2009	40	22,0 23,6		45,6 43,2		475	110	02/03/2009	40		37,0 38,1	47,3 50,7	
441	120	20/02/2009	40		41,5 39,4	48,7 47,5		476	100	02/03/2009	40		38,3 39,3	53,6 56,1	
442	120	20/02/2009	40	18,5 18,8		48,5 49,7		477	115	02/03/2009	40	26,0 25,0		48,3 50,5	
443	120	20/02/2009	40		40,5 39,3	48,9 47,2		478	120	02/03/2009	40		35,4 36,1	54,9 55,4	
444	110	20/02/2009	40	22,4 22,9		42,3 43,5		479	115	02/03/2009	40	25,8 27,8		55,6 54,0	
445	115	20/02/2009	40		38,3 39,1	47,3 46,4		480	120	02/03/2009	40		30,6 32,1	47,6 50,6	
446	120	20/02/2009	40	19,4 21,4		48,7 46,9		481	115	02/03/2009	40	22,3 23,5		50,5 52,3	
447	120	20/02/2009	40		38,4 39,1	55,2 52,9		482	115	02/03/2009	40		33,4 34,2	48,9 51,8	
448	120	20/02/2009	40	17,1 19,8		41,1 41,5		483	120	02/03/2009	40	20,7 19,6		50,5 51,0	
449	120	20/02/2009	40		36,3 34,6	47,0 47,4		484	120	03/03/2009	40	25,5 25,4		45,9 45,3	
450	120	20/02/2009	40	17,6 17,8		49,9 49,4		485	100	03/03/2009	40		38,9 37,6	49,3 48,0	
451	120	20/02/2009	40		34,0 33,0	55,5 55,8		486	115	03/03/2009	40	20,4 22,0		43,7 44,7	
452	110	20/02/2009	40	22,0 23,3		51,2 50,0		487	110	03/03/2009	40		36,1 34,8	46,6 44,2	
453	120	20/02/2009	40		37,7 36,0	52,3 49,3		488	115	03/03/2009	40	23,8 22,3		49,2 49,9	
454	110	20/02/2009	40	21,2 21,9		52,7 52,1		489	110	03/03/2009	40		39,0 37,0	51,7 48,5	
455	110	20/02/2009	40		40,1 38,2	57,2 55,2		490	120	03/03/2009	40	24,0 23,5		42,2 44,7	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
491	110	03/03/2009	40		34,4	46,9		526	105	06/03/2009	40	32,4		54,6	59,7
						35,0	48,5					29,7		50,9	57,0
492	90	03/03/2009	40	30,0		51,1		527	120	06/03/2009	40		39,7	49,2	
				28,0		50,0							39,5	51,0	
493	120	03/03/2009	40		34,9	48,0		528	110	06/03/2009	40	35,2		54,7	
					36,4	46,0						32,6		50,8	
494	100	03/03/2009	40	28,8		52,3		529	110	06/03/2009	40		39,8	54,5	
				29,5		50,0							40,4	57,1	
495	110	03/03/2009	40		35,4	50,1		530	105	06/03/2009	40	29,3		52,0	
					33,5	47,0						27,4		53,5	
496	90	03/03/2009	40	31,4		48,3		531	110	06/03/2009	40		38,6	48,8	52,7
				30,0		46,9							37,4	52,0	55,8
497	100	03/03/2009	40		39,4	52,3		532	100	06/03/2009	40	29,3		51,3	
					40,9	50,9						27,5		52,2	
498	120	03/03/2009	40	19,6		46,8		533	100	06/03/2009	40		45,1	50,8	
				20,4		46,5							42,0	50,8	
499	100	03/03/2009	40		34,7	47,0		534	105	06/03/2009	40	39,0		52,9	
					36,8	47,5						38,6		50,8	
500	100	03/03/2009	40	23,0		47,0		535	100	06/03/2009	40		46,1	51,2	
				22,7		46,9							47,4	49,6	
501	110	03/03/2009	40		35,0	47,8		536	110	06/03/2009	40	33,2		53,0	53,9
					34,2	47,0						31,9		55,1	56,6
502	120	03/03/2009	40	22,6		45,5		537	115	06/03/2009	40		51,4	55,1	
				20,6		44,6							51,5	54,7	
503	120	03/03/2009	40		28,1	43,5		538	100	06/03/2009	40	34,2		49,9	
					27,5	41,2						32,9		47,9	
504	110	03/03/2009	40	21,4		42,8		539	100	06/03/2009	40		43,8	52,5	
				20,2		43,6							43,9	49,6	
505	110	03/03/2009	40		32,7	42,0		540	110	06/03/2009	40	36,4		54,1	
					30,4	44,1						33,1		51,0	
506	110	03/03/2009	40	24,4		46,9		541	120	06/03/2009	40		44,6	50,4	55,9
				23,2		44,8							46,3	47,1	52,8
507	120	03/03/2009	40		30,9	45,4		542	105	06/03/2009	40	33,1		54,5	
					30,2	43,2						33,9		53,7	
508	120	03/03/2009	40	23,0		47,3		543	90	06/03/2009	40		42,5	44,1	
				23,1		44,7							41,8	45,4	
509	110	03/03/2009	40		33,3	47,9		544	110	06/03/2009	40	34,9		52,0	
					31,2	46,1						33,9		54,0	
510	120	03/03/2009	40	17,7		41,6		545	100	06/03/2009	40		43,4	49,7	
				18,8		43,5							45,7	50,5	
511	115	03/03/2009	40		33,5	41,8		546	115	06/03/2009	40	36,0		54,4	57,8
					32,3	42,5						36,7		54,4	56,1
512	90	06/03/2009	40	33,4		51,1		547	120	06/03/2009	40		38,8	60,2	
				31,8		53,7							41,3	61,9	
513	100	06/03/2009	40		44,0	49,4		548	115	06/03/2009	40	37,0		55,7	
					42,7	50,0						38,1		56,8	
514	105	06/03/2009	40	30,0		49,4		549	100	06/03/2009	40		51,7	61,0	
				30,1		50,0							52,2	61,4	
515	115	06/03/2009	40		41,2	47,4		550	115	06/03/2009	40	36,9		52,8	
					40,4	46,7						35,8		55,1	
516	100	06/03/2009	40	26,0		45,8	53,1	551	120	06/03/2009	40		41,9	52,4	55,8
				24,2		45,9	56,4						41,2	49,7	54,3
517	120	06/03/2009	40		36,4	51,8		552	105	06/03/2009	40	38,4		47,5	
					35,2	52,5						36,9		51,7	
518	110	06/03/2009	40	29,3		49,2		553	110	06/03/2009	40		41,6	50,6	
				30,0		51,0							39,8	52,5	
519	120	06/03/2009	40		40,6	47,3		554	105	06/03/2009	40	39,4		48,2	
					39,0	49,9						39,4		50,8	
520	120	06/03/2009	40	30,4		57,6		555	110	06/03/2009	40		43,9	55,5	
				28,6		60,0							42,1	52,5	
521	115	06/03/2009	40		42,4	54,9	61,6	556	120	06/03/2009	40	35,9		42,6	51,1
					40,9	53,9	64,2					35,6		42,5	49,2
522	120	06/03/2009	40	31,5		56,3		557	115	06/03/2009	40		47,2	55,7	
				30,5		53,7							46,9	53,4	
523	100	06/03/2009	40		48,7	52,5		558	110	06/03/2009	40	34,8		51,3	
					51,9	54,8						33,8		54,4	
524	115	06/03/2009	40	32,0		52,8		559	110	06/03/2009	40		43,3	53,7	
				29,5		54,9							41,5	57,0	
525	110	06/03/2009	40		41,3	53,8		560	120	06/03/2009	40	36,0		54,4	
					41,5	51,0						33,2		51,1	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
561	100	06/03/2009	40		40,2	45,5	52,0	596	115	13/03/2009	40	29,8		50,9	
					40,2	46,0	53,7					27,2		53,8	
562	115	06/03/2009	40	36,4		45,8		597	105	13/03/2009	40		38,0	54,7	61,2
				34,9		48,1							39,3	52,2	61,0
563	105	06/03/2009	40		41,7	52,2		598	120	13/03/2009	40	29,4		48,2	
					40,7	54,4						26,0		44,5	
564	120	06/03/2009	40	39,3		51,0		599	115	13/03/2009	40		36,0	49,4	
				38,4		54,3							34,3	48,0	
565	115	06/03/2009	40		34,7	52,1		600	120	13/03/2009	40	28,8		45,9	
					36,9	48,9						25,9		48,1	
566	105	06/03/2009	40	34,7		47,2	53,4	601	105	13/03/2009	40		36,7	53,1	
				32,6		48,6	50,8						36,5	52,1	
567	110	06/03/2009	40		36,3	50,8		602	100	13/03/2009	40	25,5		47,1	55,6
					34,4	51,6						26,7		50,0	56,8
568	90	06/03/2009	40	36,1		47,1		603	110	13/03/2009	40		33,2	44,7	
				36,7		45,4							35,3	43,2	
569	120	06/03/2009	40		36,9	46,2		604	110	13/03/2009	40	24,8		47,2	
					39,2	44,2						21,9		45,9	
570	115	06/03/2009	40	31,3		49,7		605	110	13/03/2009	40		31,3	45,1	
				28,8		50,7							32,1	44,6	
571	115	06/03/2009	40		32,1	52,3	55,5	606	100	13/03/2009	40	25,7		47,0	
					31,5	50,8	54,9					25,7		43,5	
572	105	06/03/2009	40	31,8		44,8		607	120	13/03/2009	40		31,2	44,9	49,2
				29,8		44,8							28,9	44,2	49,9
573	120	06/03/2009	40		26,2	50,9		608	120	13/03/2009	40	17,8		43,3	
					26,4	48,2						18,1		41,7	
574	100	06/03/2009	40	31,8		51,4		609	115	13/03/2009	40		34,0	42,2	
				29,6		51,1							36,0	41,0	
575	110	06/03/2009	40		31,8	52,5		610	115	13/03/2009	40	23,5		49,3	
					26,3	54,8						23,0		47,2	
576	100	10/03/2009	40	32,8		57,4		611	120	13/03/2009	40		39,2	46,6	
				32,9		57,1							37,7	48,8	
577	100	10/03/2009	40		39,5	54,8		612	105	13/03/2009	40	24,4		41,6	46,1
					38,0	58,2						23,1		42,5	47,5
578	120	10/03/2009	40	31,0		49,5		613	120	13/03/2009	40		32,6	43,9	
				28,8		49,7							34,3	46,6	
579	120	10/03/2009	40		42,7	51,6		614	120	13/03/2009	40	22,1		50,6	
					39,8	52,7						23,1		48,4	
580	120	10/03/2009	40	31,1		53,6	63,1	615	100	13/03/2009	40		39,8	52,1	
				32,4		51,1	64,5						38,8	47,4	
581	110	10/03/2009	40		42,2	55,8		616	110	13/03/2009	40	27,0		46,7	
					40,1	57,5						25,8		48,5	
582	115	10/03/2009	40	31,3		51,3		617	105	13/03/2009	40		38,6	54,6	60,1
				30,2		53,7							36,4	55,9	58,8
583	120	10/03/2009	40		40,5	51,9		618	110	13/03/2009	40	30,8		53,1	
					39,3	53,0						30,2		51,8	
584	115	10/03/2009	40	25,7		53,6		619	110	13/03/2009	40		36,8	51,3	
				26,9		56,3							35,4	50,3	
585	120	10/03/2009	40		42,8	50,4	60,1	620	115	13/03/2009	40	30,8		54,5	
					40,3	50,9	60,1					29,6		55,9	
586	100	10/03/2009	40	28,1		57,6		621	120	13/03/2009	40		35,9	51,8	
				27,5		54,3							36,2	50,2	
587	100	10/03/2009	40			50,8		622	105	13/03/2009	40	24,4		49,7	53,6
						52,5						25,4		48,3	55,8
588	115	13/03/2009	40	26,3		46,7		623	115	13/03/2009	40		34,5	53,0	
				23,6		46,0							35,0	55,5	
589	95	13/03/2009	40		30,6	45,5		624	100	13/03/2009	40	25,4		59,9	
					33,8	48,4						24,9		57,5	
590	120	13/03/2009	40	21,9		48,6		625	120	13/03/2009	40		35,0	44,0	
				20,1		47,3							34,0	45,8	
591	110	13/03/2009	40		31,6	47,3		626	120	13/03/2009	40	22,4		48,5	
					33,2	47,6						21,7		47,1	
592	120	13/03/2009	40	21,7		51,9	60,4	627	80	13/03/2009	40		32,1	49,6	57,4
				23,2		48,4	59,6						31,2	50,9	59,6
593	105	13/03/2009	40		38,4	56,3		628	105	13/03/2009	40	24,9		46,2	
					39,5	57,7						24,4		47,3	
594	120	13/03/2009	40	28,8		55,8		629	100	13/03/2009	40		25,5	48,2	
				27,5		54,4							26,8	46,5	
595	120	13/03/2009	40		38,3	53,0		630	120	13/03/2009	40	26,5		49,9	
					37,6	52,4						24,4		49,7	



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
631	115	13/03/2009	40		25,6	62,4		666	120	16/03/2009	40	27,9		48,4	57,0
					25,4	61,3						26,5		45,9	54,5
632	100	16/03/2009	40	26,9		43,0		667	110	16/03/2009	40		40,5	44,5	
				28,0		41,5							41,3	45,7	
633	110	16/03/2009	40		38,3	45,3		668	95	16/03/2009	40	32,3		50,9	
					37,8	46,2						29,9		48,2	
634	120	16/03/2009	40	30,5		54,2		669	105	16/03/2009	40		36,4	49,9	
				28,9		55,4							35,7	48,4	
635	100	16/03/2009	40		35,2	41,8		670	115	16/03/2009	40	27,9		44,2	
					37,2	42,3						26,5		46,1	
636	120	16/03/2009	40	29,5		50,4	53,6	671	100	16/03/2009	40		34,7	47,7	57,4
				32,6		51,9	55,7						35,8	50,9	56,0
637	115	16/03/2009	40		36,7	45,7		672	110	16/03/2009	40	33,8		44,9	
					35,8	46,2						34,4		46,0	
638	120	16/03/2009	40	32,6		48,4		673	120	16/03/2009	40		36,7	42,0	
				31,4		47,2							38,0	43,9	
639	105	16/03/2009	40		35,9	48,5		674	95	16/03/2009	40	35,3		47,7	
					36,3	46,7						32,3		45,6	
640	120	16/03/2009	40	27,2		43,3		675	120	16/03/2009	40		36,0	44,0	
				28,6		44,9							35,4	47,1	
641	120	16/03/2009	40		44,7	43,6	49,1	676	105	16/03/2009	40	31,7		48,4	55,1
					43,3	45,8	50,7					33,0		50,4	54,6
642	110	16/03/2009	40	31,8		48,1		677	90	16/03/2009	40		41,4	47,7	
				33,4		47,4							39,7	44,6	
643	120	16/03/2009	40		39,2	46,6		678	105	16/03/2009	40	36,0		50,7	
					39,8	47,4						35,3		50,1	
644	120	16/03/2009	40	31,3		48,5		679	110	16/03/2009	40		42,5	56,2	
				29,6		51,1							42,1	57,6	
645	110	16/03/2009	40		38,2	45,7		680	110	16/03/2009	40	28,8		48,6	
					27,9	48,2						27,1		48,7	
646	120	16/03/2009	40	34,0		43,3	50,4	681	120	16/03/2009	40		40,4	47,6	54,9
				32,8		41,8	48,1						38,6	49,9	54,2
647	120	16/03/2009	40		43,7	51,1		682	115	16/03/2009	40	31,9		42,8	
					42,9	51,1						32,6		44,9	
648	115	16/03/2009	40	23,8		49,6		683	120	16/03/2009	40		36,0	46,8	
				25,2		51,2							37,4	47,5	
649	120	16/03/2009	40		38,1	50,7		684	100	16/03/2009	40	36,7		48,7	
					36,0	47,4						34,4		49,7	
650	120	16/03/2009	40	20,4		49,4	54,9	685	120	16/03/2009	40		38,7	51,7	
				22,0		49,7	53,2						38,1	50,8	
651	120	16/03/2009	40		37,9	47,2		686	105	16/03/2009	40	22,9		48,9	52,2
					38,5	50,8						23,6		46,0	52,9
652	115	16/03/2009	40	28,3		44,9		687	120	16/03/2009	40		32,0	47,2	
				28,4		47,7							30,7	44,8	
653	95	16/03/2009	40		40,3	49,5		688	120	16/03/2009	40	24,0		47,7	
					37,9	49,5						24,5		49,7	
654	115	16/03/2009	40	25,8		52,5		689	120	16/03/2009	40		34,0	46,7	
				26,9		49,7							31,1	47,7	
655	110	16/03/2009	40		38,1	48,7		690	105	16/03/2009	40	23,5		49,4	
					36,0	51,0						22,2		47,6	
656	110	16/03/2009	40	28,2		42,2	51,1	691	120	16/03/2009	40		33,0	49,5	53,7
				30,0		40,6	52,6						31,8	49,7	51,9
657	110	16/03/2009	40		43,7	47,9		692	120	16/03/2009	40	22,0		47,3	
					42,7	47,4						22,2		48,9	
658	115	16/03/2009	40	19,8		42,5		693	115	16/03/2009	40		31,6	41,3	
				21,7		43,3							28,3	43,3	
659	100	16/03/2009	40		40,4	52,9		694	100	16/03/2009	40	27,7		46,9	
					37,2	54,7						26,0		45,7	
660	100	16/03/2009	40	30,1		48,7		695	120	16/03/2009	40		37,1	49,9	
				29,1		46,0							38,3	47,6	
661	120	16/03/2009	40		42,6	49,1	57,3	696	110	16/03/2009	40	23,3		47,0	
					40,8	46,1	56,0					21,5		45,3	
662	105	16/03/2009	40	29,1		51,4		697	95	19/03/2009	40	28,8		48,5	
				26,2		54,7						27,9		51,1	
663	120	16/03/2009	40		38,8	51,0		698	120	19/03/2009	40		36,1	49,0	
					39,2	53,6							36,6	49,7	
664	115	16/03/2009	40	30,2		50,2		699	110	19/03/2009	40	26,7		52,6	
				29,5		48,1						26,7		55,1	
665	120	16/03/2009	40		39,8	48,5		700	120	19/03/2009	40		31,4	44,8	
					37,5	51,2							33,1	44,1	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
701	110	19/03/2009	40	29,5		45,9	49,5	736	100	20/03/2009	40	32,7		46,0	
				30,5		46,4	50,5					31,5		49,4	
702	120	19/03/2009	40		34,8	50,9		737	120	20/03/2009	40		31,2	49,6	
					33,4	50,4							33,2	47,2	
703	105	19/03/2009	40	23,6		52,6		738	110	20/03/2009	40	27,2		49,9	
				25,1		51,3						28,9		51,0	
704	100	19/03/2009	40		32,3	49,1		739	120	20/03/2009	40		33,7	48,7	
					30,7	49,3							34,5	51,7	
705	120	19/03/2009	40	25,1		50,0		740	120	20/03/2009	40	26,4		48,1	
				25,8		47,4						27,8		46,7	
706	110	19/03/2009	40		34,1	51,8	53,4	741	120	20/03/2009	40		35,4	44,0	49,6
					34,0	49,2	54,5						33,3	46,1	49,7
707	115	19/03/2009	40	25,2		48,1		742	105	20/03/2009	40	28,0		50,8	
				26,1		50,4						29,0		53,4	
708	110	19/03/2009	40		36,6	54,4		743	120	20/03/2009	40		32,4	44,7	
					35,6	51,9							34,2	43,1	
709	100	19/03/2009	40	25,7		52,4		744	115	20/03/2009	40	26,8		49,1	
				25,9		49,5						25,6		50,5	
710	110	19/03/2009	40		36,9	51,2		745	115	20/03/2009	40		33,2	50,3	
					35,6	53,6							32,5	47,5	
711	120	19/03/2009	40	24,4		51,1	53,8	746	100	20/03/2009	40	32,0		46,9	52,3
				24,6		53,2	53,2					32,1		49,4	55,0
712	115	19/03/2009	40		33,4	51,7		747	100	20/03/2009	40		36,0	46,2	
					35,6	49,0							35,5	49,7	
713	120	19/03/2009	40	32,5		55,8		748	110	20/03/2009	40	28,4		50,8	
				32,7		57,6						27,8		47,2	
714	110	19/03/2009	40		34,3	49,1		749	115	20/03/2009	40		32,6	47,8	
					34,3	45,9							34,0	50,4	
715	120	19/03/2009	40	29,2		55,0		750	120	20/03/2009	40	28,4		46,7	
				30,9		56,0						27,5		43,6	
716	110	19/03/2009	40		36,2	50,5	52,0	751	110	20/03/2009	40		34,0	46,5	
					34,6	49,4	52,3						33,5	44,8	
717	110	19/03/2009	40	23,9		50,0		752	120	20/03/2009	40	26,7		46,2	
				24,2		47,1						25,4		47,0	
718	100	19/03/2009	40		35,9	50,9		753	110	20/03/2009	40		33,3	48,2	
					36,9	53,5							32,1	49,1	
719	120	19/03/2009	40	27,6		51,3		754	100	20/03/2009	40	31,7		46,1	52,9
				25,5		50,3						30,2		48,6	54,3
720	120	19/03/2009	40		38,1	50,7	53,7	755	110	20/03/2009	40		35,6	49,1	
					37,9	50,9	54,7						34,9	51,5	
721	110	19/03/2009	40	29,3		53,0		756	100	20/03/2009	40	32,6		49,6	
				27,6		49,6						31,1		49,0	
722	115	19/03/2009	40		34,6	49,2		757	105	20/03/2009	40		35,7	44,9	55,2
					34,5	47,6							33,3	48,0	53,2
723	110	19/03/2009	40	28,9		47,1		758	110	20/03/2009	40	37,5		47,4	
				27,5		44,9						36,1		50,5	
724	110	19/03/2009	40		35,6	50,8	54,9	759	120	20/03/2009	40		38,0	45,0	
					34,6	50,9	55,8						35,7	44,0	
725	110	19/03/2009	40	25,5		50,6		760	100	20/03/2009	40	28,6		43,8	
				26,4		48,4						27,7		45,6	
726	110	19/03/2009	40		33,3	42,3		761	115	20/03/2009	40		36,8	43,8	53,6
					32,9	45,3							37,0	45,9	56,2
727	105	19/03/2009	40	25,3		46,3		762	120	20/03/2009	40	32,4		49,5	
				23,8		43,5						32,2		50,6	
728	120	19/03/2009	40		33,4	41,5		763	110	20/03/2009	40		38,4	52,9	
					31,1	42,4							35,7	50,6	
729	100	19/03/2009	40	24,4		44,2		764	110	20/03/2009	40	27,7		43,8	
				25,4		47,1						28,1		42,6	
730	100	19/03/2009	40		30,8	45,5		765	100	20/03/2009	40		35,7	45,1	
					31,9	47,4							37,0	42,9	
731	115	19/03/2009	40	29,1		49,8	53,4	766	100	20/03/2009	40	32,2		45,5	57,3
				26,8		50,8	53,8					31,7		48,1	57,1
732	105	19/03/2009	40		32,4	42,0		767	110	20/03/2009	40		34,6	44,1	
					33,4	43,4							35,5	50,8	
733	100	19/03/2009	40	22,3		46,6		768	100	20/03/2009	40	26,2		42,6	
				23,2		43,6						27,7		44,7	
734	115	20/03/2009	40	29,8		42,7		769	120	20/03/2009	40		37,0	46,7	56,2
				28,9		44,8							35,7	45,8	58,3
735	100	20/03/2009	40		32,7	47,0		770	100	20/03/2009	40	36,2		43,2	
					30,5	45,6						35,4		44,4	



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
771	105	20/03/2009	40		36,6	43,0		806	120	23/03/2009	40		36,1	49,3	52,7
					36,6	44,6							36,3	48,3	53,5
772	105	20/03/2009	40	31,4		49,4	55,7	807	115	23/03/2009	40	24,5		49,0	
				32,4		51,0	56,0					24,0		48,0	
773	110	20/03/2009	40		33,2	48,1		808	115	23/03/2009	40		34,9	46,4	
					35,9	48,5							33,9	48,5	
774	100	20/03/2009	40	33,3		48,8		809	105	23/03/2009	40	29,6		46,3	
				31,0		50,4						31,3		49,2	
775	110	20/03/2009	40		36,8	51,7		810	100	23/03/2009	40		39,3	52,1	
					35,7	52,5							38,7	48,5	
776	115	20/03/2009	40	27,5		45,4	53,5	811	110	23/03/2009	40	25,6		46,9	53,9
				27,5		47,4	52,0					25,2		49,6	55,1
777	110	23/03/2009	40	27,8		45,9		812	100	23/03/2009	40		38,1	49,4	
				27,2		44,3							35,4	47,9	
778	120	23/03/2009	40		38,0	50,3		813	110	23/03/2009	40	23,9		47,7	
					36,9	51,2						23,6		50,8	
779	115	23/03/2009	40	27,2		47,9		814	110	23/03/2009	40		35,6	50,0	
				25,4		44,8							35,8	49,1	
780	115	23/03/2009	40		38,1	44,7		815	105	23/03/2009	40	24,3		45,1	
					36,3	47,3						23,6		47,4	
781	115	23/03/2009	40	25,8		47,3	55,8	816	120	23/03/2009	40		33,8	49,1	55,7
				28,0		50,1	56,1						35,3	50,1	56,5
782	110	23/03/2009	40		35,8	51,9		817	105	23/03/2009	40		28,2	48,0	
					36,9	48,2							27,7	50,8	
783	110	23/03/2009	40	29,0		48,2		818	110	23/03/2009	40		37,7	54,6	
				29,9		48,6							48,6	51,2	
784	115	23/03/2009	40		34,9	46,9		819	105	23/03/2009	40	23,8		45,5	
					35,5	44,9						24,5		45,6	
785	105	23/03/2009	40	27,2		53,2		820	110	23/03/2009	40		38,6	43,6	
				25,2		49,6							35,8	41,6	
786	110	23/03/2009	40		37,3	53,5	56,7	821	120	26/03/2009	40	29,7		47,0	
					37,9	51,5	58,1					28,2		45,1	
787	120	23/03/2009	40	25,3		50,4		822	100	26/03/2009	40		37,9	47,2	
				25,9		49,8							39,6	50,4	
788	105	23/03/2009	40		38,5	45,4		823	120	26/03/2009	40	27,0		47,3	
					36,8	47,4						29,6		49,5	
789	105	23/03/2009	40	26,0		51,9		824	115	26/03/2009	40		38,0	48,4	
				25,1		49,3							34,4	51,0	
790	110	23/03/2009	40		34,9	50,7		825	120	26/03/2009	40	26,6		48,1	58,6
					35,8	47,4						25,9		50,7	60,8
791	105	23/03/2009	40	30,5		57,7	59,5	826	110	26/03/2009	40		40,3	50,8	
				30,8		58,7	59,6						37,9	52,2	
792	120	23/03/2009	40		36,5	47,7		827	120	26/03/2009	40	27,2		58,4	
					38,2	47,7						28,5		54,5	
793	110	23/03/2009	40	27,8		50,6		828	115	26/03/2009	40		40,1	56,0	
				27,1		51,5							40,8	53,7	
794	105	23/03/2009	40		35,7	51,1		829	120	26/03/2009	40	31,6		53,2	
					38,3	49,2						31,9		53,0	
795	120	23/03/2009	40	22,0		48,9		830	115	26/03/2009	40		40,7	52,9	59,0
				23,6		50,6							38,8	55,1	61,8
796	110	23/03/2009	40		34,5	52,4	55,8	831	120	26/03/2009	40	30,1		54,4	
					35,1	50,9	56,8					28,5		50,9	
797	115	23/03/2009	40	24,0		48,5		832	120	26/03/2009	40		35,3	53,0	
				25,7		45,9							35,8	55,0	
798	120	23/03/2009	40		39,8	50,6		833	120	26/03/2009	40	29,9		50,4	
					38,5	50,8						29,3		52,2	
799	115	23/03/2009	40	23,0		45,0		834	120	26/03/2009	40		40,8	47,2	
				21,8		43,1							38,1	48,6	
800	120	23/03/2009	40		34,4	47,8		835	115	26/03/2009	40	29,7		54,8	61,2
					35,8	44,8						33,3		56,3	63,1
801	120	23/03/2009	40	18,1		44,2	49,1	836	120	26/03/2009	40		37,2	53,0	
				19,2		46,0	50,1						36,7	56,1	
802	120	23/03/2009	40		33,8	43,0		837	105	26/03/2009	40	29,1		54,3	
					34,5	45,5						28,5		57,0	
803	115	23/03/2009	40	21,8		46,1		838	115	26/03/2009	40		39,4	51,8	
				21,4		44,2							35,8	54,2	
804	100	23/03/2009	40		37,0	49,5		839	120	26/03/2009	40	24,8		45,1	
					36,6	50,5						25,1		43,8	
805	110	23/03/2009	40	23,5		46,3		840	105	26/03/2009	40		34,5	52,6	61,1
				22,7		48,8							34,2	50,7	64,9

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
841	120	26/03/2009	40	30,9 32,3		57,4 58,6		876	120	31/03/2009	40	33,4 33,9		50,3 48,7	
842	110	26/03/2009	40		38,6 37,3	53,9 53,1		877	105	31/03/2009	40		35,5 34,4	52,2 54,8	
843	105	26/03/2009	40	30,1 32,1		58,2 58,5		878	110	31/03/2009	40	31,1 30,7		52,5 54,5	
844	115	26/03/2009	40		38,7 39,6	55,9 57,5		879	110	31/03/2009	40		33,1 34,8	53,1 54,8	
845	120	26/03/2009	40	30,5 31,9		52,9 54,6	64,5 65,0	880	120	31/03/2009	40	31,7 30,7		48,7 51,8	61,5 62,7
846	110	26/03/2009	40		37,1 39,6	58,2 54,9		881	115	31/03/2009	40		32,8 33,3	56,4 57,4	
847	110	26/03/2009	40	32,9 28,9		54,6 56,2		882	120	31/03/2009	40	28,8 30,9		51,3 52,6	
848	105	26/03/2009	40		39,4 40,3	57,6 55,9		883	110	31/03/2009	40		33,1 32,5	50,1 47,4	
849	115	26/03/2009	40	31,7 32,0		50,1 53,5		884	100	31/03/2009	40	33,3 34,3		58,3 56,4	
850	120	26/03/2009	40		39,5 40,9	53,6 51,2	59,4 60,7	885	120	31/03/2009	40		33,2 32,6	52,1 52,8	59,1 59,9
851	110	26/03/2009	40	29,2 27,2		52,3 49,4		886	110	31/03/2009	40	27,0 25,3		54,2 53,3	
852	120	26/03/2009	40		36,3 35,8	53,6 55,5		887	120	31/03/2009	40		31,8 32,8	53,4 54,0	
853	105	26/03/2009	40	30,8 29,2		47,3 50,2		888	100	31/03/2009	40	26,5 28,3		56,2 57,5	
854	120	26/03/2009	40		39,9 37,6	43,2 44,9		889	110	31/03/2009	40		33,8 32,8	46,7 48,9	
855	105	26/03/2009	40	30,8 28,0		47,7 50,7	53,3 55,4	890	120	31/03/2009	40	28,9 28,2		49,4 47,8	51,9 52,4
856	105	26/03/2009	40		40,5 40,0	45,7 46,8		891	115	31/03/2009	40		34,3 33,5	50,8 52,5	
857	120	26/03/2009	40	29,6 29,2		48,1 49,7		892	120	01/04/2009	40	25,6 23,2		42,5 44,7	
858	105	26/03/2009	40		37,9 35,0	48,5 50,7		893	100	01/04/2009	40		36,9 35,3	49,9 53,0	
859	110	26/03/2009	40	31,4 29,9		44,9 44,9		894	120	01/04/2009	40	22,5 22,7		45,6 45,1	
860	115	26/03/2009	40		39,5 37,3	49,4 45,9	55,4 56,7	895	120	01/04/2009	40		39,3 40,5	50,4 52,2	
861	120	26/03/2009	40	29,0 26,8		47,1 49,1		896	120	01/04/2009	40	26,8 28,3		50,6 49,4	53,6 54,4
862	120	26/03/2009	40		39,9 37,4	47,1 49,1		897	100	01/04/2009	40		36,4 38,4	52,4 53,1	
863	120	26/03/2009	40	28,8 26,6		49,6 50,7		898	105	01/04/2009	40	26,3 27,2		52,3 49,3	
864	115	26/03/2009	40		35,2 36,0	46,1 48,2		899	110	01/04/2009	40		32,6 33,3	47,8 45,5	
865	120	26/03/2009	40	27,2 26,9		49,7 48,5	56,2 58,7	900	110	01/04/2009	40	30,2 28,1		49,1 49,8	
866	120	26/03/2009	40		38,0 41,0	49,9 48,3		901	120	01/04/2009	40		34,7 35,7	47,9 46,0	49,8 50,9
867	120	26/03/2009	40	26,7 28,4		42,3 45,1		902	110	01/04/2009	40	28,2 28,9		42,1 44,8	
868	120	26/03/2009	40		36,0 34,7	48,7 52,2		903	120	01/04/2009	40		36,4 38,7	44,6 45,2	
869	120	26/03/2009	40	26,9 27,2		44,1 45,6		904	115	01/04/2009	40	27,7 27,4		46,0 48,5	
870	110	26/03/2009	40		33,3 34,4	48,7 49,8	53,6 55,5	905	105	01/04/2009	40		35,9 35,6	50,1 48,5	
871	120	26/03/2009	40	29,1 28,2		51,3 48,6		906	110	01/04/2009	40	28,5 27,1		48,5 50,9	54,7 53,8
872	105	26/03/2009	40		34,1 35,8	46,7 48,6		907	115	01/04/2009	40		34,6 37,2	48,1 49,4	
873	120	26/03/2009	40	27,1 25,7		47,3 48,3		908	110	01/04/2009	40	27,9 25,8		42,1 43,1	
874	115	26/03/2009	40		32,4 33,7	50,3 48,5		909	120	01/04/2009	40		34,2 35,7	45,6 44,1	
875	110	26/03/2009	40	25,7 23,1		45,2 43,4	50,3 52,0	910	100	01/04/2009	40	28,3 26,0		47,5 50,7	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
911	110	01/04/2009	40		38,2	51,0	56,3	946	120	01/04/2009	40	18,9		44,1	49,8
					35,7	49,6	54,6					19,4		40,9	48,0
912	120	01/04/2009	40	29,4		53,6		947	115	03/04/2009	40	25,3		42,6	
				30,5		51,1						22,7		42,1	
913	115	01/04/2009	40		33,4	50,0		948	120	03/04/2009	40		34,5	48,7	
					36,7	48,1							36,9	50,4	
914	105	01/04/2009	40	27,6		46,8		949	120	03/04/2009	40	23,5		46,7	
				28,7		47,1						21,6		46,3	
915	115	01/04/2009	40		36,0	45,6		950	120	03/04/2009	40		36,1	49,7	
					35,0	47,6							39,5	48,2	
916	120	01/04/2009	40	19,9		42,0	47,7	951	115	03/04/2009	40	27,1		47,7	53,0
				20,6		44,5	49,6					28,1		48,9	54,2
917	120	01/04/2009	40		35,5	44,1		952	110	03/04/2009	40		38,8	46,5	
					36,0	45,8							37,6	46,4	
918	120	01/04/2009	40	25,6		44,8		953	95	03/04/2009	40	28,9		47,2	
				25,2		42,8						27,8		48,8	
919	120	01/04/2009	40		38,6	50,6		954	105	03/04/2009	40		38,0	51,5	
					40,5	48,9							36,3	50,6	
920	120	01/04/2009	40	25,6		47,8		955	115	03/04/2009	40	26,1		53,2	
				26,4		47,9						27,6		51,1	
921	120	01/04/2009	40		36,6	48,5	52,5	956	115	03/04/2009	40		35,7	49,5	54,1
					36,5	50,1	53,7						38,2	49,7	55,2
922	110	01/04/2009	40	26,3		45,9		957	110	03/04/2009	40	25,8		51,5	
				24,0		43,3						26,3		51,7	
923	110	01/04/2009	40		34,4	45,5		958	115	03/04/2009	40		41,5	51,4	
					32,0	43,0							40,5	53,0	
924	115	01/04/2009	40	26,5		48,2		959	120	03/04/2009	40	25,3		45,3	
				26,9		45,0						25,8		45,5	
925	115	01/04/2009	40		34,2	44,7		960	115	03/04/2009	40		40,4	53,8	
					35,2	45,9							37,0	53,3	
926	120	01/04/2009	40	23,9		45,9	50,3	961	120	03/04/2009	40	24,7		47,7	52,4
				21,2		46,9	52,2					25,1		47,0	51,5
927	110	01/04/2009	40		33,3	45,5		962	115	03/04/2009	40		39,5	52,3	
					32,3	42,8							36,9	51,9	
928	120	01/04/2009	40	25,6		46,0		963	120	03/04/2009	40	22,4		45,5	
				25,2		48,6						25,0		45,3	
929	115	01/04/2009	40		34,1	53,1		964	105	03/04/2009	40		37,4	45,4	
					36,4	53,8							35,3	46,2	
930	120	01/04/2009	40	23,1		42,8		965	120	03/04/2009	40	23,1		45,7	
				23,7		43,4						22,4		46,3	
931	110	01/04/2009	40		40,2	48,9	53,9	966	110	03/04/2009	40		41,4	56,5	63,2
					40,6	49,6	55,9						40,6	57,2	60,2
932	115	01/04/2009	40	21,7		42,6		967	120	03/04/2009	40	24,2		49,3	
				23,6		44,0						23,0		51,2	
933	110	01/04/2009	40		37,3	46,9		968	115	03/04/2009	40		34,2	44,6	
					34,9	48,9							34,3	44,0	
934	120	01/04/2009	40	26,4		49,9		969	120	03/04/2009	40	23,6		46,1	
				27,0		47,1						24,4		45,5	
935	120	01/04/2009	40		32,2	43,6		970	100	03/04/2009	40		42,0	52,1	
					33,1	44,5							41,5	51,0	
936	115	01/04/2009	40	22,7		44,8	51,9	971	120	03/04/2009	40	24,8		48,5	50,2
				20,4		48,0	52,2					22,6		48,2	50,9
937	105	01/04/2009	40		33,2	44,4		972	120	03/04/2009	40		34,4	48,3	
					36,9	45,9							34,8	47,1	
938	120	01/04/2009	40	23,2		41,9		973	120	03/04/2009	40	23,7		53,6	
				21,7		43,8						25,8		52,9	
939	120	01/04/2009	40		31,9	43,8		974	120	03/04/2009	40		34,3	47,4	
					34,0	44,1							31,9	47,5	
940	120	01/04/2009	40	22,5		41,3		975	115	03/04/2009	40	24,1		50,7	
				23,8		44,0						23,2		52,0	
941	120	01/04/2009	40		34,5	46,8	54,9	976	110	03/04/2009	40		34,6	43,5	46,0
					32,7	48,4	53,5						34,6	43,3	45,3
942	120	01/04/2009	40	19,5		40,8		977	110	03/04/2009	40	23,9		50,6	
				18,7		42,3						22,1		50,6	
943	120	01/04/2009	40		32,8	43,6		978	110	03/04/2009	40		37,6	51,6	
					33,1	43,0							35,2	51,8	
944	120	01/04/2009	40	19,2		41,6		979	120	03/04/2009	40	25,4		46,9	
				20,4		41,4						25,3		47,2	
945	110	01/04/2009	40		31,2	41,9		980	120	03/04/2009	40		33,5	45,8	
					33,2	43,6							32,8	46,2	



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
981	110	03/04/2009	40	25,3 25,8		49,6 52,2	54,9 57,2	1016	120	06/04/2009	40	31,2 32,3		47,0 47,3	
982	115	03/04/2009	40		41,1 41,9	55,4 56,3		1017	110	06/04/2009	40		34,3 34,4	45,7 46,1	
983	115	03/04/2009	40	24,5 23,3		47,4 48,1		1018	120	06/04/2009	40	29,1 27,7		46,6 44,4	
984	120	03/04/2009	40		34,4 34,6	50,4 51,0		1019	105	06/04/2009	40		34,3 35,3	47,0 47,3	48,5 48,1
985	120	03/04/2009	40	23,1 25,5		49,8 52,0		1020	115	06/04/2009	40	30,1 28,5		42,8 44,2	
986	115	03/04/2009	40		33,2 32,8	46,7 46,9	50,7 49,4	1021	110	06/04/2009	40		31,4 31,9	42,6 45,7	
987	115	03/04/2009	40	24,3 24,8		53,8 51,8		1022	120	06/04/2009	40	27,6 26,6		45,7 44,6	
988	110	03/04/2009	40		40,1 37,1	50,1 50,9		1023	105	06/04/2009	40		33,1 33,1	45,9 45,8	
989	115	03/04/2009	40	28,2 29,0		49,6 50,3		1024	120	06/04/2009	40	26,3 28,8		44,1 48,6	51,5 50,5
990	110	03/04/2009	40		34,4 33,2	47,1 46,4		1025	115	06/04/2009	40		36,1 33,1	47,3 46,2	
991	110	03/04/2009	40	23,5 25,2		47,6 47,1	52,0 50,6	1026	110	06/04/2009	40	30,5 29,9		45,6 44,1	
992	120	03/04/2009	40		32,8 33,7	47,4 46,2		1027	120	06/04/2009	40		33,9 36,9	46,9 43,5	
993	120	03/04/2009	40	26,2 25,7		49,0 47,9		1028	110	06/04/2009	40	27,6 28,8		44,8 46,8	
994	120	03/04/2009	40		36,4 35,2	47,2 47,8		1029	115	06/04/2009	40		31,9 34,4	46,9 47,3	48,5 49,9
995	120	03/04/2009	40	23,6 23,9		45,2 45,4		1030	115	06/04/2009	40	27,0 28,9		49,2 48,1	
996	120	03/04/2009	40		35,5 37,8	45,1 44,7	52,3 50,9	1031	105	06/04/2009	40		33,6 31,2	43,3 45,4	
997	120	03/04/2009	40	29,2 26,7		47,1 46,1		1032	110	06/04/2009	40	27,6 29,8		43,7 42,5	
998	120	03/04/2009	40		39,6 37,9	46,5 47,2		1033	120	06/04/2009	40		28,6 31,8	44,5 41,8	
999	105	03/04/2009	40	22,7 20,4		47,7 47,6		1034	115	06/04/2009	40	26,3 26,1		47,0 47,2	49,7 49,2
1000	95	06/04/2009	40	29,7 31,2		46,3 44,8		1035	120	06/04/2009	40		31,9 30,9	44,7 45,1	
1001	95	06/04/2009	40		34,5 35,4	42,1 44,4		1036	120	06/04/2009	40	28,2 27,7		47,5 46,0	
1002	95	06/04/2009	40	32,5 31,7		48,8 47,0		1037	120	07/04/2009	40	26,8 28,8		50,5 51,0	
1003	90	06/04/2009	40		33,2 31,9	50,7 48,6		1038	95	07/04/2009	40		36,4 38,2	48,9 49,5	
1004	115	06/04/2009	40	25,8 26,3		45,7 45,9	53,5 52,6	1039	105	07/04/2009	40	30,9 30,5		52,0 49,8	
1005	100	06/04/2009	40		33,2 34,5	44,5 46,1		1040	110	07/04/2009	40		34,5 36,9	47,6 47,6	
1006	115	06/04/2009	40	29,4 32,9		46,3 47,4		1041	120	07/04/2009	40	24,8 26,4		49,4 48,2	52,8 51,4
1007	115	06/04/2009	40		36,7 34,3	49,5 51,2		1042	110	07/04/2009	40		32,5 35,4	51,4 53,1	
1008	120	06/04/2009	40	30,4 28,8		42,2 44,6		1043	120	07/04/2009	40	29,2 27,3		54,2 52,1	
1009	120	06/04/2009	40		34,7 32,2	43,8 43,5	46,2 47,7	1044	115	07/04/2009	40		38,1 38,2	49,4 49,4	
1010	105	06/04/2009	40	32,0 32,2		50,5 50,8		1045	120	07/04/2009	40	25,4 23,2		47,8 45,7	
1011	120	06/04/2009	40		28,6 30,2	47,4 46,8		1046	120	07/04/2009	40		37,3 38,9	50,8 48,6	55,1 54,4
1012	115	06/04/2009	40	30,2 32,1		45,6 46,7		1047	115	07/04/2009	40	25,5 25,7		43,4 46,0	
1013	110	06/04/2009	40		33,3 34,4	46,5 45,2		1048	120	07/04/2009	40		33,4 35,7	50,6 48,1	
1014	110	06/04/2009	40	31,6 31,0		47,9 45,7	48,5 50,1	1049	110	07/04/2009	40	29,9 27,7		44,4 44,7	
1015	110	06/04/2009	40		35,8 33,5	45,3 45,3		1050	115	07/04/2009	40		38,6 38,1	48,1 46,7	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1051	115	07/04/2009	40	29,3 28,0		49,6 51,2	52,4 52,0	1086	105	09/04/2009	40	23,5 24,5		40,4 42,1	
1052	120	07/04/2009	40		34,5 32,9	48,9 49,8		1087	120	09/04/2009	40		27,0 25,5	40,9 40,7	
1053	105	07/04/2009	40	29,4 29,3		48,5 46,8		1088	115	09/04/2009	40	21,9 23,2		41,4 40,7	43,6 43,9
1054	120	07/04/2009	40		34,0 34,5	42,5 44,5		1089	120	09/04/2009	40		28,9 29,3	40,7 43,0	
1055	115	07/04/2009	40	25,5 29,0		49,7 51,6		1090	120	09/04/2009	40	22,7 23,5		43,5 44,6	
1056	120	07/04/2009	40		37,1 34,4	48,8 49,2	50,5 49,7	1091	105	09/04/2009	40		30,4 29,1	44,2 41,8	
1057	120	07/04/2009	40	22,7 23,2		42,9 43,4		1092	105	09/04/2009	40	26,8 25,8		41,1 42,9	
1058	120	07/04/2009	40		33,1 31,9	43,7 44,9		1093	105	09/04/2009	40		29,6 32,0	44,9 46,9	47,2 49,0
1059	110	07/04/2009	40	23,9 24,4		42,4 40,8		1094	115	09/04/2009	40	23,0 22,2		43,3 43,1	
1060	100	07/04/2009	40		32,6 30,6	45,2 47,0		1095	110	09/04/2009	40		30,1 31,9	40,5 42,1	
1061	120	07/04/2009	40	22,1 25,4		40,9 42,3	44,0 44,1	1096	120	09/04/2009	40	23,1 26,4		42,4 44,7	
1062	110	07/04/2009	40		35,3 31,9	47,7 45,6		1097	120	09/04/2009	40		28,3 27,0	43,5 40,8	
1063	100	07/04/2009	40	26,8 29,7		46,7 45,9		1098	110	09/04/2009	40	26,5 25,6		44,1 44,9	48,3 50,1
1064	110	07/04/2009	40		31,1 33,2	42,9 44,4		1099	110	09/04/2009	40		32,4 30,7	48,2 45,4	
1065	120	07/04/2009	40	27,2 29,4		42,2 44,3		1100	105	09/04/2009	40	31,1 28,7		50,1 50,5	
1066	110	07/04/2009	40		31,7 31,0	43,3 43,0	46,4 49,1	1101	120	09/04/2009	40		33,6 33,4	44,8 46,9	
1067	110	07/04/2009	40	26,5 25,3		44,1 45,5		1102	105	09/04/2009	40	27,7 28,2		43,6 43,3	
1068	120	07/04/2009	40		33,3 33,1	43,3 46,1		1103	120	09/04/2009	40		32,0 33,8	46,2 45,3	50,0 49,5
1069	115	07/04/2009	40	22,4 23,6		43,4 45,4		1104	110	09/04/2009	40	26,8 27,5		41,5 42,3	
1070	105	07/04/2009	40		33,2 31,0	43,9 45,6		1105	85	09/04/2009	40		33,3 34,5	48,2 49,7	
1071	120	07/04/2009	40	25,0 24,6		45,7 45,1	49,4 47,8	1106	110	09/04/2009	40	26,9 29,3		48,0 49,4	
1072	105	07/04/2009	40		33,3 31,8	44,8 46,1		1107	105	09/04/2009	40		35,0 34,8	50,0 47,7	
1073	110	07/04/2009	40	27,0 25,7		42,5 44,9		1108	95	09/04/2009	40	29,6 30,6		49,0 48,7	49,9 51,9
1074	120	09/04/2009	40	25,9 28,9		40,9 43,0		1109	120	09/04/2009	40		32,7 33,9	47,5 48,2	
1075	120	09/04/2009	40		29,5 30,1	43,3 43,2		1110	110	09/04/2009	40	28,3 27,7		49,3 50,0	
1076	105	09/04/2009	40	30,8 31,2		48,3 46,0		1111	120	09/04/2009	40		35,4 33,5	47,6 46,9	
1077	120	09/04/2009	40		31,6 30,0	42,7 42,7		1112	100	09/04/2009	40	30,6 30,3		44,7 43,1	
1078	120	09/04/2009	40	25,1 26,3		41,3 43,3	43,4 45,5	1113	115	09/04/2009	40		35,5 32,0	44,3 46,0	
1079	120	09/04/2009	40		29,3 31,6	41,8 42,1		1114	110	09/04/2009	40	25,6 23,9		45,1 43,4	
1080	105	09/04/2009	40	26,8 24,9		44,4 44,9		1115	105	09/04/2009	40		34,4 33,2	45,5 43,2	
1081	85	09/04/2009	40		30,8 29,3	42,2 42,8		1116	120	09/04/2009	40	29,3 31,0		44,6 46,9	
1082	120	09/04/2009	40	26,5 24,2		44,7 45,9		1117	110	09/04/2009	40		34,5 32,3	45,5 46,2	48,0 48,7
1083	115	09/04/2009	40		31,8 29,6	41,5 43,0	45,7 46,1	1118	110	09/04/2009	40	29,3 25,5		47,1 45,5	
1084	115	09/04/2009	40	24,7 22,3		44,3 44,7		1119	115	09/04/2009	40		34,5 33,3	45,7 43,1	
1085	120	09/04/2009	40		28,0 29,2	41,5 43,6		1120	110	09/04/2009	40	29,0 29,2		47,8 49,7	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1121	110	09/04/2009	40		35,6	46,2		1156	110	17/04/2009	40		34,7	48,5	
					35,9	47,2							37,8	49,8	
1122	105	16/04/2009	40	34,7		49,7		1157	120	17/04/2009	40	31,3		48,8	
				35,0		52,4						29,8		47,3	
1123	95	16/04/2009	40		34,1	54,3		1158	120	17/04/2009	40		35,2	46,1	56,3
					35,7	55,7							36,5	47,6	55,0
1124	95	16/04/2009	40	29,6		50,3		1159	110	17/04/2009	40	30,4		44,7	
				29,5		53,5						31,5		46,1	
1125	80	16/04/2009	40		35,4	53,5		1160	115	17/04/2009	40		36,2	50,7	
					37,1	55,8							38,9	52,3	
1126	90	16/04/2009	40	32,6		52,6	56,9	1161	110	17/04/2009	40	32,2		47,4	
				33,5		51,9	58,7					30,4		47,2	
1127	120	16/04/2009	40		32,5	48,7		1162	115	17/04/2009	40		37,6	54,4	
					33,1	49,3							35,8	52,2	
1128	95	16/04/2009	40	32,2		51,9		1163	120	17/04/2009	40	32,4		44,0	60,6
				34,2		49,5						34,3		44,8	58,7
1129	100	16/04/2009	40		36,6	52,7		1164	120	17/04/2009	40		33,3	46,6	
					36,5	50,6							35,8	45,3	
1130	115	16/04/2009	40	32,5		52,5		1165	110	17/04/2009	40	28,1		47,4	
				29,9		53,6						30,6		46,6	
1131	105	16/04/2009	40		33,9	50,7		1166	105	17/04/2009	40		35,2	45,5	
					35,7	53,3							37,0	46,9	
1132	105	16/04/2009	40	30,8		48,5	52,3	1167	105	17/04/2009	40	35,8		47,1	
				29,6		47,8	54,2					33,4		49,4	
1133	100	16/04/2009	40		34,1	49,9		1168	100	17/04/2009	40		39,3	48,0	55,5
					35,0	48,0							39,5	49,0	56,6
1134	110	16/04/2009	40	32,3		48,4		1169	110	17/04/2009	40	31,4		52,8	
				35,6		49,4						33,2		50,9	
1135	120	16/04/2009	40		31,4	47,5		1170	115	17/04/2009	40		38,5	51,8	
					34,3	50,1							40,7	50,2	
1136	110	16/04/2009	40	31,3		48,9	56,7	1171	115	17/04/2009	40	29,9		48,2	
				31,0		50,5	56,0					29,1		46,9	
1137	100	16/04/2009	40		36,3	48,3		1172	120	17/04/2009	40		38,9	52,0	
					36,9	49,9							39,9	53,1	
1138	110	16/04/2009	40	28,6		47,6		1173	105	17/04/2009	40	28,2		47,7	51,3
				30,0		48,1						28,7		49,2	52,8
1139	110	16/04/2009	40		35,9	52,8		1174	110	17/04/2009	40		39,4	50,4	
					36,2	50,9							38,5	53,5	
1140	110	16/04/2009	40	29,3		54,9		1175	110	17/04/2009	40	25,7		48,7	
				30,7		57,0						24,1		48,8	
1141	120	16/04/2009	40		33,5	53,0	60,8	1176	110	17/04/2009	40		37,5	50,0	
					33,3	51,8	58,4						38,3	52,6	
1142	120	16/04/2009	40	27,8		53,9		1177	105	17/04/2009	40	25,7		48,2	
				28,5		53,0						26,8		45,7	
1143	110	16/04/2009	40		33,0	52,6		1178	120	17/04/2009	40		36,4	52,5	52,9
					33,1	49,6							37,0	53,6	53,1
1144	120	16/04/2009	40	28,1		49,7		1179	100	17/04/2009	40	30,4		47,6	
				29,6		49,2						32,2		49,8	
1145	115	16/04/2009	40		33,2	44,0		1180	110	20/04/2009	40	18,9		44,9	
						45,8						19,1		43,7	
1146	120	16/04/2009	40	26,5		49,1	57,1	1181	90	20/04/2009	40		33,9	49,7	
				26,1		47,3	54,5						35,9	48,2	
1147	100	16/04/2009	40		38,3	55,1		1182	110	20/04/2009	40	20,7		48,0	
					35,8	55,2						21,2		47,0	
1148	115	16/04/2009	40	34,5		57,0		1183	85	20/04/2009	40		36,1	53,0	
				34,7		54,5							35,8	52,0	
1149	115	17/04/2009	40	32,7		45,6		1184	105	20/04/2009	40	26,3		47,7	61,3
				31,8		47,0						25,6		49,7	59,3
1150	110	17/04/2009	40		37,9	54,6		1185	110	20/04/2009	40		37,3	50,9	
					36,6	52,4							39,5	49,2	
1151	105	17/04/2009	40	30,7		46,6		1186	110	20/04/2009	40	22,1		50,5	
				30,4		47,3						24,1		52,7	
1152	105	17/04/2009	40		33,9	46,1		1187	115	20/04/2009	40		39,1	52,8	
					36,7	48,1							40,5	51,7	
1153	115	17/04/2009	40	31,4		48,8	58,7	1188	115	20/04/2009	40	22,0		51,5	
				30,3		50,5	57,8					23,3		50,6	
1154	105	17/04/2009	40		37,9	52,4		1189	120	20/04/2009	40		37,1	53,4	62,8
					39,2	51,8							35,4	52,3	61,1
1155	110	17/04/2009	40	30,1		47,3		1190	115	20/04/2009	40	25,6		43,0	
				27,8		46,4						25,1		44,7	



Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1191	115	20/04/2009	40		36,9	45,5		1226	120	20/04/2009	40	20,6		53,2	
						37,0	48,0					19,1		54,4	
1192	120	20/04/2009	40	24,3		51,6		1227	100	20/04/2009	40		40,9	55,0	
				25,5		49,2							39,2	57,3	
1193	85	20/04/2009	40		40,6	56,3		1228	115	20/04/2009	40	20,0		50,5	
					40,7	55,0						20,6		49,5	
1194	115	20/04/2009	40	18,8		49,3	57,5	1229	115	20/04/2009	40		36,8	49,6	58,6
				19,0		45,7	56,4						38,2	47,0	58,4
1195	105	20/04/2009	40		36,6	48,9		1230	105	20/04/2009	40	19,3		50,0	
					36,5	46,2						19,5		52,1	
1196	120	20/04/2009	40	27,5		47,2		1231	110	20/04/2009	40		36,3	48,4	
				24,3		47,3							36,5	47,2	
1197	120	20/04/2009	40		40,7	49,8		1232	105	20/04/2009	40	20,3		49,0	
					39,2	51,5						19,6		47,1	
1198	115	20/04/2009	40	24,0		49,6		1233	120	20/04/2009	40		31,7	47,6	
				22,8		51,9							30,2	45,7	
1199	105	20/04/2009	40		36,2	49,7	53,4	1234	105	20/04/2009	40	20,1		51,8	52,9
					38,5	48,4	51,3					20,8		50,4	53,3
1200	115	20/04/2009	40	22,5		47,5		1235	120	20/04/2009	40		32,8	46,2	
				24,8		45,3							34,5	46,1	
1201	110	20/04/2009	40		41,8	50,4		1236	105	20/04/2009	40	18,9		50,1	
					39,3	52,0						19,1		50,2	
1202	115	20/04/2009	40	24,0		48,5		1237	120	20/04/2009	40		36,8	47,2	
				23,3		48,0							38,2	49,8	
1203	115	20/04/2009	40		38,9	49,0		1238	110	23/04/2009	40	28,8		47,3	
					40,4	49,9						29,3		47,5	
1204	115	20/04/2009	40	22,7		49,2	62,8	1239	110	23/04/2009	40		39,1	51,7	
				20,6		51,7	66,0						39,9	53,1	
1205	105	20/04/2009	40		37,6	54,0		1240	120	23/04/2009	40	29,3		54,4	
					39,7	56,2						26,8		52,8	
1206	120	20/04/2009	40	24,3		48,5		1241	90	23/04/2009	40		38,3	49,0	
				23,6		50,8							40,3	49,6	
1207	110	20/04/2009	40		41,2	53,0		1242	110	23/04/2009	40	29,0		56,3	57,7
					42,3	51,5						30,6		57,9	58,6
1208	115	20/04/2009	40	23,4		52,3		1243	115	23/04/2009	40		39,2	56,1	
				22,3		50,9							40,9	56,6	
1209	110	20/04/2009	40		38,5	53,5	62,9	1244	105	23/04/2009	40	31,9		56,7	
					39,6	55,5	64,7					31,2		57,3	
1210	105	20/04/2009	40	21,2		52,6		1245	120	23/04/2009	40		37,1	58,3	
				22,7		50,6							35,7	56,1	
1211	115	20/04/2009	40		40,6	54,7		1246	120	23/04/2009	40	28,6		49,8	
					39,9	56,1						29,7		50,5	
1212	115	20/04/2009	40	23,8		53,8		1247	120	23/04/2009	40		34,4	51,8	55,8
				21,0		55,7							36,2	52,7	56,0
1213	105	20/04/2009	40		38,5	56,8		1248	85	23/04/2009	40	29,2		51,2	
					40,8	58,7						28,7		51,0	
1214	110	20/04/2009	40	25,6		57,6	58,8	1249	120	23/04/2009	40		34,2	55,0	
				23,9		54,9	59,3						35,6	56,0	
1215	110	20/04/2009	40		38,2	53,4		1250	105	23/04/2009	40	24,1		48,3	
					39,7	55,1						25,5		49,8	
1216	115	20/04/2009	40	25,5		56,8		1251	110	23/04/2009	40		36,1	50,1	
				24,0		58,1							35,7	49,5	
1217	110	20/04/2009	40		40,9	55,0		1252	110	23/04/2009	40	24,2		48,3	62,5
					39,3	52,3						23,9		47,9	62,1
1218	100	20/04/2009	40	21,7		56,3		1253	110	23/04/2009	40		36,1	48,9	
				21,3		56,9							37,5	50,4	
1219	105	20/04/2009	40		35,8	51,2	52,9	1254	105	23/04/2009	40	24,4		51,1	
					38,1	50,9	52,1					25,4		51,8	
1220	120	20/04/2009	40	19,2		55,5		1255	100	23/04/2009	40		39,5	49,6	
				18,9		57,0							39,4	49,9	
1221	120	20/04/2009	40		36,7	53,1		1256	100	23/04/2009	40	27,6		50,1	
					34,0	52,4						25,9		50,6	
1222	120	20/04/2009	40	19,2		49,5		1257	110	25/04/2009	40	28,1		46,4	
				21,1		51,5						32,3		44,6	
1223	120	20/04/2009	40		38,1	52,1		1258	110	25/04/2009	40		38,7	49,4	
					40,1	48,6							36,6	48,0	
1224	110	20/04/2009	40	24,3		51,2	55,7	1259	105	25/04/2009	40	31,0		46,3	
				24,4		50,7	53,4					31,3		48,0	
1225	120	20/04/2009	40		38,9	53,9		1260	110	25/04/2009	40		37,9	49,8	
					41,7	51,9							39,9	48,9	

Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão				Série	Abat. [mm]	Data de Moldagem	fck [MPa]	Resistência a Compressão			
				CP 10 x 20 cm								CP 10 x 20 cm			
				3 dias	7 dias	28 dias	91 dias					3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1261	110	25/04/2009	40	31,9 32,8		48,8 46,0	58,3 58,5	1296	105	25/04/2009	40		37,0 39,5	48,9 46,1	57,3 57,4
1262	90	25/04/2009	40		39,1 40,4	52,4 53,7		1297	110	25/04/2009	40	23,6 25,6		45,7 46,7	
1263	100	25/04/2009	40	33,5 34,3		53,5 52,5		1298	120	30/04/2009	40	30,7 31,6		46,4 47,9	
1264	110	25/04/2009	40		38,3 40,5	52,4 53,7		1299	115	30/04/2009	40		32,3 34,5	49,1 49,0	
1265	120	25/04/2009	40	30,6 32,4		48,1 47,0		1300	120	30/04/2009	40	27,0 28,0		52,2 51,4	
1266	110	25/04/2009	40		39,1 36,8	44,9 46,3	58,6 57,0	1301	110	30/04/2009	40		36,9 35,2	52,5 53,3	
1267	115	25/04/2009	40	32,6 31,3		49,2 50,7		1302	115	30/04/2009	40	30,2 28,5		53,4 53,7	56,9 57,5
1268	115	25/04/2009	40		39,5 40,8	48,5 51,3		1303	105	30/04/2009	40		38,1 38,4	50,9 50,6	
1269	120	25/04/2009	40	32,1 30,4		46,2 44,2		1304	115	30/04/2009	40	29,3 30,8		49,5 49,8	
1270	120	25/04/2009	40		38,0 35,9	50,9 50,6		1305	100	30/04/2009	40		40,0 38,5	51,4 51,0	
1271	115	25/04/2009	40	30,4 31,8		50,0 48,1	62,2 62,4	1306	110	30/04/2009	40	29,1 29,3		50,8 51,0	
1272	120	25/04/2009	40		39,5 40,5	53,1 54,4		1307	100	30/04/2009	40		37,1 37,2	51,9 51,5	54,2 55,2
1273	120	25/04/2009	40	32,7 31,5		41,5 42,6		1308	110	30/04/2009	40	29,4 28,6		49,4 48,8	
1274	115	25/04/2009	40		38,7 36,8	48,6 47,1		1309	115	30/04/2009	40		38,2 36,7	46,8 47,1	
1275	115	25/04/2009	40	32,2 31,7		48,7 51,1		1310	110	30/04/2009	40	31,5 30,6		52,2 51,7	
1276	115	25/04/2009	40		38,0 37,5	51,5 49,4	65,0 62,6	1311	115	30/04/2009	40		37,2 34,9	53,7 54,4	
1277	105	25/04/2009	40	34,4 35,8		49,0 50,6		1312	110	30/04/2009	40	26,9 28,1		50,0 49,2	54,0 54,6
1278	110	25/04/2009	40			49,2 49,5		1313	120	30/04/2009	40		32,3 30,8	52,6 51,9	
1279	100	25/04/2009	40	31,0 31,6		49,1 50,8		1314	110	30/04/2009	40	29,3 28,4		52,1 52,2	
1280	100	25/04/2009	40			51,3 49,7		1315	110	30/04/2009	40		32,0 33,5	49,1 49,1	
1281	115	25/04/2009	40	28,2 27,1		49,5 46,7	56,1 57,6	1316	115	30/04/2009	40	26,7 27,5		50,2 50,6	
1282	105	25/04/2009	40		38,7 37,7	49,4 46,2		1317	120	30/04/2009	40		33,2 31,8	52,0 50,9	54,0 53,2
1283	120	25/04/2009	40	32,0 31,5		47,4 49,6		1318	100	02/05/2009	40	29,5 29,3		49,1 47,1	
1284	120	25/04/2009	40		36,2 38,4	49,6 48,9		1319	110	02/05/2009	40		33,4 34,5	47,0 48,4	
1285	115	25/04/2009	40	29,8 30,9		42,6 44,7		1320	95	02/05/2009	40	29,3 27,8		50,6 49,0	
1286	110	25/04/2009	40		35,1 37,5	48,1 47,0	61,8 61,0	1321	115	02/05/2009	40		35,8 34,6	52,7 51,0	
1287	110	25/04/2009	40	32,5 33,2		45,8 44,0		1322	110	02/05/2009	40	28,6 27,3		47,3 46,0	51,5 52,0
1288	110	25/04/2009	40		34,5 35,1	46,9 44,9		1323	115	02/05/2009	40		36,2 38,2	50,8 52,3	
1289	115	25/04/2009	40	32,6 30,0		43,5 43,0		1324	120	02/05/2009	40	28,4 26,5		45,9 46,6	
1290	105	25/04/2009	40		37,9 36,5	46,3 48,2		1325	105	02/05/2009	40		38,5 39,6	50,4 51,3	
1291	115	25/04/2009	40	31,2 30,7		43,3 45,5	53,8 55,7	1326	100	02/05/2009	40	27,2 29,3		48,5 47,5	
1292	110	25/04/2009	40		36,6 35,6	50,4 48,4		1327	105	02/05/2009	40		37,6 35,1	49,4 50,6	52,1 52,4
1293	115	25/04/2009	40	30,2 31,8		44,2 45,5		1328	105	02/05/2009	40	31,2 32,8		51,7 52,1	
1294	110	25/04/2009	40		34,9 34,5	44,5 46,9		1329	90	02/05/2009	40		38,2 38,6	50,6 52,5	
1295	120	25/04/2009	40	30,5 29,0		44,6 43,1		1330	120	02/05/2009	40	30,2 28,0		46,8 46,0	



