

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Avaliação da Resistência à Compressão e da Absorção de
Água de Concretos Utilizados após o Tempo Máximo de
Mistura e Transporte Especificado pela NBR 7212**

Eduardo Polesello

Porto Alegre
2012

EDUARDO POLESELLO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA
ABSORÇÃO DE ÁGUA DE CONCRETOS UTILIZADOS APÓS O
TEMPO MÁXIMO DE MISTURA E TRANSPORTE
ESPECIFICADO PELA NBR 7212**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia na Modalidade Acadêmico.

Porto Alegre
2012

CIP – Catalogação na Publicação

Polesello, Eduardo

Avaliação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água de Concretos Utilizados após o Tempo Máximo de Mistura e Transporte Especificado pela NBR 7212 / Eduardo Polesello, -- 2012.

141 f.

Orientadora: Prof.^a Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin.

Orientadora: Prof.^a Dra. Angela Borges Masuero.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. Concreto produzido em central. 2. Tempo de mistura. 3. Resistência à compressão. 4. Absorção de água. 5. Superplastificante. I. Carpena Coitinho Dal Molin, Prof.^a Dra. Denise, orient. II. Borges Masuero, Prof.^a Dra. Angela. III. Título.

EDUARDO POLESELLO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA
ABSORÇÃO DE ÁGUA DE CONCRETOS UTILIZADOS APÓS O
TEMPO MÁXIMO DE MISTURA E TRANSPORTE
ESPECIFICADO PELA NBR 7212**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Construção Civil, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 12 de abril de 2012.

Prof.a. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dra. pela Universidade de São Paulo
Orientadora

Prof.a. Angela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Prof. Luis Carlos Pinto da Silva Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antonio Domingues de Figueiredo (USP)
Dr. pela Universidade de São Paulo

Prof. Fernando Antonio Piazza Recena (PUCRS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.a Ana Paula Kirchheim (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Com muito amor e gratidão dedico este trabalho
aos meus pais, Ester e Ermindo,
e a você Gisele.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por Sua manifestação intensa no meu dia-a-dia e por me agradecer com experiências de verdadeiros momentos de felicidade, através das pessoas com quem convivo e pelas conquistas alcançadas ao longo da vida.

A toda minha família, em especial meus queridos pais, a quem devo tudo o que sou. Seus exemplos e ensinamentos foram e são fundamentais na minha realização pessoal e profissional.

A você Gisele, com quem tenho a felicidade de partilhar meus dias, muito obrigado pelo apoio, compreensão, carinho e amor, fundamentais nessa conquista. Você dá sentido à minha vida. Te amo!

Minhas orientadoras, Denise e Angela, registro aqui minha profunda admiração e agradecimento pelo apoio, incentivo e orientação competente. Fico honrado pela convivência, confiança e amizade!

À FURG e seus professores pela formação acadêmica de qualidade. Aos professores do NORIE/UFRGS por todo conhecimento compartilhado.

Aos colegas e amigos do NORIE pelo convívio e amizade. Em especial ao amigo Abrahão B. Rohden pelo apoio e colaboração nessa pesquisa.

Aos amigos e profissionais que ao longo desta caminhada contribuíram com seus conhecimentos sobre a tecnologia de concreto, em especial ao Eng.^o Recena, obrigado pelos ensinamentos no início desta caminhada, teu exemplo me inspira a seguir adiante; Eng.^{os} Flávio Liz e Flávio Bartz, obrigado pela amizade e por compartilhar de suas experiências.

Registro aqui um agradecimento muito especial à empresa Concreto Redimix do Brasil S/A e seus colaboradores, pelo apoio na realização desta pesquisa e por possibilitar o exercício da minha profissão com ética e responsabilidade.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram pela conclusão de mais uma etapa de minha vida profissional.

“Ainda que eu tivesse o dom da profecia, e conhecimento de todos os mistérios e toda a ciência; ainda que eu tivesse toda a fé, a ponto de transportar montanhas, se não tivesse amor, eu não seria nada.”

I Coríntios 13:2

RESUMO

POLESELLO, E. **Avaliação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água de Concretos Utilizados após o Tempo Máximo de Mistura e Transporte Especificado pela NBR 7212.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

A norma brasileira NBR 7212 (ABNT, 1984), para execução de concreto dosado em central, estipula o tempo máximo para que o concreto seja descarregado (aplicado) completamente em 150 minutos. O tempo para utilização do concreto está vinculado às reações de hidratação do cimento e à perda de abatimento que ocorre com o concreto fresco, um fenômeno normal definido como sendo a perda de fluidez com o passar do tempo. Essa propriedade do concreto é particularmente importante no caso de concreto dosado em centrais, pelo fato do primeiro contato da água com o cimento ser na central enquanto que o lançamento/adensamento ocorrerá alguns minutos ou horas depois, quando o caminhão betoneira chegar ao canteiro de obras. Na prática, muitas vezes, ocorrem situações onde caminhões ficam carregados com concreto por 4 ou 5 horas, em função de atrasos no transporte ou na descarga, caracterizando um tempo bem acima do limite especificado pela norma. A dúvida de utilizar ou não o concreto nessas condições existe, pois não há conhecimento consolidado quanto às suas propriedades finais quando empregado com tempo de mistura que já tenham excedido o limite máximo especificado por norma. O objetivo desta pesquisa é investigar o comportamento de concretos do ponto de vista da resistência à compressão e absorção de água, quando utilizados com tempo de mistura de até 6 horas. Os concretos foram produzidos com dois tipos de cimento, CIPV e CPII, e o abatimento foi mantido ao longo das 6 horas em mistura com a incorporação de aditivo superplastificante à base policarboxilato. Nesse estudo adotaram-se três relações a/c e a produção dos concretos foi realizada em laboratório e em condição real numa central dosadora de concreto. As propriedades estudadas, resistência à compressão e absorção de água, foram analisadas aos 28 dias para vários tempos de mistura. O estudo mostrou que o tempo para utilização do concreto pode ser estendido acima do tempo especificado pela norma, sem que haja perda de sua resistência à compressão e alterações na absorção de água ao longo do tempo.

Palavras-chave: *Concreto produzido em central, tempo de mistura, resistência à compressão, absorção de água, superplastificante.*

ABSTRACT

POLESELLO, E. **Avaliação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água de Concretos Utilizados após o Tempo Máximo de Mistura e Transporte Especificado pela NBR 7212.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

Evaluation of Compressive Strength and Water Absorption of Concrete Used after the Maximum Time of Mixing and Transport Specified by NBR 7212.

The Brazilian standard NBR 7212 (ABNT, 1984), for execution of ready-mixed concrete, specifies the maximum time for concrete to be discharged (used) completely in 150 minutes. The usage time of the concrete is due to reactions of the cement hydration and slump loss that occurs with fresh concrete, a normal phenomenon defined as the loss of fluidity along the time. This property of concrete is particularly important in the case of ready-mixed concrete plants, because the first contact of water with the cement is in the ready-mixed concrete plants while launching / densification occurs minutes or hours later, when the mixer truck arrives at the construction site. In fact, often, there are situations where trucks are loaded with concrete by 4 or 5 hours, due to delays in transportation or unloading, characterizing some time well above the limit specified by the standard. The question is to use or not use the concrete on these conditions, because there are no studies that confirm the final properties of the concrete when used with mixing time that have already exceeded the maximum limit specified by the standard. The aim of this study is to investigate the behavior of concrete from viewpoint of compressive strength and water absorption when used with mixing time up to 6 hours. The concretes were produced with two types of cement, CPIV and CPII, and slump was kept up to the six hours in a mixture with the incorporation of superplasticizer based polycarboxylate. In this study were adopted three relations w/c and the production of concrete was done in laboratory and real conditions in a ready-mixed concrete plants. The studied properties, compressive strength and water absorption were analyzed in 28 days for several mixing times. The study showed that the time of use from the concrete can be extended over the time specified by the standard, without loss of compressive strength and changes in the water absorption over time.

Key-words: *Concrete produced in central, mixing time, compressive strength, water absorption, superplasticizer.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	16
1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Problema de Pesquisa e Justificativa	21
1.2. Objetivo	22
1.2.1. Objetivos Específicos	22
1.3. Delineamento da Pesquisa	23
1.4. Estrutura do Trabalho	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1. Hidratação do Cimento.....	25
2.1.1. Hidratação dos Aluminatos.....	29
2.1.2. Hidratação dos Silicatos	32
2.2. Primeiras Idades do Concreto	33
2.3. Aditivos para Concreto	39
2.3.1. Aditivos Plastificantes e Superplastificantes	41
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	54
3.1. Planejamento Experimental	54
3.2. Caracterização dos Materiais	57
3.2.1. Cimento Portland.....	58
3.2.2. Agregado Miúdo	59
3.2.3. Agregado Graúdo	60
3.2.4. Aditivo e Água	62
3.3. Produção e Ensaio dos Concretos	63
3.3.1. Traços Utilizados	63
3.3.2. Produção dos Concretos em Laboratório	64
3.3.3. Produção dos Concretos na Central de Concreto.....	67
3.3.4. Ensaio Realizados	70
3.3.4.1. Resistência à Compressão Axial	70
3.3.4.2. Absorção por Capilaridade	71
3.3.4.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	72

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	74
4.1. Resistência à Compressão	74
4.1.1. Concretos Produzidos em Laboratório	75
4.1.2. Concretos Produzidos na Central de Concreto	82
4.2. Absorção por Capilaridade	86
4.2.1. Concretos Produzidos em Laboratório	86
4.2.2. Concretos Produzidos na Central de Concreto	92
4.3. Perda de Abatimento ao Longo do Tempo	97
4.3.1. Concretos Produzidos em Laboratório	97
4.3.2. Concretos Produzidos na Central de Concreto	101
4.4. Consumo do Aditivo Superplastificante	104
4.4.1. Concretos Produzidos em Laboratório	105
4.4.2. Concretos Produzidos na Central de Concreto	110
4.5. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	115
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
5.1. Conclusões	118
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	120
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
ANEXO I – DADOS INDIVIDUAIS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	126
ANEXO II – DADOS INDIVIDUAIS DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE	131
ANEXO III – ABATIMENTOS INDIVIDUAIS E QUANTIDADES DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE UTILIZADAS.....	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: consumo de cimento em 2010 (milhões de toneladas) dos maiores consumidores mundiais (Dados: Cimento.org)	18
Figura 2: médias de emissões de CO ₂ por tonelada de cimento (CSI, 2009)	20
Figura 3: representação esquemática do tempo para transporte e descarga do concreto pré-misturado (Fonte: ABESC)	21
Figura 4: delineamento da pesquisa	23
Figura 5: processo de hidratação do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 1994).....	26
Figura 6: microestrutura eletrônica de varredura de cristais hexagonais característicos de monossulfato hidratado e cristais aciculares de etringita formado pela mistura de soluções de aluminato de cálcio e sulfato de cálcio (MEHTA; MONTEIRO, 2008).	30
Figura 7: taxa de liberação de calor de uma pasta de cimento Portland durante a pega e o período inicial de endurecimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).	34
Figura 8: Resistência à compressão e abatimentos de concretos quando submetido à mistura prolongada (KIRCA et al, 2002).	38
Figura 9: Classificação dos aditivos segundo NBR 11768:2011	40
Figura 10: Diagrama esquemático do efeito dos superplastificantes no concreto nos estados fresco e endurecido (COLLERPADI, 2005).	42
Figura 11: Microscopia de partículas de cimento (a) sem a presença de aditivo e (b) após ter sido disperso na presença de um superplastificante (MEHTA; MONTEIRO, 2008).	44
Figura 12: Adsorção do superplastificante (SMF) sobre os compostos do cimento na hidratação (RAMACHANDRAN, 1987).	44
Figura 13: Evolução da fração de superplastificante adsorvido durante hidratação do C ₃ A com gipsita em uma solução de cal saturada (POURCHET et al., 2006).	45
Figura 14: Microscopia eletrônica de varredura com imagem típica de etringita obtida uma hora após o início da hidratação da mistura de C ₃ A e gipsita (a) sem superplastificante ou (b) na presença de 5% de policarboxilato (POURCHET et. al, 2006).	46
Figura 15: Desenho esquemático de pasta de cimento em um concreto convencional (a/c=0,60) e com superplastificante (a/c=0,45) (COLLEPARDI, 1998).	48
Figura 16: Perda de abatimento de concretos (temperatura: 20°C) com superplastificantes a base policarboxilato e naftaleno (COLLEPARDI, 1993).	51
Figura 17: Efeito de ajustes no concreto sobre resistência à compressão quando submetido à mistura prolongada (ERDOĞDU, 2005).	52
Figura 18: combinações entre as variáveis controláveis da pesquisa	55
Figura 19: mistura adicional realizada em condições oposta de temperatura (31°C)	56

Figura 20: mistura e tempos adotados para ensaio de MEV por elétrons secundários	57
Figura 21: curva granulométrica do agregado miúdo (areia natural)	60
Figura 22: curva granulométrica do agregado graúdo (brita 1).....	61
Figura 23: curva granulométrica do agregado graúdo (brita 0).....	62
Figura 24: sequência de colocação dos materiais adotada no laboratório: (a) agregado graúdo, (b) adição de parte da água, (c) cimento, (d) aditivo plastificante, (e) agregado miúdo e (f) água final.....	64
Figura 25: procedimento de moldagem e cura dos corpos-de-prova: (a) moldagem, (b) cura inicial (24 horas), (c) identificação, (d) saturados em câmara climatizada a $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ até idade de ensaio.....	65
Figura 26: verificação do abatimento com restabelecimento à condição inicial (120+-20mm) através da incorporação de aditivo superplastificante à mistura durante o período de 6 horas	66
Figura 27: condições internas do balão do caminhão utilizado	67
Figura 28: processo de carregamento na central dosadora de concreto (a) carregamento dos agregados, (b) transporte dos agregados para o caminhão e (c) caminhão sendo carregado.....	68
Figura 29: dosagem final e verificação da homogeneização do concreto: (a) dosador, (b) hidrômetro para dosagem final do concreto e (c) aspecto do concreto.....	69
Figura 30: (a) cano de pvc adaptado para colocação do aditivo, (b) posicionamento do cano no caminhão e (c) adição do superplastificante ao concreto	70
Figura 31: (a) equipamento utilizado para retificar a base dos corpos-de-prova e (b) aparência dos corpos-de-prova retificados e (c) ensaio de resistência à compressão.....	71
Figura 32: (a) ensaio de absorção por capilaridade e (b) detalhe lâmina de água de 5mm..	72
Figura 33: resistência média à compressão aos 28 dias do concreto com CP IV produzido em laboratório	75
Figura 34: resistência média à compressão aos 28 dias do concreto com CP II produzido em laboratório	76
Figura 35: comportamento do concreto produzido em laboratório quanto à resistência à compressão aos 28 dias em função: (a) relação a/c, (b) tipo de cimento, (c) tempo de mistura, (d) interação da relação a/c com o tempo de mistura	77
Figura 36: resistência à compressão aos 28 dias do concreto produzido em laboratório com CP IV e relação a/c de 0,68 em diferentes condições de temperaturas.....	80
Figura 37: comportamento do crescimento da resistência à compressão até a idade de 63 dias do concreto produzido em laboratório com CP IV e relação a/c de 0,68 em diferentes condições de temperatura	81
Figura 38: resistência à compressão aos 28 dias do concreto com CP IV produzido na central de concreto.....	82

Figura 39: resistência à compressão aos 28 dias do concreto com CP II produzido na central de concreto	83
Figura 40: comportamento do concreto produzido na central de concreto sobre a resistência à compressão aos 28 dias em função: (a) relação a/c, (b) tipo de cimento, (c) tempo de mistura	84
Figura 41: absorção por capilaridade (g/cm ²) aos 28 dias do concreto com CP IV produzido em laboratório com: (a) a/c = 0,68, (b) a/c=0,52, (c) a/c=0,40	87
Figura 42: absorção por capilaridade (g/cm ²) aos 28 dias do concreto com CP II produzido em laboratório com: (a) a/c = 0,68, (b) a/c=0,52, (c) a/c=0,40	88
Figura 43: absorção por capilaridade (%) aos 28 dias dos concretos com CP IV produzidos em laboratório: (a) absorção final para cada tempo estudado e (b) absorção final média	89
Figura 44: absorção por capilaridade (%) aos 28 dias dos concretos com CP II produzidos em laboratório: (a) absorção final para cada tempo estudado e (b) absorção final média	89
Figura 45: comportamento do concreto produzido em laboratório sobre a absorção por capilaridade aos 28 dias em função: (a) relação a/c, (b) tipo de cimento.....	90
Figura 46: absorção por capilaridade (g/cm ²) aos 28 dias do concreto com CP IV produzido na central com: (a) a/c = 0,68, (b) a/c=0,52, (c) a/c=0,40	92
Figura 47: absorção por capilaridade (g/cm ²) aos 28 dias do concreto com CP II produzido na central com: (a) a/c = 0,68, (b) a/c=0,52, (c) a/c=0,40	93
Figura 48: absorção por capilaridade (%) aos 28 dias dos concretos com CP IV produzidos na central: (a) absorção final para cada tempo estudado e (b) absorção final média	94
Figura 49: absorção por capilaridade (%) aos 28 dias dos concretos com CP II produzidos na central: (a) absorção final para cada tempo estudado e (b) absorção final média	94
Figura 50: comportamento do concreto produzido na central sobre a absorção por capilaridade aos 28 dias em função: (a) relação a/c, (b) tipo de cimento.....	95
Figura 51: distribuição da água por absorção por capilaridade em todos os tempos estudados para o concreto produzido na central de concreto com relação a/c de 0,52 e cimento tipo CP IV.....	96
Figura 52: perda do abatimento durante o período de 2 horas, em concretos produzidos em laboratório com o registro da umidade relativa do ar	98
Figura 53: abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para cimento tipo CP IV de concretos produzidos em laboratório.....	99
Figura 54: abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para cimento tipo CP II de concretos produzidos em laboratório	99
Figura 55: perda do abatimento ao longo do tempo para concreto produzido em laboratório com cimento CP IV e relação a/c de 0,68 em diferentes condições de temperatura e umidade do ambiente.....	100
Figura 56: perda do abatimento em concretos produzidos em central de concreto com o registro da umidade relativa do ar	101

Figura 57: abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para cimento tipo CP IV de concretos produzidos em central de concreto	102
Figura 58: abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para cimento tipo CP II de concretos produzidos em central de concreto.....	103
Figura 59: perda de abatimento para concretos com tempo de mistura prolongada: (a) CPIV em laboratório, (b) CPII em laboratório, (c) CPIV na central, (d) CPII na central	104
Figura 60: percentuais de aditivo parciais utilizados para cimento CP IV em laboratório para restabelecimento do abatimento.....	106
Figura 61: percentuais de aditivo utilizado para concreto produzido em laboratório com cimento CP IV e relação a/c de 0,68 em diferentes condições de temperatura e umidade do ambiente	107
Figura 62: percentuais de aditivo parciais utilizados para cimento CP II em laboratório para restabelecimento do abatimento.....	108
Figura 63: percentuais de aditivo acumulados ao longo do tempo para restabelecimento do abatimento de concretos produzidos em laboratório com: (a) cimento CPIV e (b) cimento CPII.....	109
Figura 64: percentuais de aditivo totais utilizados para os concretos produzidos em laboratório com: (a) cimento CPIV e (b) cimento CPII	110
Figura 65: percentuais de aditivo parciais utilizados para cimento CP IV na central de concreto para restabelecimento do abatimento	111
Figura 66: percentuais de aditivo parciais utilizados para cimento CP II na central de concreto para restabelecimento do abatimento	112
Figura 67: percentuais de aditivo acumulados ao longo do tempo para restabelecimento do abatimento de concretos produzidos na central dosadora com: (a) cimento CPIV e (b) cimento CPII.....	113
Figura 68: percentuais de aditivo totais utilizados para os concretos produzidos na central de concreto com: (a) cimento CPIV e (b) cimento CPII	114
Figura 69: MEV por elétrons secundários para o concreto com CPIV e relação a/c de 0,68 aos 3 dias de idade com tempo de mistura de 0 hora. Magnificação: 5000 X.....	115
Figura 70: MEV por elétrons secundários para o concreto com CPIV e relação a/c de 0,68 aos 3 dias de idade com tempo de mistura de 4 horas. Magnificação: 5000 X.....	116
Figura 71: MEV por elétrons secundários para o concreto com CPIV e relação a/c de 0,68 aos 3 dias de idade com tempo de mistura de 6 horas. Magnificação: 5000 X.....	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: principais compostos do cimento Portland (Neville, 1997).....	27
Tabela 2: calor de hidratação dos compostos do cimento Portland (MEHTA; MONTEIRO, 2008).....	28
Tabela 3: características e propriedades do cimento Portland pozolânico CP IV 32 RS	58
Tabela 4: características e propriedades do cimento Portland composto CP II Z 32	59
Tabela 5: características físicas do agregado miúdo (areia natural).....	60
Tabela 6: características físicas do agregado graúdo (brita 1)	61
Tabela 7: características físicas do agregado graúdo (brita 0)	62
Tabela 8: características técnicas dos aditivos	63
Tabela 9: proporcionamento dos concretos	63
Tabela 10: Resistência à compressão média, desvio padrão e coeficiente de variação, aos 28 dias, do concreto produzido em laboratório	75
Tabela 11: Resultados da ANOVA para resistência à compressão aos 28 dias dos concretos produzidos em laboratório	76
Tabela 12: Resultados da ANOVA para resistência à compressão aos 28 dias dos concretos produzidos em laboratório dos resultados dos tempos de mistura de 2h até 6h.....	79
Tabela 13: Resistência à compressão média, desvio padrão e coeficiente de variação, aos 28 dias, do concreto produzido na central dosadora de concreto	82
Tabela 14: Resultados da ANOVA para resistência à compressão dos concretos produzidos na central de concreto	83
Tabela 15: Resultados da ANOVA para resistência à compressão aos 28 dias dos concretos produzidos na central dos resultados dos tempos de mistura de 2h até 6h.....	85
Tabela 16: Resultados da ANOVA para absorção por capilaridade aos 28 dias dos concretos produzidos em laboratório	90
Tabela 17: Resultados da ANOVA para absorção por capilaridade aos 28 dias dos concretos produzidos na central	95
Tabela 18: abatimentos e perda registrada durante o período de 2 horas para concretos produzidos em laboratório	97
Tabela 19: abatimentos e perda registrada durante o período de 2 horas para concretos produzidos em central de concreto.....	101
Tabela 20: dosagem do aditivo para restabelecimento do abatimento à condição inicial (120+-20mm) para traços com cimento CP IV produzidos em laboratório	105

Tabela 21: dosagem do aditivo para restabelecimento do abatimento à condição inicial (120+-20mm) para traços com cimento CP II produzidos em laboratório	107
Tabela 22: dosagem do aditivo para restabelecimento do abatimento à condição inicial (120+-20mm) para traços com cimento CP IV produzidos na central dosadora de concreto	110
Tabela 23: dosagem do aditivo para restabelecimento do abatimento à condição inicial (120+-20mm) para traços com cimento CP II produzidos na central	112

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material construtivo mais consumido no mundo. Em função de sua resistência, durabilidade, trabalhabilidade e infinitas possibilidades arquitetônicas, o concreto está presente em obras grandiosas pelo mundo afora, fazendo dele o segundo produto mais consumido no mundo, perdendo, apenas, para a água. O Brasil já ocupa a 4ª posição do ranking mundial em consumo de cimento (figura 1) e poderá ultrapassar os Estados Unidos muito em breve, caso as previsões otimistas para o Brasil e não tão positivas para os Estados Unidos se mantenham.

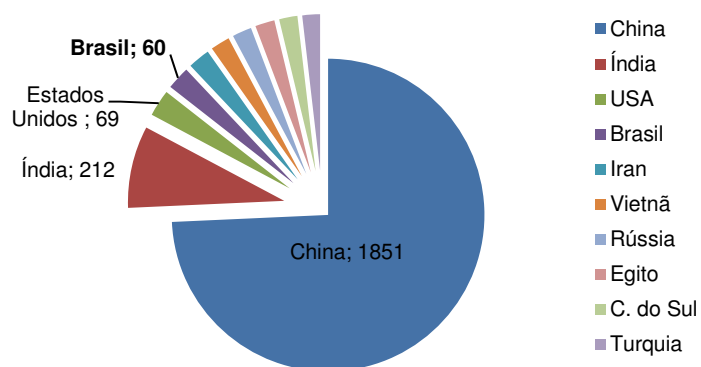


Figura 1: consumo de cimento em 2010 (milhões de toneladas) dos maiores consumidores mundiais (Dados: Cimento.org)

Estima-se que anualmente são consumidas 3,3 bilhões de toneladas de cimento no mundo, destacando-se, entre os dez maiores, a China como maior consumidor mundial com quase 2 bilhões de toneladas ao ano (cimento.org). O concreto convencional (fck \approx 25,0 a 30,0 MPa), tipicamente, contém 12% de cimento, 8% de água de amassamento e 80% de agregado, em massa (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Porém constata-se, em função do comportamento dos cimentos atualmente e da classe de resistência pretendida, que esse percentual do cimento pode variar, às vezes, superando os 20%. Considerando esse índice de 20% significa dizer, que além das 3,3 bilhões de toneladas de cimento consumidas hoje pela indústria do concreto, essa consome também cerca de 11,9 bilhões de toneladas de areia e rocha e 1,3 bilhões de toneladas de água. Essa indústria de 16,5 bilhões de toneladas ao ano é a maior consumidora de recursos naturais do mundo.

Existem ao menos três razões principais pelo elevado índice de consumo do concreto. A primeira refere-se à excelente resistência do concreto à água, diferentemente da madeira e do aço comum, tornando-se um material ideal para construção de estruturas para controle, armazenamento e transporte de água, como o uso na construção de barragens. O segundo motivo é a facilidade com o qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos. Isso porque o concreto fresco é de consistência plástica, favorecendo o fluxo do material para o interior das fôrmas. Como terceiro motivo para popularidade do concreto entre engenheiros tem-se o baixo custo, normalmente, e a rápida disponibilidade do material para uma obra (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Atualmente, além do custo, da praticidade e comodidade, as exigências do mercado de um melhor controle na dosagem assim como uniformidade e homogeneidade mais constante das misturas, grande parte do concreto consumido no Brasil sai de centrais dosadoras. Um dos grandes problemas que essas centrais dosadoras enfrentam é em relação ao resíduo gerado, proveniente, na grande maioria das vezes, de sobras de concreto, por ser agressivo ao meio ambiente. Essas sobras, muitas vezes, são resultado da não aceitação da obra por estar o concreto com tempo de mistura, a partir do carregamento, acima do especificado por norma.

Segundo dados da Associação Brasileira de Serviços de Concretagem (ABESC), o índice de desperdício de concreto pré-misturado varia de 1% a 4% em relação ao volume dosado na Alemanha, enquanto que no Brasil estima-se um índice de até 9%. Polesello et al. (2010), em estudo realizado em quatro centrais dosadoras de concreto localizadas no estado do Rio Grande do Sul, verificaram que esse índice superou 4%, sendo que em duas delas aproximou-se de 6%. Estimativas da ABESC apontam que somente para região metropolitana de São Paulo o volume de concreto residual das centrais dosadoras é cerca de 3.500m³ a 7.000m³ mensalmente. Considerando uma média de 5.000m³, contabiliza-se um total de 60.000m³ de concreto residual gerado por esse segmento da construção, anualmente. Além dessa agressão ao meio ambiente pela disposição desse concreto, sabe-se também que durante a obtenção das matérias-primas há um impacto ambiental, destacando-se a fabricação do cimento. Se for adotado um consumo médio de cimento de 300 kg/m³ de concreto, contabiliza-se um desperdício de cimento anual de 18.000 toneladas em função desse concreto residual referente a região metropolitana de São Paulo.

Segundo dados da International Energy Agency - IEA (2007), a intensidade média de CO₂ gerada, por país, na fabricação do cimento é de 0,83 toneladas por tonelada de cimento. Um

panorama mais detalhado desse índice, analisando regiões e a média mundial, apresentado pela Cement Sustainability Initiative - CSI (2009), pode ser visualizado na figura 2.

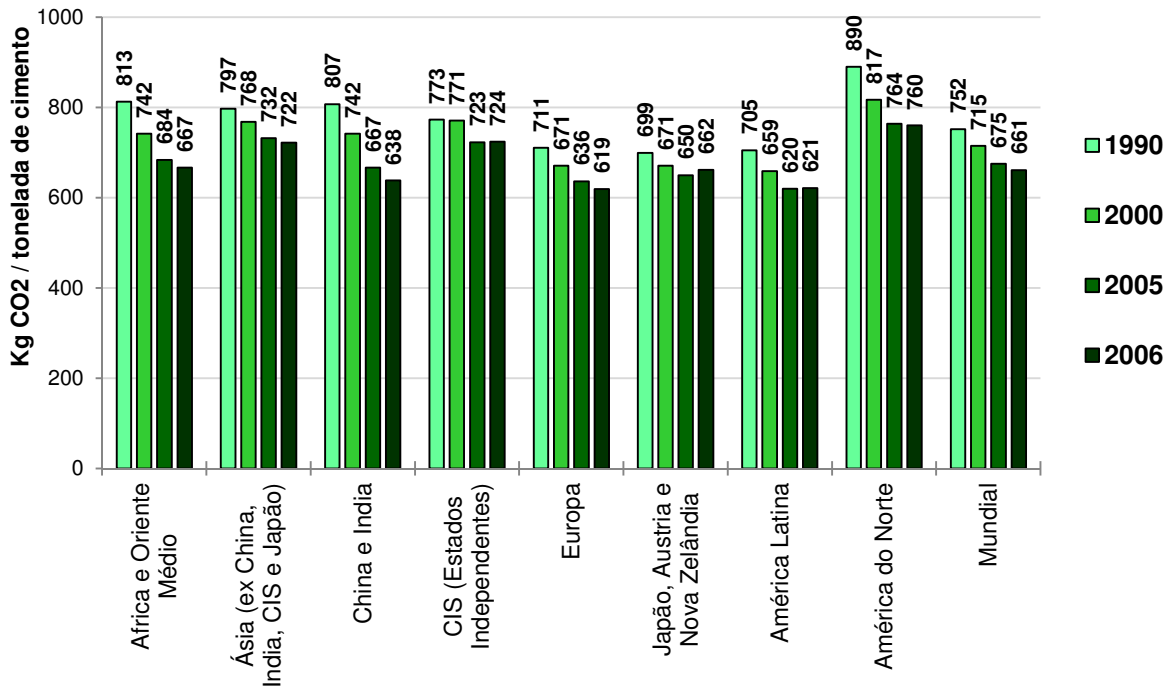


Figura 2: médias de emissões de CO₂ por tonelada de cimento (CSI, 2009)

De acordo com a estimativa apresentada de concreto residual, e considerando, por exemplo, a média mundial apresentada na figura 2 referente ao ano de 2006, além dos 60.000m³ de concreto residual estima-se que, aproximadamente, 12.000 toneladas de CO₂ são geradas na fabricação do cimento utilizado nesse concreto. Cabe salientar que esta estimativa anual refere-se somente à região metropolitana de São Paulo; com isso, fica evidente o impacto ambiental gerado mundialmente em função do concreto residual.

Através da redução destas perdas haverá uma boa contribuição para a diminuição da agressão ao meio ambiente. Como alternativas, há a necessidade de desenvolvimento de processos e soluções eficientes tecnicamente que contribuam para diminuição desse índice. Surge então o questionamento em relação ao limite do tempo de mistura e transporte do concreto em 150 minutos, já que o aumento desse tempo refletirá diretamente na redução do concreto residual, conseqüentemente, do impacto ambiental gerado.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

A norma brasileira NBR 7212 (ABNT, 1984), para execução de concreto dosado em central, estipula o tempo máximo de transporte da central até a obra em 90 min, bem como o tempo máximo para que o concreto seja descarregado (aplicado) completamente em 150 min, conforme ilustrado na figura 2.

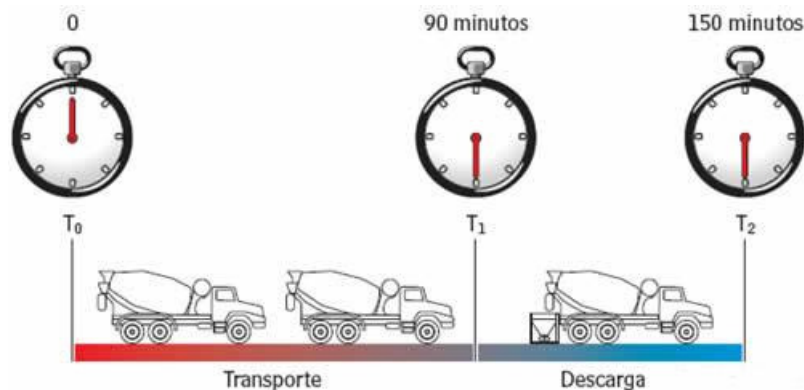


Figura 3: representação esquemática do tempo para transporte e descarga do concreto pré-misturado (Fonte: ABESCA)

Na prática, muitas vezes, ocorrem situações onde caminhões ficam carregados com concreto por 4 ou 5 horas, em função de atrasos no transporte ou na descarga, caracterizando um tempo bem acima do limite especificado pela norma. Nestes casos, enfrentam-se duas realidades:

- a) o concreto é aceito pelo engenheiro da obra pelo simples fato de não se perceber alteração na temperatura do concreto; no qual, provavelmente, será feita alguma correção do abatimento com a adição de água, afetando com isso sua relação a/c e conseqüentemente suas propriedades mecânicas e de durabilidade;
- b) o concreto é devolvido para a central dosadora que deve dar um destino ao mesmo, processo esse cada vez mais complicado por ser um resíduo agressivo ao meio ambiente e por envolver grandes volumes.

A dúvida de utilizar ou não o concreto nessas condições existe, pois não há conhecimento consolidado quanto às propriedades finais de concretos aplicados com tempo de mistura que já tenham excedido o tempo especificado por norma.

Através de um estudo piloto recentemente realizado no laboratório do NORIE/UFRGS por Rodhen et al. (2011), adotando dois tipos de cimentos CP II e CP V, observou-se que, não houve perda na resistência à compressão do concreto quando ensaiado no seu estado endurecido à idade de 28 dias, para concretos utilizados no período de até seis horas após o primeiro contato da água com o cimento, com sua trabalhabilidade mantida ao longo desse tempo com a incorporação de aditivo superplastificante.

Face ao exposto, e por haver poucos dados e estudos que analisam esse tempo limite de mistura e transporte do concreto, justifica-se a necessidade em aprofundar e ampliar o conhecimento, em relação ao impacto nas propriedades finais de concretos utilizados com tempo superior ao especificado pela norma.

1.2 OBJETIVO

O objetivo principal dessa pesquisa consiste da avaliação do comportamento do concreto em relação à sua resistência à compressão e absorção de água, quando utilizado após o tempo máximo de mistura e transporte especificado pela NBR 7212 de 150 minutos, a partir do primeiro contato do cimento com a água.

1.2.1 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos podem-se listar:

- a) analisar a influência do tempo de mistura do concreto na resistência à compressão, tanto em laboratório como em escala real (central de concreto);
- b) estimar a durabilidade, através da absorção por capilaridade, do concreto mantido em mistura prolongada, tanto em laboratório como em escala real (central de concreto);
- c) avaliar a perda de abatimento e a capacidade do restabelecimento da trabalhabilidade com a incorporação do aditivo superplastificante ao longo do tempo;
- d) comparar o comportamento de concretos produzidos em laboratório e em central dosadora de concreto utilizados após o tempo máximo de mistura e transporte especificado por norma.

1.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Pode-se dizer que todo o desenvolvimento da pesquisa foi definido por três etapas principais. Inicialmente por uma revisão bibliográfica, que se desenvolveu, praticamente, ao longo de toda a pesquisa, por um programa experimental, que descreve todos os experimentos realizados, e por fim uma análise e discussão dos resultados (figura 3).



Figura 4: delineamento da pesquisa

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. No primeiro capítulo é feita uma introdução abordando considerações iniciais sobre o assunto, identificando o problema e a justificativa dessa pesquisa. São descritos o objetivo principal e os específicos, assim como o delineamento da pesquisa e estrutura do trabalho.

No segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica abordando a hidratação do cimento, o comportamento do concreto nas primeiras idades e, por fim, uma abordagem sobre o uso de aditivos no concreto, evidenciando aditivos superplastificantes.

O programa experimental, detalhado no capítulo três, apresenta a caracterização dos materiais utilizados, os procedimentos para produção do concreto em laboratório e na central, assim como o detalhamento dos ensaios realizados.

No capítulo quatro apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios, as análises e discussões dos mesmos. Por fim, no capítulo cinco, são feitas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas questões referentes à hidratação do cimento, suas reações e principais compostos que se formam. O comportamento do concreto nas primeiras idades assim como na presença de aditivos, também são tópicos abordados nessa seção.

A revisão bibliográfica busca avaliar possíveis justificativas da adoção do limite especificado por norma de tempo máximo de mistura e transporte do concreto, em 150 minutos. Esse limite de tempo foi especificado, provavelmente, em função das reações de hidratação que ocorrem com o cimento, pelo processo de início de pega ou pela perda que há em sua trabalhabilidade durante as primeiras horas, como consequente dificuldade de lançamento e adensamento. Porém, quando mantido em mistura prolongada, posterior aos 150 minutos, há poucos estudos avaliando o reflexo desse processo nas propriedades finais, conforme se observará nesta revisão bibliográfica. No entanto, os tópicos a seguir abordados apoiarão no desenvolvimento do programa experimental dessa pesquisa que busca estudar a utilização de concretos com tempo superior à especificação existente.

2.1 HIDRATAÇÃO DO CIMENTO

Conforme citado por Metha e Monteiro (2008), Brunauer e Copeland¹ (1964) que competentemente assim descreveram a importância da hidratação do cimento Portland para a tecnologia do concreto:

A química do concreto é essencialmente a química da reação entre o cimento e a água (figura 5)... O conhecimento sobre os compostos formados quando o cimento Portland reage é importante porque o cimento em si não é um material cimentante; seus produtos de hidratação, sim, têm ação cimentante. O conhecimento da quantidade de calor liberado é importante porque o calor às vezes é benéfico e outras vezes é um problema... O conhecimento da velocidade de reação é necessário porque determina o tempo de pega e endurecimento. A reação inicial deve ser suficientemente lenta para permitir que o concreto seja lançado, por outro

¹ BRUNAUER, S. and COPELAND, L.E., *The Chemistry of Concrete*, Sci. Am., April 1964.

lado, após o lançamento do concreto, é sempre desejável um rápido endurecimento.

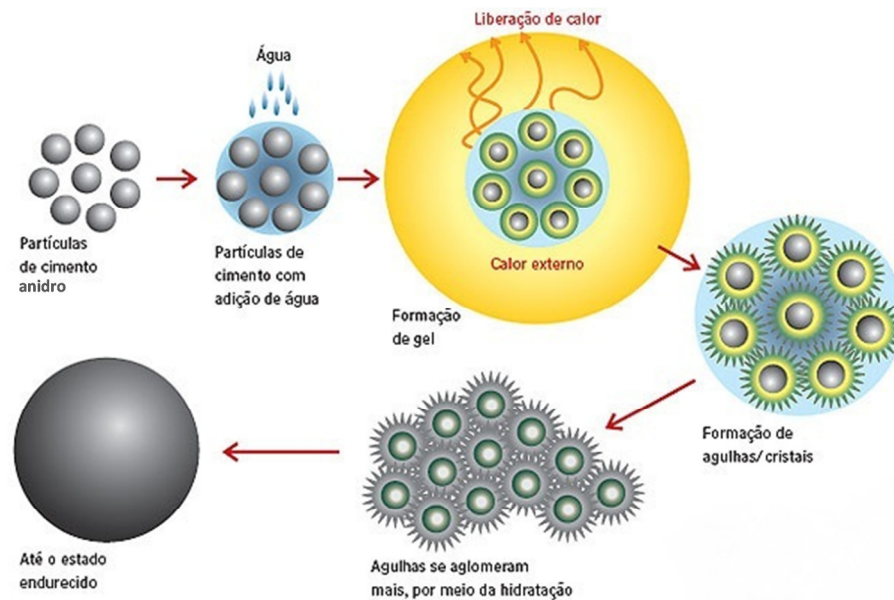


Figura 5: processo de hidratação do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

O cimento Portland é obtido através da moagem do clínquer manufaturado, e da adição de sulfato de cálcio (5-10%), na forma de dihidrato (gipsita) ou anidrita, em cada cimento específico, para moderar e retardar o início de pega. O pó de cimento é composto por grãos de vários tamanhos e formas, geralmente variando de 1 μm a 50 μm (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Existem duas formas de reação entre os constituintes do cimento e a água: a incorporação direta de algumas moléculas de água, ou seja, hidratação propriamente dita, e hidrólise que consiste na quebra e dissolução de determinados componentes do cimento, como, por exemplo, a gipsita que disponibiliza íons sulfato ao sistema. É usual, e mesmo conveniente, utilizar o termo hidratação do cimento a todas as reações, isto é, tanto para hidratação como para a hidrólise (NEVILLE, 1997).

O mecanismo de hidratação do cimento é caracterizado por um processo de dissolução-precipitação nas primeiras fases que envolvem a dissolução de compostos anidros em seus constituintes iônicos e formação de hidratos em solução, seguido por um processo topoquímico ou hidratação no estado sólido em que as reações acontecem diretamente na superfície dos compostos de cimento anidro sem que os mesmos entrem em solução (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O cimento Portland é formado principalmente por quatro compostos: C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF (TAYLOR,1990; NEVILLE, 1997; POURCHET et al., 2006). Estes compostos estão relacionados na tabela 1, juntamente com seus símbolos abreviados.

Tabela 1: principais compostos do cimento Portland (Neville, 1997)

Composto	Constituição	Símbolo
Silicato tricálcico	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

Esses compostos se originam a temperaturas da ordem de 1300-1450°C, por uma série de reações entre a cal, a alumina, sílica e óxido de ferro, durante a queima do clínquer. Uma adequada qualidade de cimento é obtida quando as proporções necessárias dos quatro óxidos são convenientemente distribuídas em todas as partes do clínquer. As principais reações que ocorrem podem ser divididas em três grupos: (a) reações abaixo dos 1300°C em que se destacam a calcinação, decomposição dos minerais de argila e a reação da cal formada dos produtos de decomposição da argila mineral; (b) reações entre 1300-1450°C onde se forma um material fundido, caracterizando as bolas (massas) de clínquer (essa é conhecida como temperatura de clínquerização onde 20 a 30% do material só se funde a essa temperatura), sendo que o produto da cristalização conta essencialmente com cristais de C_3S , C_2S ; e, (c) reações durante o resfriamento quando a fase líquida se cristaliza formando, principalmente, as fases de aluminato e ferro (TAYLOR, 1990).

Além dos principais compostos relacionados na tabela 1, existem compostos secundários como MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O e Na_2O que, geralmente representam um percentual reduzido da massa de cimento (NEVILLE, 1997). A composição química dos compostos presentes nos cimentos Portland industriais não é exatamente a expressa pelas fórmulas comumente usadas: C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF . Isso ocorre porque, nas altas temperaturas predominantes na formação do clínquer, os elementos presentes no sistema, inclusive impurezas, como magnésio, potássio, sódio e enxofre, possuem a capacidade de entrar nas soluções sólidas das principais fases do clínquer no cimento. Quantidades muito pequenas podem não alterar

significativamente a estrutura cristalina e a reatividade de um composto, mas grandes quantidades as alteram (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Ramachandran e Beaudoin² (1999) apud Kirchheim (2008) destacam, como regra geral, que o índice de hidratação dos compostos no cimento se processa na seguinte ordem: $C_3A > C_3S > C_4AF > C_2S$. Este índice depende do tamanho do cristal, das suas imperfeições, da distribuição, do tamanho das partículas, da superfície específica, da presença de adições, da temperatura de queima do clínquer, entre outros. Dos compostos do cimento que mais interferem na quantidade de calor liberado está o C_3S e o C_3A , por serem as que liberam maior calor de hidratação quando analisadas individualmente. O calor de hidratação liberado pelos principais compostos do cimento Portland podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2: calor de hidratação dos compostos do cimento Portland (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Composto	Calor de hidratação a uma dada idade (cal/g)		
	3 dias	90 dias	13 anos
C_3S	58	104	122
C_2S	12	42	59
C_3A	212	311	324
C_4AF	69	98	102

Nos estágios iniciais da hidratação os diferentes compostos reagem com velocidades diferentes. A velocidade de desprendimento de calor, assim como o calor total, depende da composição do cimento. Conclui-se que reduzindo as proporções dos compostos que hidratam mais rapidamente (C_3A e C_3S) pode ser reduzida a velocidade de liberação de calor na vida inicial do concreto. A finura do cimento também influencia a velocidade de liberação de calor, e o aumento da finura intensifica as reações de hidratação e, conseqüentemente, a liberação de calor; porém, a quantidade total de calor liberado não é afetada pela finura do cimento. Um aumento de finura aumenta a quantidade de gesso necessária para um retardo adequado, uma vez que em um cimento mais fino há maior disponibilidade de C_3A e C_4AF (maior superfície específica) para uma hidratação prematura

² RAMACHANDRAN, V.S. and BEAUDOIN, J.J. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology – Principles, Techniques and Applications*. Norwich, New York, U.S.A.: Noyes Publications – William Andrew Publishing, LLC, 1999

(NEVILLE, 1997). O grau de hidratação do cimento pode ser acompanhado por meio da determinação dos teores das fases anidras e hidratadas, pela determinação do teor de água quimicamente combinada, pela determinação da concentração iônica na fase aquosa e pela evolução do calor liberado pelas reações de hidratação (TAYLOR, 1990).

Conforme descrito por Bullard et al. (2011), a hidratação do cimento envolve vários processos químicos associados, cada um dos quais ocorre a uma velocidade que é determinada pela natureza do processo e pelo estado do sistema naquele instante. Estes processos se enquadram em uma das seguintes categorias:

- *Dissolução ou dissociação*: envolve desprendimento de unidades moleculares a partir da superfície de um sólido em contato com a água;
- *Difusão*: descreve o transporte de componentes da solução através do volume de poros de pasta de cimento ou ao longo das superfícies de sólidos na camada de adsorção;
- *Crescimento*: envolve a fixação superficial, a incorporação de unidades moleculares na estrutura de um sólido, cristalino ou amorfo, na sua camada de auto adsorção;
- *Nucleação*: dá início à precipitação de sólidos heterogeneamente na superfície dos sólidos ou homogeneamente na solução, quando a força da energia livre para formar o sólido prevalece sobre a energia de formação da nova interface sólido-líquido;
- *Complexação*: reações entre íons simples para formar íons complexos ou complexos moleculares adsorvidos em superfícies sólidas;
- *Adsorção*: acumulação de íons ou outras unidades moleculares numa interface, tais como a superfície de uma partícula sólida em um líquido.

Como o cimento Portland é constituído de uma mistura heterogênea de vários compostos, a hidratação consiste em reações simultâneas dos compostos anidros com a água. Entretanto, nem todos os compostos se hidratam à mesma velocidade. As características de pega (perda de consistência) e enrijecimento (solidificação) de uma pasta de cimento Portland são amplamente determinadas por reações de hidratação envolvendo os aluminatos e a evolução da resistência (endurecimento) é realizada pelos silicatos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.1.1 Hidratação dos Aluminatos

A reação do C_3A com a água é imediata, liberando grande quantidade de calor de hidratação. Caso essa rápida hidratação não seja desacelerada de alguma forma, o cimento

Portland não poderia ser usado para a maioria das aplicações na construção. A adição de gipsita serve para retardar essa reação. A hidratação dos aluminatos na presença da gipsita dá origem a pequenas agulhas prismáticas, denominadas etringita ($C_6AS_3H_{32}$). A etringita é o primeiro hidrato a se cristalizar por causa da alta relação sulfato/aluminato na fase aquosa durante a primeira hora de hidratação (figura 6). Sua precipitação contribui para o enrijecimento (perda de consistência) e pega (solidificação da pasta) e o desenvolvimento da resistência inicial. Mais tarde, após o sulfato ter sido consumido, a etringita se torna instável e é gradualmente convertida para a fase de monossulfato, que é o produto final da hidratação dos cimentos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

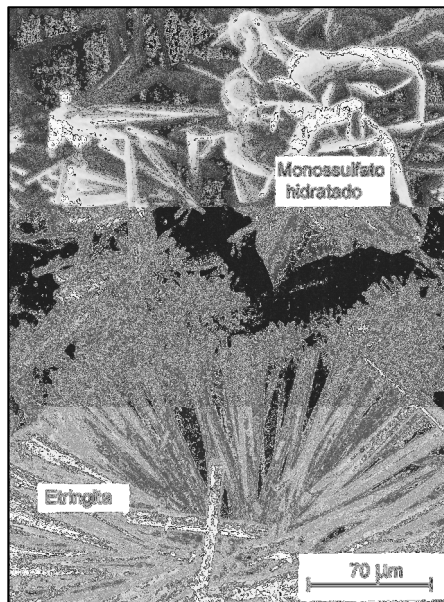


Figura 6: microestrutura eletrônica de varredura de cristais hexagonais característicos de monossulfato hidratado e cristais aciculares de etringita formado pela mistura de soluções de aluminato de cálcio e sulfato de cálcio (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

As fases de aluminato hidratado dependem da composição do cimento, do tempo e outras condições de hidratação. Com cimentos Portland mais comuns, picos de etringita são detectáveis dentro de algumas horas e aumento da intensidade até um máximo de cerca de um dia. Eles, então, tendem a enfraquecer, e podem desaparecer completamente, embora com muitos cimentos persistam indefinidamente (TAYLOR, 1990). A formação da etringita pela reação do sulfato com o cálcio anidro ou na hidratação dos aluminatos tem carácter expansivo, no entanto, não necessariamente produz expansão prejudicial. Quando ocorre de forma homogênea e imediata (etringita primária), na mistura fresca, é vantajosamente usada para definir o tempo de retardo do cimento Portland (COLLEPARDI, 2003). A

formação da etringita primária inicia-se dentro dos primeiros minutos do contato do cimento com a água e os cristais formados são encontrados nas superfícies dos grãos de cimento e a pouca distância deles (TAYLOR, 1990).

À medida que o C_3A entra em solução, sua composição muda e o teor de sulfato decresce continuamente. A velocidade de reação do aluminato é elevada e, se este ajuste na composição não for bastante rápido, é provável que ocorra a hidratação direta do C_3A . Em particular, um pico na quantidade de calor, normalmente observado, dentro de 5 minutos após a adição de água ao cimento, indica que nesse período se formou um pouco, diretamente, de aluminato de cálcio, não tendo ainda sido estabelecidas as condições de retardamento, pela gipsita. A quantidade de gipsita a ser adicionada deve ser dosada com cuidado; em particular, o excesso leva à expansão e, conseqüentemente, à desagregação da pasta de cimento após a pega. O teor ótimo é determinado pela observação do desprendimento do calor de hidratação; em geral, o pico observado imediatamente ao desprendimento de calor é seguido por um segundo pico 4 a 8 horas depois da adição da água ao cimento, e com uso do teor correto de gipsita deve haver pouco C_3A disponível para reação depois que toda a gipsita tenha sido combinada. Assim seu teor ótimo provoca uma velocidade desejável de reação nos primeiros estágios (NEVILLE, 1997).

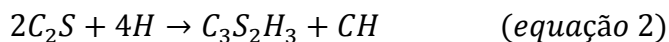
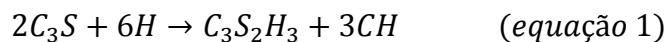
Ao analisar fatores relacionados à hidratação do C_3A , observa-se que duas formas cristalinas podem ser encontradas em clínqueres industriais: a cúbica e a ortorrômbica (TAYLOR, 1990). Kirchheim (2008), em estudo utilizando fases do clínquer sintetizadas em laboratório (C_3A cúbico [C_3A puro] e ortorrômbico [$Na-C_3A$]), observou que existem grandes diferenças na hidratação de cada aluminato. Na ausência de gipsita, observou-se a formação de aluminatos hidratados imediatamente após a mistura com a água, para ambos os C_3A , sendo o cúbico mais reativo, liberando maior quantidade de calor. O C_3A cúbico se mostrou mais sensível com a adição de gipsita à mistura. A gipsita é bastante efetiva no retardo das reações do C_3A cúbico, seja pela formação de uma camada-barreira, ou seja, pela saturação de íons sulfato na solução, paralisando, assim, a dissolução do C_3A . O C_3A ortorrômbico demonstrou um comportamento diferenciado, mostrando-se mais reativo quando comparado, em mesmas condições de análise e proporção de mistura, com o C_3A cúbico.

Em relação ao C_4AF , esse reage com a água na presença do sulfato, formando produtos estruturalmente similares àqueles formados na hidratação do C_3A . Dependendo da concentração de sulfato, produz $C_6A(F)S_3H_{32}$ ou $C_4A(F)SH_{18}$ que, apesar das diferenças químicas, têm estruturas cristalinas semelhantes à etringita e ao monossulfato, respectivamente. A reatividade da fase ferrita é, de certa forma, mais lenta do que a de C_3A ,

mas cresce com o aumento do teor de alumina e com a diminuição da temperatura de formação durante o processo de clínquerização (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.1.2 Hidratação dos Silicatos

A hidratação dos silicatos, C_3S e C_2S , origina silicatos de cálcio hidratados que são estruturalmente semelhantes, mas variam amplamente na relação cálcio/sílica e no teor de água quimicamente combinada. Considerando que a composição química dos silicatos de cálcio hidratados nas pastas de cimento em hidratação varia com a relação a/c, a temperatura e a idade de hidratação, tornou-se mais comum representá-los genericamente por C-S-H (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Com a hidratação completa, a composição aproximada do material é $C_3S_2H_3$. As reações estequiométricas de hidratação do C_3S e do C_2S são expressas conforme descrito pelas equações 1 e 2:



O C_3S produz três vezes mais hidróxido de cálcio liberado na hidratação do que o C_2S . As propriedades físicas dos silicatos de cálcio hidratados são de interesse no que se refere às propriedades de pega e endurecimento do cimento. Tais produtos parecem amorfos, mas em microscópio eletrônico revelam seu caráter cristalino (NEVILLE, 1997). Ao final da pega a pasta de cimento tem pouca ou nenhuma resistência porque representa apenas o início da hidratação do C_3S , o principal composto presente. Uma vez iniciada a reação do C_3S , a reação continua rapidamente por várias semanas. O progressivo preenchimento dos vazios na pasta com os produtos da reação resulta na redução da porosidade e permeabilidade e no aumento da resistência (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O desenvolvimento da resistência acontece aproximadamente paralelo ao curso das reações químicas. O silicato de cálcio hidratado formado pela hidratação do C_3S ou C_2S é uma variedade particular de C-S-H, que, como já citado, é um nome genérico para qualquer silicato hidratado de cálcio. Do ponto de vista cinético, provavelmente não há distinção entre o período de indução e início do período de aceleração. Ao longo das duas etapas, o crescimento do C-S-H procede em uma taxa crescente, que se reflete na dissolução cada vez mais rápida do C_3S . Os grãos menores de C_3S provavelmente reagem completamente, por dissolução e precipitação, durante o período de aceleração. No final, períodos lentos de

hidratação, os grãos remanescentes de C_3S , que são relativamente grandes, são gradualmente substituídos por C-S-H através do movimento para dentro de uma interface (TAYLOR, 1990).

Os cálculos estequiométricos mostram que a hidratação do C_3S produz 61% de $C_3S_2H_3$ e 39% de hidróxido de cálcio, enquanto o C_2S produz, respectivamente, 82% e 18%. Como a alta área superficial específica e, conseqüentemente, a propriedade adesiva da pasta de cimento hidratada se deve essencialmente à formação de silicato de cálcio hidratado, espera-se que a resistência final do cimento Portland de alto teor de C_3S seja menor do que o cimento de alto teor de C_2S . Se a durabilidade de uma pasta de cimento endurecida a águas ácidas e sulfonadas é reduzida pela presença de hidróxido de cálcio, pode-se esperar que o cimento contendo uma alta proporção de C_2S será mais durável a ambientes ácidos e sulfatados se comparado a cimentos contendo alta proporção de C_3S (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.2 PRIMEIRAS IDADES DO CONCRETO

O cimento misturado com certa quantidade de água, de modo a obter uma massa plástica, começa a perder esta plasticidade depois de certo tempo. O tempo que decorre desde a adição de água até o início das reações com os compostos do cimento é chamado de tempo de *início de pega*, fenômeno que se evidencia pelo aumento brusco de viscosidade da pasta e pela elevação da temperatura. Convencionou-se denominar *fim de pega* a situação em que a pasta cessa de ser deformável para pequenas cargas e se torna um bloco rígido. A determinação dos tempos de início e fim de pega é importante, pois através deles se tem a ideia do tempo disponível para trabalhar, transportar, lançar e adensar argamassas e concretos, bem como transitar sobre eles ou iniciar o procedimento de cura (PETRUCCI, 2005). Os tempos de início e fim de pega determinam a taxa de solidificação de uma pasta de cimento; de forma semelhante, a pega do concreto é definida como o início da solidificação em uma mistura fresca de concreto. Os principais fatores que controlam os tempos de pega do concreto são: composição do cimento, relação água/cimento, temperatura e aditivos (MEHTA; MONTEIRO, 2008). O processo de pega é acompanhado por mudanças de temperatura na pasta do cimento; o início da pega corresponde a uma rápida elevação na temperatura, e o fim da pega ao pico de temperatura. Em termos gerais, a pega refere-se à passagem do estado fluido para um estado rígido (NEVILLE, 1997).

Lerch³ (1946) apud Metha e Monteiro (2008, pg. 224) registrou a taxa de evolução do calor das pastas de cimento durante o período de pega e endurecimento inicial, comportamento ilustrado na figura 7. Em geral, ao se misturar cimento com água, uma rápida evolução de calor (porção ascendente do pico A) ocorre e dura alguns minutos. Isso, provavelmente, representa o calor de dissolução de aluminatos e sulfatos. Essa evolução inicial de calor termina rapidamente (porção descendente do pico A) quando a solubilidade dos aluminatos é reduzida com a presença do sulfato na solução. O próximo ciclo da evolução de calor, que culmina no segundo pico após cerca de 4 a 8 horas de hidratação para a maioria dos cimentos Portland, representa o calor de formação da etringita (porção ascendente do pico B). Acredita-se que o período de evolução do calor inclui algum calor de dissolução do C₃S e calor de formação do C-S-H. A pasta de um cimento devidamente retardado reterá mais de sua plasticidade antes do início desse ciclo de aquecimento e enrijecerá, apresentando a pega inicial (início da solidificação) antes de atingir o ápice em B, que corresponde à pega final (solidificação completa e início do endurecimento).

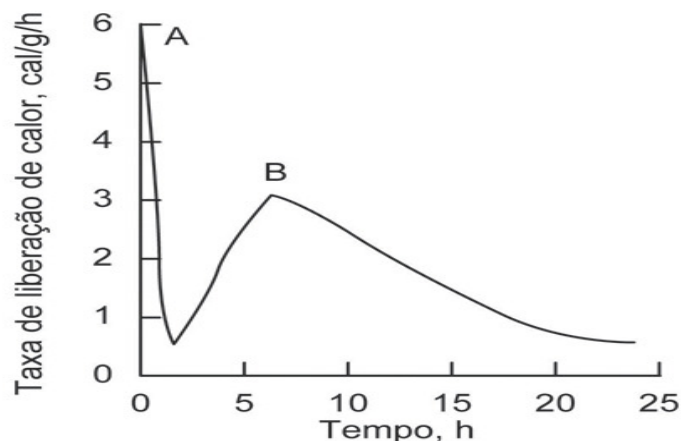


Figura 7: taxa de liberação de calor de uma pasta de cimento Portland durante a pega e o período inicial de endurecimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O transporte do concreto pré-misturado para o canteiro de obras deve ser feito o mais rápido possível para minimizar os efeitos de enrijecimento e de perda de trabalhabilidade e não dificultar, após o lançamento, o adensamento e o acabamento apropriados. Em condições normais, geralmente há uma perda desprezível da consistência durante os primeiros 30

³ LERCH, W. *Proceedings of the American Society for Testing and Materials*, v. 46, p.1252, 1946.

minutos após o início da hidratação do cimento Portland. Quando o concreto é mantido em reduzido estado de agitação ou remisturado periodicamente, pode ocorrer alguma perda de abatimento com o tempo que, geralmente, não representa qualquer risco sério para o lançamento e adensamento do concreto fresco durante os primeiros 90 minutos. A trabalhabilidade do concreto é a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade. O termo manipular inclui as operações de primeiras idades como o lançamento, adensamento e acabamento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A perda de abatimento ocorre quando a água livre da mistura é consumida pelas reações de hidratação, por adsorção nas superfícies dos produtos de hidratação e por evaporação. Em condições normais, o volume de produtos de hidratação é pequeno durante os primeiros trinta minutos após a adição de água ao cimento, e a perda de abatimento é insignificante. A partir daí, o concreto começa a perder o abatimento a uma determinada taxa que é função, principalmente, do tempo, da temperatura, da composição do cimento e dos aditivos/adições presentes (MEHTA; MONTEIRO, 2008). O aumento no período de mistura do concreto antes da descarga, particularmente em climas quentes, resulta em aumento na temperatura, que acelera a hidratação do cimento, provocando rápida perda de umidade devido à evaporação levando, com isso, à perda do abatimento (KIRCA et al. 2002).

Os principais fatores que afetam a trabalhabilidade do concreto são a evaporação, hidratação, absorção e agitação. Destes, provavelmente ambas a evaporação e hidratação aceleram com o tempo, dependendo das condições ambientais. Absorção ou agitação são susceptíveis de produzir efeitos significativos apenas ao utilizarem-se agregados com alta taxa de absorção (DEWAR; ANDERSON, 1992).

A perda de abatimento do concreto fresco é um fenômeno normal e pode ser definida como sendo a perda de fluidez com o passar do tempo. Essa propriedade do concreto é particularmente importante no caso de concreto dosado em centrais, visto que o proporcionamento e o início da mistura dos materiais ocorrem na central, enquanto que o lançamento e/ou adensamento somente será feitos alguns minutos ou horas depois, quando o caminhão betoneira chegar ao canteiro de obras (WEIDMANN et al., 2007). A mistura prolongada do concreto acelera o endurecimento, o mesmo acontece com a taxa de perda do abatimento, que na maior parte traz inconveniente, especialmente quando longos períodos de transporte estão envolvidos como geralmente é o caso de concreto pré-misturado (ERDOĞDU, 2005).

A água devidamente misturada com concreto fresco, em algum momento após a mistura inicial tem um comportamento como se tivesse sido adicionado inicialmente. Assim, há a possibilidade de restaurar a trabalhabilidade do concreto ao valor especificado, desde que a água possa ser misturada intimamente com a massa de concreto. Isso será normalmente possível apenas quando um caminhão betoneira é usado para transportar o concreto. Quando o concreto é verificado no momento da entrega e apresenta uma menor trabalhabilidade do que o especificado, há três possíveis razões (DEWAR; ANDERSON, 1992):

- a) água insuficiente adicionada inicialmente;
- b) maior taxa de evaporação (ou absorção) do que o previsto;
- c) maior taxa de hidratação do que o esperado.

Segundo esses autores, o ajuste com água adicionada para compensar (a) ou (b) não irá resultar em uma menor resistência do que o esperado, enquanto a água extra para combater a (c) resultará em uma menor resistência. No entanto, no momento da entrega não será possível uma análise precisa para determinar qual razão se aplica. Com isso, na prática, entende-se que a adição de água ao concreto para correção do abatimento implicará em perda da sua resistência à compressão.

O concreto bombeável pode ser utilizado em diversos tipos de obra, porém seu uso é mais frequente em grandes alturas e em locais com grande volume de concreto. O controle no abatimento desses concretos é imprescindível, pois contribui para um melhor desempenho do bombeamento. Pilz et al. (2009), em alguns estudos de caso realizados, identificaram a diferença de abatimento entre a saída do caminhão betoneira da central e no local de aplicação do concreto na estrutura, registrando perdas de até 3 cm no abatimento, aparentemente dentro de limites permitidos. Porém, foram verificados casos que o abatimento medido na saída do caminhão já estava no limite inferior, resultando em dificuldades na aplicação do concreto. Nos casos analisados, com concreto bombeado, confirmou-se que as maiores perdas ocorreram onde havia um maior comprimento na canalização e quando a mesma estava exposta ao sol, onde a perda de água é maior.

Sujeito a elevadas temperaturas ambientes, o concreto fresco endurece em um intervalo de tempo menor quando comparado com os expostos às condições normais e essa pega rápida diminui a trabalhabilidade durante os processos de aplicação, adensamento e acabamento do material. De uma forma geral, os tempos de início e fim de pega diminuem à medida que a temperatura de cura aumenta o que, obviamente, está relacionado com o aumento da taxa de hidratação do cimento com a temperatura, principalmente nos primeiros

instantes (HEIKAL et al., 2005). A taxa de evaporação da água, tensões de contração e ocorrência de fissuras aumentam com a temperatura de exposição crescente e com a velocidade do vento, diminuindo com o aumento da umidade relativa do ar. Essas condições também afetam a estrutura dos poros do concreto, observando-se poros maiores para concretos expostos a altas temperaturas; efeito que reflete em maior permeabilidade, resultando em concretos com redução no seu desempenho em relação à durabilidade (ALMUSALLAM, 2001). Além desses fatores externos, quando a temperatura do concreto fresco aumenta, a perda inicial de abatimento é mais evidente e ocorre em uma taxa mais rápida diminuindo a trabalhabilidade, o que pode gerar problemas relacionados ao transporte, lançamento e acabamento (BASHAM, 1992). Para Chandra and Björnström (2002) a perda de abatimento envolve processos químicos e físicos; a perda de consistência na pasta de cimento durante a fase de dormência é principalmente atribuída à coagulação física de partículas de cimento, em vez de processos químicos. No período durante o qual a perda de abatimento está ocorrendo, o aluminato tricálcico reage com gipsita. O produto evolui para uma estrutura cristalina e é distribuído na massa. Há evidências de que concretos feitos com cimento tendo moderado a alto teor C_3A mostram perda de abatimento superior à de concreto com controle desses teores.

Uma adequada trabalhabilidade é fundamental para boas condições de aplicação e acabamento do concreto. Caso haja necessidade de correção, esta pode ser feita por duas maneiras, com aditivos ou, como geralmente se observa em obras, com adição de água. Porém essa última prática citada, por alterar a relação água/cimento (a/c) inicial da mistura, logicamente comprometerá as propriedades finais do concreto. Esse reflexo ocorre principalmente na diminuição da resistência à compressão do concreto que é maior quanto maior for a perda da trabalhabilidade porque mais água será necessária para sua correção. Kirca et al. (2002) observam que o aumento na perda da trabalhabilidade do concreto é percebido com o acréscimo do tempo de mistura. Em função disso, o aumento da temperatura do concreto, do grau de hidratação, e de eventuais ações pela mistura prolongada são as principais causas dessa perda no abatimento. Há um aumento da temperatura do concreto em função do tempo de entrega prolongado (mistura prolongada), da alta temperatura ambiente e em função das elevadas quantidades de cimento. Ainda segundo esses autores, para os dois tipos de concreto analisados (25,0 MPa e 35,0 MPa) constatou-se uma significativa perda do abatimento com o aumento no tempo de mistura, analisando ainda que a perda do abatimento após um período inicial é maior para o concreto com maior consumo de cimento em função da sua hidratação. Observou-se um aumento na resistência à compressão com o aumento do tempo de mistura, onde nenhum processo de ajuste de abatimento tenha ocorrido (figura 8).

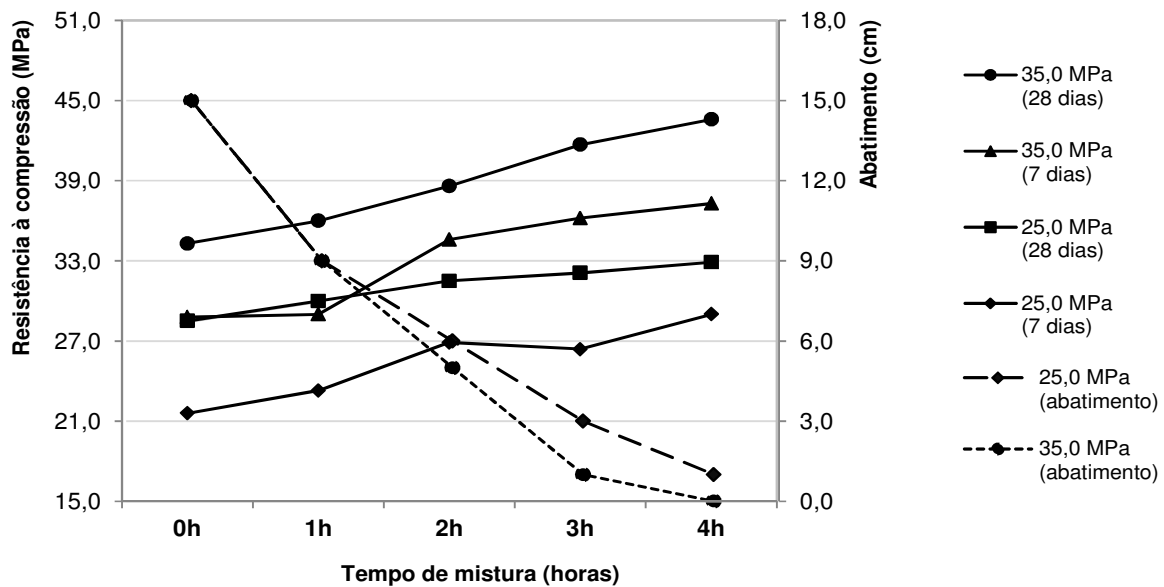


Figura 8: Resistência à compressão e abatimentos de concretos quando submetido à mistura prolongada (KIRCA et al, 2002).

Alhozaimy (2007) também verificou que com a diminuição do abatimento entre o momento da chegada do caminhão na obra até o meio da descarga, foi verificado um ligeiro aumento na resistência à compressão quando não houve nenhuma correção da trabalhabilidade do concreto com adição de água. Kirca et. al. (2002) atribuem esse comportamento ao fato de que o aumento no tempo de mistura causou uma diminuição na relação água-cimento, devido à perda de água por evaporação. Outra possível razão para o acréscimo da resistência à compressão em função da mistura prolongada poderia ser o efeito de movimentação contínua da mistura. Este efeito pode ser explicado pelo fato de que durante o progresso da hidratação, os produtos de hidratação foram retirados da superfície de grãos de cimento, deixando o cimento mais fino, com isso gerando maior quantidade de hidratação. Assim, o aumento da resistência à compressão foi observado como resultado dessa mistura prolongada.

A norma brasileira NBR 7212 (ABNT, 1984) especifica que o tempo máximo até o fim da descarga do concreto não deve exceder 150 minutos, para o caso de veículos dotados de dispositivo de agitação. Essa norma também permite uma correção no abatimento, devido à evaporação, antes do início da descarga, limitando em no máximo um aumento de 25 mm. Para padrões britânicos (BS 5328 – Parte 3, 1990) esse tempo máximo para descarga limita-se em 120 minutos (2 horas), não permitindo nenhuma adição de água para correção de abatimento.

Teixeira (2007), em estudo realizado numa central dosadora de concreto, para um traço de concreto com resistência pré-definida de 20,0 MPa, quantificou a perda de resistência quando houve correção do abatimento com adição de água ao concreto, obtendo, após 2,5 horas, uma queda de 34% e ao final de 4 horas, uma redução de resistência de 44%. Erdoğdu (2005) também registrou essa queda na resistência à compressão em função da adição de água em concretos com até 150 minutos, onde em intervalos de 30 minutos o abatimento inicial foi restabelecido com a adição de água, registrando que essa redução é bastante acentuado por até 90 min de mistura e observando um ligeiro decréscimo posterior. No final de 150 min de mistura, uma perda de resistência de mais de 40% é observada em relação à resistência inicial do concreto. Para Alhozaimy (2007), quando a adição de água, durante o tempo de descarga do caminhão de concreto, for realizada para correção do abatimento dentro dos limites iniciais especificados identifica-se uma redução inferior a 10% na resistência à compressão, enquanto que quando essa adição de água excede os limites especificados para a obtenção do abatimento inicial da mistura essa perda na resistência pode ser superior a 35%. Essa prática em ajustar o abatimento com água deve ser descartada, já que essa medida impacta em perda na resistência à compressão do concreto, além do que aditivos superplastificantes podem ser usados para isso sem afetar negativamente as outras propriedades do concreto.

Ramachandran⁴ (1995) apud Kirca et al. (2002) também observa que ajustes na trabalhabilidade do concreto podem ser feitos com a utilização de aditivos químicos, sugerindo sua adição no momento da entrega do concreto, permitindo com isso um controle preciso sobre a perda de abatimento sem que ocorra redução na resistência, o que se adicionado na central dosadora de concreto, mesmo facilitando sua dosagem, poderia acelerar a perda de abatimento se comparado com um concreto sem adição pelo deslocamento e agitação do caminhão betoneira.

2.3 ADITIVOS PARA CONCRETO

As constantes exigências decorrentes de construções modernas, necessitando concretos que apresentem maior trabalhabilidade e durabilidade, podem ser alcançadas com a utilização de produtos químicos nas misturas. Para Metha e Monteiro (2008), o

⁴ RAMACHANDRAN, V.,S., *Concrete Admixtures Handbook*, second ed., Noyes Data, New Jersey, 1995, p.448.

reconhecimento de que as propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto endurecido, podem ser modificadas com a adição de determinados materiais à mistura tem sido responsável por grande crescimento da indústria de aditivos nos últimos 50 anos.

Nessa constante evolução da indústria da construção civil, os aditivos para concreto destacam-se como componentes importantes no processo de desenvolvimento de concretos capazes de atender essas exigentes demandas pelo mercado. No Brasil, a NBR11768 (ABNT, 2011) fixa as condições exigíveis dos materiais a serem utilizados como aditivos para concreto de cimento Portland, e definem aditivos como sendo produtos que, adicionados em pequena quantidade modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições. De acordo com esta norma, os aditivos podem ser classificados conforme ilustra a figura 9.

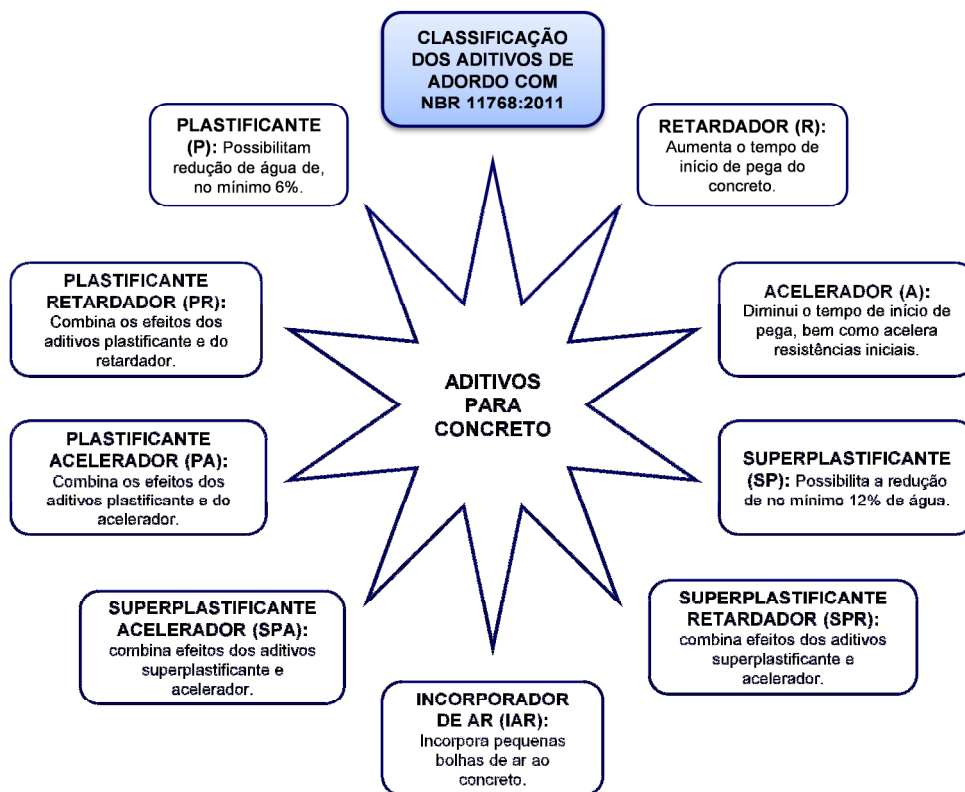


Figura 9: Classificação dos aditivos segundo NBR 11768:2011

A presente revisão bibliográfica fará algumas considerações sobre aditivos plastificantes, porém se deterá mais em estudos desenvolvidos com aditivos superplastificantes, por serem os aditivos utilizados no desenvolvimento desse programa experimental.

2.3.1 Aditivos Plastificantes e Superplastificantes

Os aditivos plastificantes e superplastificantes tem sido foco de muitas pesquisas e sua utilização prática cada vez mais usual pelas centrais dosadoras de concreto. Além do melhorarem a trabalhabilidade, permitem a dosagem de concretos com características específicas para determinadas aplicações.

Segundo Collepardi (1998), plastificantes e superplastificantes podem ser usados em concretos por três motivos ou pela combinação deles:

- aumentar a trabalhabilidade sem mudar a composição da mistura, a fim de melhorar as características para aplicação do concreto;
- reduzir a água da mistura, reduzindo a relação a/c , a fim de aumentar a resistência, melhorando a durabilidade para uma dada trabalhabilidade;
- reduzir a água e o cimento para uma dada trabalhabilidade, a fim de economizar cimento, reduzir a fluência, a retração e as tensões térmicas causadas pelo calor de hidratação do cimento.

A utilização de aditivos em centrais de concreto é uma prática consolidada. Analisando três relações a/c em pastas de argamassa, sendo adotados três teores diferentes para vários aditivos plastificantes polifuncionais utilizados em centrais de concreto, observou-se que para as três relações a/c estudadas, o aumento do teor de aditivo propiciou maior fluidez inicial das misturas; porém, maior também foi a perda de fluidez quando decorridos 60 minutos do início da mistura. Verificou-se que quanto maior o teor de aditivo empregado maior foi o retardo no tempo de início de pega. Para argamassas de referência, sem aditivos, o aumento da relação a/c acarretou em maior tempo de início de pega, diferentemente do constatado para a maioria das argamassas contendo aditivos (WEIDMANN et al., 2007).

A principal diferença entre os aditivos plastificantes e superplastificantes está na capacidade do aumento do nível de trabalhabilidade. Com a utilização do superplastificante esse aumento do abatimento de uma dada mistura é cerca de 150 a 200mm enquanto que com plastificante é de 50 a 70mm. Por outro lado o superplastificante é capaz de reduzir a demanda de água para um dado abatimento cerca de 20 a 30%, enquanto que o plastificante cerca de 5 a 12% (COLLEPARDI, 1998). As diferentes atuações de cada tipo de aditivo são causadas por vários efeitos, tais como, a adsorção diferenciada, que dificulta a difusão da água e dos íons de cálcio na interface cimento/solução; a ação dos íons Ca^{2+} dos aditivos, que alteram a nucleação/precipitação dos hidratos; e, a forte ação dispersante,

que altera a cinética de crescimento e morfologia dos produtos hidratados (JOLICOEUR; SIMARD, 1998).

Aditivos interagem quimicamente com os ingredientes do concreto e afetam seu desempenho no estado fresco e endurecido. Eles conferem especiais efeitos benéficos ao concreto. Eles podem melhorar a trabalhabilidade da mistura fresca e resistência ou durabilidade do concreto endurecido. As razões que os superplastificantes são muito mais importantes do que qualquer mistura de outras substâncias químicas é o número de melhorias que podem ser alcançados por seu uso. A figura 10 resume isso (COLLERPADI, 2005).

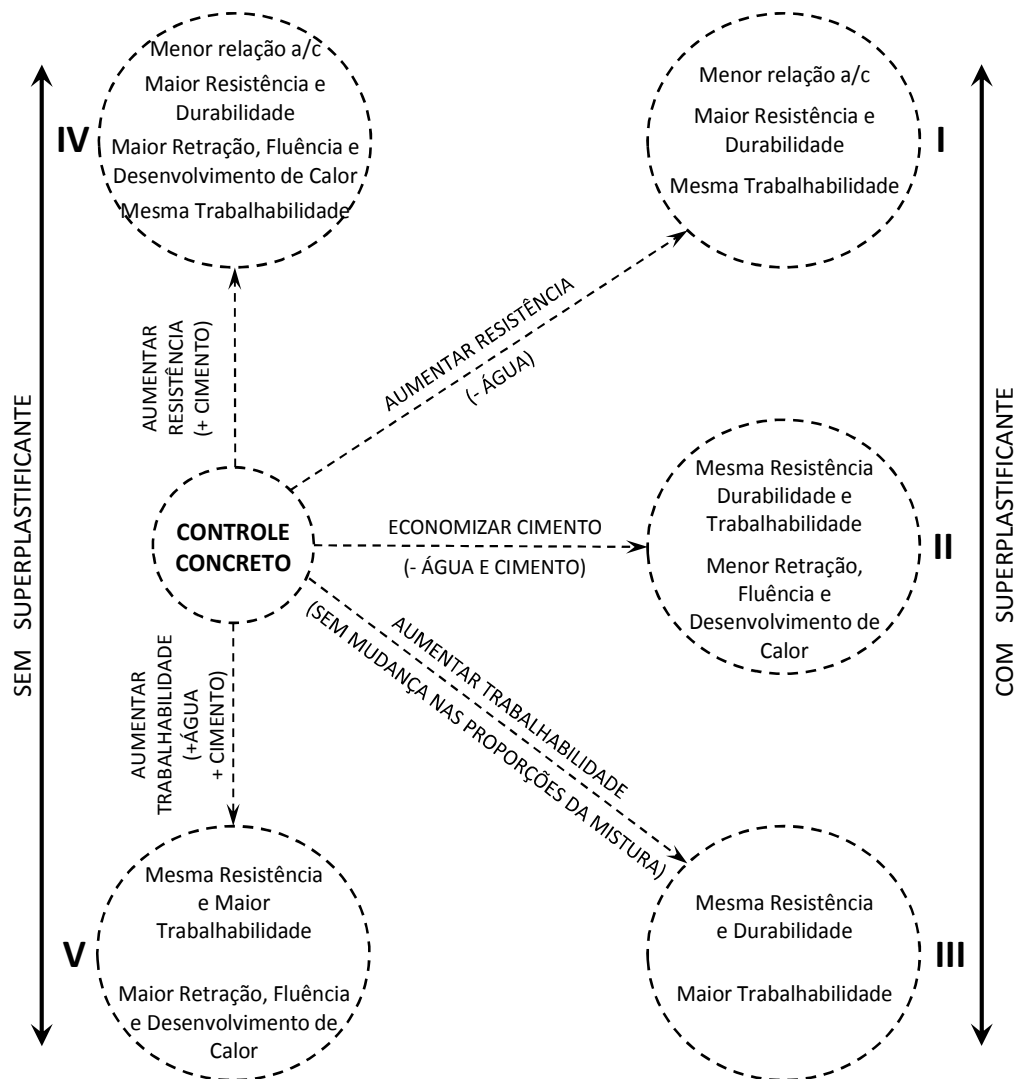


Figura 10: Diagrama esquemático do efeito dos superplastificantes no concreto nos estados fresco e endurecido (COLLERPADI, 2005).

Collerpadi (2005), através do diagrama resume que, quando um superplastificante é usado como um redutor de água numa dada trabalhabilidade (I), melhora as propriedades do concreto endurecido e, em particular, aumenta a resistência e durabilidade, devido à redução na porosidade e permeabilidade capilar, ambos relacionados a uma menor relação de água/cimento (a/c). Outro modo de uso de superplastificantes envolve a redução de água e de cimento, de modo que trabalhabilidade e resistência do concreto com superplastificante são as mesmas que as do concreto sem o aditivo (II). Sendo o superplastificante, neste caso, redutor de cimento, ele é capaz de reduzir o calor de hidratação, uma propriedade que é útil para concretagem em climas quentes ou estruturas com grandes massas de concreto. Há também um efeito benéfico sobre a redução da retração e fluência devido à maior proporção agregado/cimento relacionadas com a redução do teor de cimento e aumento de agregado, compensando a diminuição do volume total de cimento e água. Finalmente, se superplastificantes são adicionados sem alterar o teor de água e cimento, irá melhorar a trabalhabilidade do concreto (III), que é uma importante característica para concretos utilizados nas áreas que contem alta concentração de armadura e que exigia uma mistura mais trabalhável. As mudanças (I) e (II) obtidas na presença de superplastificantes, podem ser realizadas sem o aditivo, aumentando o teor de cimento (IV) ou ambos os teores de cimento e água em uma dada relação a/c (V), respectivamente. Para ambas as situações (IV) e (V) ocorre maior retração, fluência e calor de hidratação em função do aumento no teor de cimento.

Os aditivos superplastificantes consistem de polímeros solúveis em água. Existem diferentes formulações que tem propriedades fluidificantes e dispersantes. Os primeiros superplastificantes foram os lignosulfonados modificados. Nos anos 60 se desenvolveram os superplastificantes derivados de melanina e naftaleno, e mais recentemente, no final do século XX, começaram a ser comercializados os superplastificantes à base de polímeros sintéticos, como os copolímeros vinílicos e policarboxilatos (PALACIOS, PUERTAS, 2004).

Metha e Monteiro (2008) destacam a alta eficiência na redução de água dos aditivos superplastificantes, capazes de reduzir cerca de três a quatro vezes a água de amassamento comparado com os aditivos redutores de água normais. Seu uso contribui para uma ótima dispersão das partículas de cimento (figura 11) e quando adsorvido nessas partículas, ajuda a diminuir consideravelmente a tensão superficial da água circundante e eleva acentuadamente a fluidez do sistema. Ramachandran (1987) também relatou esse efeito de dispersão das partículas na presença de um superplastificante.

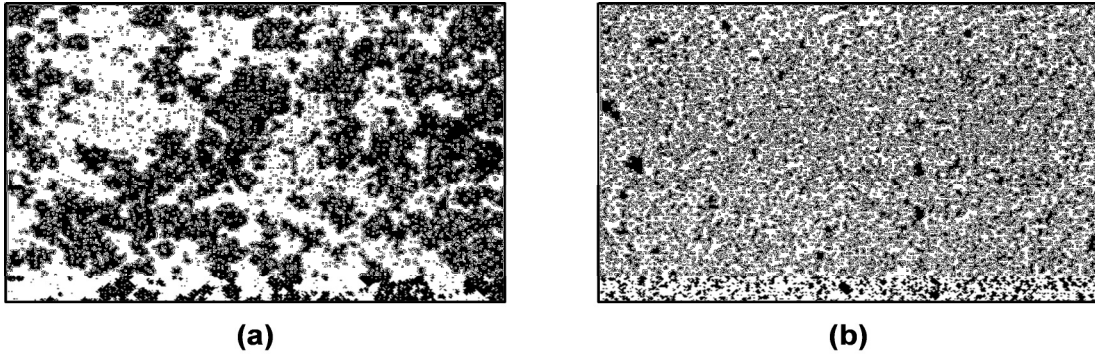


Figura 11: Microscopia de partículas de cimento (a) sem a presença de aditivo e (b) após ter sido disperso na presença de um superplastificante (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A figura 12 mostra as características de adsorção de um aditivo superplastificante à base de formaldeído sulfonado melanina (SMF) no cimento, C_3A e C_3S em meio aquoso (RAMACHANDRAN, 1987).

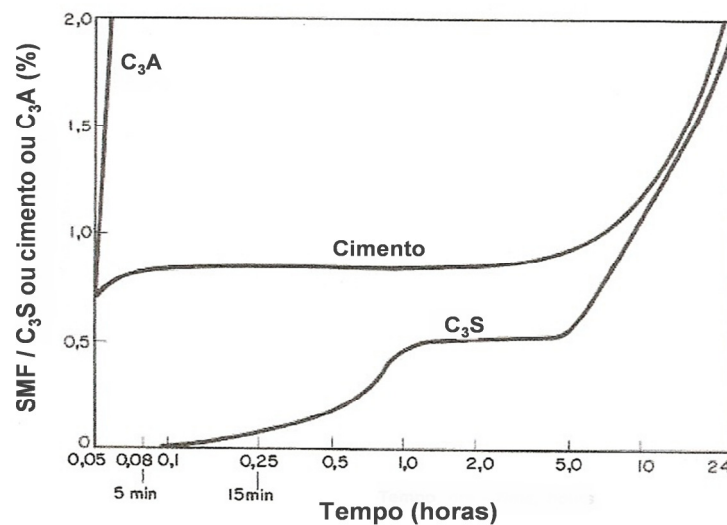


Figura 12: Adsorção do superplastificante (SMF) sobre os compostos do cimento na hidratação (RAMACHANDRAN, 1987).

Para Ramachandran (1987), a adsorção do superplastificante no C_3A ocorre em quantidades substanciais, mesmo dentro de alguns segundos. A hidratação do C_3A ocorre quase que imediatamente após contato com água, o produto, aluminato hexagonal, é conhecido por absorver quantidades grandes de forma irreversível do SMF. Embora presente apenas em pequenas quantidades (~10%) no cimento, o componente C_3A deve influenciar o efeito do superplastificante no cimento profundamente em função da sua

capacidade de adsorver grandes quantidades do aditivo. Em relação ao C_3S , experimentos mostram que na primeira hora uma pequena quantidade de adsorção ocorre na superfície. Não há nenhuma adsorção adicional durante o período de indução, mas após 5 horas ainda ocorre adsorção devido ao aumento da dispersão e hidratação. A quantidade de SMF adsorvido no cimento varia com o tempo de exposição à solução. Após a adsorção imediata causada pelo componente C_3A -gipsita, essa é quase nula até cerca de 4-5 horas, mas após 5 horas a adsorção é contínua e causada pelo C_3S no cimento. Adsorção e dessorção em experimentos com C_3S hidratado mostram que, em dessorção, o superplastificante não dissolve na solução, indicando que está irreversivelmente adsorvido pelo C_3S hidratado. Adsorção de SMF tem sido estudada com C_3A +gipsita pré-hidratado por vários períodos. A mistura que não é pré-hidratada adsorve quase todo SMF dentro de alguns minutos. A taxa de uma quantidade de adsorção é menor para a mistura pré-hidratada por 5-30 minutos.

Pourchet et al. (2006), analisando a interação de três diferentes superplastificantes com o C_3A quando a hidratação ocorre na presença de gesso, observam que no caso do aditivo difosfonato não houve modificação na taxa média de precipitação da etringita, enquanto que para o naftaleno sulfonado houve um retardo nessa precipitação também observado para o policarboxilato, porém com uma diminuição na precipitação da etringita menos acentuada. Para o disfonado a adsorção não acontece nos primeiros minutos, contrariamente aos demais, de forma mais acentuada para o naftaleno sulfonado onde grande parte do aditivo (cerca de 30%) é adsorvido nos primeiros minutos (figura 13). Após um aumento linear de adsorção é observado durante a precipitação da etringita com todos os superplastificantes.

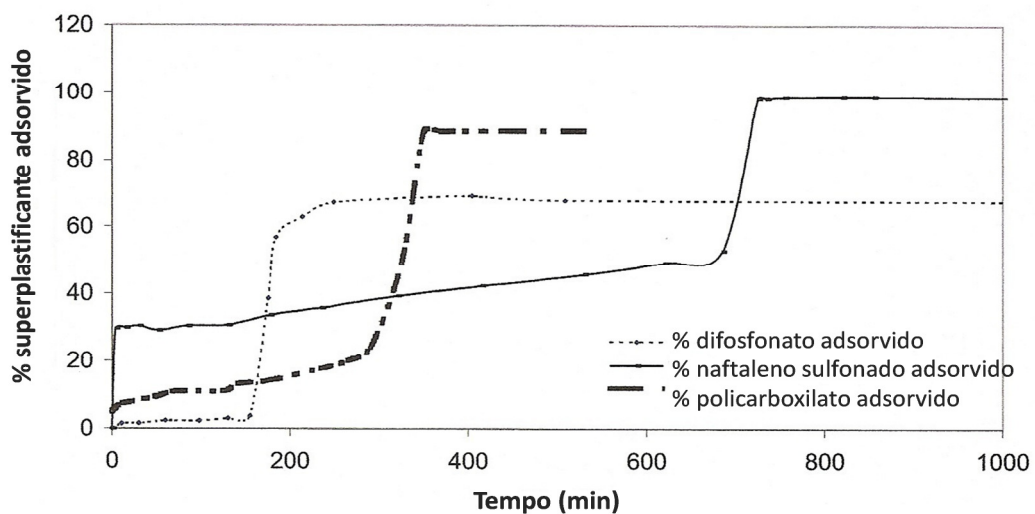


Figura 13: Evolução da fração de superplastificante adsorvido durante hidratação do C_3A com gipsita em uma solução de cal saturada (POURCHET et al., 2006).

Os compostos adsorvidos modificam as propriedades da superfície do cimento e suas interações com a fase líquida da pasta de cimento (JOLICOEUR; SIMARD, 1998). Segundo Pourchet et al. (2006), a presença do policarboxilato retarda a precipitação da etringita e, considerando que o aditivo pode diminuir a taxa de dissolução do C_3A , ele atua principalmente no crescimento da etringita, dando origem a menores tamanhos dos cristais de etringita formada (figura 14). Prince et al. (2003) observaram que a adsorção de moléculas de superplastificante na superfície das partículas do sistema cimentício parece diminuir a taxa de dissolução dos constituintes e modificar a natureza dos diferentes compostos hidratados. Observou que a adsorção do superplastificante resulta em uma diminuição da temperatura de decomposição da etringita, fenômeno ligado à mudança na morfologia etringita já observado por alguns autores.

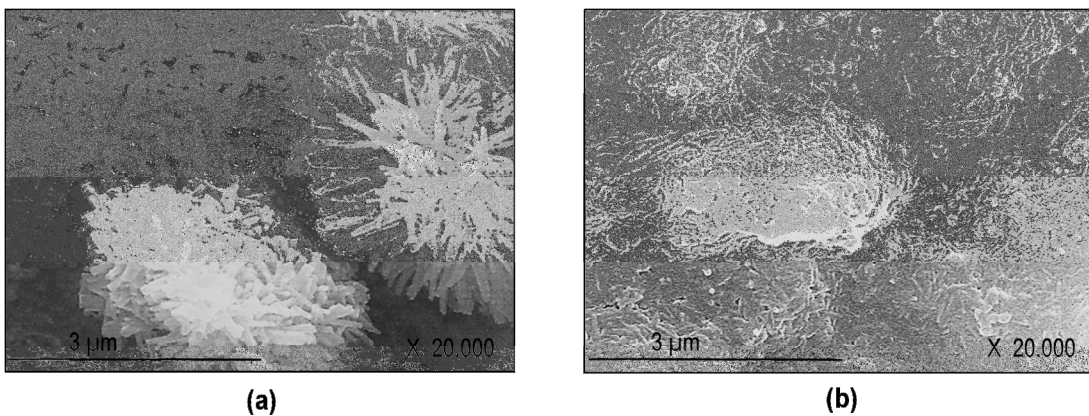


Figura 14: Microscopia eletrônica de varredura com imagem típica de etringita obtida uma hora após o início da hidratação da mistura de C_3A e gipsita (a) sem superplastificante ou (b) na presença de 5% de policarboxilato (POURCHET et. al, 2006).

Também com o objetivo de estabelecer interações fundamentais entre os aditivos superplastificantes e o cimento, Bassioni (2010) estudou o efeito de dois tipos de superplastificantes, um de base melanina e outro naftaleno, com quatro cimentos de composições químicas diferentes. A variação no comportamento de adsorção com os diferentes tipos de cimento é muito importante para dar uma indicação de dosagens necessárias do aditivo. Em casos extremos, a adsorção pode ser tão baixa quanto 10%, confirmando a incompatibilidade entre cimento e aditivo. Outro fator importante pode contar com o tipo de disponibilidade (solubilidade) do transportador de sulfato no cimento. O comportamento de adsorção é afetado pela carga aniônica dos polímeros na água e nas

soluções dos poros dos cimentos: quanto maior a carga aniônica, melhor a adsorção. Para as relações estudadas, o cimento que apresenta menor teor de C_3A mostra melhor efeito de liquefação e adsorveu em todos os casos a menor quantidade de superplastificante. Cimentos com alto teor de sulfato e CaO livre necessitaram dosagens de aditivo bem mais elevadas para se obter o mesmo resultado. Não se observou diferenças significativas em relação aos valores de fluxo de calor, o que proporciona uma visão de até que ponto a produção de cimento (e, conseqüentemente, a emissão de CO_2 gerada nessa produção) pode ser minimizada usando aditivos adequados que dão boa trabalhabilidade e compatibilidade e contribuindo com um grande valor ambiental.

Experimentos de desadsorção indicam que o superplastificante (formaldeído sulfonado melanina - SMF) é irreversivelmente adsorvido. Uma interação química parece ocorrer entre C_3A e a mistura C_3A -gesso com SMF. Esses resultados explicam melhor o efeito fluidificante do superplastificante, quando ele é adicionado ao concreto alguns minutos depois que a água de mistura. Adicionado junto com a água da mistura, o superplastificante é rigidamente anexado em quantidades substanciais pela mistura C_3A -gesso, deixando apenas pequenas quantidades para a dispersão da fase de silicato. Com adição tardia na mistura é adsorvido em menor escala, permitindo que seja deixado o bastante na solução para promover a dispersão das fases silicato e reduzir a viscosidade do sistema (RAMACHANDRAN, 1987).

Hartmann e Helene (2003) evidenciam a influência do uso de aditivos superplastificantes sobre as propriedades do concreto fresco e propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto endurecido, estudando quatro diferentes tipos de aditivos superplastificantes: dois base policarboxilato, um base lignossulfonato e um base naftaleno sulfonado. O efeito de retardo nos tempos de pega das pastas de cimento foi observado, em grau mais acentuado para o aditivo a base lignossulfonato, por outro lado, os demais aditivos apresentaram perda de abatimento muito elevada. Quando utilizados como redutores de água é notável o ganho nas propriedades do concreto: aumento na resistência à compressão e à penetração de íons cloreto e no módulo de elasticidade. De acordo com os autores, o melhor desempenho referente à resistência à compressão dos aditivos com base policarboxilato pode ser explicado pela melhor defloculação da pasta de cimento por apresentarem mecanismo de repulsão estérica. Para uma mesma resistência, o uso de aditivos superplastificantes resultou em relações água/cimento mais baixas e conseqüentemente o módulo de deformação maior quando comparado ao concreto de referência, assim como, uma redução da carga passante na penetração de cloretos.

Aditivos superplastificantes são capazes de melhorar as características plásticas das misturas de concreto, permitindo fácil aplicação, mesmo com baixa relação a/c, quer por

necessidade de resistências mais altas ou por razões de durabilidade. Quanto menor a relação a/c , maior será perda do abatimento para o mesmo nível de abatimento inicial. A redução da relação a/c em concreto com superplastificantes, conseqüentemente com a distância menor entre as partículas do cimento (figura 15), provoca uma perda de abatimento mais significativa em função da evaporação ou pela reação com o cimento durante o transporte. Uma maneira adequada para controlar melhor essa perda de abatimento é adicionar o aditivo no momento da descarga do concreto. Entretanto, alguns contratempos práticos estão ligados a esse procedimento: há necessidade de mais tempo, para adequada mistura, antes da descarga; não permite um controle mais exato no abatimento final e na dosagem da mistura (COLLEPARDI, 1998). Segundo Ramachandran (1981), a perda do abatimento pode ser diminuída pela adição de uma dosagem maior do que normal de superplastificante ou adicionando-o em momentos diferentes à mistura, mas a inclusão na formulação em pequenas quantidades de um retardador parece oferecer boas vantagens em relação à economia.

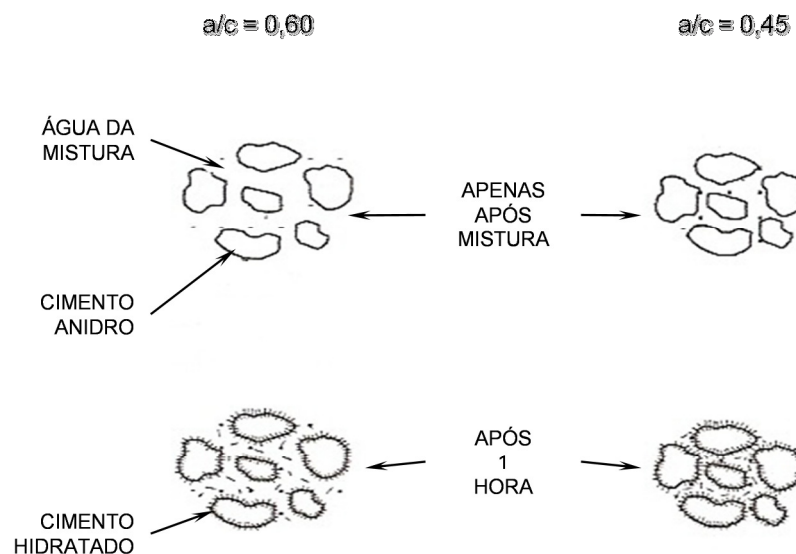


Figura 15: Desenho esquemático de pasta de cimento em um concreto convencional ($a/c=0,60$) e com superplastificante ($a/c=0,45$) (COLLEPARDI, 1998).

A presença de aditivo superplastificante em pastas de cimento Portland produz um retardo no período de início das reações de hidratação. Esse retardo nas reações de hidratação do cimento por efeito desses aditivos muda também os tempos de início e fim de pega. Pode ocorrer mudança na morfologia e microestrutura dos produtos da reação. Observou-se a

formação da etringita nas primeiras idades para aditivos a base de melanina sintética, mas em menor quantidade que sem aditivos, enquanto que esta fase não se forma com aditivos a base de copolímeros vinílicos e nem para altas dosagens de aditivo a base de policarboxilato, isso porque a natureza do aditivo influencia sobre a adsorção mesmo nas partículas do cimento (PUERTAS; VÁZQUEZ, 2001). A presença de aditivo à base de policarboxilato afetou a velocidade de reação de hidratação do cimento (tipo CP II E). Quanto maior o teor, maior foi o tempo de início e fim de pega. Esse retardo nas reações de hidratação está diretamente relacionado com o estado de dispersão das partículas, que por meio do mecanismo eletroestérico mantém as partículas de cimento afastadas e com potencial de dissociação e precipitação de hidratos reduzidos. Além disso, quanto maior os teores de aditivo, maiores foram as diferenças entre o início e o final de pega (LYRA, 2010).

Ramachandran (1981) observou que após o período de indução ou dormência em torno de 2 horas, a hidratação do C_3S é iniciada e aumenta gradativamente até atingir, após 6 a 7 horas, um pico. Em seguida a taxa de hidratação diminui gradualmente tornando-se bastante lenta em 17 horas. A adição de superplastificante base melanina afeta a taxa de hidratação do C_3S , observada em função das baixas taxas de desenvolvimento de calor. Na adição de 2% a taxa de desenvolvimento de calor às 7 horas é reduzida em aproximadamente 50%. Um complexo de adsorção formado, pela reação do C_3S ou cimento com o aditivo e a água, sobre as superfícies não hidratadas é capaz de retardar a hidratação.

Langley⁵ et al. (1989) apud Papayianni et al. (2005) relatam que, em geral, é aceitável que superplastificante lignossulfônico em altas dosagens resulte atraso na pega e endurecimento do concreto. Outros grupos de superplastificante reativos são à base de produtos sulfonados de polímeros sintéticos (naftalina ou melanina). Estes materiais resultam em uma alta redução de água necessária e resistências maiores são alcançadas. A família de superplastificantes à base de produtos policarboxílicos é mais recente (1980). São materiais de maior reatividade, eles não contêm o grupo sulfônico e são totalmente ionizados em meio alcalino. Os superplastificantes de alta reatividade, que em dosagens elevadas não têm o efeito colateral em retardar a cura do concreto, possibilitam a produção de concretos com um grande volume de cinzas volantes ou escória. Papayianni et al. (2005), comparando três aditivos superplastificantes, constataram um desempenho melhor, em relação ao polímero sulfonado e ao polímero sintético, do aditivo base policarboxilato.

⁵ LANGLEY, W.S., CARETTE, G.G., MALHOTRA, V.M. *Structure concrete incorporating high volume of ASTM class F fly ash*. ACI Mater J 1989; 86:507-14.

Identificaram para esse aditivo que a perda na trabalhabilidade teve melhor comportamento, comparando-se com a mistura de referência sem a utilização de superplastificante. Quando analisada a resistência à compressão, para uma dosagem de 2% sobre a massa de cimento, observaram crescimento de 50% em relação ao concreto de referência, enquanto que os polímeros sulfonado e sintético apresentaram 25% e 18%, respectivamente.

O desempenho da utilização e do tipo de aditivo pode ser analisado pela perda de fluidez em uma pasta de cimento. Para uma pasta de cimento CII-Z 32 constatou-se, tanto para o tempo de 30 quanto para 60 minutos após a dosagem, que o tipo de aditivo contribui significativamente para a perda de fluidez, sendo que o aditivo a base de lignosulfonato apresentou perda de fluidez superior aos aditivos à base de naftaleno e policarboxilato. Este último apresentou a menor perda de fluidez (SILVA et al., 2009). Segundo os mesmos autores, o teor de sólidos de redosagem é afetado principalmente pelo tipo de aditivo adicionado. O tempo de redosagem não mostrou evidência suficiente para influenciar no teor de redosagem. Dentre os aditivos, o policarboxilato foi o que necessitou menor teor de sólidos para a redosagem após 30 e 60 minutos. Chandra and Björnström (2002) observaram que o aumento de fluidez em argamassas de cimento ocorre devido à adsorção do aditivo superplastificante sobre as partículas de cimento, o que dificulta o processo de hidratação, enquanto que a perda do abatimento ocorre em função da retomada no processo de hidratação do sistema.

Contudo, a perda de abatimento é inevitável por causa da exigência intrínseca para as misturas de cimento que devem se definir e endurecer em um tempo relativamente curto. Portanto, apropriada seria uma mistura com perda de abatimento zero por cerca de 1 hora. Usando superplastificante com base naftaleno ou base melanina não é fácil atingir este objetivo, porque em geral a perda de abatimento é maior em concreto com esses superplastificantes em relação à mistura pura correspondente ao abatimento inicial. Quanto menor a relação a/c, maior é a perda de abatimento para um mesmo nível de abatimento inicial (COLLEPARDI, 2005). Trabalhabilidade normal do concreto contendo um superplastificante é geralmente mantida por cerca de 60-90 minutos. Posteriormente, há uma rápida diminuição, perda de abatimento. Fatores que determinam essa queda do abatimento incluem o valor inicial do mesmo, tipo e quantidade de superplastificante adicionado, o tempo de adição do superplastificante, umidade, temperatura, os critérios de mistura e a presença de outro aditivo na mistura (RAMACHANDRAN, 1987).

Collerpadi et al. (1993), através de estudos do efeito do aditivo base policarboxilato sobre as propriedades do concreto pré-misturado, identificaram um desempenho melhor desse aditivo em relação ao com base naftaleno quanto à perda imediata do abatimento. Embora

estes superplastificantes venham sendo utilizados com diferentes teores de polímero ativo, o policarboxilato foi mais eficaz na capacidade de redução de água, bem como para a manutenção do abatimento inicial, conforme apresentado na figura 16.

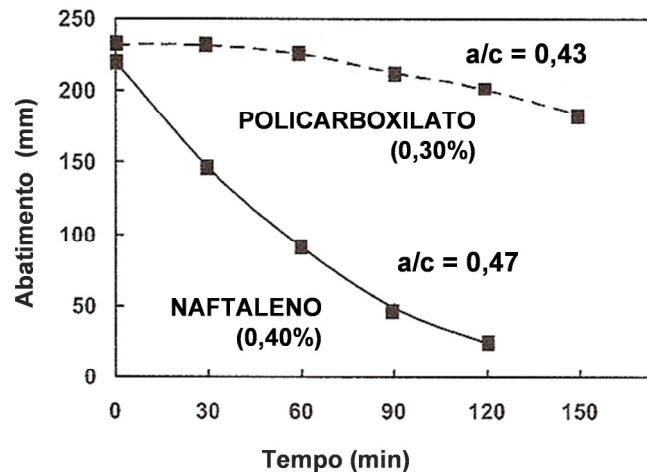


Figura 16: Perda de abatimento de concretos (temperatura: 20°C) com superplastificantes a base policarboxilato e naftaleno (COLLEPARDI, 1993).

Hsu et al. (1999), em estudo realizado com cimento Portland tipo I e aditivo superplastificante base naftaleno, observaram que, em uma relação a/c de 0,30 e dosagem de aditivo superplastificante de 2% sobre a massa de cimento, valores altos de abatimento são obtidos e esses são quase constantes independente do tempo de adição do aditivo. Enquanto que, com a diminuição da dosagem do aditivo (1%, 0,5%) o abatimento obtido diminui com o tempo indicando, em parte, que a influência do tempo de adição do aditivo na trabalhabilidade do concreto depende de sua dosagem.

Kirca et al. (2002), procurando simular uma situação semelhante à realidade de obra em que o concreto utilizado é concreto pré-misturado e transportado com caminhão betoneira, reproduziram em laboratório concretos com duas classes de resistências mantidos em mistura prolongada por até 4 horas, analisando seu comportamento a cada hora. O abatimento inicial de 150 mm foi restabelecido nos tempos pré-determinados por quatro processos de ajustes distintos: somente com água e água com aditivo superplastificante em três diferentes dosagens (1,5%, 3,0% e 4,5% da massa de água). Com a utilização do superplastificante uma menor quantidade de água é necessária para ajustar o abatimento, com isso as relações água-cimento finais das misturas com o aditivo são mais baixas do que

se utilizada somente água pura. Assim, a diminuição da resistência à compressão destes concretos onde o abatimento foi restabelecido com aditivo superplastificante é menor do que a diminuição da resistência daqueles concretos ajustados com água pura. Mesmo pequenos aumentos são observados na resistência à compressão dos concretos que são ajustados com superplastificante (especialmente para o caso de ajuste com superplastificante 4,5%).

Erdoğdu (2005), utilizando aditivo superplastificante na manutenção do abatimento do concreto por um período de 150 minutos, para restabelecer o abatimento à condição inicial com o aditivo a cada 30 minutos, observou um ganho de resistência à compressão no concreto, com um tempo de mistura de 90 minutos, cerca de 30% em relação à resistência inicial do concreto, e um ganho um pouco mais de 10% em comparação com a resistência do concreto de referência, correspondente ao concreto com duração de mistura de 150 minutos. O autor atribui a diminuição na resistência observada após os 90 min de mistura a uma possível segregação, mesmo utilizando aditivo superplastificante. Esse comportamento pode ser observado na figura 17.

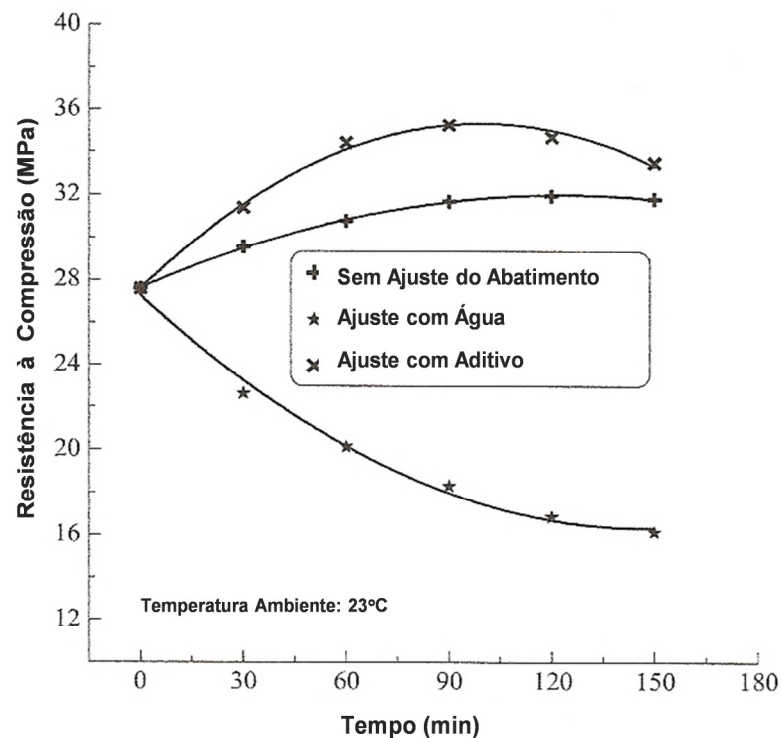


Figura 17: Efeito de ajustes no concreto sobre resistência à compressão quando submetido à mistura prolongada (ERDOĞDU, 2005).

Segundo Gettu & Roncero⁶ (2000) apud Hartmann et al. (2011), aditivos superplastificantes à base policarboxilato tem a habilidade de manter a trabalhabilidade da mistura até que suas cadeias poliméricas sejam aprisionadas e cobertas pelos produtos de hidratação do cimento. O restabelecimento das propriedades reológicas do concreto fresco pode ser obtido adicionando novas quantidades de aditivo, realizando, assim, a redosagem. Com isso, haverá novamente a adsorção na superfície dos grãos em hidratação que aprisionaram as moléculas de aditivo.

As propriedades do estado fresco do concreto são afetadas em função do modo de adição dos aditivos à mistura, tais como manutenção do abatimento e a incorporação de ar. A importância no momento da adição de aditivos redutores de água, no abatimento e na manutenção do abatimento do concreto, é bem menor para aditivos à base policarboxilato do que para aditivos à base naftaleno, melanina, lignossulfonado e retardadores. Isso ocorre em função da repulsão estérica do policarboxilato e, possivelmente, ao tamanho das moléculas desses polímeros, que ainda podem dispersar os grãos de cimento mesmo se parcialmente aprisionados pela precipitação dos produtos de hidratação do cimento (HARTMANN et al., 2011).

Conforme já mencionado ao longo dessa revisão bibliográfica, aditivos à base policarboxilato apresentam-se como boa alternativa quanto à melhoria das propriedades do concreto, principalmente na manutenção do abatimento ao longo do tempo, inclusive através de redosagem, se necessário. Em várias situações práticas há a necessidade de restabelecimento do abatimento, porém se feito com água há um impacto direto nas propriedades do concreto, então a utilização do aditivo à base policarboxilato mostra-se como uma opção adequada. O programa experimental detalhado no capítulo 3 pretende, com a utilização desse aditivo, avaliar, através de um processo de redosagem, a possibilidade de utilização de concretos com tempos superiores ao especificado pela norma, de 150 minutos, mantendo as propriedades finais do concreto no estado endurecido.

⁶ GETTU, R.; RONCERO, J. *Aditivos superfluidificantes para hormigones de altas prestaciones. In: Simposio sobre aditivos para hormigones*, 4, Madrid, 1998, Proceedings... Madrid, 1998.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este capítulo apresenta o programa experimental realizado para que o objetivo proposto fosse atingido, contemplando o planejamento experimental, a caracterização dos materiais empregados e os procedimentos adotados na produção dos concretos e para realização dos ensaios.

3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O projeto de experimentos é uma metodologia apoiada fortemente em conceitos estatísticos, destinada a otimizar o planejamento, execução e análise de um experimento. O uso de projeto de experimentos permite que se estruture a sequência de ensaios de forma a traduzir os objetivos preestabelecidos pelo pesquisador. O projeto de experimentos, quando realizado adequadamente, possibilita encontrar o ajuste ótimo dos parâmetros do sistema, de forma a maximizar seu desempenho, minimizar os custos e tornar o sistema pouco suscetível aos efeitos dos fatores de ruído (fatores não controláveis) (RIBEIRO e CATEN, 2003).

Nessa etapa definem-se as variáveis de resposta e os fatores controláveis. As variáveis de resposta, segundo Ribeiro e Caten (2003), são responsáveis pelos aspectos do produto que podem ser medidos e que permitem quantificar as características de qualidade. Para a presente pesquisa têm-se as variáveis dependentes como sendo:

- a) resistência à compressão aos 28 dias;
- b) absorção por capilaridade aos 28 dias.

Segundo os mesmos autores, os fatores controláveis são os parâmetros do processo que foram escolhidos para serem estudados a vários níveis no experimento. Nesta pesquisa as variáveis de controle são:

- a) tipo de cimento: CP II Z 32 e CP IV 32 RS;
- b) relação água/cimento do concreto (a/c): 0,68, 0,52 e 0,40;
- c) tempos de mistura do concreto: 0h, 2h, 4h, 5h e 6h.

Com essas variáveis controláveis definidas: dois tipos de cimento, três relações a/c e cinco tempos de mistura, é necessário um total de 30 combinações. Como também foi objetivo

dessa pesquisa sua aplicação em uma situação real numa central dosadora de concreto, para todas as variáveis controláveis definidas, ao final, foi considerado um total de 60 combinações, conforme ilustrado pela figura 18.

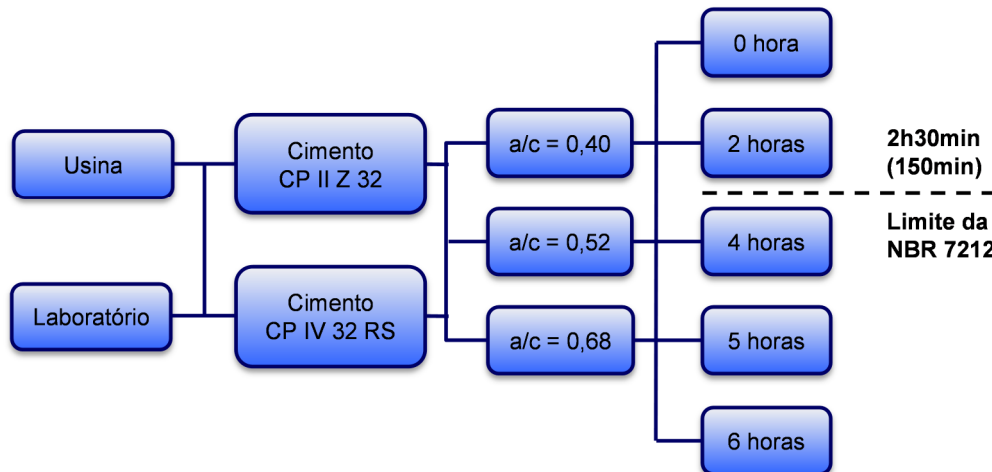


Figura 18: combinações entre as variáveis controláveis da pesquisa

Esses dois tipos de cimentos foram adotados por estarem presentes em grande parte das centrais dosadoras de concreto da região de Porto Alegre, inclusive na empresa em que foi reproduzida a pesquisa em escala real de produção. As relações a/c foram escolhidas por conduzirem a concretos com consumos de cimento bem diferenciados, com a finalidade de avaliar o comportamento em três faixas de resistência distintas. Em função da reprodução em escala real, os traços adotados seguiram os padrões da central dosadora, empregando os mesmos insumos em toda a pesquisa, tanto em laboratório como em escala real.

Além dos concretos recém-misturados e no tempo de mistura de 6 horas, adotaram-se outros pontos intermediários para conhecer melhor seu comportamento nesses primeiros tempos. Optou-se por intervalos de tempos de 2 horas, porém como havia possibilidade de outro tempo adicional adotou-se 5 horas e não 3 horas por entender que quanto mais o concreto permanecer misturando maior a probabilidade de ocorrer alteração nas propriedades analisadas e, porque em 3 horas os cimentos utilizados nessa pesquisa ainda não haviam iniciado seu processo de início de pega.

A trabalhabilidade do concreto no estado fresco foi determinada através do ensaio de abatimento do tronco de cone conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998). A proposta da pesquisa é manter a trabalhabilidade do concreto com a utilização de aditivo

superplastificante ao longo de um período de 6 horas a partir da mistura inicial dos materiais, onde há o primeiro contato das partículas de cimento com a água. Outros estudos (ERDOĞDU, 2005 e KIRCA et al.,2002) já abordados na revisão bibliográfica, utilizam o aditivo superplastificante para manutenção do abatimento para mistura prolongada do concreto, porém em escala de tempo menor que a proposta neste estudo.

Como ensaios a serem realizados foram estabelecidos a resistência à compressão e a absorção por capilaridade, aos 28 dias. A resistência à compressão por ser a principal propriedade do concreto e a absorção de água na tentativa de poder relacionar o desempenho nesse ensaio com uma estimativa de durabilidade, em função da mistura prolongada realizada nessa pesquisa. Para isso, definiu-se a moldagem de um total de 30 corpos-de-prova com dimensões de 100x200mm para cada mistura, sendo 6 para cada tempo, 3 para análise de resistência à compressão e 3 para análise de absorção por capilaridade. Como são analisados os cinco tempos preestabelecidos em uma mesma mistura, ao total realizaram-se 24 concretagens: 12 em laboratório e 12 na central. Optou-se por 3 corpos-de-prova buscando, com isso, reduzir o erro na análise estatística.

Toda a preparação e acompanhamento dos concretos produzidos, tanto em laboratório como na central de concreto, ocorreu num período com temperatura ambiente baixa ($\approx 19^\circ$); em função disso, repetiu-se uma das misturas, conforme indicado na figura 19, em laboratório em condição oposta, com temperatura ambiente elevada ($\approx 31^\circ$), para entender e analisar melhor o quanto essa mudança na temperatura poderia impactar nos resultados finais.

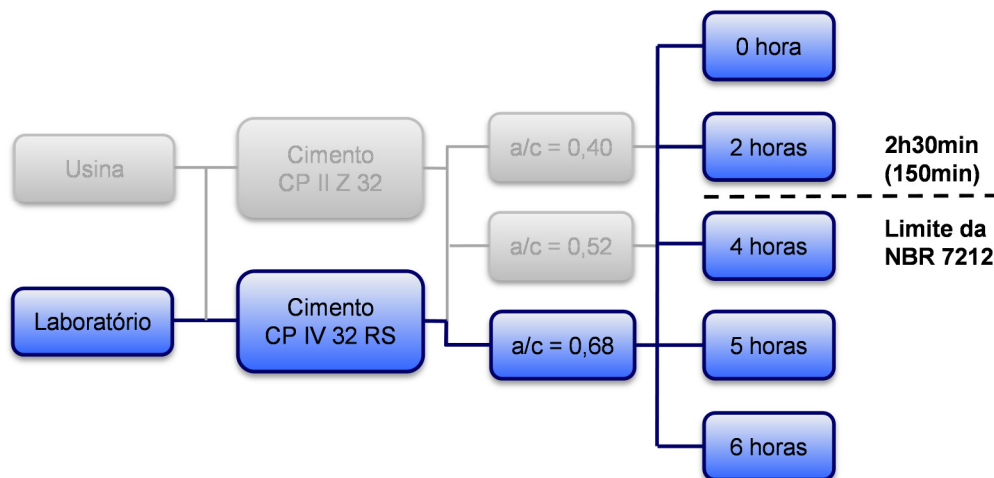


Figura 19: mistura adicional realizada em condições oposta de temperatura (31°C)

Para um melhor entendimento do comportamento dos concretos quando mantidos em mistura prolongada, realizou-se, para essa mistura adicional (temperatura ambiente $\approx 31^\circ$), a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) por elétrons secundários. Em função da disponibilidade, optou-se pela análise nos dois tempos extremos e em um intermediário, conforme ilustrado na figura 20.

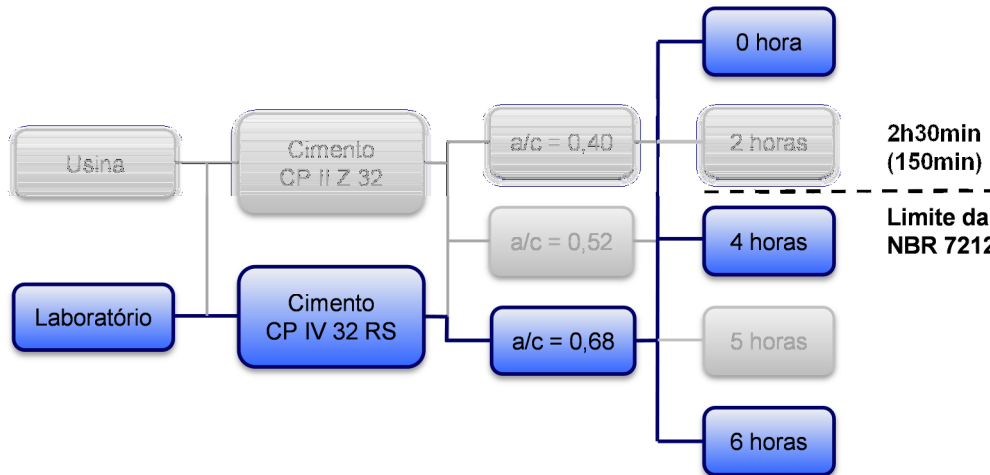


Figura 20: mistura e tempos adotados para ensaio de MEV por elétrons secundários

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A determinação e escolha dos materiais empregados na pesquisa foram baseadas no atual cenário das centrais dosadoras de concreto da região Porto Alegre. Os materiais escolhidos são os materiais utilizados pela empresa em que se reproduziu a pesquisa.

Em função disso, os materiais selecionados e utilizados nesse estudo foram:

- a) cimento: cimento Portland composto CP II Z 32 e cimento Portland pozolânico CP IV 32 RS;
- b) agregado miúdo: areia natural oriunda do rio Jacuí;
- c) agregado graúdo: duas faixas granulométricas de britas de basalto, definidas como brita 1 e brita 0, por se tratar de uma prática comum em centrais dosadoras de concreto, utiliza-se mais de um tipo de agregado graúdo nas dosagens de concretos;

- d) aditivo: aditivo plastificante de pega normal e aditivo superplastificante à base policarboxilato;
- e) água.

Os valores obtidos na caracterização dos materiais, aqui apresentados, foram determinados em ensaios realizados pela Fundação de Ciência e Tecnologia, CIENTEC, do estado do Rio Grande do Sul.

3.2.1 Cimento Portland

As características dos cimentos utilizados nessa pesquisa estão apresentadas nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: características e propriedades do cimento Portland pozolânico CP IV 32 RS

Características e Propriedades		Dados do Fabricante	Valores Obtidos*	Especificações da NBR 5736 (ABNT, 1999)
SiO ₂		32,44	-	-
Fe ₂ O ₃		3,57	-	-
CaO		38,42	-	-
Al ₂ O ₃		9,84	-	-
K ₂ O		1,5	-	-
Na ₂ O		0,18	-	-
MgO		4,71	-	≤ 6,5
SO ₃		2,77	-	≤ 4,0
Perda ao Fogo		2,82	-	≤ 4,5
Área Específica - Blaine (cm ² /g)		5152	4840	-
Massa Específica (kg/dm ³)		-	2,77	-
Finura na peneira nº 200		-	0,7%	≤ 8,0
Tempo Início de Pega (min)		300	295	≥ 60
Tempo Fim de Pega (min)		420	355	≤ 720
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias de idade	27,5	24,6	≥ 10,0
	7 dias de idade	32,6	31,7	≥ 20,0
	28 dias de idade	46,9	43,8	≥ 32,0

* Ensaios realizados na CIENTEC.

Tabela 4: características e propriedades do cimento Portland composto CP II Z 32

Características e Propriedades		Dados do Fabricante	Valores Obtidos*	Especificações da NBR 11578 (ABNT, 1991)
SiO ₂		-	-	-
Fe ₂ O ₃		-	-	-
CaO		1,44	-	-
Al ₂ O ₃		-	-	-
K ₂ O		-	-	-
Na ₂ O		-	-	-
MgO		6,01	-	≤ 6,5
SO ₃		2,90	-	≤ 4,0
Perda ao Fogo		4,98	-	≤ 6,5
Área Específica - Blaine (cm ² /g)		4763	4310	≥ 2600
Massa Específica (kg/dm ³)		3,02	2,96	-
Finura na peneira nº 200		0,9%	0,4%	≤ 12,0
Tempo Início de Pega (min)		184	185	≥ 60
Tempo Fim de Pega (min)		262	235	≤ 600
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias de idade	27,6	27,2	≥ 10,0
	7 dias de idade	33,2	31,0	≥ 20,0
	28 dias de idade	41,1	43,6	≥ 32,0

* Ensaios realizados na CIENTEC.

3.2.2 Agregado Miúdo

A areia utilizada foi uma areia natural quartzosa oriunda do rio Jacuí, na região de Porto Alegre. O ensaio de composição granulométrica foi realizado segundo procedimentos da NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para determinação da massa específica e da massa unitária adotaram-se os procedimentos da NBR NM 45 (ABNT, 2006). As características da areia utilizada podem ser observadas na tabela 5 e sua curva granulométrica pela figura 21.

Tabela 5: características físicas do agregado miúdo (areia natural)

Determinações	Resultados Obtidos*		
	Abertura da Peneira (mm)	% em massa retida	% em massa acumulada
Composição Granulométrica	4,75	2	2
	2,36	6	8
	1,18	10	18
	0,60	27	45
	0,30	41	86
	0,15	9	95
	< 0,15	5	100
Dimensão Máxima Característica (mm)		4,75	
Módulo de Finura		2,54	
Massa Específica (kg/dm ³)		2,62	
Massa Unitária (kg/dm ³)		1,59	

* Valores obtidos através de ensaios realizados pela CIENTEC.

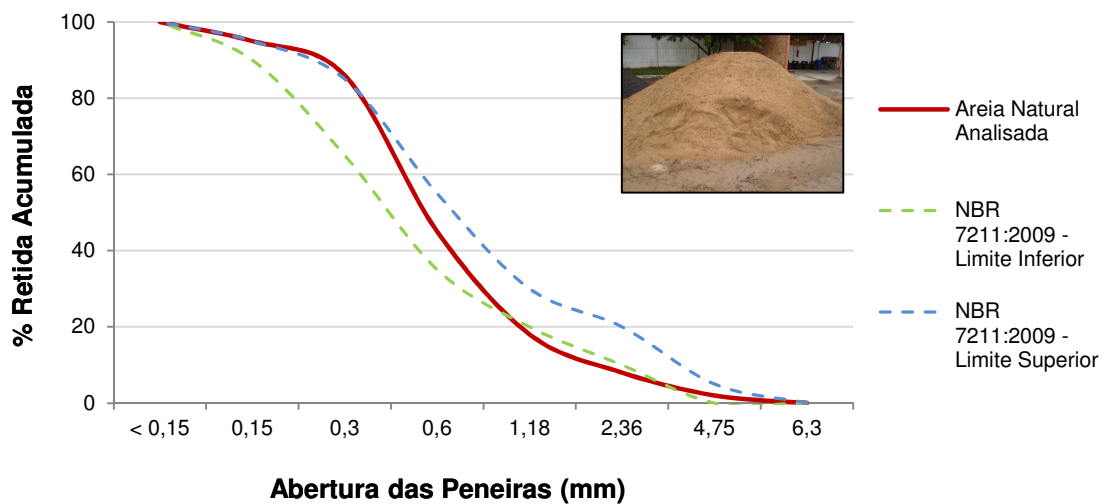


Figura 21: curva granulométrica do agregado miúdo (areia natural)

3.2.3 Agregado Graúdo

Foram utilizados dois agregados graúdos de origem basáltica, com dimensões máximas de 19mm e 9,5mm. O ensaio de composição granulométrica foi realizado segundo procedimentos da NBR NM 248 (ABNT, 2003). A massa específica e a massa unitária foram

determinadas segundo procedimentos da NBR NM 45 (ABNT, 2006). A tabela 6 apresenta as características da brita 1 e a figura 22 ilustra sua curva granulométrica.

Tabela 6: características físicas do agregado graúdo (brita 1)

Determinações	Resultados Obtidos*		
	Abertura da Peneira (mm)	% em massa retida	% em massa acumulada
Composição Granulométrica	25,00	0	0
	19,00	0	0
	12,50	50	50
	9,50	34	84
	6,30	12	96
	4,75	2	98
	< 4,75	2	100
Dimensão Máxima Característica (mm)		19,00	
Módulo de Finura		6,82	
Material fino passante peneira 75 μ m (%)		1,20	
Massa Específica (kg/dm ³)		2,80	
Massa Unitária (kg/dm ³)		1,45	

* Valores obtidos através de ensaios realizados pela CIENTEC.

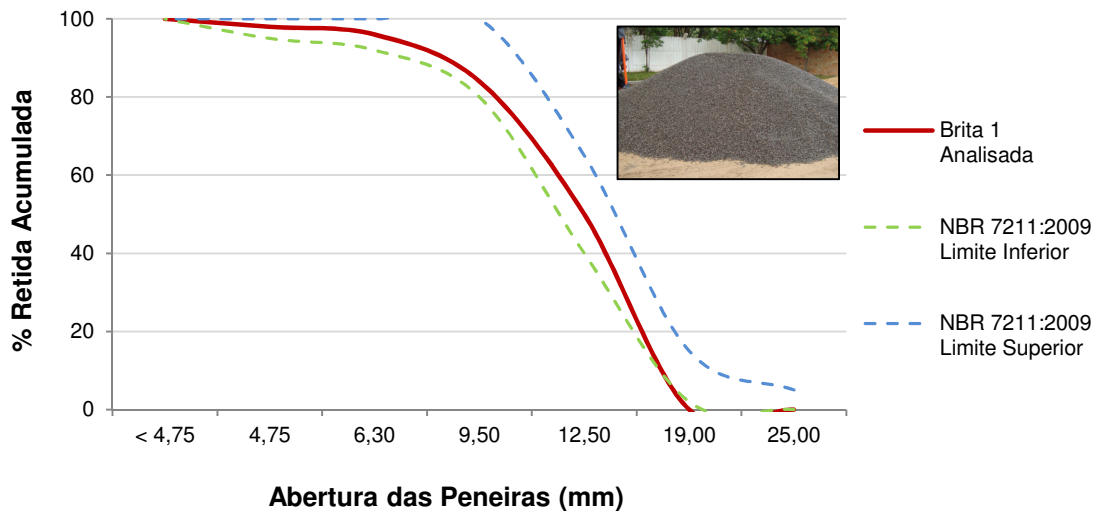


Figura 22: curva granulométrica do agregado graúdo (brita 1)

Da mesma forma, a tabela 7 e figura 23 mostram a caracterização da brita 0.

Tabela 7: características físicas do agregado graúdo (brita 0)

Determinações	Resultados Obtidos*		
	Abertura da Peneira (mm)	% em massa retida	% em massa acumulada
Composição Granulométrica	19,00	0	0
	12,50	0	0
	9,50	0	0
	6,30	25	25
	4,75	45	70
	< 4,75	30	100
Dimensão Máxima Característica (mm)			9,50
Módulo de Finura			5,70
Material fino passante peneira 75 μ m (%)			0,60
Massa Específica (kg/dm ³)			2,82
Massa Unitária (kg/dm ³)			1,43

* Valores obtidos através de ensaios realizados pela CIENTEC.

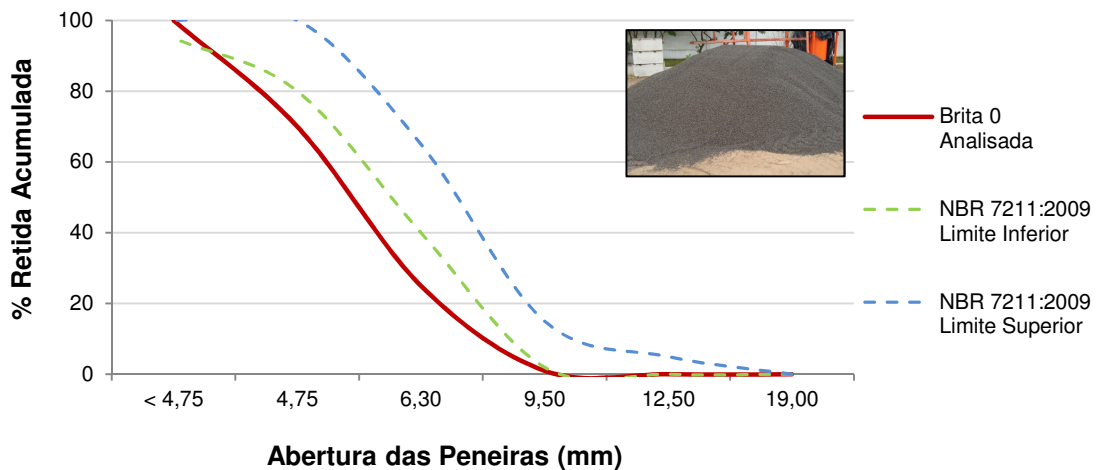


Figura 23: curva granulométrica do agregado graúdo (brita 0)

3.2.4 Aditivo e Água

A água e os aditivos têm uma importante função no concreto, pois são os principais responsáveis por sua fluidez. A água utilizada foi do abastecimento público. Os aditivos adotados para realização dessa pesquisa foram caracterizados como um aditivo plastificante como padrão na produção dos concretos e um superplastificante, para correção do abatimento, ambos de pega normal. As principais características técnicas dos aditivos

utilizados nessa pesquisa (segundo dados fornecidos pelo fabricante) estão apresentadas na tabela 8.

Tabela 8: características técnicas dos aditivos

Especificações Técnicas (fabricantes)	Aditivo Plastificante*	Aditivo Superplastificante*
Base Química	Lignossulfonato	Policarboxilato
Densidade (g/cm ³)	1,03 à 1,07	1,067 a 1,107
pH	6,0 à 8,0	5,0 a 7,0
Teor de Sólidos (%)	9,9 à 11,0	38,0 a 42,0
Dosagem (% sobre massa cimento)	0,2 à 1,0	0,2 a 1,0

*Dados do Fabricante

3.3 PRODUÇÃO E ENSAIOS DOS CONCRETOS

Uma vez definido que as dosagens de concreto a serem utilizadas seriam nos padrões adotados pela central dosadora de concreto, partiu-se para a produção dos concretos. Conforme proposta dessa pesquisa a produção dos concretos foi realizada na central e no laboratório, procurando a maior fidelidade entre os dois processos. O detalhamento do processo utilizado em ambos os casos será apresentado a seguir.

3.3.1 Traços Utilizados

Os traços adotados estão detalhados na tabela 9.

Tabela 9: proporcionamento dos concretos

Traço 1 : m	Traço Unitário, em massa	Quantidade dos Materiais por m ³ (kg)				Teor de Argamassa (%)	Relação a/c
		Cimento	Areia	Britas	Água		
1 : 3,2	1 : 1,28 : 1,95	514	660	1000	206	54	0,40
1 : 4,5	1 : 1,97 : 2,53	395	776	997	205	54	0,52
1 : 6,2	1 : 2,90 : 3,32	300	869	996	204	54	0,68

Conforme já citado, pretendeu-se reproduzir as dosagens segundo padrões utilizadas pela central. Sendo assim, o agregado graúdo é composto por 85% com brita 19mm e 15% de brita 9,5mm e a dosagem do aditivo plastificante é de 0,6% sobre a massa de cimento. O abatimento foi fixado em 120 ± 20 mm.

Esse padrão de traços de concreto é produzido na central atualmente com cimento CP IV. Como na pesquisa foi estabelecido utilizar dois tipos de cimento, adotaram-se os mesmos traços, substituindo-se apenas cimento CP IV pelo cimento CP II.

3.3.2 Produção dos Concretos em Laboratório

A produção dos traços em laboratório ocorreu em betoneira de eixo inclinado, usual de obra, com capacidade máxima de 320 litros. O volume de materiais adotado foi de 100 litros em função da quantidade de corpos-de-prova a serem moldados. A sequência de colocação dos materiais obedeceu a seguinte ordem: agregados graúdos + parte da água (mistura) + cimento (mistura) + aditivo (mistura) + agregado miúdo (mistura) + água final (mistura). O aditivo foi adicionado à mistura antes da colocação do agregado miúdo para que seu efeito fosse mais eficaz sobre os grãos de cimento. Essa operação está ilustrada na figura 24.

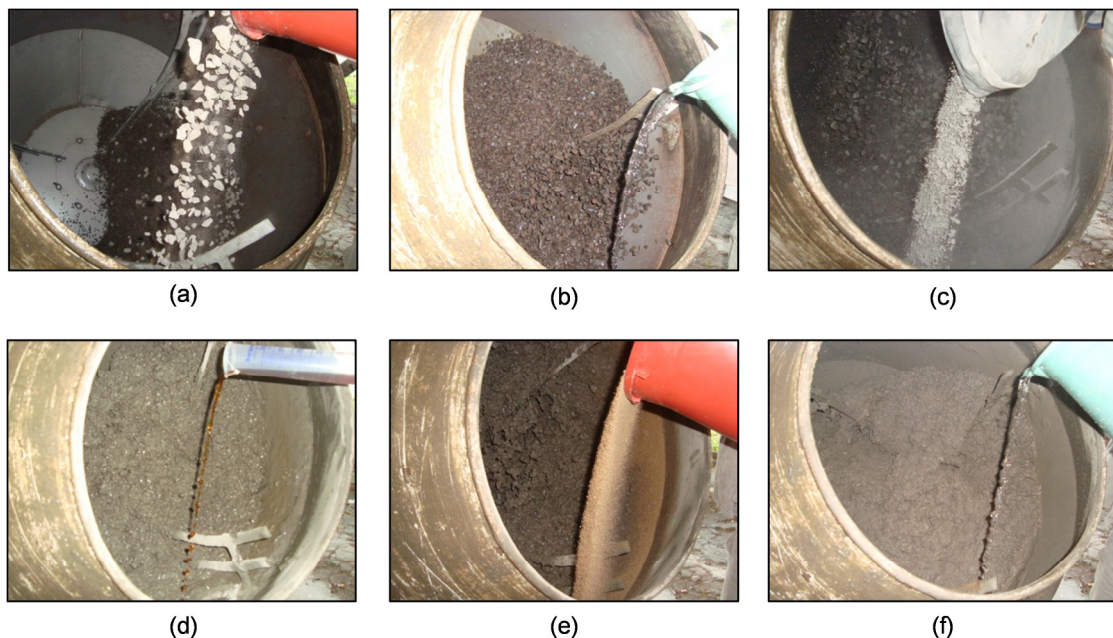


Figura 24: sequência de colocação dos materiais adotada no laboratório: (a) agregado graúdo, (b) adição de parte da água, (c) cimento, (d) aditivo plastificante, (e) agregado miúdo e (f) água final

Após à adição total dos materiais deixou-se a betoneira girando por cerca de cinco minutos para mistura dos materiais com posterior verificação da trabalhabilidade de acordo com prescrições da NBR NM 67 (1998).

Determinado o abatimento inicial da mistura procedeu-se à moldagem dos corpos-de-prova. Estes permaneceram em local protegido cobertos com lona plástica durante as primeiras 24 horas para evitar a evaporação da água de amassamento, quando então foram desmoldados e devidamente identificados. Após identificação foram colocados em um tanque de água saturada com cal a uma temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, na câmara climatizada do laboratório do NORIE/UFRGS para sua cura até a idade de ensaio, aos 28 dias, conforme prescreve a norma NBR 5738 (ABNT, 2003). Essa sequência de operações está ilustrada na figura 25.

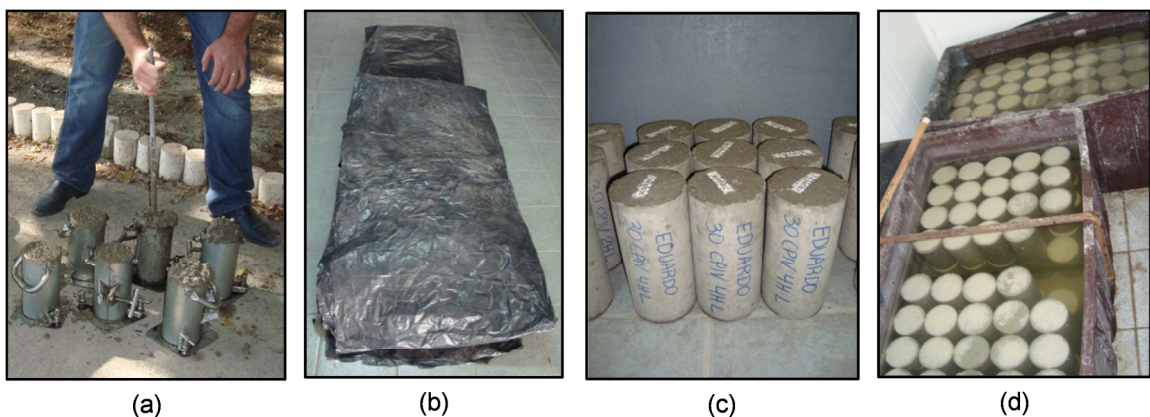


Figura 25: procedimento de moldagem e cura dos corpos-de-prova: (a) moldagem, (b) cura inicial (24 horas), (c) identificação, (d) saturados em câmara climatizada a $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ até idade de ensaio.

Após essa primeira etapa do concreto recém-misturado (0h), padronizou-se ciclos de descanso e agitação do concreto na betoneira em períodos de 15 e 5 minutos, respectivamente, até o tempo de 360 minutos (6h). Tal procedimento foi adotado, pois não foi possível deixar a betoneira em baixa rotação simulando a situação real do caminhão betoneira.

Ao longo dos ciclos de descanso e agitação do concreto, nos tempos de 120 (2h), 180 (3h), 240 (4h), 300 (5h) e 360 (6h) minutos, foi determinado o abatimento da mistura. Depois de verificado, através da incorporação de aditivo superplastificante, adotou-se o procedimento

do restabelecimento do abatimento a sua condição inicial da mistura (120 ± 20 mm). O aditivo superplastificante foi adicionado em pequenas quantidades até que o abatimento desejado fosse alcançado, por observação visual e confirmação pelo teste do abatimento, pelo tronco de cone. Esse processo está ilustrado na figura 26, referente a uma das concretagens realizadas em laboratório.

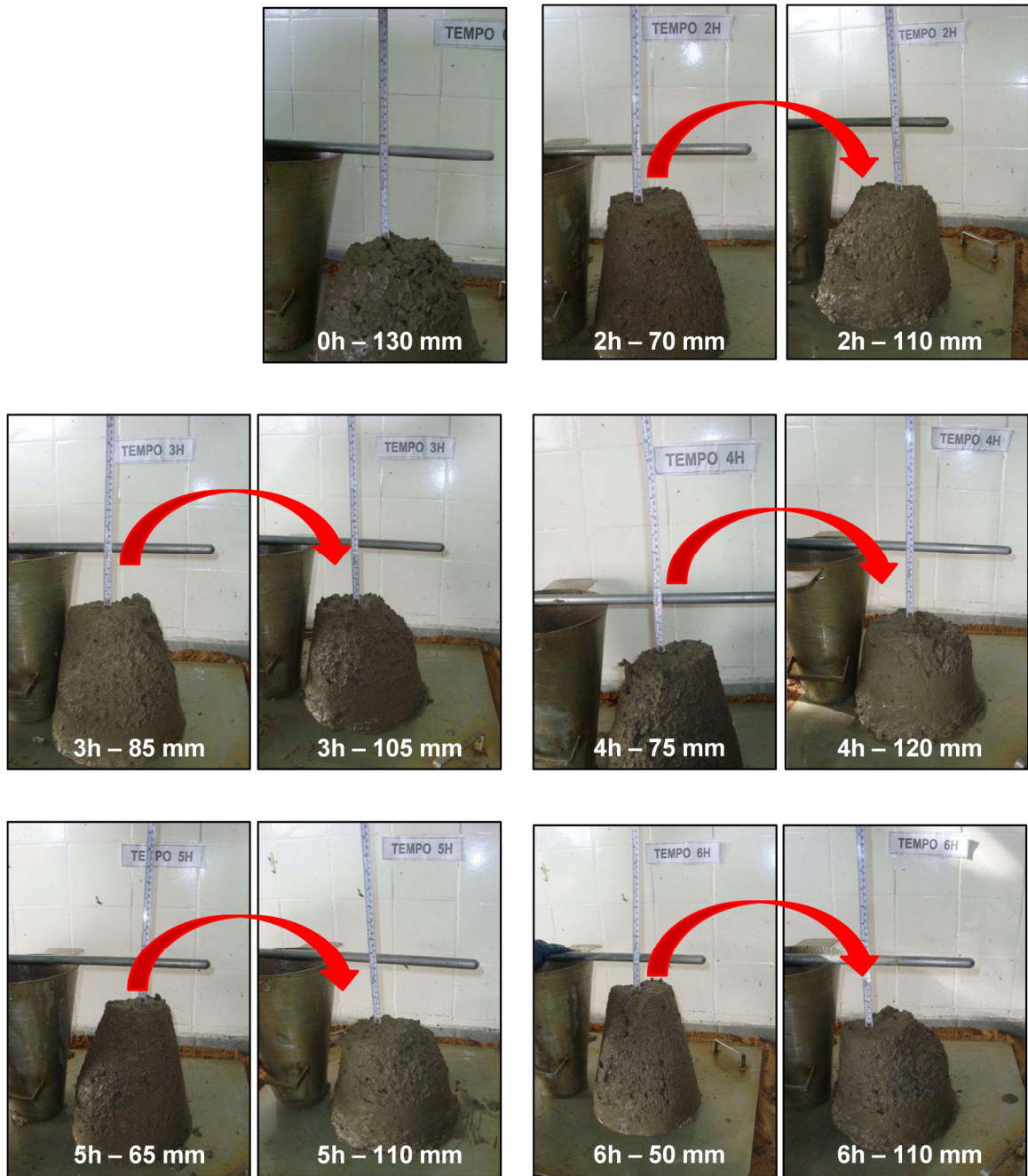


Figura 26: verificação do abatimento com restabelecimento à condição inicial (120 ± 20 mm) através da incorporação de aditivo superplastificante à mistura durante o período de 6 horas

Para cada etapa do processo, anteriormente definida para estudo, após a adição do aditivo superplastificante, foram moldados os seis corpos-de-prova para posterior ensaio de resistência à compressão e absorção por capilaridade.

3.3.3 Produção dos Concretos na Central de Concreto

Assim como em laboratório, os traços de concreto foram produzidos em escala real em uma central dosadora de concreto. O caminhão utilizado apresentava excelentes condições internas do balão, principalmente referente ao estado das pás (figura 27) para garantir boa homogeneização da mistura. Todos os traços realizados na central foram executados com o mesmo caminhão e mesmo motorista, com objetivo de minimizar ao máximo a interferência desses fatores no comportamento da mistura.



Figura 27: condições internas do balão do caminhão utilizado

Em função dos agregados na central ficarem armazenados a céu aberto, determinou-se a umidade presente na areia, para a posterior correção na quantidade de água total do traço.

O procedimento de mistura dos materiais difere um pouco do utilizado no laboratório em função do sistema de pesagem da central onde os agregados são pesados em uma mesma balança, sendo este processo de pesagem das britas e da areia cumulativo. O cimento é pesado em balança própria, o aditivo em dosador adequado enquanto que o controle da água é realizado por hidrômetros.

O processo de carregamento do caminhão consiste em: em média introduz-se 85% da quantidade total de água (o restante fica como margem para dosagem final no dosador) juntamente com o aditivo plastificante, posteriormente libera-se a balança com os agregados (britas e areia), após iniciar a entrada dos agregados no caminhão inicia-se a introdução do cimento para que entre no caminhão impulsionado pela entrada dos agregados, evitando com isso possibilidades de perda do mesmo. A figura 28 ilustra parte desse processo de carregamento.



(a)



(b)



(c)

Figura 28: processo de carregamento na central dosadora de concreto (a) carregamento dos agregados, (b) transporte dos agregados para o caminhão e (c) caminhão sendo carregado

Após o carregamento com a entrada total dos materiais, o caminhão dirige-se ao dosador para lavagem da calha e funil e ajuste do abatimento. Nessa etapa deve-se ter um controle rigoroso na quantidade de água adicionada, com a certeza que não exceda a margem que ficou estipulada no momento do carregamento, evitando com isso a alteração da relação a/c da dosagem original. Nesse momento, visualmente é possível verificar a homogeneidade do concreto. A figura 29 ilustra essa etapa.

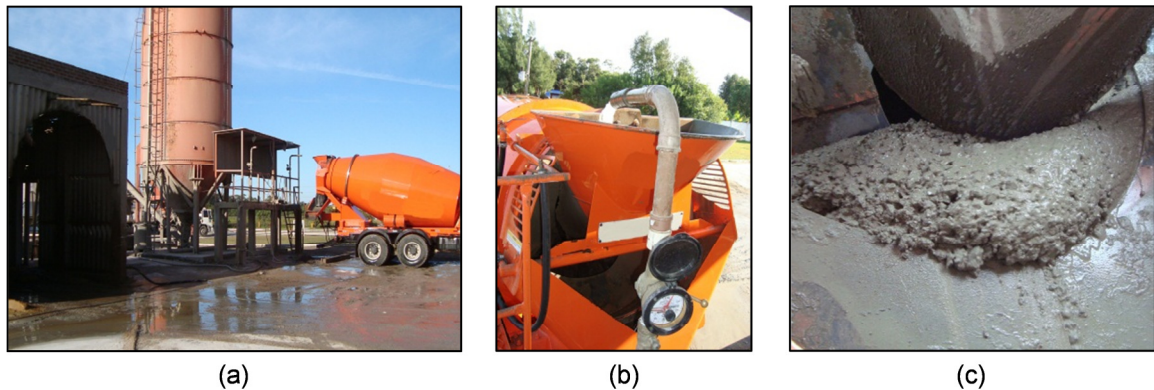


Figura 29: dosagem final e verificação da homogeneização do concreto: (a) dosador, (b) hidrômetro para dosagem final do concreto e (c) aspecto do concreto

Concluído o processo de carregamento e dosagem final do concreto, houve a verificação do abatimento e moldagem de 6 corpos-de-prova, 3 para análise de resistência à compressão e 3 para análise de absorção por capilaridade aos 28 dias de idade. O concreto recém-misturado é considerado como tempo 0 hora.

Assim como realizado em laboratório com a betoneira, o caminhão também foi mantido pelo período de 6 horas com o concreto e a verificando o abatimento nos tempos de 120 (2h), 180 (3h), 240 (4h), 300 (5h) e 360 (6h) minutos. Para cada tempo, quando necessário, foi corrigido o mesmo à condição inicial com a utilização do aditivo superplastificante, processo esse já detalhado em laboratório e ilustrado pela figura 26.

Por especificações técnicas, o período entre os ciclos de verificação do abatimento difere do adotado com a betoneira, pois o caminhão não pode ficar muito tempo carregado com concreto sem que o balão esteja em movimento, conforme especifica seu manual de instruções. Adotou-se, simulando situação real de obra para os intervalos de descanso, que o caminhão ficasse girando em rotação baixa de 2 rotações/minuto, e antes da verificação do abatimento seria mantido por 5 minutos em rotação máxima de 16 rotações/minuto.

Pela situação real onde não é possível, como realizado em laboratório, visivelmente observar o comportamento imediato do superplastificante no concreto e adicioná-lo bem no meio da mistura, dissipando-o uniformemente por toda massa de concreto para garantir que seu mecanismo de reações com o cimento tenha bom desempenho, utilizou-se para a adição do aditivo um tubo adaptado com um bocal, garantindo uma adequada dispersão do aditivo na massa de concreto, como apresentado na figura 30.

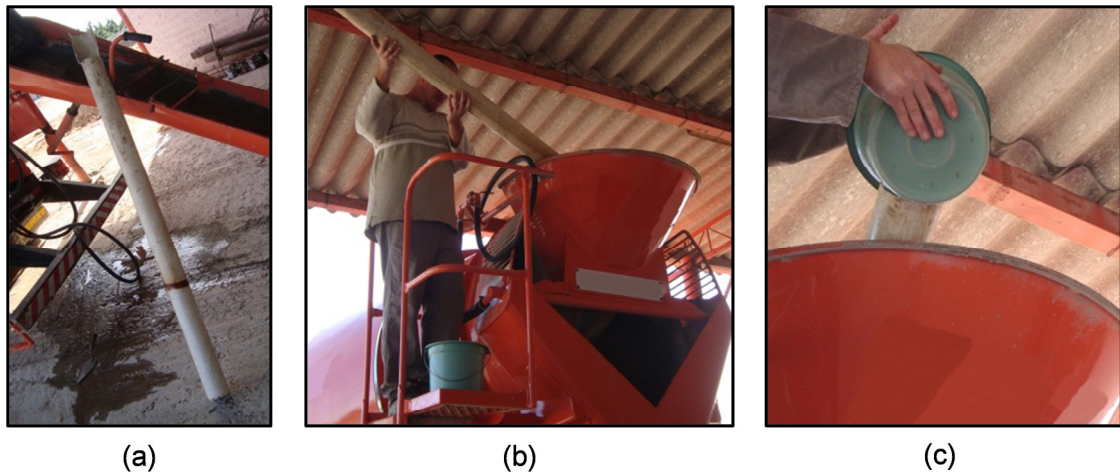


Figura 30: (a) cano de pvc adaptado para colocação do aditivo, (b) posicionamento do cano no caminhão e (c) adição do superplastificante ao concreto

Após a adição do superplastificante e restabelecimento do abatimento à condição inicial (120+-20mm), nos tempos de 2h, 4h, 5h e 6h moldaram-se os 6 corpos-de-prova para posterior ensaios de compressão e absorção por capilaridade aos 28 dias de idade.

3.3.4 Ensaios Realizados

3.3.4.1 Resistência à compressão axial

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007) na idade de 28 dias. O preparo das bases dos corpos-de-prova, buscando garantir a planicidade e perpendicularidade entre elas, foi realizado através de processo de retificação (figura 31) no dia anterior ao ensaio de compressão.

O ensaio de compressão foi realizado com uma máquina servo controlada Shimadzu de 2.000 kN a uma velocidade de aplicação de tensão de 0,45 MPa/s, mantida constante durante todo o ensaio. Para cada tempo analisado foram ensaiados 3 corpos-de-prova.

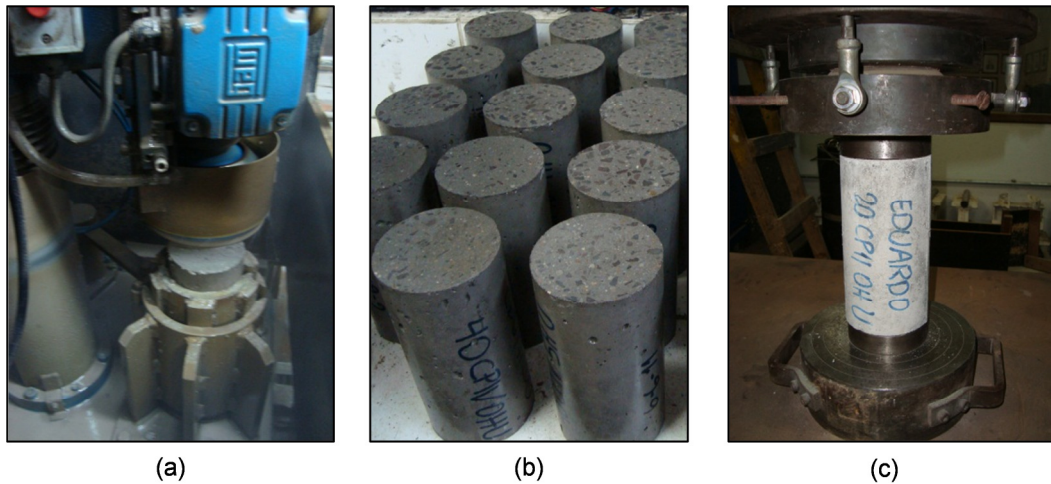


Figura 31: (a) equipamento utilizado para retificar a base dos corpos-de-prova e (b) aparência dos corpos-de-prova retificados e (c) ensaio de resistência à compressão

3.3.4.2 Absorção por capilaridade

A durabilidade de um concreto está ligada a sua porosidade capilar. A permeabilidade do concreto à água depende principalmente da relação água/cimento que determina o tamanho, volume e continuidade dos espaços capilares, e da dimensão máxima do agregado, que influencia a espessura e as microfissuras na zona de transição entre agregado gráúdo e pasta de cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008). É através da estrutura dos poros que os agentes agressivos do meio ambiente penetram e se difundem. Com objetivo de avaliar o comportamento dos concretos estudados nessa pesquisa em relação à durabilidade foi realizado o ensaio de absorção por capilaridade, segundo NBR 9779 (ABNT, 1995).

Após o período de cura de 27 dias, os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ até atingir constância de massa. No presente trabalho permaneceram por um período de no mínimo 24 horas em estufa. Depois de retirados da estufa, os corpos-de-prova foram resfriados à temperatura ambiente de $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Após processo descrito acima, os corpos-de-prova foram colocados em ambiente com temperatura e umidade controladas, posicionados sobre suportes em um recipiente com um nível de água constante a $5 \pm 1\text{mm}$ acima da face inferior, evitando a molhagem de outras superfícies, conforme ilustrado na figura 32.

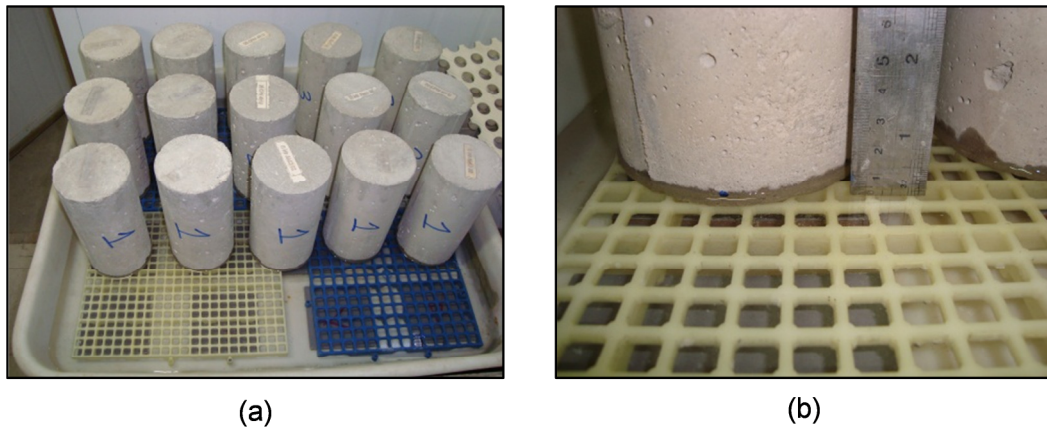


Figura 32: (a) ensaio de absorção por capilaridade e (b) detalhe lâmina de água de 5mm

Realizou-se a leitura da absorção por capilaridade nos tempos definidos pela norma de 3, 6, 24, 48 e 72 horas, contados a partir do contato inicial com a água. Anteriormente a cada leitura da massa, o excesso de água acumulado na superfície do corpo-de-prova foi removido com o auxílio de um pano.

Para cada traço estudado, pode-se analisar o comportamento na evolução da absorção por capilaridade, expressa em g/cm^2 , e, ao final das 72 horas de ensaio uma absorção total, expressa em % em relação à massa inicial. Por fim, foram rompidos os corpos-de-prova para observar visualmente a distribuição da água no interior dos mesmos.

3.3.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise de imagens da microestrutura do concreto exerce um papel importante através da possibilidade de relacionar essas imagens, de alguma forma, com suas propriedades físicas e mecânicas. A técnica de microscopia eletrônica de varredura é muito utilizada para isso. Segundo Reed⁷ (1996) apud Duarte et al. (2003), a imagem eletrônica de varredura é formada pela incidência de um feixe de elétrons sobre a amostra, sob condições de vácuo, e essa incidência promove a emissão de elétrons secundários, retroespalhados, *auger* e absorvidos, assim como de raio X característicos e de catodoluminescência.

Para esta análise as amostras utilizadas foram do concreto produzido em laboratório com cimento tipo CP IV e relação a/c igual a 0,68, a uma temperatura ambiente de $\approx 31^\circ$. Os

⁷ REED, S. J. B. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. New York, Cambridge University Press 201 p, 1996.

corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão com 3 dias de idade, posterior ao ensaio retiraram-se amostras dos tempos de 0h, 4h e 6h, com objetivo de analisar se com a manutenção do concreto em mistura por tempo prolongado, proposta desse estudo, ocorram alterações significativas na microestrutura do concreto contribuindo para uma melhor compreensão dos resultados obtidos.

São vantagens de utilização do MEV a rapidez e a facilidade na preparação das amostras. Quando separadas as amostras foram secas em estufa para após serem banhadas por uma solução de acetona e colocadas em um desumidificador. No dia anterior ao ensaio foram fixadas em bases apropriadas e previamente metalizadas, que consiste na precipitação, à vácuo, de uma película micrométrica de material condutor (ouro ou carbono) sobre a superfície da amostra, possibilitando a condução da corrente elétrica.

Os ensaios foram realizados com um microscópio de alta resolução marca JOEL JSM-6060 no Centro de Microscopia Eletrônica de Varredura (CME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo será apresentada a análise e discussão dos resultados obtidos, para os concretos produzidos em laboratório e na central dosadora de concreto. Inicialmente, para o estado endurecido na idade de 28 dias, está descrito o impacto do estudo proposto no comportamento mecânico final, através da resistência à compressão avaliando, em seguida, aspectos de durabilidade pela verificação da permeabilidade através da absorção por capilaridade. A perda de abatimento ao longo do tempo, assim como o consumo de aditivo superplastificante para manutenção do abatimento durante o tempo de manutenção do concreto em mistura proposto pela pesquisa, serão tópicos analisados em relação ao concreto no seu estado fresco. Por fim, será mostrada uma breve análise da microestrutura através de imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura.

O programa experimental foi idealizado para análise de concretos com até 6 horas após a mistura inicial, com a manutenção do abatimento feita através da incorporação do aditivo superplastificante. Em função de real possibilidade durante a execução prática das concretagens, optou-se que para o traço com relação a/c intermediária, para cada um dos tipos de cimento adotados, o concreto seria mantido por até 7 horas. Os resultados para esse tempo também serão apresentados nesse capítulo, porém, como este procedimento foi adotado em apenas uma das misturas para cada situação, não será utilizado nas análises estatísticas.

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Passados 28 dias, após processo de cura e acabamento das faces com retífica, conforme já detalhado, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio mecânico para determinação da resistência à compressão (NBR 5739:2007). Para cada tempo analisado romperam-se 3 corpos-de-prova. Todos os resultados individuais obtidos estão detalhados no anexo I. Os resultados serão analisados estatisticamente para comprovar as tendências de comportamento.

4.1.1 Concretos Produzidos em Laboratório

Os resultados das resistências à compressão aos 28 dias, dos concretos produzidos em laboratório com cimento tipo CPIV e CPII, assim como os desvios padrão e respectivos coeficientes de variação, estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Resistência à compressão média, desvio padrão e coeficiente de variação, aos 28 dias, do concreto produzido em laboratório

		CIMENTO CP II						CIMENTO CP IV					
		0h	2h	4h	5h	6h	7h	0h	2h	4h	5h	6h	7h
a/c=0,68	Média (MPa)	27,5	25,9	26,6	26,8	27,1		25,9	22,4	20,9	21,6	22,3	
	Desvio (MPa)	0,3	1,2	1,2	1,1	1,4		0,2	1,0	0,2	0,9	0,2	
	Coef. Var. (%)	1,1	4,5	4,4	4,2	5,2		0,9	4,6	0,9	3,9	1,1	
a/c=0,52	Média (MPa)	39,7	41,0	41,2	38,3	43,1	44,4	36,8	35,0	37,3	37,0	40,3	40,6
	Desvio (MPa)	0,6	2,5	2,0	1,8	1,8	2,3	2,2	2,3	2,6	0,7	2,4	1,7
	Coef. Var. (%)	1,4	6,0	4,9	4,7	4,1	5,2	5,9	6,7	6,9	1,9	5,8	4,2
a/c=0,40	Média (MPa)	49,2	49,6	50,1	47,8	50,6		48,9	47,0	46,2	46,3	48,4	
	Desvio (MPa)	2,8	0,9	2,4	1,5	2,2		0,8	0,7	1,8	2,5	1,3	
	Coef. Var. (%)	5,7	1,9	4,8	3,2	4,3		1,7	1,5	3,8	5,4	2,7	

Os valores aqui apresentados correspondem à média dos três resultados individuais obtidos em cada tempo analisado e podem ser visualizados nas figuras 33 e 34.

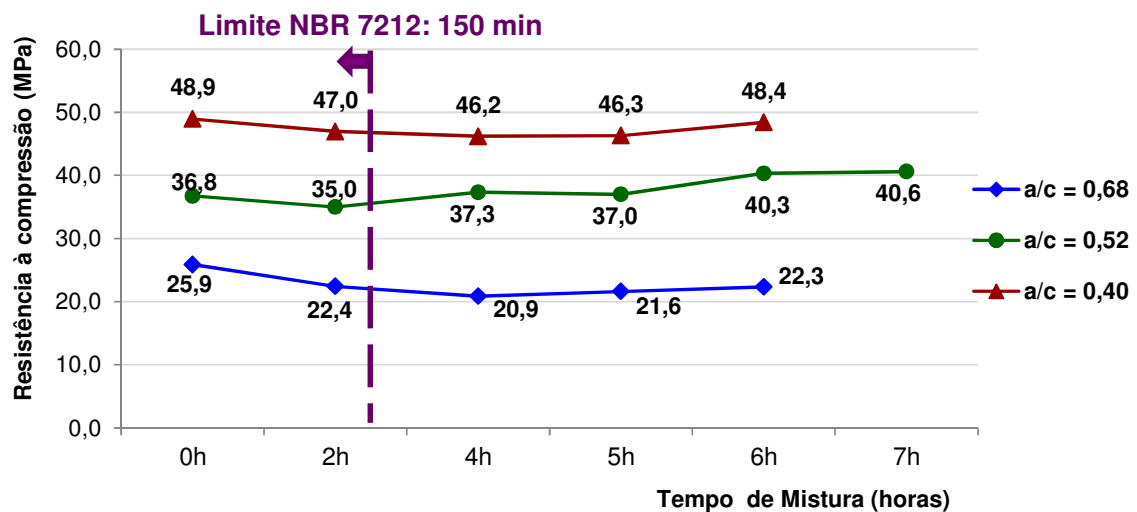


Figura 33: resistência média à compressão aos 28 dias do concreto com CP IV produzido em laboratório

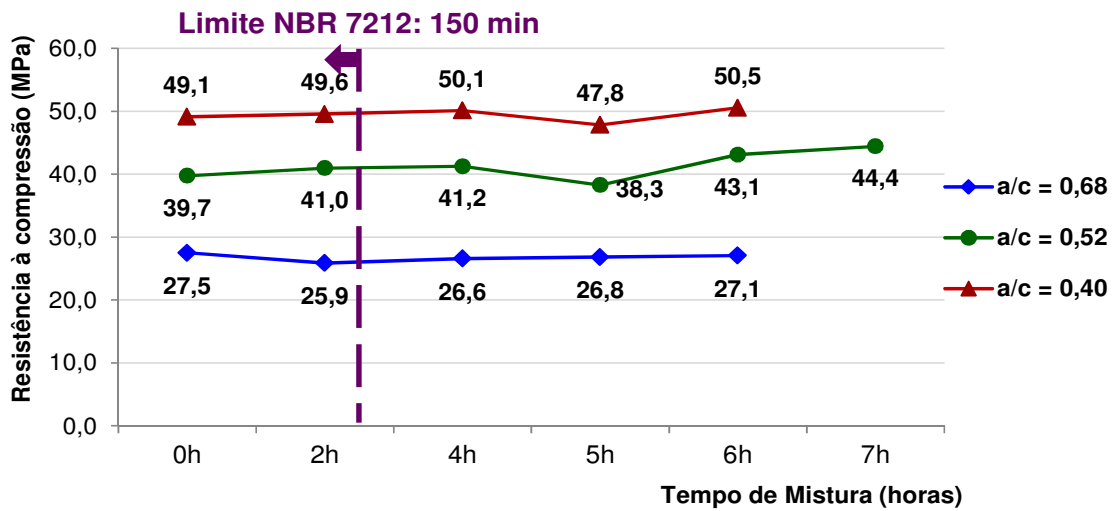


Figura 34: resistência média à compressão aos 28 dias do concreto com CP II produzido em laboratório

Para verificar a influência do tipo de cimento, da relação a/c e do tempo de mistura, assim como, das interações dessas variáveis sobre os resultados obtidos realizou-se uma análise de variância (ANOVA), para os valores individuais. Os resultados dessa análise estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11: Resultados da ANOVA para resistência à compressão aos 28 dias dos concretos produzidos em laboratório

FONTE	SQ	GDL	MQ	TESTE F	PROB.	SIGNIFICÂNCIA
A: Relação a/c	8556,70	2	4278,35	1568,53	0,00%	S
B: Tipo de Cimento	232,29	1	232,29	85,16	0,00%	S
C: Tempo de Mistura	64,35	4	16,09	5,90	0,03%	S
AB	16,12	2	8,06	2,95	5,73%	NS
AC	54,74	8	6,84	2,51	1,66%	S
BC	23,58	4	5,89	2,16	7,98%	NS
ABC	21,93	8	2,74	1,01	43,80%	NS
Erro	163,66	60	2,73			
TOTAL	9133,37	89				

SQ - Soma Quadrada

GDL - Graus de Liberdade

MQ - Média Quadrada

TESTE F - Valor calculado de F

PROB. - Nível de Significância associado ao valor calculado de F

S - Significativo

NS - Não Significativo

Os resultados da ANOVA mostram que, para as três variáveis de controle, relação a/c, tipo de cimento e tempo de mistura, há influência significativa sobre a resistência à compressão

do concreto aos 28 dias de idade. Isso ocorre também para a interação entre a relação a/c e o tempo de mistura. Esse comportamento em função da influência isolada dessas variáveis de controle analisadas, assim como da interação que se mostrou estatisticamente significativa nos resultados obtidos para resistência à compressão aos 28 dias, está mostrado na figura 35.

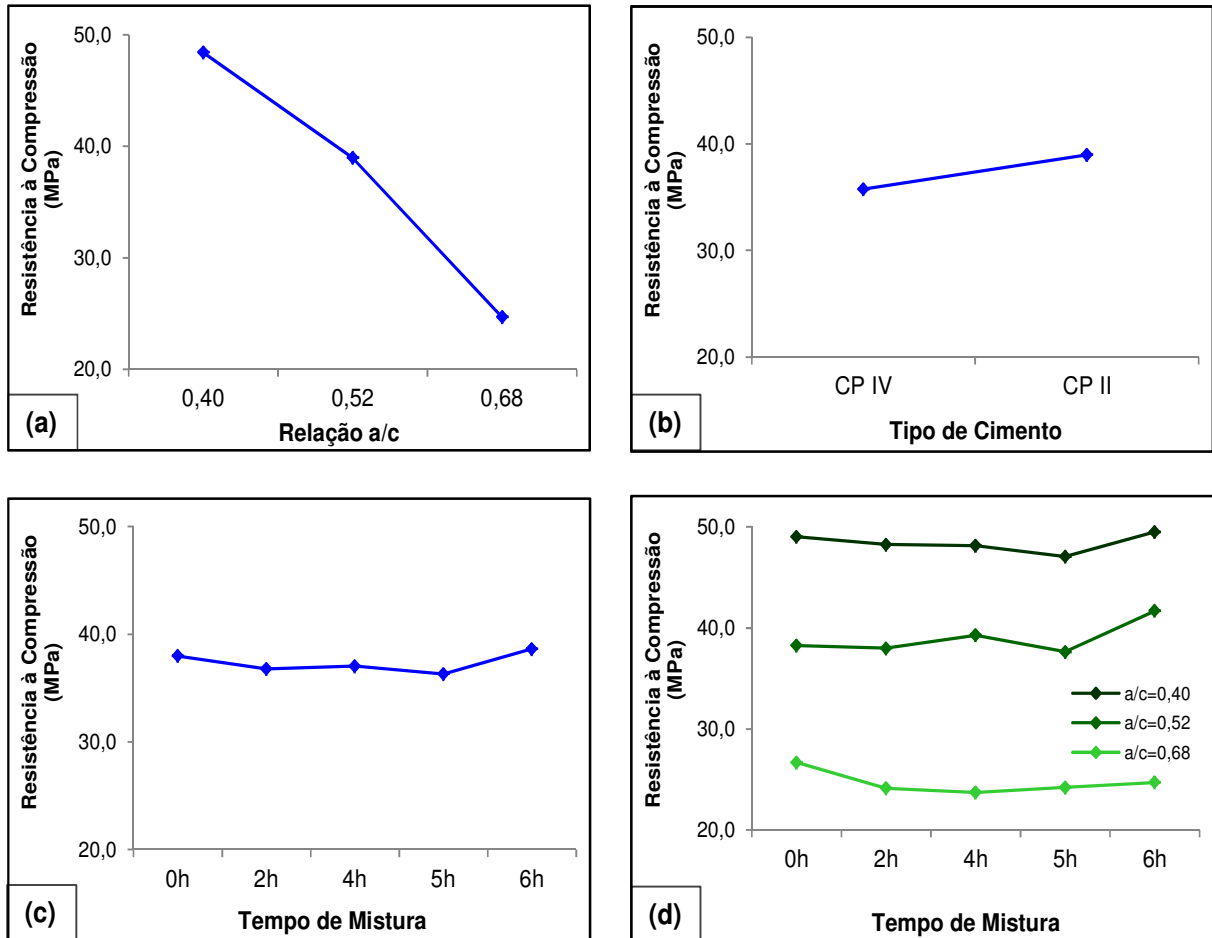


Figura 35: comportamento do concreto produzido em laboratório quanto à resistência à compressão aos 28 dias em função: (a) relação a/c, (b) tipo de cimento, (c) tempo de mistura, (d) interação da relação a/c com o tempo de mistura

Pelos resultados obtidos percebe-se que mesmo quando o concreto é mantido em processo de mistura até um período de 6 horas, em geral, há uma manutenção das resistências médias à compressão obtidas aos 28 dias de idade. Para as situações onde se observou diminuição das resistências, esse comportamento foi evidenciado do período de 0h para 2h

(claramente observado para os concretos com as maiores relações a/c) com posterior manutenção ou ganho nas resistências.

A figura 35a, que apresenta o efeito isolado da relação a/c, ratificando o que já é conhecimento consolidado pelo meio técnico. Pelo fato de ter-se utilizado dois cimentos com características diferentes, onde os percentuais de adições na fabricação são bem distintos, quando analisado o comportamento isolado do tipo de cimento, observa-se o efeito dessa diferença no comportamento sobre a resistência à compressão do concreto (figura 35b) e, conforme esperado, o cimento que apresenta menor teor de adições, tipo CP II, apresentou maior resistência à compressão aos 28 dias de idade.

O tempo de mistura mostrou-se significativo. Esse comportamento pode ser visualizado pela figura 35c. Fica evidente que entre os dois primeiros tempos (0h para 2h) há uma pequena redução na resistência enquanto que para os dois últimos (5h para 6h) um ganho da mesma, considerando o comportamento médio de todos os resultados. Cabe ressaltar que a NBR 7212 (ABNT, 1984) limita o tempo de utilização em até 150 minutos (2,5 h); com base nisso as moldagens do concreto com o tempo de 2h atendem ao limite especificado pela norma, sendo assim, se observados os resultados a partir desse tempo a anova indica (tabela 12) também a significância dessa variável sobre a resposta, porém atrelada a um ganho na resistência (figura 35c), conforme também observado por Rhoden et al. (2011) como comportamento geral em seus estudos, de forma semelhante, realizados em laboratório. Pela figura 34d pode-se verificar a variação de eficiência no tempo de mistura na resistência à compressão para cada relação a/c estudada, pela falta de paralelismo existente entre as curvas. Visualiza-se claramente a redução da resistência para o primeiro intervalo de tempo de mistura (0h para 2h), de forma mais acentuada para a mistura com maior relação a/c, e o ganho de resistência no intervalo final de tempo para as misturas com menores relações a/c.

Tabela 12: Resultados da ANOVA para resistência à compressão aos 28 dias dos concretos produzidos em laboratório dos resultados dos tempos de mistura de 2h até 6h

FONTE	SQ	GDL	MQ	TESTE F	PROB.	SIGNIFICÂNCIA
A: Relação a/c	7084,95	2	3542,47	1245,63	0,00%	S
B: Tipo de Cimento	235,26	1	235,26	82,73	0,00%	S
C: Tempo de Mistura	55,25	3	18,42	6,48	0,06%	S
AB	14,86	2	7,43	2,61	8,04%	NS
AC	27,10	6	4,52	1,59	16,32%	NS
BC	9,02	3	3,01	1,06	37,27%	NS
ABC	17,47	6	2,91	1,02	41,69%	NS
Erro	136,51	48	2,84			
TOTAL	7580,43	71				

SQ - Soma Quadrada GDL - Graus de Liberdade MQ - Média Quadrada TESTE F - Valor calculado de F
 PROB. - Nível de Significância associado ao valor calculado de F S - Significativo NS - Não Significativo

O fato de se observar, em geral, manutenção ou ganho da resistência média à compressão aos 28 dias em função da manutenção do concreto em mistura por um período prolongado, pode ser explicado pela perda de água para o ambiente com conseqüente diminuição da relação a/c efetiva da mistura. Kirca et al. (2002) registraram em seu estudo essa perda de água com conseqüente ganho de resistência para dois concretos de classes diferentes, C25 e C35, quando mantidos por 4 horas. Segundo esses autores, houve um ganho de resistência aos 28 dias de 15% e 27%, respectivamente. Erdoğdu (2005) também registrou ganho na resistência à compressão aos 28 dias de 15% para concreto mantido em mistura por 150 minutos, sem correção do abatimento com água.

Quando utilizado aditivo superplastificante para correção do abatimento, conforme metodologia similar a adotada nessa pesquisa, Erdoğdu (2005) para um período menor de tempo (de até 150 minutos) registrou um ganho na resistência à compressão ligeiramente superior a 10% aos 90 minutos e cerca de 8% ao final dos 150 minutos.

Conforme mencionado na revisão bibliográfica, a etringita é o primeiro hidrato a se cristalizar por causa da alta relação sulfato/aluminato na fase aquosa durante a primeira hora de hidratação e, após o sulfato ter sido consumido, a etringita se torna instável e é gradualmente convertida para a fase de monossulfato, que é o produto final da hidratação dos cimentos (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Sendo assim, outra possível razão para esse comportamento, de manutenção ou até ganho na resistência à compressão, pode ser em função dessa agitação contínua do concreto durante o processo de hidratação com uma possível quebra desses primeiros produtos de hidratação formados, que são maiores e mais

frágeis. Ravina e Soroka (1994) também associam o aumento na resistência ao efeito de moagem em função da agitação, que pode remover produtos de hidratação dos grãos de cimento deixando-os numa graduação mais fina, esperando-se que esse efeito aumente com o tempo de mistura. Assim, quando o tempo de mistura é parado, em função dessa graduação mais fina do cimento e da remoção dos produtos de hidratação de sua superfície, uma quantidade de cimento é exposta à água melhorando a hidratação, resultado assim em aumento na resistência. Através de uma análise da microestrutura por Microscopia Eletrônica de Varredura, posteriormente apresentada, é possível observar um pouco melhor esse comportamento, o qual demanda uma investigação mais aprofundada e detalhada.

Conforme já citado, a realização prática do programa experimental dessa pesquisa desenvolveu-se em um período onde as temperaturas ambientes, em geral, apresentaram-se baixas ($\approx 19^\circ$). Em função disso, repetiu-se a produção de uma das misturas em laboratório em condições com a temperatura mais elevada ($\approx 31^\circ$), com uma diferença média de temperatura registrada durante as moldagens de 12°C . Os resultados obtidos, assim como a comparação entre as duas misturas apenas com essa mudança na temperatura, estão apresentados na figura 36.

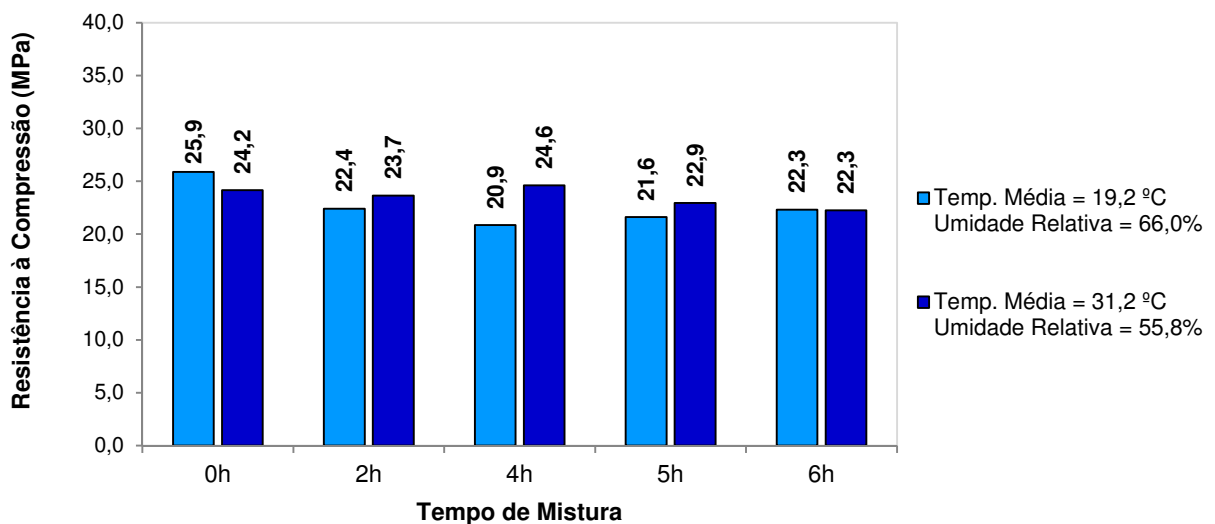


Figura 36: resistência à compressão aos 28 dias do concreto produzido em laboratório com CP IV e relação a/c de 0,68 em diferentes condições de temperaturas

Em ambas as situações, como esperado, o concreto apresentou um comportamento bem similar em relação a sua resistência à compressão, não se identificando a interferência da mudança na temperatura ambiente. Logicamente, essa alteração na temperatura tem um

impacto importante na perda de abatimento e, em função dessa perda, no consumo de aditivo superplastificante necessário para restabelecimento do abatimento à condição inicial, análises essas que posteriormente serão abordadas.

Outra verificação realizada quando produzida essa nova mistura foi em relação ao crescimento na resistência à compressão ao longo do tempo (foi monitorado no intervalo de 3 a 63 dias de idade). Os resultados obtidos estão ilustrados na figura 37.

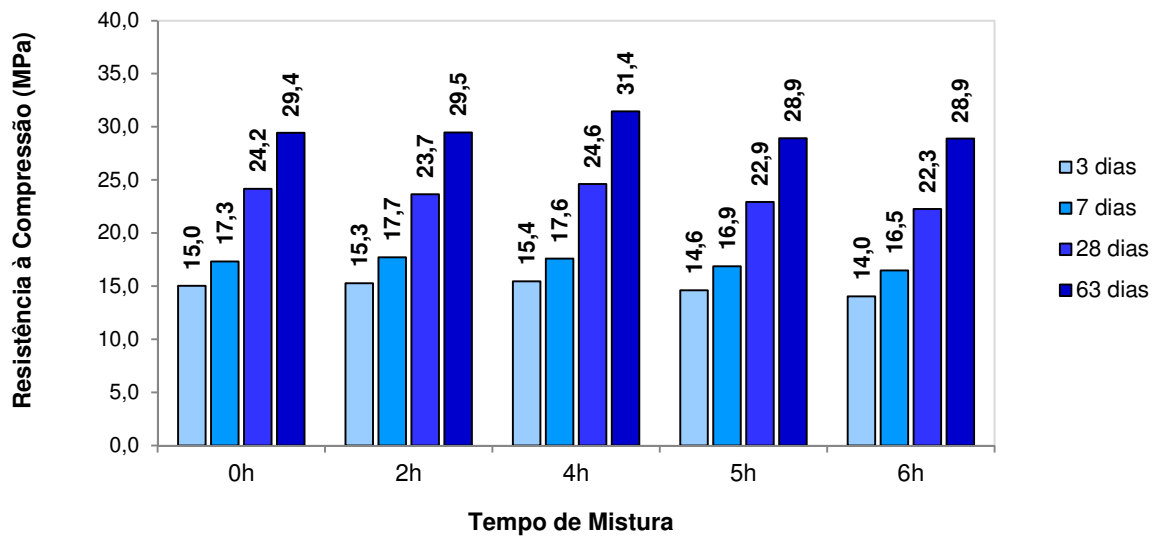


Figura 37: comportamento do crescimento da resistência à compressão até a idade de 63 dias do concreto produzido em laboratório com CP IV e relação a/c de 0,68 em diferentes condições de temperatura

Registrou-se que no crescimento da resistência à compressão, até a idade de 63 dias, não foi identificada nenhuma mudança em função do concreto ter sido mantido em processo de mistura, com restabelecimento do abatimento através da incorporação do aditivo superplastificante por até 6 horas. Os números mostram-se muito semelhantes em todos os tempos de mistura, para todas as idades do concreto. O crescimento final observado na resistência da idade de 3 para os 63 dias variou de 93,2% a 105,7%, sendo o maior crescimento registrado para o concreto referente ao tempo de mistura de 6h.

4.1.2 Concretos Produzidos na Central de Concreto

Os concretos produzidos em laboratório foram reproduzidos em uma central de concreto, obtendo-se de maneira mais realista o comportamento do concreto segundo essa abordagem proposta. Os resultados médios obtidos para resistência à compressão aos 28 dias dos concretos produzidos na central de concreto estão apresentados na tabela 13. As figuras 38 e 39 mostram esses resultados obtidos com a utilização de cimento CPIV e CPII, respectivamente.

Tabela 13: Resistência à compressão média, desvio padrão e coeficiente de variação, aos 28 dias, do concreto produzido na central dosadora de concreto

		CIMENTO CP II						CIMENTO CP IV					
		0h	2h	4h	5h	6h	7h	0h	2h	4h	5h	6h	7h
a/c=0,68	Média (MPa)	27,5	26,4	25,7	25,3	25,2		25,0	23,8	22,8	23,0	23,1	
	Desvio (MPa)	0,4	0,7	0,7	0,6	0,6		0,7	0,5	0,2	0,9	1,2	
	Coef. Var. (%)	1,6	2,8	2,6	2,3	2,2		2,8	2,0	0,9	3,8	5,2	
a/c=0,52	Média (MPa)	40,1	40,8	41,3	38,3	40,0	38,4	39,5	38,4	38,3	37,6	38,2	37,4
	Desvio (MPa)	1,9	1,7	1,0	2,3	2,1	1,9	0,7	1,6	1,2	1,2	1,7	0,8
	Coef. Var. (%)	4,7	4,3	2,4	6,0	5,3	5,1	1,9	4,0	3,1	3,2	4,3	2,2
a/c=0,40	Média (MPa)	50,1	48,3	47,9	47,4	48,0		49,3	46,2	47,6	45,2	46,8	
	Desvio (MPa)	1,9	2,7	1,8	2,2	2,0		1,2	0,8	1,2	2,5	2,1	
	Coef. Var. (%)	3,7	5,7	3,8	4,7	4,2		2,4	1,8	2,4	5,5	4,4	

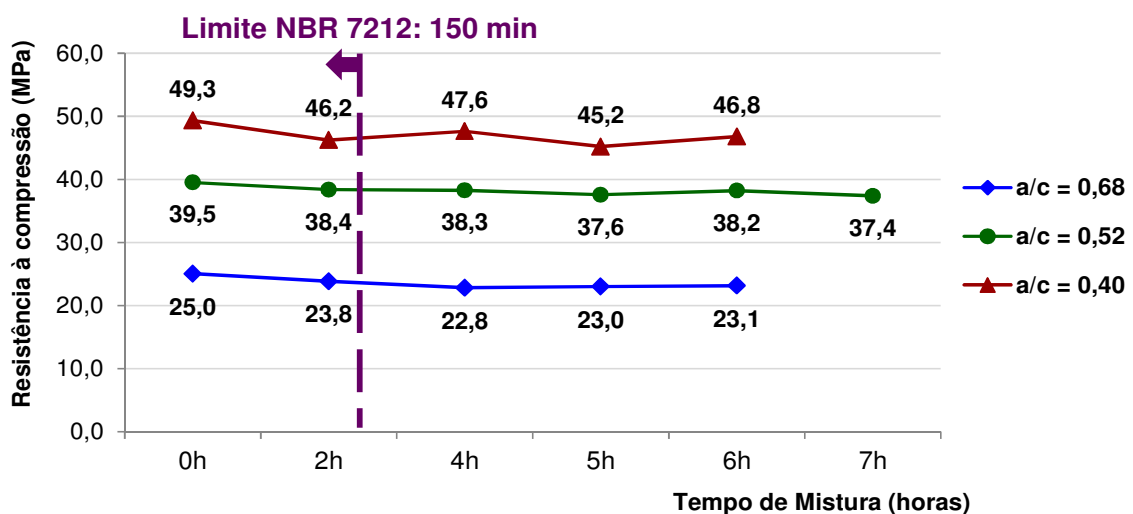


Figura 38: resistência à compressão aos 28 dias do concreto com CP IV produzido na central de concreto

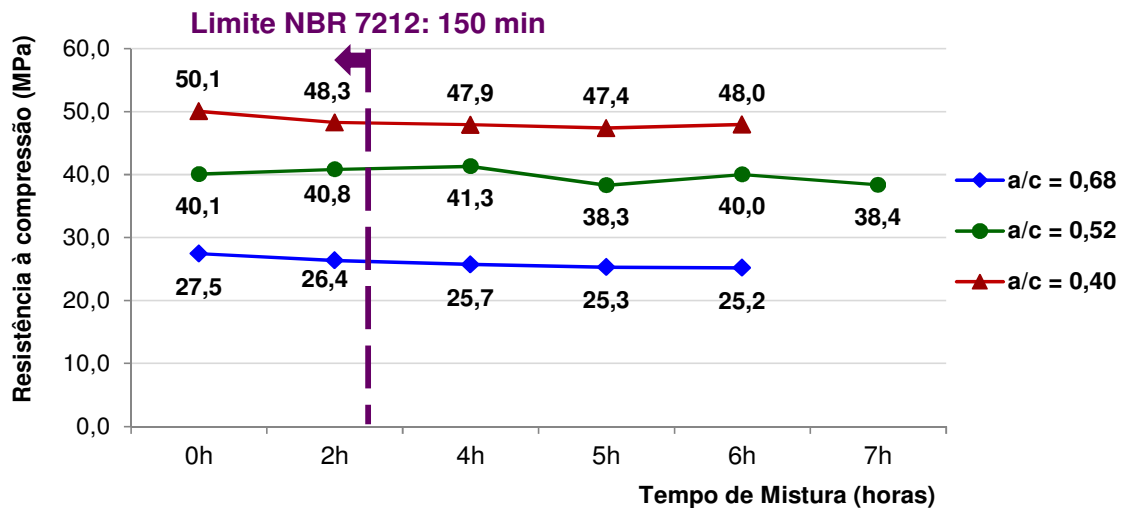


Figura 39: resistência à compressão aos 28 dias do concreto com CP II produzido na central de concreto

Em ambas as situações, com utilização de cimento CPIV ou CPII, verificou-se um comportamento semelhante no concreto. Em geral houve uma manutenção dos valores de resistência à compressão ao longo do tempo estudado. Assim como para situação de laboratório, através da ANOVA, para os valores individuais, foi verificada a influência da relação a/c, do tipo de cimento, do tempo de mistura e suas interações nos resultados obtidos, conforme apresentado pela tabela 14.

Tabela 14: Resultados da ANOVA para resistência à compressão dos concretos produzidos na central de concreto

FONTE	SQ	GDL	MQ	TESTE F	PROB.	SIGNIFICÂNCIA
A: Relação a/c	8040,04	2	4020,02	1786,27	0,00%	S
B: Tipo de Cimento	74,44	1	74,44	33,08	0,00%	S
C: Tempo de Mistura	57,19	4	14,30	6,35	0,02%	S
AB	5,13	2	2,56	1,14	32,45%	NS
AC	15,20	8	1,90	0,84	56,64%	NS
BC	3,19	4	0,80	0,35	84,04%	NS
ABC	8,39	8	1,05	0,47	87,71%	NS
Erro	135,03	60	2,25			
TOTAL	8338,60	89				

SQ - Soma Quadrada GDL - Graus de Liberdade MQ - Média Quadrada TESTE F - Valor calculado de F
 PROB. - Nível de Significância associado ao valor calculado de F S - Significativo NS - Não Significativo

Assim como obtido para os resultados de laboratório, a ANOVA mostrou que as variáveis de controle (relação a/c, tipo de cimento e tempo de mistura) influenciam significativamente sobre a resistência à compressão para idade de 28 dias. No entanto, nenhuma das interações entre essas variáveis mostrou-se significativa. Pela figura 40 pode-se visualizar o comportamento isolado de cada uma dessas variáveis, sobre a resistência à compressão para idade de 28 dias.

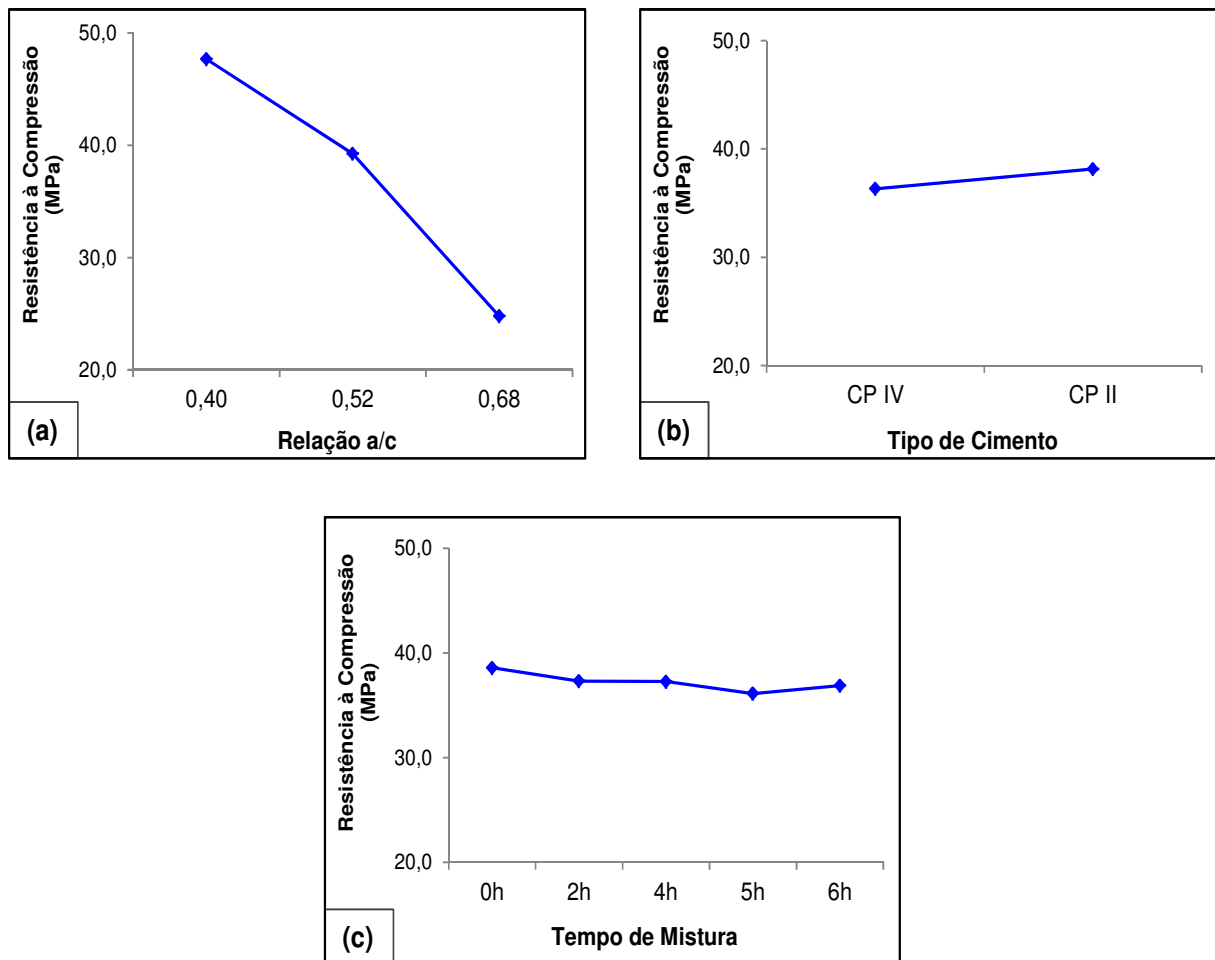


Figura 40: comportamento do concreto produzido na central de concreto sobre a resistência à compressão aos 28 dias em função: (a) relação a/c, (b) tipo de cimento, (c) tempo de mistura

Quando analisado isoladamente o efeito da relação a/c e do tipo de cimento sobre a resistência à compressão, para situação de concreto produzido numa central de concreto, da mesma forma que observado em laboratório verificou-se que com a diminuição da relação a/c há um aumento nas resistências (figura 40a), coerente com as leis de

comportamento do concreto já consolidadas pela literatura; e, da mesma forma, o tipo de cimento utilizado mostrou-se significativo, conforme pode ser visualizado pela figura 40b, apresentando o cimento tipo CPII melhores resultados na resistência à compressão aos 28 dias, atrelado ao menor percentual de adições em sua fabricação.

A figura 40c ilustra o comportamento isolado do tempo de mistura do concreto produzido na central sobre a resistência à compressão aos 28 dias. Assim como verificado quando produzidos os concretos em laboratório, na central também se registrou uma pequena diminuição da resistência à compressão durante o primeiro intervalo de tempo estudado, de 0h para 2h, porém após esse tempo houve a manutenção da resistência até o tempo de 6h. Conforme já relatado, a perda que houve na resistência ocorreu ainda dentro do tempo limite que a norma especifica; em relação a essa diminuição há necessidade de uma investigação mais aprofundada para entender melhor o porquê isso ocorreu. Com análise estatística considerando somente os resultados de 2h à 6h, a variável tempo de mistura do concreto não se mostrou significativa para os resultados (tabela 15), evidenciando que após 6 horas de mistura com manutenção do abatimento através da utilização de aditivo superplastificante, o concreto teve o mesmo desempenho em relação a sua resistência à compressão quando comparado ao concreto com 2 horas de mistura. Entende-se que este ganho na resistência registrado em laboratório e não na central dosadora de concreto, no intervalo final de 5h para 6h, está atrelado à evaporação mais suscetível que existe no misturador de laboratório em relação ao caminhão betoneira, onde a quantidade de concreto é consideravelmente inferior.

Tabela 15: Resultados da ANOVA para resistência à compressão aos 28 dias dos concretos produzidos na central dos resultados dos tempos de mistura de 2h até 6h

FONTE	SQ	GDL	MQ	TESTE F	PROB.	SIGNIFICÂNCIA
A: Relação a/c	6385,24	2	3192,62	1323,79	0,00%	S
B: Tipo de Cimento	69,40	1	69,40	28,78	0,00%	S
C: Tempo de Mistura	16,54	3	5,51	2,29	8,61%	NS
AB	3,19	2	1,59	0,66	51,97%	NS
AC	6,95	6	1,16	0,48	82,10%	NS
BC	1,30	3	0,43	0,18	90,94%	NS
ABC	7,23	6	1,21	0,50	80,64%	NS
Erro	115,76	48	2,41			
TOTAL	6605,62	71				

SQ - Soma Quadrada GDL - Graus de Liberdade MQ - Média Quadrada TESTE F - Valor calculado de F
 PROB. - Nível de Significância associado ao valor calculado de F S - Significativo NS - Não Significativo

Considerando os resultados obtidos, salienta-se que essa metodologia trata-se de uma importante ferramenta para as empresas que prestam serviço e fornecimento de concreto pré-misturado. O processo de mistura prolongada com superplastificante não afeta os resultados de resistência à compressão, contrariamente ao que ocorre com a utilização de água, prática corriqueira adotada em muitas obras.

4.2 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

A absorção por capilaridade também foi determinada aos 28 dias de idade. Assim como na análise à compressão, para absorção por capilaridade foram ensaiados 3 corpos-de-prova em cada tempo. O resultado aqui apresentado corresponde à média dos valores individuais obtidos, que posteriormente são analisados estatisticamente para os valores finais do ensaio registrados pela leitura realizada em 72 horas. O detalhamento de todos os valores individuais está apresentado no anexo II.

4.2.1 Concretos Produzidos em Laboratório

Através das figuras 41 e 42 pode-se observar o comportamento registrado da absorção por capilaridade após 28 dias em ensaio até 72 horas dos concretos produzidos em laboratório com cimentos tipo CP IV e CP II, respectivamente.

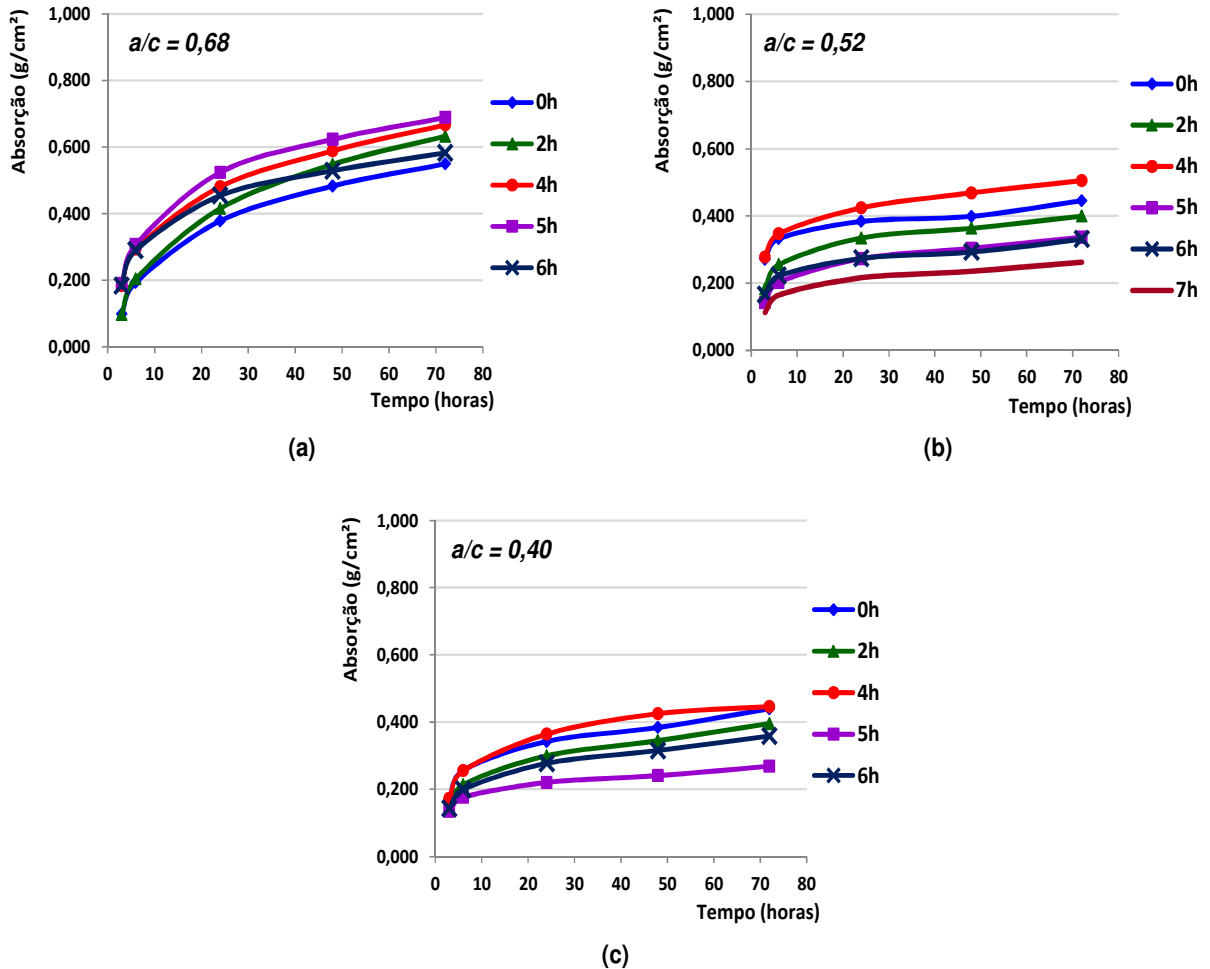


Figura 41: absorção por capilaridade (g/cm^2) aos 28 dias do concreto com CP IV produzido em laboratório com: (a) $a/c = 0,68$, (b) $a/c=0,52$, (c) $a/c=0,40$

A absorção por capilaridade foi maior quanto maior foi à relação a/c , tanto para concretos com cimento CP IV como para CP II. Esse comportamento era esperado, pois essa propriedade está diretamente ligada com a porosidade e, quanto menor for a relação a/c de um concreto, menor será a porosidade, conseqüentemente menor será sua absorção. Em relação aos tempos analisados, não se pode visualizar um comportamento padrão. Para cimento CPIV na maior relação a/c a menor absorção foi registrada para o tempo 0h enquanto que para as outras relações a/c a absorção foi menor para os concretos que permaneceram por mais tempo em mistura prolongada. Esse mesmo comportamento foi evidenciado nos concretos produzidos em laboratório com cimento CPII.

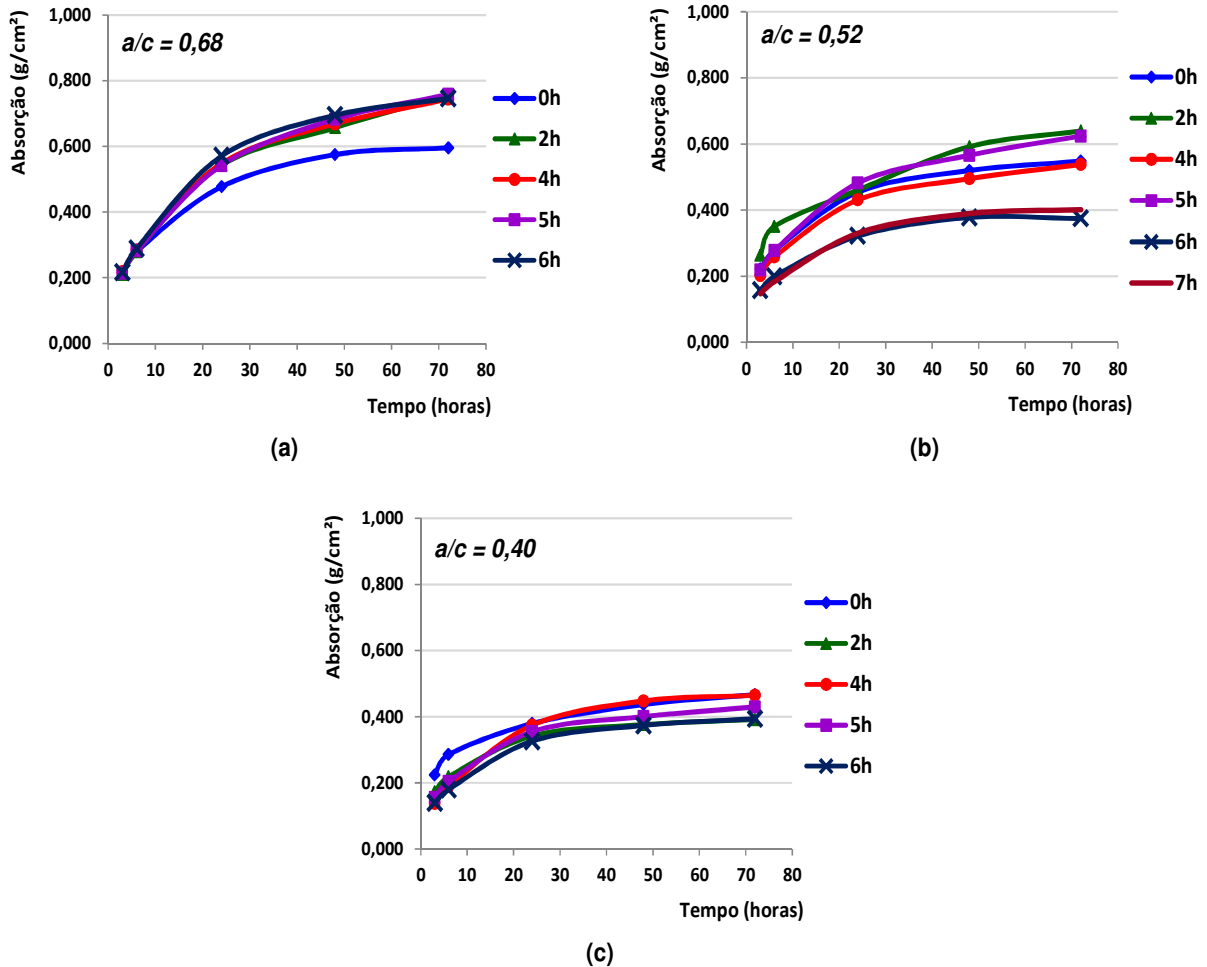


Figura 42: absorção por capilaridade (g/cm^2) aos 28 dias do concreto com CP II produzido em laboratório com: (a) $a/c = 0,68$, (b) $a/c=0,52$, (c) $a/c=0,40$

O volume ocupado pelos poros do concreto, que não deve ser confundido com permeabilidade, é medido pela absorção. A absorção é, normalmente, medida secando-se uma amostra até a constância de massa, imergindo-a, em seguida, em água e determinando-se o acréscimo de massa expressa em percentagem da massa seca (NEVILLE, 1997). As figuras 43 e 44 expressam os valores obtidos, da absorção por capilaridade ao final de 72 horas de ensaio, em termos percentuais.

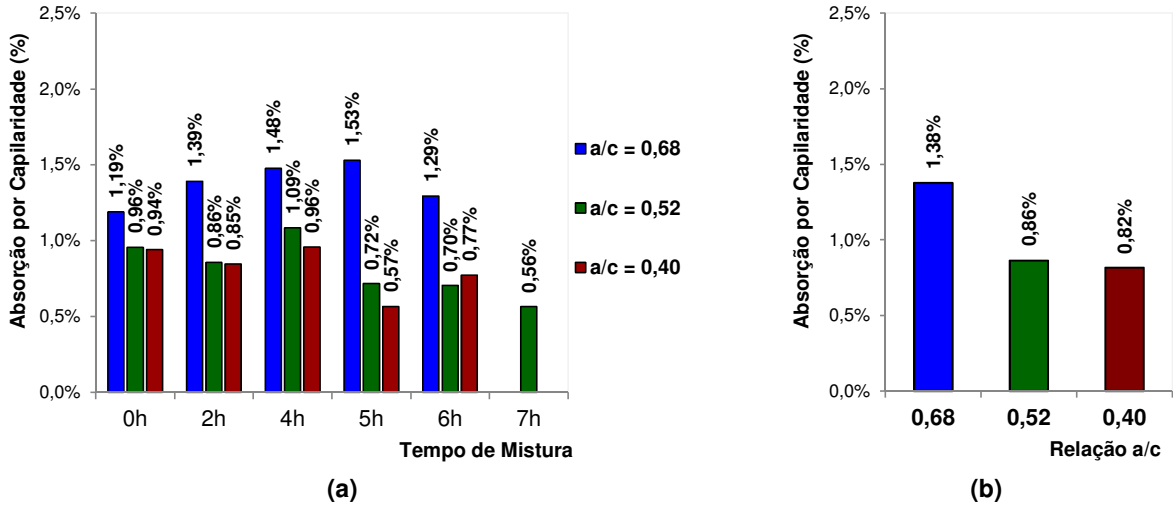


Figura 43: absorção por capilaridade (%) aos 28 dias dos concretos com CP IV produzidos em laboratório: (a) absorção final para cada tempo estudado e (b) absorção final média

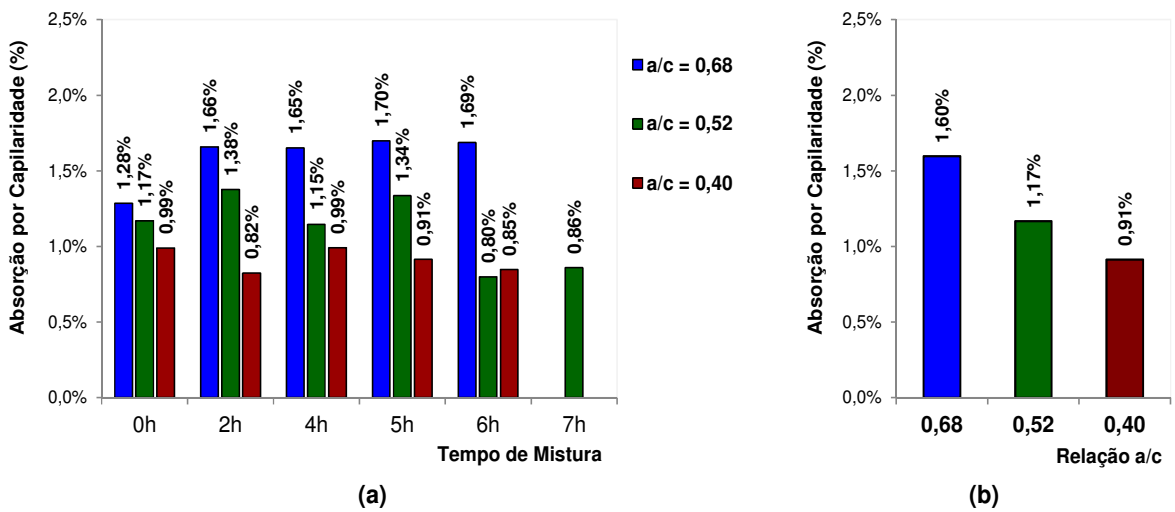


Figura 44: absorção por capilaridade (%) aos 28 dias dos concretos com CP II produzidos em laboratório: (a) absorção final para cada tempo estudado e (b) absorção final média

Se observados os resultados para a condição inicial do concreto recém-misturado (0h) e após as 6 horas (6h) com a manutenção do abatimento com incorporação do superplastificante, percebe-se que para os traços com a maior relação a/c, em ambos os tipos de cimento, a absorção após 6 horas de mistura prolongada foi levemente superior, enquanto que para as relações a/c menores houve uma diminuição na absorção. O fato de ocorrer uma redução da absorção evidencia que o concreto, por ser menos permeável, pode

apresentar melhor desempenho em relação à sua durabilidade. Para entender se os valores obtidos são significativos, realizou-se uma análise estatística dos resultados individuais obtidos ao final do ensaio de 72 horas. Os resultados obtidos pela ANOVA estão apresentados na tabela 16.

Tabela 16: Resultados da ANOVA para absorção por capilaridade aos 28 dias dos concretos produzidos em laboratório

FONTE	SQ	GDL	MQ	TESTE F	PROB.	SIGNIFICÂNCIA
A: Relação a/c	1,172	2	0,586	42,335	0,00%	S
B: Tipo de Cimento	0,228	1	0,228	16,474	0,01%	S
C: Tempo de Mistura	0,123	4	0,031	2,222	7,29%	NS
AB	0,047	2	0,023	1,684	19,16%	NS
AC	0,206	8	0,026	1,863	7,58%	NS
BC	0,048	4	0,012	0,865	48,80%	NS
ABC	0,055	8	0,007	0,494	85,79%	NS
Erro	0,831	60	0,014			
TOTAL	2,710	89				

SQ - Soma Quadrada

GDL - Graus de Liberdade

MQ - Média Quadrada

TESTE F - Valor calculado de F

PROB. - Nível de Significância associado ao valor calculado de F

S - Significativo

NS - Não Significativo

A análise de variância mostrou que a relação a/c e o tipo de cimento são variáveis que influenciam sobre a absorção por capilaridade nos concretos estudados. Os gráficos da figura 44 ilustram a tendência de comportamento do efeito isolado da relação a/c e do tipo de cimento, respectivamente, na absorção por capilaridade.

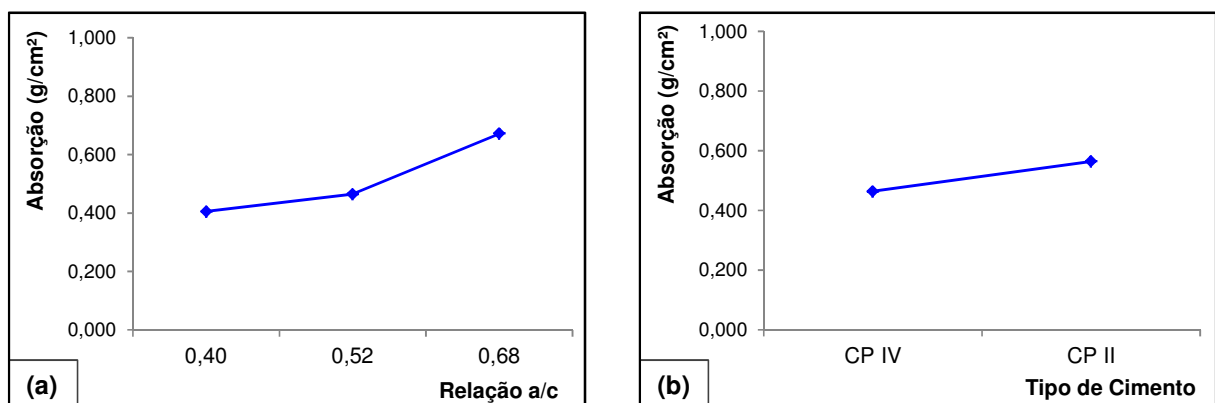


Figura 45: comportamento do concreto produzido em laboratório sobre a absorção por capilaridade aos 28 dias em função: (a) relação a/c, (b) tipo de cimento

Fica evidente a influência da relação a/c sobre a absorção, este comportamento é decorrente do aumento de porosidade da matriz do concreto com o aumento da relação a/c; com mais poros o concreto apresenta maior facilidade de percolação da água. Em relação ao tipo de cimento, este também exerce influência sobre a absorção por capilaridade. Pela figura 45b visualiza-se um melhor desempenho em relação à absorção do cimento tipo CPIV em relação ao CII. Pelo fato do cimento CPIV ter a presença de um maior percentual de adições pozolânicas em sua fabricação, estas adições podem estar contribuindo para o fechamento de poros, tornando o concreto menos permeável. Antunes et al. (2011) também registraram um melhor desempenho em relação à absorção por capilaridade para concretos produzidos com cimento CPIV quando comparados com cimento CII, mesmo tendo esses concretos relações a/c menores do que os concretos produzidos com CII. Os autores registram que esse fato pode ser devido ao refinamento dos poros pela presença da cinza volante no concreto.

Todos os fatores que aumentam a porosidade e a conectividade entre os canais capilares aumentarão a permeabilidade do concreto, entre esses fatores destaca-se a relação a/c diretamente proporcional à porosidade. Para uma mesma relação a/c a presença de adições, quer seja por seu efeito filler ou pelas reações pozolânicas, afetam essa permeabilidade do concreto, pois reduzem sua porosidade (NEPOMUCENO, 2005). A adição de escória e materiais pozolânicos modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade e a porosidade capilar, aumentando a estabilidade e durabilidade do concreto (ABCP, 2002).

Cabe ressaltar que a análise de variância mostrou que o tempo de mistura do concreto não é significativo na absorção por capilaridade. Com isso, os concretos moldados quando recém-misturados ou em até 6 horas depois, mantendo-se o abatimento com a adição de aditivo superplastificante, apresentam-se com mesmas condições em relação a sua durabilidade.

4.2.2 Concretos Produzidos na Central de Concreto

Assim como mostrado para concretos produzidos em laboratório, as figuras 46 e 47 ilustram a absorção capilar de todos os tempos medidos, para a condição de produção de concreto numa central, para cimento tipo CP IV e tipo CP II, respectivamente.

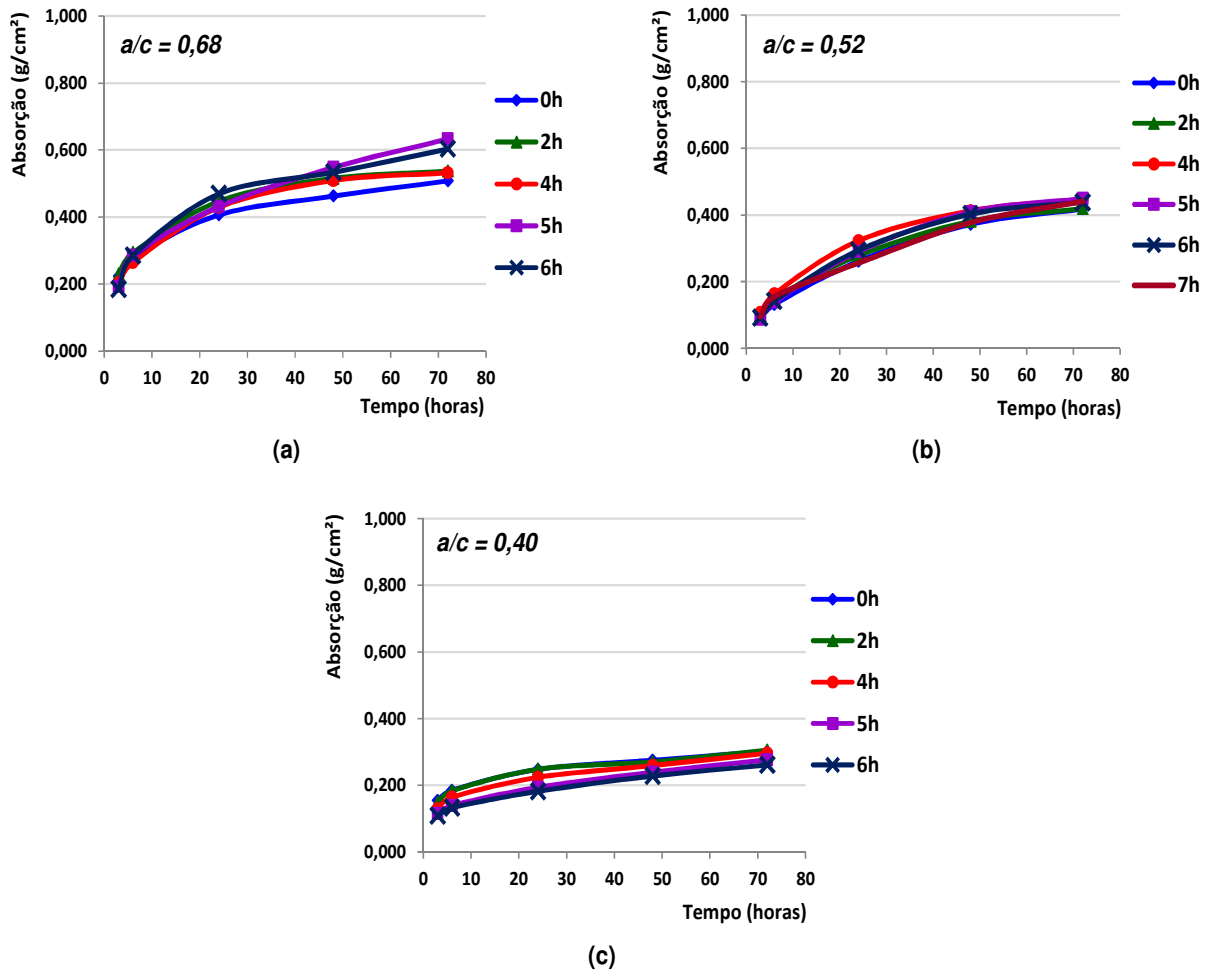


Figura 46: absorção por capilaridade (g/cm²) aos 28 dias do concreto com CP IV produzido na central com: (a) a/c = 0,68, (b) a/c=0,52, (c) a/c=0,40

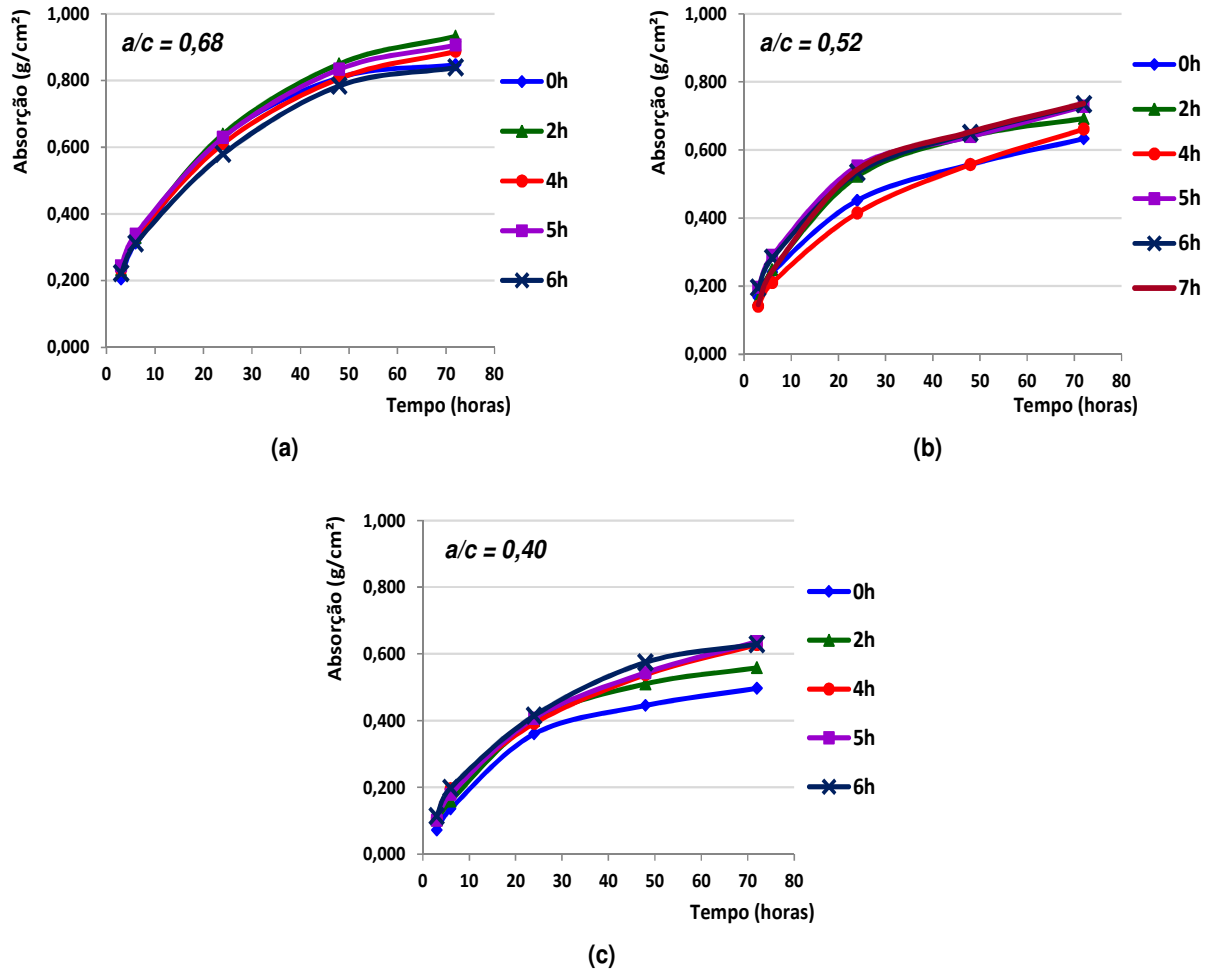


Figura 47: absorção por capilaridade (g/cm^2) aos 28 dias do concreto com CP II produzido na central com: (a) $a/c = 0,68$, (b) $a/c=0,52$, (c) $a/c=0,40$

Assim como observado nos ensaios referentes aos concretos produzidos em laboratório, para condição real de produção na central de concreto, a absorção por capilaridade teve um melhor comportamento quando o cimento utilizado foi cimento tipo CPIV.

A absorção final, obtida em 72 horas de ensaio, está apresentada pelas figuras 48 e 49, em termos percentuais.

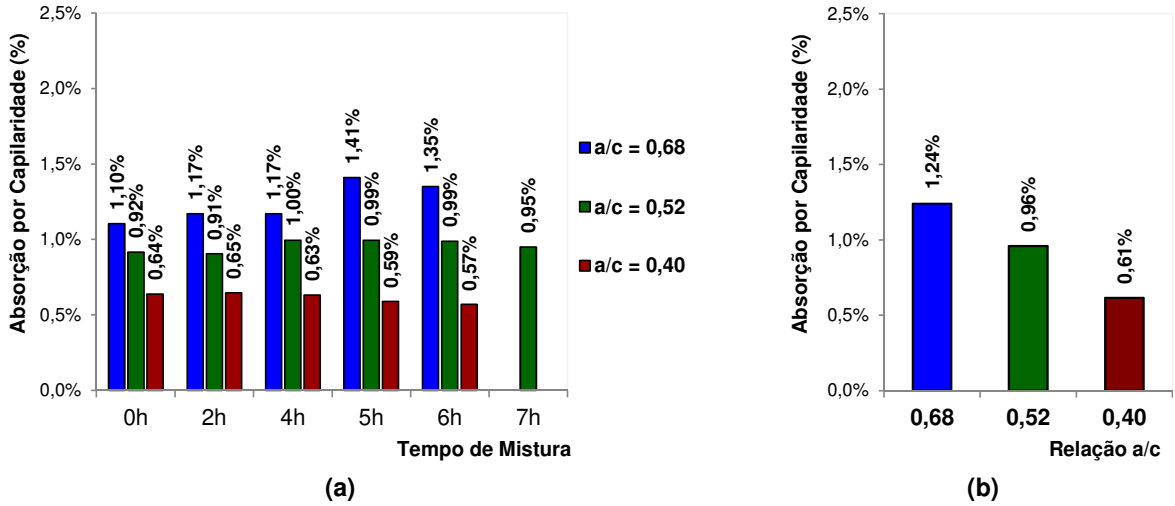


Figura 48: absorção por capilaridade (%) aos 28 dias dos concretos com CP IV produzidos na central: (a) absorção final para cada tempo estudado e (b) absorção final média

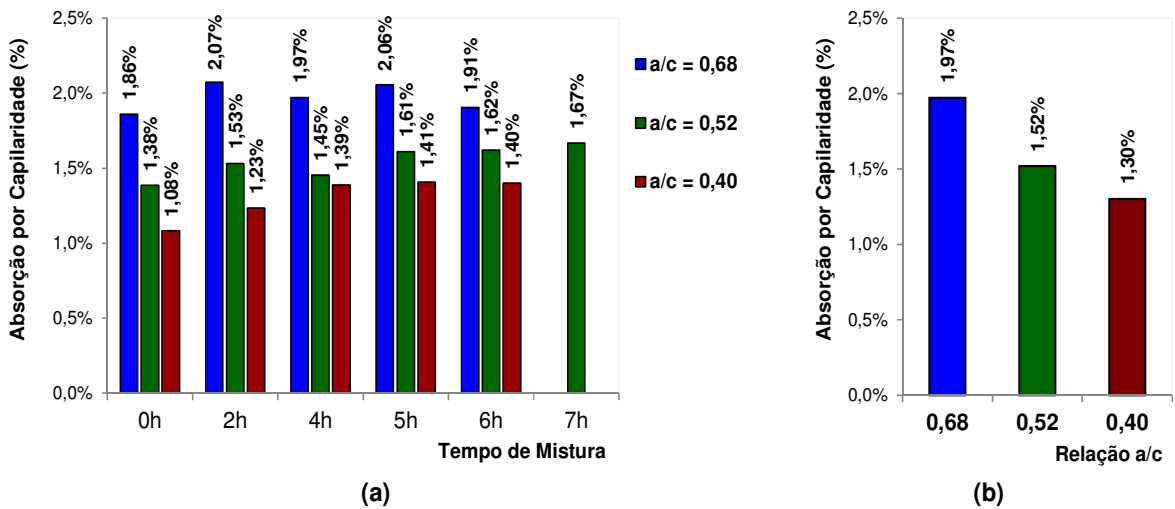


Figura 49: absorção por capilaridade (%) aos 28 dias dos concretos com CP II produzidos na central: (a) absorção final para cada tempo estudado e (b) absorção final média

Ao final do ensaio observa-se que as diferenças percentuais da absorção verificadas entre os dois tipos de cimento utilizados é maior que quando ensaiados em laboratório, apresentando o cimento tipo CPIV um desempenho levemente melhor enquanto que para o CPII a absorção foi maior.

Um tratamento estatístico desses resultados obtidos ao final das 72 horas de ensaio foi realizado pela análise de variância (tabela 17). O comportamento dessa análise, para as variáveis que apresentaram significância sobre o resultado de absorção, pode ser visualizado pela figura 50.

Tabela 17: Resultados da ANOVA para absorção por capilaridade aos 28 dias dos concretos produzidos na central

FONTE	SQ	GDL	MQ	TESTE F	PROB.	SIGNIFICÂNCIA
A: Relação a/c	1,212	2	0,606	118,313	0,00%	S
B: Tipo de Cimento	1,917	1	1,917	374,290	0,00%	S
C: Tempo de Mistura	0,048	4	0,012	2,341	6,11%	NS
AB	0,017	2	0,008	1,616	20,45%	NS
AC	0,011	8	0,001	0,266	97,53%	NS
BC	0,010	4	0,003	0,504	73,31%	NS
ABC	0,057	8	0,007	1,386	21,34%	NS
Erro	0,307	60	0,005			
TOTAL	3,579	89				

SQ - Soma Quadrada GDL - Graus de Liberdade MQ - Média Quadrada TESTE F - Valor calculado de F
 PROB. - Nível de Significância associado ao valor calculado de F S - Significativo NS - Não Significativo

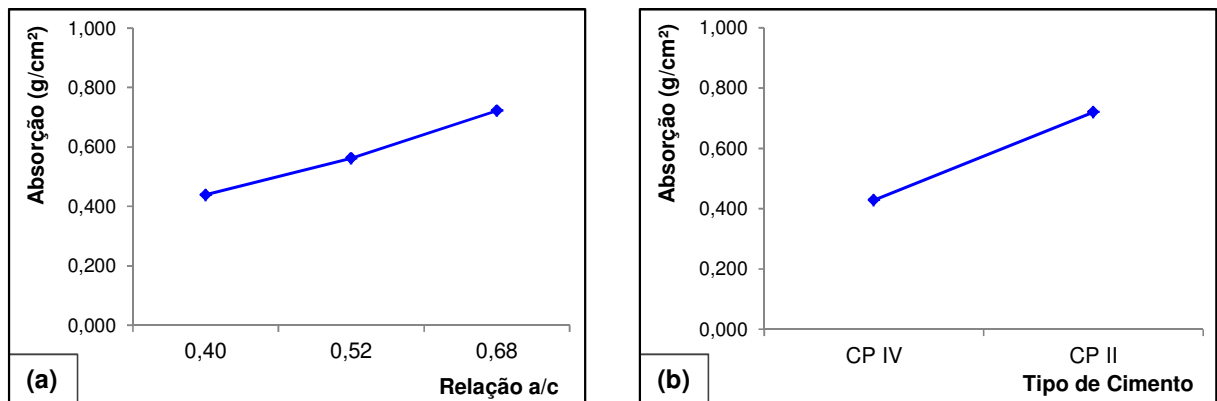


Figura 50: comportamento do concreto produzido na central sobre a absorção por capilaridade aos 28 dias em função: (a) relação a/c, (b) tipo de cimento

A análise estatística dos valores obtidos dos concretos produzidos na central de concreto ratificou os resultados obtidos em laboratório. A relação a/c e o tipo de cimento influenciam

na absorção. Conforme já relatado, a influência do tipo de cimento mostrou-se levemente mais acentuada em relação aos resultados obtidos em laboratório.

Após executado o ensaio final de absorção por capilaridade, rompeu-se por compressão diametral os corpos de prova para verificação da distribuição interna da água. Esses corpos-de-prova podem ser visualizados na figura 51 referentes ao concreto produzido na central com cimento tipo CP IV e relação a/c igual a 0,52.

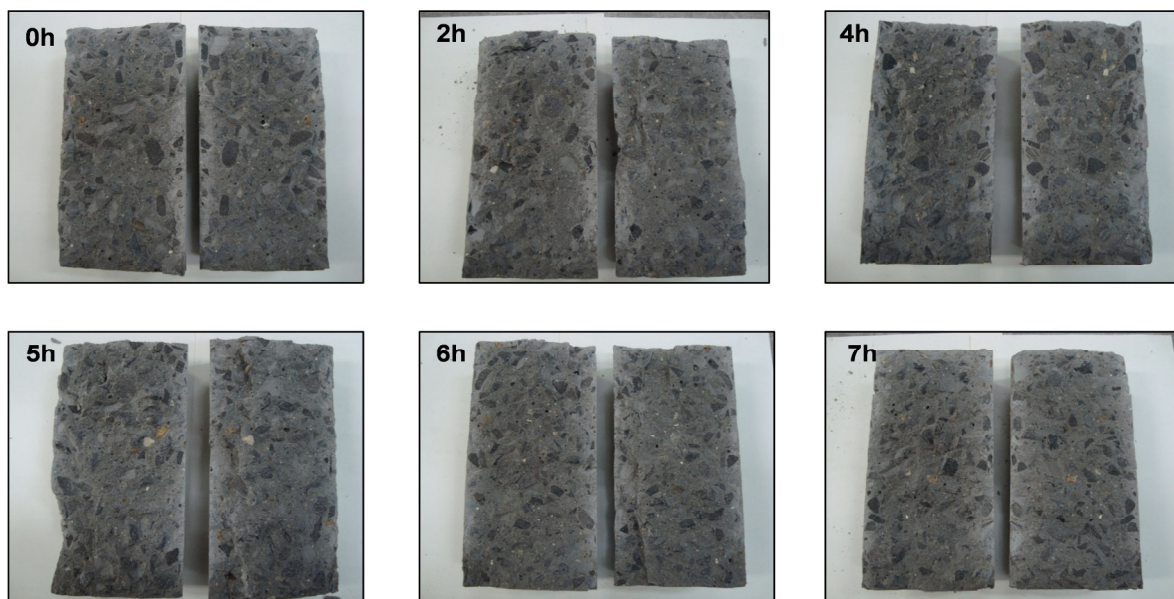


Figura 51: distribuição da água por absorção por capilaridade em todos os tempos estudados para o concreto produzido na central de concreto com relação a/c de 0,52 e cimento tipo CP IV

Pela figura 51 é possível verificar que a distribuição da água absorvida por capilaridade foi semelhante ao longo do tempo de mistura, conforme também pode ser visualizado pelos dados apresentados pela figura 46b e comprovado pela análise de variância que mostra que o tempo de mistura não é significativo na absorção. A distribuição de água mostrou-se uniforme por todo corpo-de-prova. Outro ponto importante a ser destacado por estas imagens é o fato de se observar que a distribuição dos agregados se mostra bem uniforme ao longo de toda a altura dos corpos-de-prova, inclusive para os que foram moldados com até 7 horas de mistura, sem que ocorresse processo de segregação. Com isso, fica evidenciada a possibilidade de aplicação de concretos com tempo de mistura prolongado quando se adota a metodologia proposta nesta pesquisa.

4.3 PERDA DE ABATIMENTO AO LONGO DO TEMPO

Nesse estudo, monitorou-se o comportamento do abatimento do concreto ao longo de todo o período de até 6 horas de mistura para as relações a/c superior (0,68) e inferior (0,40) e até 7 horas para relação a/c intermediária (0,52). Lembrando que a partir de 2 horas houve a incorporação do aditivo superplastificante à mistura para restabelecimento da trabalhabilidade do concreto, foco dessa pesquisa, sempre buscando um abatimento o mais próximo possível da condição inicial (120 ± 20 mm).

Primeiramente, analisou-se a perda de abatimento para o período inicial de 2 horas de mistura, onde ainda não houve a incorporação do aditivo superplastificante. Após essa incorporação, observou-se o incremento do abatimento proporcionado pela adição do aditivo à mistura, assim como seu comportamento na manutenção do abatimento ao longo de todo o tempo estudado. No Anexo III estão detalhados todos os valores verificados.

4.3.1 Concretos Produzidos em Laboratório

Na tabela 18 estão apresentados os abatimentos, iniciais e após 2 horas, determinados para cada um dos concretos produzidos em laboratório, assim como a perda apresentada ao longo desse período, que pode melhor ser visualizada pela figura 52. Detalha-se também o registro das temperaturas ambientes e umidades relativas do ar durante a produção dos concretos.

Tabela 18: abatimentos e perda registrada durante o período de 2 horas para concretos produzidos em laboratório

Tipo Cimento	a/c	Abatimento (mm)		Temp. (°C)	Umidade Relativa (%)	Perda (mm)
		Inicial	Final (2h)			
CP IV 32 RS	a/c = 0,68	115	75	17,8	76	40
	a/c = 0,52	130	85	17,0	71	45
	a/c = 0,40	125	75	16,2	75	50
CP II Z 32	a/c = 0,68	120	70	18,0	89	50
	a/c = 0,52	140	90	18,3	95	50
	a/c = 0,40	130	70	17,9	73	60

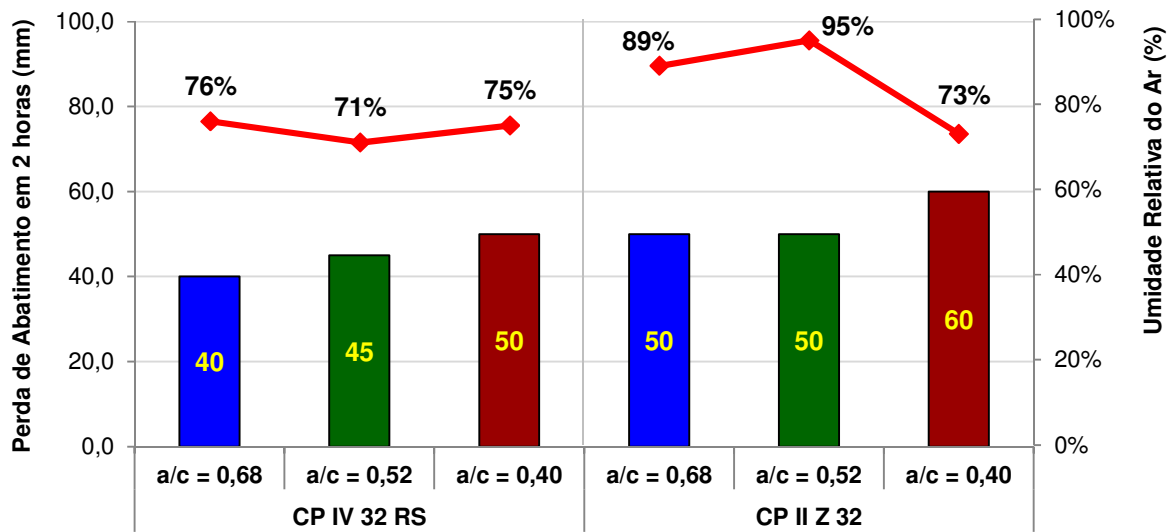


Figura 52: perda do abatimento durante o período de 2 horas, em concretos produzidos em laboratório com o registro da umidade relativa do ar

É importante destacar que essas misturas foram produzidas em dias onde as temperaturas ambientes se mostraram muito semelhantes ($17^{\circ}\pm 1,5^{\circ}$). Como esperado, quanto menor a relação a/c, conseqüentemente maior o consumo de cimento, há uma perda maior do abatimento. Onde essa perda foi igual, para relações a/c diferentes, pode estar atrelada a umidade do ambiente, como pode se perceber pelo leve aumento da umidade relativa para a menor relação a/c, e também atribuído a imprecisão do ensaio de abatimento. Para concretos produzidos em laboratório, o cimento tipo CPIV em relação ao cimento tipo CPII, apresentou menor perda do abatimento durante as 2 primeiras horas de mistura, atrelado ao fato de ser um cimento menos reativo com maior tempo para o início da pega.

Depois de 2 horas de mistura, iniciou-se a adição de aditivo superplastificante para correção do abatimento à condição inicial, ao longo de todo o período analisado nessa pesquisa. O abatimento medido em cada tempo, assim como o incremento do mesmo proporcionado pela adição do aditivo superplastificante, pode ser visualizado nas figuras 53 e 54, respectivamente, para os cimentos CPIV e CPII.

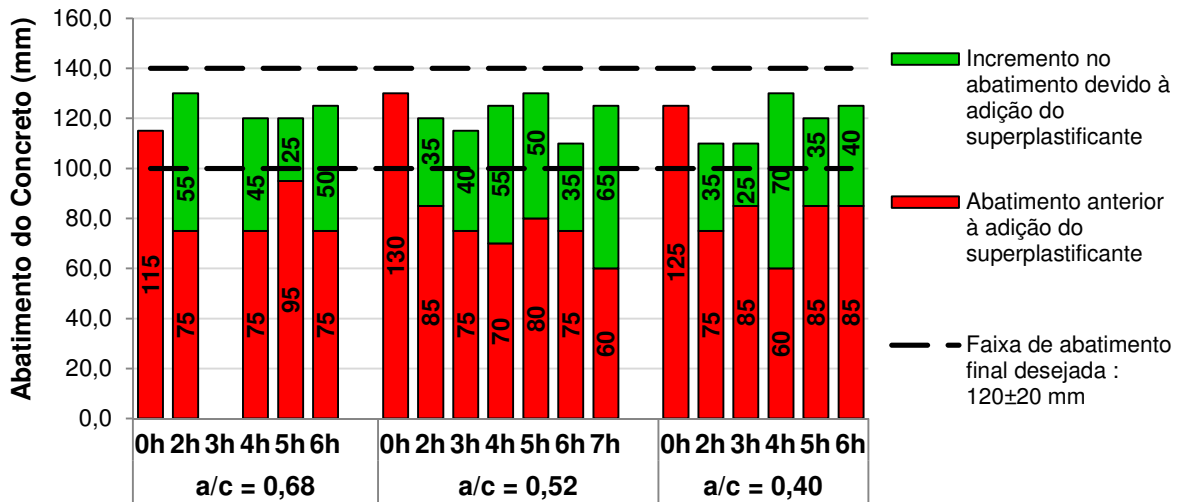


Figura 53: abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para cimento tipo CP IV de concretos produzidos em laboratório

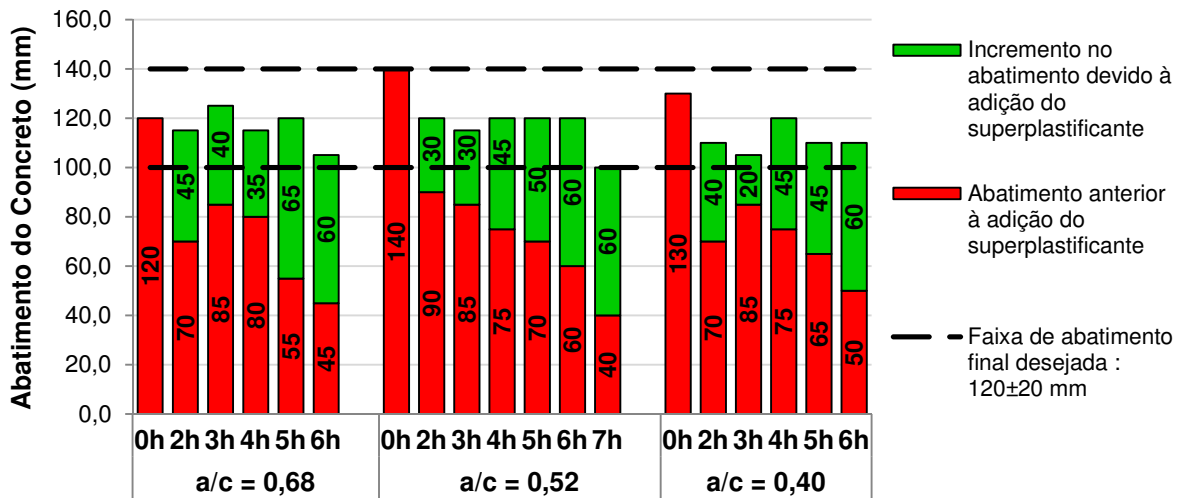


Figura 54: abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para cimento tipo CP II de concretos produzidos em laboratório

Ao longo de todo o tempo de mistura, assim como para as duas primeiras horas, registra-se que em geral o mesmo comportamento se mantém em relação ao tipo de cimento, em que ocorre uma perda maior no abatimento para os concretos produzidos com cimento CPIX. A perda do abatimento tende a aumentar com o passar do tempo para cimento tipo CPIX, enquanto que para o cimento tipo CPV essa perda é mais constante.

Temperaturas mais elevadas e acompanhadas por uma baixa umidade relativa resultam em uma evaporação mais rápida da água da mistura, causando perda adicional em sua trabalhabilidade (GHAFOORI; DIAWARA, 2010). Essa influência pôde ser verificada, pois uma das misturas realizadas nessa pesquisa (com cimento tipo CPIV, relação a/c = 0,68 e produzida em laboratório) foi repetida em condição climática bem diferente. Os resultados da perda de abatimento para cada uma das duas situações pode ser claramente visualizado na figura 55.

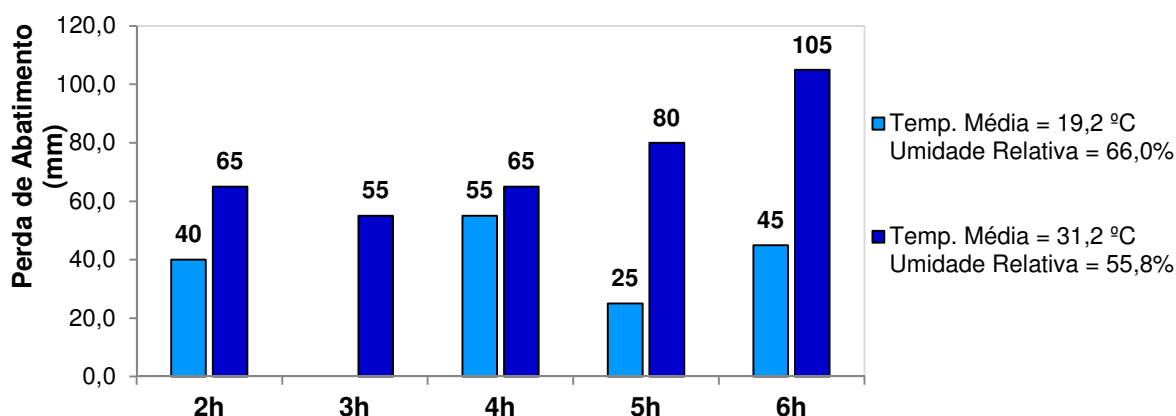


Figura 55: perda do abatimento ao longo do tempo para concreto produzido em laboratório com cimento CP IV e relação a/c de 0,68 em diferentes condições de temperatura e umidade do ambiente

Fica evidente a influência da temperatura e umidade do ambiente na manutenção do abatimento do concreto ao longo do tempo, monitorado neste caso até a 6ª hora de mistura. Para o caso analisado, a perda tende a aumentar com o passar do tempo progressivamente em condições de temperaturas mais elevadas com baixa umidade relativa. Para Ravina e Soroka (1994) as taxas de hidratação e de evaporação aumentam com a temperatura e, conseqüentemente, a taxa de diminuição do teor de água livre na mistura é, assim, acelerada. A redução do teor de água livre aumenta o atrito entre o cimento e as partículas de agregado provocando, com isso, correspondente endurecimento (perda de abatimento) da mistura fresca.

Em ambas as situações (19,2°C e 31,2°C) a correção dessa perda de abatimento à condição de abatimento inicialmente proposta com aditivo superplastificante mostrou-se eficiente ao longo de todo o tempo estudado. A quantidade de aditivo para tal será posteriormente apresentada.

4.3.2 Concretos Produzidos na Central de Concreto

Para a condição de concretos produzidos na central dosadora, a tabela 19 apresenta os dados de abatimentos e condições ambientais, assim como as perdas registradas nas primeiras 2 horas que melhor podem ser visualizadas pela figura 56.

Tabela 19: abatimentos e perda registrada durante o período de 2 horas para concretos produzidos em central de concreto

Tipo Cimento	a/c	Abatimento (mm)		Temp. (°C)	Umidade Relativa (%)	Perda (mm)
		Inicial	Final (2h)			
CP IV 32 RS	a/c = 0,68	120	105	16,5	77	15
	a/c = 0,52	120	105	14,2	81	15
	a/c = 0,40	105	70	16,5	68	35
CP II Z 32	a/c = 0,68	120	80	13,7	83	40
	a/c = 0,52	125	80	15,8	81	45
	a/c = 0,40	120	85	14,6	98	35

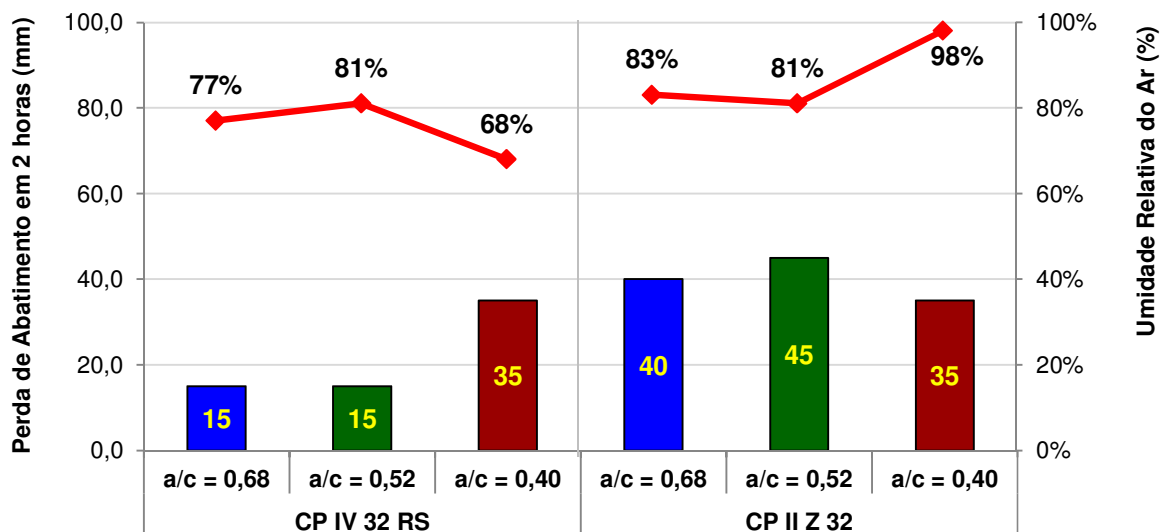


Figura 56: perda do abatimento em concretos produzidos em central de concreto com o registro da umidade relativa do ar

Assim como observado em laboratório, não houve variação expressiva na temperatura ambiente nos dias em que as misturas foram realizadas na central ($15^{\circ}\pm 1,5^{\circ}$). Durante o período de 2 horas o comportamento em relação à manutenção do abatimento foi mais eficiente para concretos produzidos com cimento tipo CP IV, exceto para o concreto com a menor relação a/c onde a perda de abatimento mostrou-se igual para ambos os cimentos. Porém, neste caso, observa-se que a umidade relativa do ar estava bem elevada para o concreto produzido com cimento tipo CPII. Essa mudança da umidade do ar pode justificar o fato da perda de abatimento para concretos com cimento CPII ter sido menor para menor relação a/c, pois o esperado em condições semelhantes é que quanto maior o consumo de cimento na mistura maior será sua perda de abatimento em função do calor liberado pela hidratação, como observado nos concretos produzidos em laboratório e para o concreto produzido na central com cimento CPIV. Observa-se também que para as relações a/c de 0,68 e 0,52, produzidas com cimento CPIV, houve a mesma perda de abatimento, porém, da mesma forma, para a maior relação a/c a temperatura estava levemente superior e com a umidade do ar menor, contribuindo para tal resultado.

As figuras 57 e 58 ilustram o comportamento ao longo de todo o tempo estudado em relação aos abatimentos e o incremento proporcionado pela adição do aditivo superplastificante, para os concretos produzidos na central dosadora de concreto.

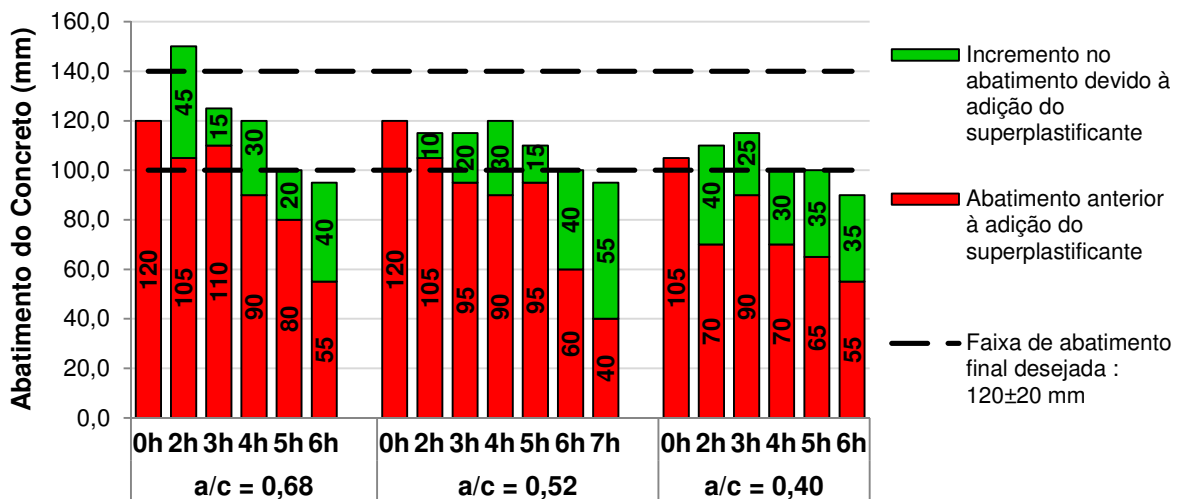


Figura 57: abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para cimento tipo CP IV de concretos produzidos em central de concreto

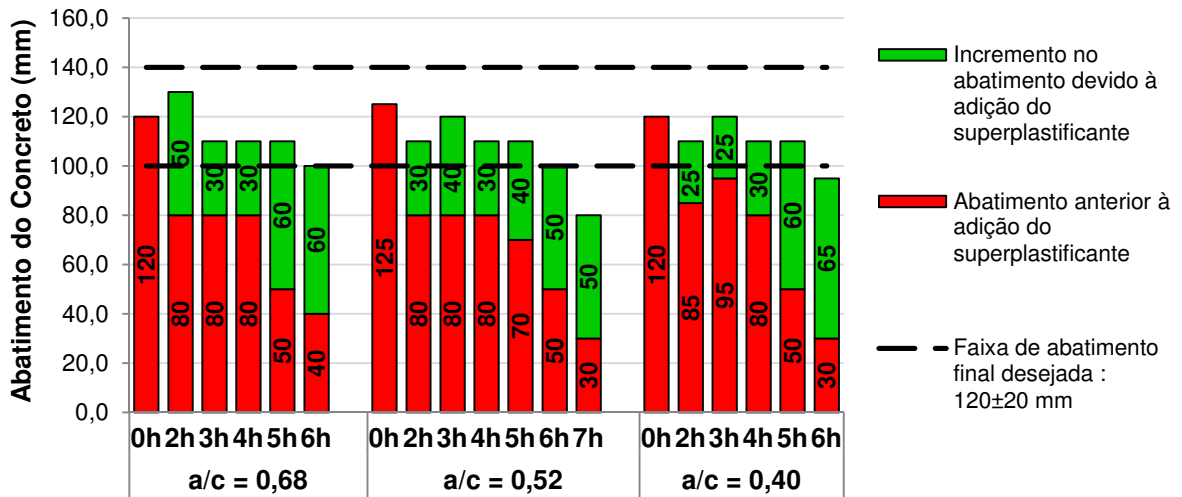


Figura 58: abatimento e incremento no abatimento pela adição do aditivo para cimento tipo CP II de concretos produzidos em central de concreto

Para concretos produzidos na central, a perda de abatimento apresentou-se muito semelhante para ambos os tipos de cimento, mantendo certa constância até a quarta hora de mistura e apresentando a partir desse tempo uma perda mais acentuada. Isso porque nos tempos finais o abatimento está mais condicionado à ação do aditivo e menos em função da água. Houve, também, uma perda de abatimento mais expressiva para cimento tipo CP II, principalmente para os maiores tempos de mistura.

A figura 59 ilustra um resumo do comportamento já analisado em relação à perda de abatimento ao longo do tempo, tanto para os concretos produzidos em laboratório quanto para a condição real na central de concreto.

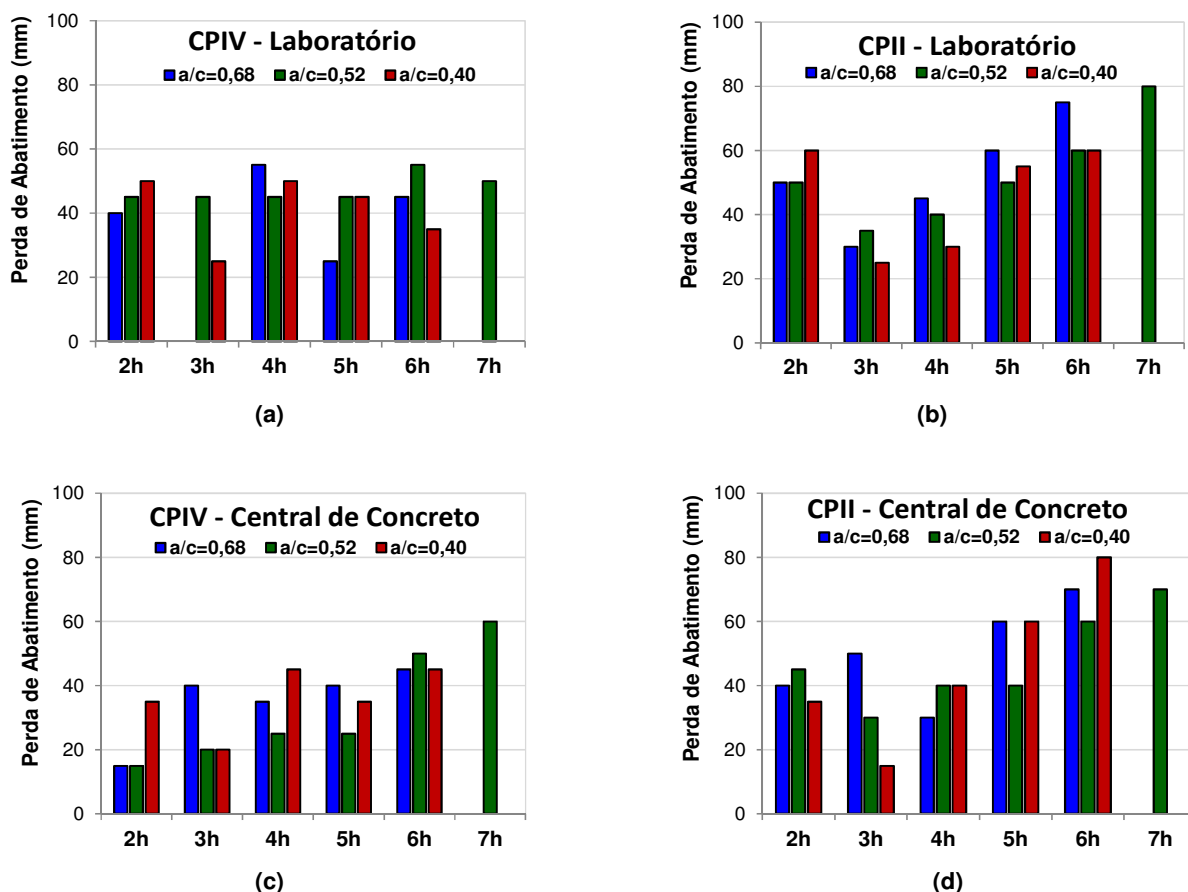


Figura 59: perda de abatimento para concretos com tempo de mistura prolongada: (a) CPIV em laboratório, (b) CPII em laboratório, (c) CPIV na central, (d) CPII na central

4.4 CONSUMO DO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Como já citado, nessa pesquisa manteve-se o abatimento do concreto por um período de até 6 horas com a incorporação do aditivo superplastificante à base policarboxilato. A utilização do aditivo permitiu que o concreto permanecesse com o abatimento pré-estabelecidos inicialmente (120 ± 20 mm), em perfeitas condições para que pudesse ser aplicado em obra, permitindo com isso a análise das propriedades finais do concreto ao longo desse tempo estipulado.

A dosagem da quantidade desse aditivo, segundo o fabricante, pode variar de 0,2 a 1,0% em relação à quantidade de cimento do traço adotado. A seguir estão detalhados, para todos os traços moldados, os percentuais reais utilizados no restabelecimento do abatimento. Esses percentuais foram obtidos em relação à quantidade de cimento real presente na massa de concreto restante no respectivo tempo. Essa massa considerada foi

estimada desconsiderando da mistura o volume de concreto utilizado nas moldagens em cada tempo. Procedimento adotado principalmente porque quando o estudo foi realizado em laboratório, onde o volume de concreto não é muito expressivo, sempre que parte do concreto é retirada para moldagens, há uma redução significativa no total de cimento presente na mistura.

4.4.1 Concretos Produzidos em Laboratório

A tabela 20 registra os abatimentos ao longo do tempo estudado e os percentuais de aditivo superplastificante incorporados à mistura; buscando o restabelecimento do abatimento para os concretos com cimento tipo CP IV; produzidos em laboratório.

Tabela 20: dosagem do aditivo para restabelecimento do abatimento à condição inicial (120+-20mm) para traços com cimento CP IV produzidos em laboratório

TEMPO	a/c = 0,68			a/c = 0,52			a/c = 0,40		
	Abat. inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)	Abat. inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)	Abat. inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)
0h	-	-	115	-	-	130	-	-	125
2h	75	0,176	130	85	0,059	120	75	0,070	110
3h	-	-	-	75	0,066	115	85	0,039	110
4h	75	0,131	120	70	0,105	125	60	0,064	130
5h	95	0,080	120	80	0,080	130	85	0,040	120
6h	75	0,093	125	75	0,046	110	85	0,027	125
7h				60	0,062	125			

Como é possível observar, os abatimentos finais obtidos após a incorporação do superplastificante situaram-se na faixa pré-estabelecida para os três concretos, apresentando, para uma mesma mistura, variação máxima de 20 mm ao longo do tempo estudado. A facilidade em visualizar o concreto na betoneira de laboratório no momento da adição do aditivo contribuiu para esse resultado.

A figura 60 apresenta graficamente a demanda de aditivo para cada tempo estudado, assim como seu comportamento quando analisado em função da quantidade necessária para cada milímetro de abatimento restabelecido.

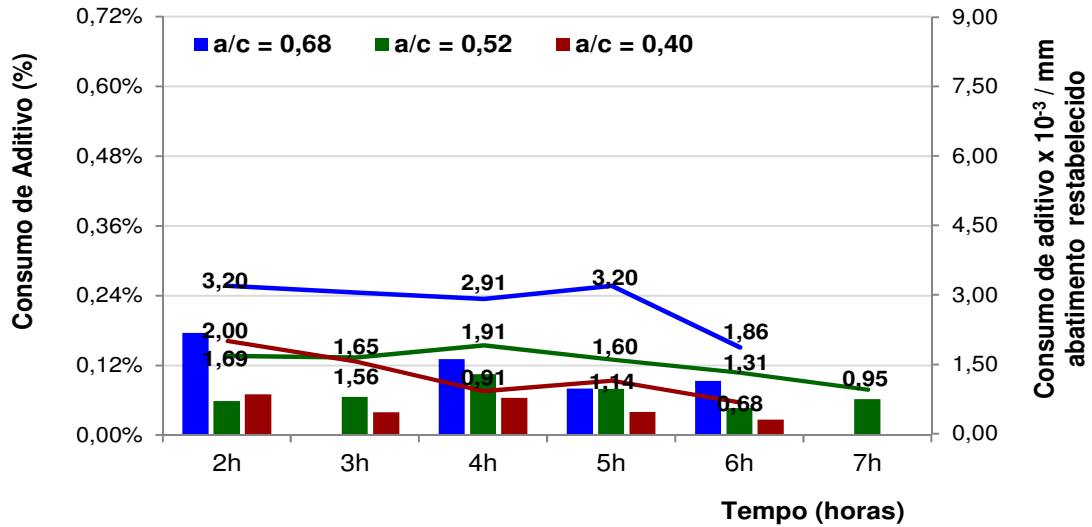


Figura 60: percentuais de aditivo parciais utilizados para cimento CP IV em laboratório para restabelecimento do abatimento

Nota-se que o percentual de aditivo, necessário para o restabelecimento do abatimento ao longo do tempo, apresenta um comportamento semelhante para as três relações a/c, ocorrendo uma tendência geral de redução, no consumo de aditivo por mm de abatimento restabelecido, ao longo do tempo.

Como já citado anteriormente, foi produzido o concreto com relação a/c de 0,68 e cimento tipo CP IV em laboratório para condições diferenciadas de temperatura ambiente para verificar o comportamento desses concretos, produzidos em diferentes temperaturas, quanto ao consumo de aditivo superplastificante para manutenção do abatimento por até 6 horas. A figura 61 apresenta os resultados obtidos.

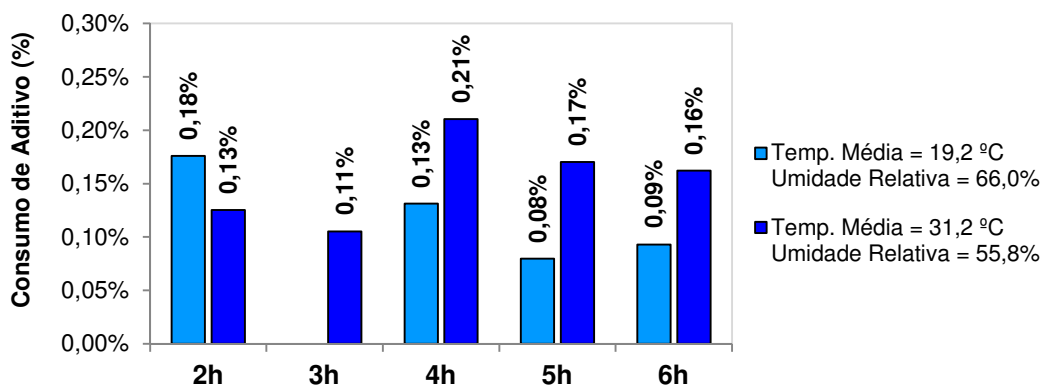


Figura 61: percentuais de aditivo utilizado para concreto produzido em laboratório com cimento CP IV e relação a/c de 0,68 em diferentes condições de temperatura e umidade do ambiente

Conforme já evidenciado nessa pesquisa e em pesquisas anteriores (KIRCA et al. 2002), as condições climáticas impactam diretamente na perda do abatimento ao longo do tempo. Em função disso, para restabelecer o abatimento à condição inicial, em temperaturas mais elevadas, há necessidade de maiores quantidades de aditivo, conforme pode ser claramente observado pela figura 61. Em 2 horas o comportamento foi inverso, pois não houve a correção no tempo de 3 horas para o caso de temperatura mais baixa, pois o abatimento atendia ao especificado (120+-20mm). Se comparado à quantidade total até 3 horas, observa-se comportamento semelhante aos demais tempos.

O comportamento verificado no restabelecimento do abatimento para os traços produzidos com cimento tipo CP II estão registrados na tabela 21 e na figura 62.

Tabela 21: dosagem do aditivo para restabelecimento do abatimento à condição inicial (120+-20mm) para traços com cimento CP II produzidos em laboratório

TEMPO	a/c = 0,68			a/c = 0,52			a/c = 0,40		
	Abat. inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)	Abat. inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)	Abat. inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)
0h	-	-	120	-	-	140	-	-	130
2h	70	0,185	115	90	0,035	120	70	0,080	110
3h	85	0,129	125	85	0,051	115	85	0,064	105
4h	80	0,104	115	75	0,084	120	75	0,090	120
5h	55	0,189	120	70	0,125	120	65	0,078	110
6h	45	0,184	105	60	0,146	120	50	0,091	110
7h	-	-	-	40	0,121	100	-	-	-

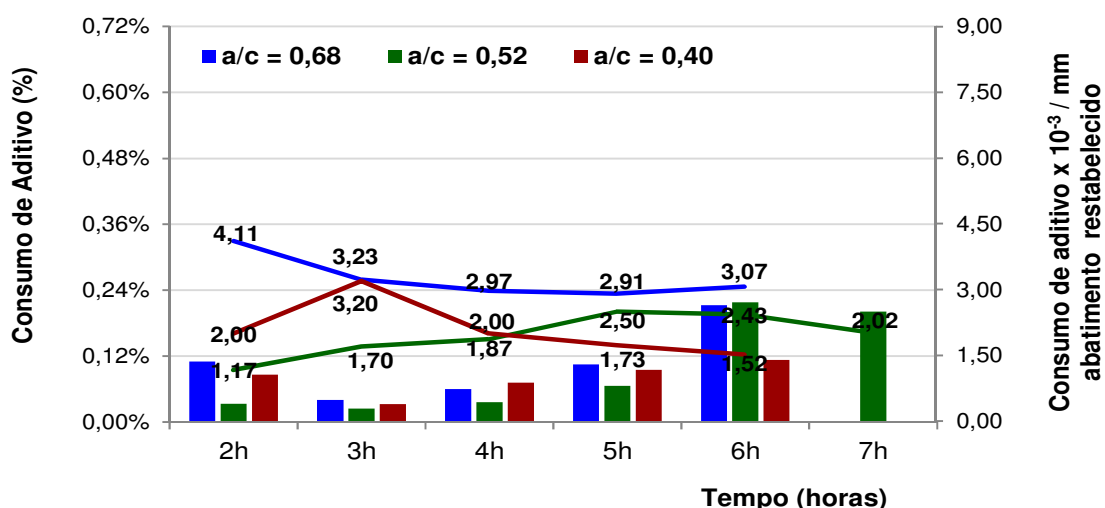


Figura 62: percentuais de aditivo parciais utilizados para cimento CP II em laboratório para restabelecimento do abatimento

De forma semelhante e pela mesma razão aos concretos produzidos com cimento CP IV, os concretos com CP II mantiveram um padrão nos abatimentos finais. Houve uma leve tendência de aumento na dosagem do aditivo com o passar do tempo, para o concreto com relação intermediária (0,52), enquanto que nas demais se observou, assim como para cimento CP IV, uma diminuição do consumo de aditivo por mm de abatimento restabelecido com o tempo.

Pela revisão bibliográfica apresentada, o restabelecimento das propriedades reológicas do concreto fresco pode ser obtido adicionando novas quantidades de aditivo, realizando assim, a redosagem. Neste estudo a possibilidade de restabelecimento do abatimento, conforme apresentado nos dados anteriores, foi possível com a utilização do aditivo à base policarboxilato em momentos diferentes, que segundo Hartmann et al. (2011) isso é possível pela repulsão estérica desse aditivo e, possivelmente, ao tamanho das moléculas desse polímero, que ainda podem dispersar os grãos de cimento mesmo se parcialmente aprisionados pela precipitação dos produtos de hidratação do cimento.

O comportamento observado nos concretos produzidos em laboratório se observou, em geral, que a demanda de aditivo foi constante para o restabelecimento do abatimento à condição inicial, pode melhor ser visualizado pela figura 63, onde estão apresentados os valores cumulativos ao longo do tempo.

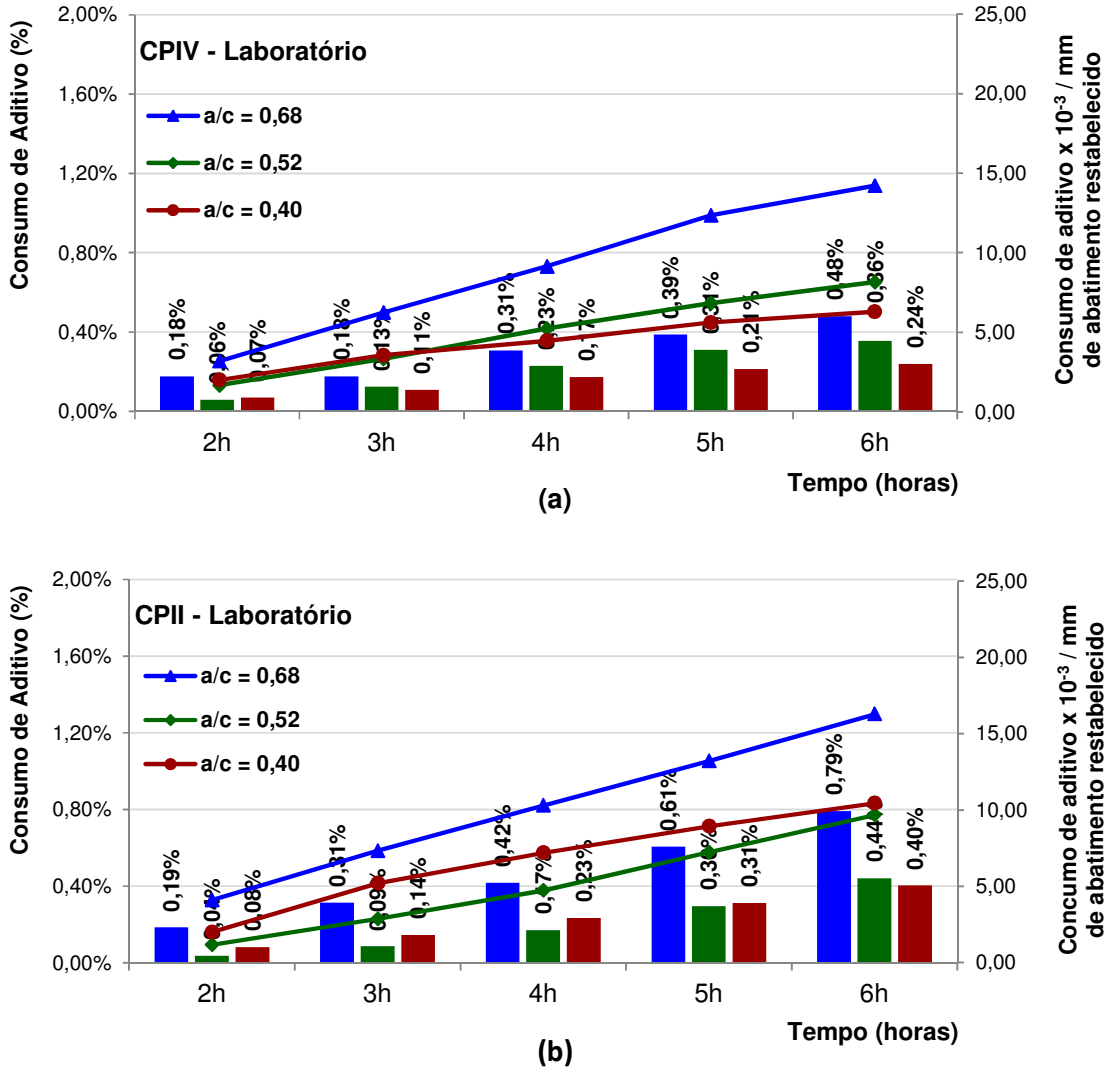


Figura 63: percentuais de aditivo acumulados ao longo do tempo para restabelecimento do abatimento de concretos produzidos em laboratório com: (a) cimento CIPV e (b) cimento CPII

Na análise do percentual total utilizado na mistura ao final do período de até 6 horas, observa-se que o percentual de aditivo diminui com a diminuição da relação a/c. Para o cimento tipo CP II houve a necessidade de percentuais totais maiores para manter um mesmo nível de abatimento final (figura 64).

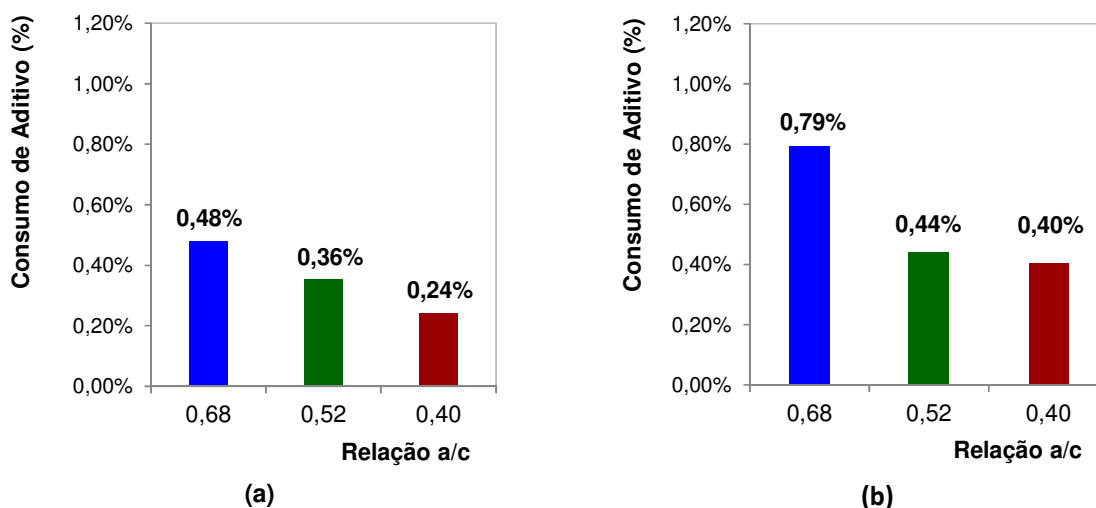


Figura 64: percentuais de aditivo totais utilizados para os concretos produzidos em laboratório com: (a) cimento CIPV e (b) cimento CPII

4.4.2 Concretos Produzidos na Central de Concreto

Assim como as propriedades já analisadas, o consumo de aditivo no restabelecimento do abatimento também foi monitorado para produção desses concretos em escala real numa central dosadora de concreto. O comportamento dos concretos para o cimento CIPV está detalhado pela tabela 22.

Tabela 22: dosagem do aditivo para restabelecimento do abatimento à condição inicial (120+-20mm) para traços com cimento CP IV produzidos na central dosadora de concreto

TEMPO	a/c = 0,68			a/c = 0,52			a/c = 0,40		
	Abat. inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)	Abat. inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)	Abat. inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)
0h	-	-	120	-	-	120	-	-	105
2h	105	0,110	150	105	0,033	115	70	0,086	110
3h	110	0,040	125	95	0,024	115	90	0,033	115
4h	90	0,060	120	90	0,036	120	70	0,072	90
5h	80	0,105	100	95	0,066	110	65	0,095	90
6h	55	0,212	95	60	0,218	100	50	0,113	85
7h				40	0,201	95			

Realizando a mistura num caminhão betoneira não é possível ter uma percepção tão apurada da trabalhabilidade do concreto, visivelmente, da mesma maneira que em laboratório numa betoneira. Em função disso houve uma dificuldade maior em se manter o mesmo padrão nos abatimentos finais obtidos, registrando uma variação de até 55 mm.

O percentual de aditivo utilizado para restabelecer o abatimento na mistura apresentou uma tendência de aumento do consumo de aditivo por mm de abatimento restabelecido ao longo do tempo. Os maiores percentuais utilizados foram para restabelecimento nos maiores tempos de mistura. A figura 65 ilustra essa demanda do aditivo para situação de produção em escala real, dos concretos com cimento CPIV.

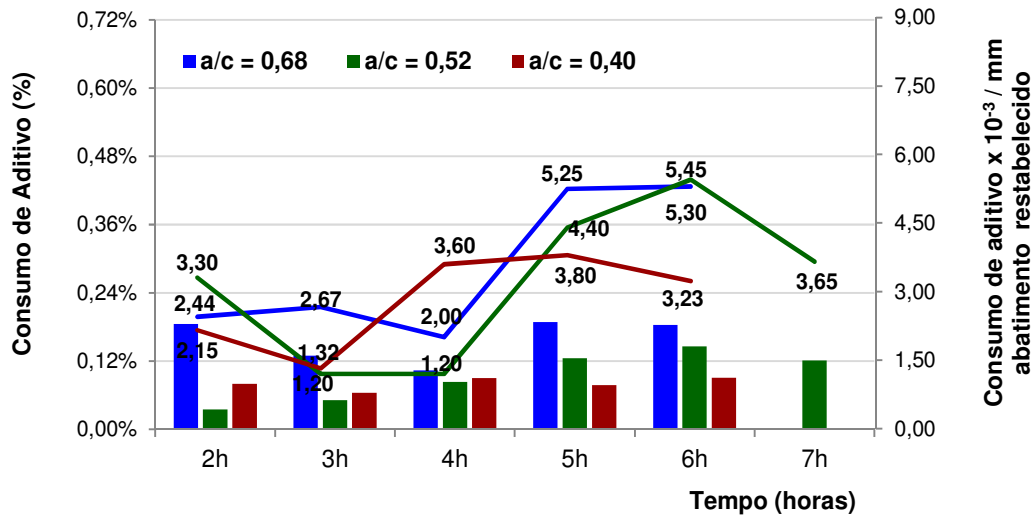


Figura 65: percentuais de aditivo parciais utilizados para cimento CP IV na central de concreto para restabelecimento do abatimento

Pela tabela 23 e figura 66 pode-se observar o comportamento do abatimento dos concretos produzidos na central com a utilização de cimento tipo CP II.

Tabela 23: dosagem do aditivo para restabelecimento do abatimento à condição inicial (120+20mm) para traços com cimento CP II produzidos na central

TEMPO	a/c = 0,68			a/c = 0,52			a/c = 0,40		
	inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)	inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)	inicial (mm)	Super (%)	Abat. final (mm)
0h	-	-	120	-	-	125	-	-	120
2h	80	0,077	130	80	0,088	110	90	0,055	110
3h	80	0,084	110	80	0,095	120	100	0,059	120
4h	80	0,120	110	80	0,114	110	80	0,095	110
5h	50	0,280	110	70	0,271	110	50	0,156	110
6h	40	0,405	100	50	0,342	100	30	0,215	100
7h				30	0,450	80			

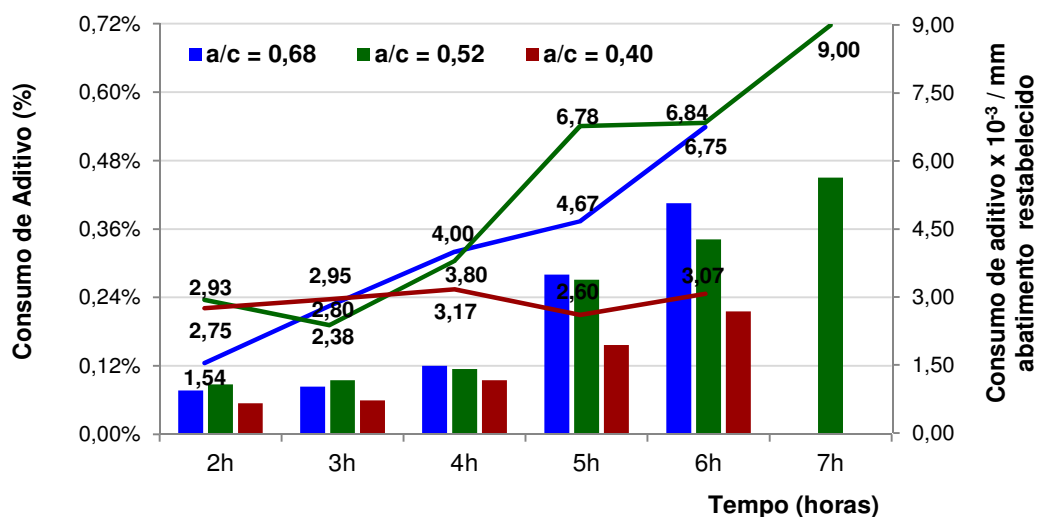


Figura 66: percentuais de aditivo parciais utilizados para cimento CP II na central de concreto para restabelecimento do abatimento

Para menor relação a/c estudada (0,40), houve a manutenção no comportamento do consumo de aditivo por mm de abatimento restabelecido até o período de 6 horas, enquanto que para as demais relações a/c é claro o crescimento acentuado desse consumo ao longo do tempo.

Ao contrário do comportamento de laboratório, para os concretos produzidos na central a quantidade necessária para restabelecimento do abatimento apresentou uma tendência de aumento com o passar do tempo de mistura. Esse comportamento está apresentando na

figura 67, onde claramente se observa pelas curvas obtidas a diferença com o observado para os concretos produzidos no laboratório.

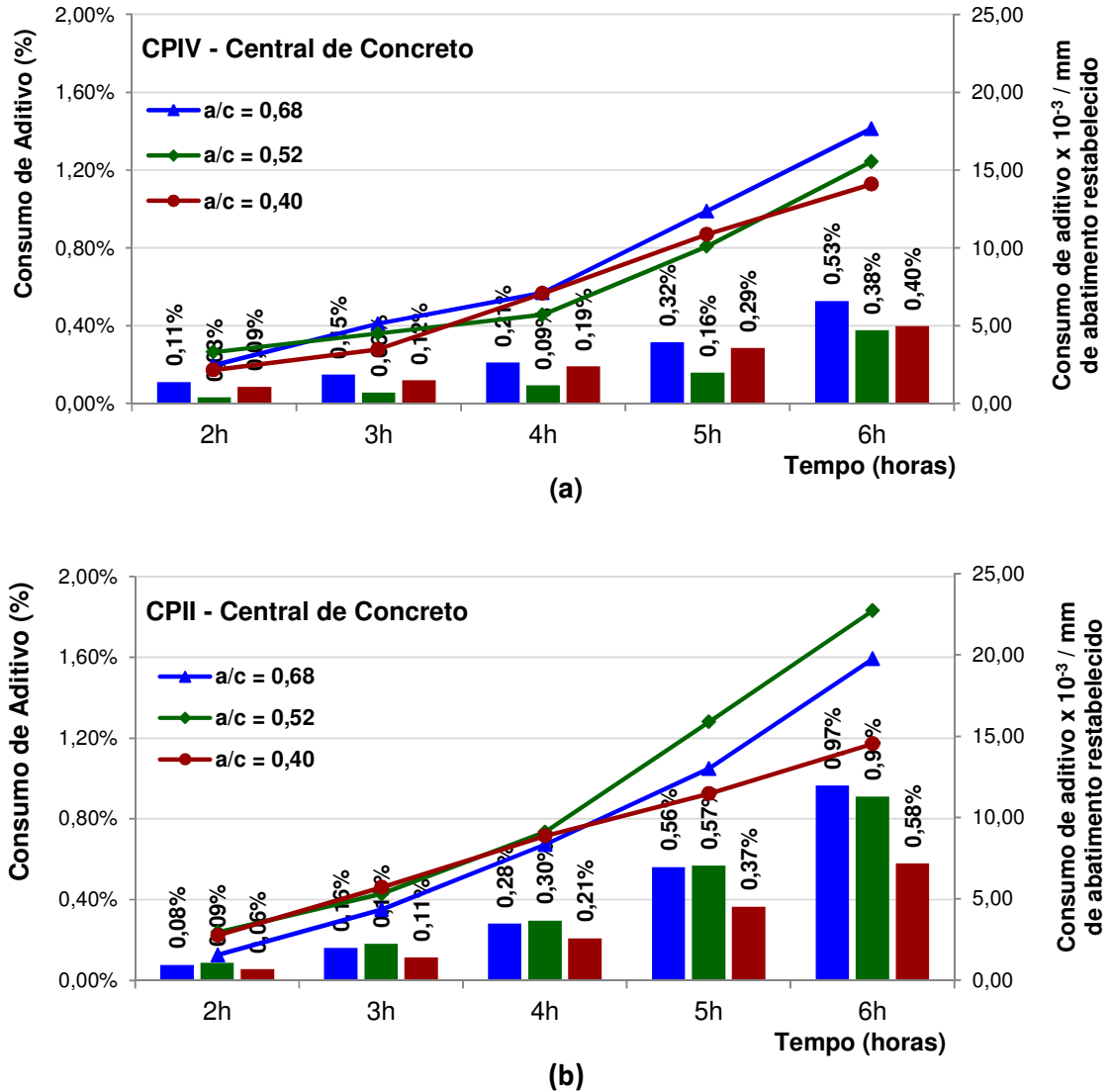


Figura 67: percentuais de aditivo acumulados ao longo do tempo para restabelecimento do abatimento de concretos produzidos na central dosadora com: (a) cimento CIPV e (b) cimento CPII

Os percentuais totais utilizados na central de concreto, tanto para cimento CIPV quanto para cimento CPII, estão apresentados na figura 68.

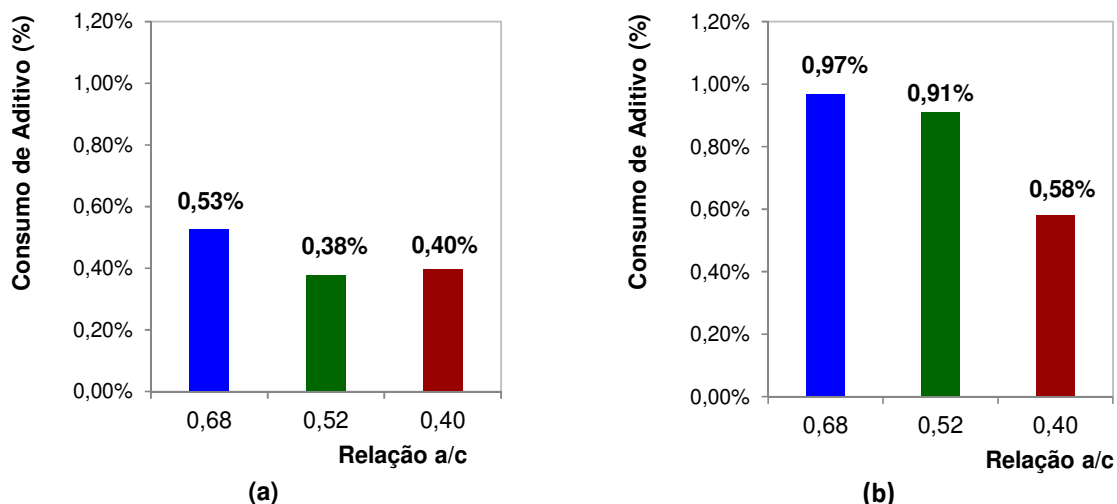


Figura 68: percentuais de aditivo totais utilizados para os concretos produzidos na central de concreto com: (a) cimento CIPV e (b) cimento CPII

O fato de o traço de relação a/c de 0,40 ter apresentado um percentual levemente maior que o traço de relação a/c de 0,52 para cimento CIPV, contrariando os resultados obtidos em laboratório, pode estar vinculado ao fato de que na central o seu abatimento inicial foi inferior aos demais traços, demandando mais aditivo para o restabelecimento, enquanto que em laboratório manteve-se no mesmo padrão. Quando observado o percentual total no período de 6 horas, assim como em laboratório, o maior índice foi obtido para traço mais pobre (com relação a/c de 0,68).

Para ambas as situações, laboratório e central, em função das condições percebidas no momento da mistura do concreto, para o traço com relação a/c de 0,52 o abatimento foi restabelecido até o tempo de 7 horas, permanecendo em condições de aplicabilidade, porém notou-se que a perda de abatimento posterior a esse tempo foi bem mais rápida quando comparada aos demais.

Como análise geral observa-se que para as situações em laboratório houve uma melhor regularidade no abatimento final, onde a quantidade de concreto é bem inferior, possibilitando uma melhor percepção visual do seu comportamento frente à ação da incorporação do aditivo. Para todos os traços o percentual total para 6 horas foi superior quando reproduzido na central.

A dosagem total do aditivo superplastificante até o tempo de 6 horas, em todas as situações apresentadas, respeitou o limite especificado pelo fabricante para esse aditivo que está entre 0,2% a 1,0%.

4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Com objetivo de entender melhor esse comportamento de que, ao longo de um período de até 6 horas, não houve perda considerável de resistência à compressão em função da manutenção do abatimento com a incorporação de aditivo superplastificante à mistura, e em alguns casos até aumento na resistência à compressão, realizou-se uma análise microestrutural qualitativa por microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários.

As imagens foram obtidas para o tempo de 0h (figura 69), situação de concreto recém-misturado, ao final das 6 horas analisadas (figura 71) e, em um tempo intermediário de 4h de mistura (figura 70), para melhor visualizar as possíveis alterações de microestrutura do concreto.

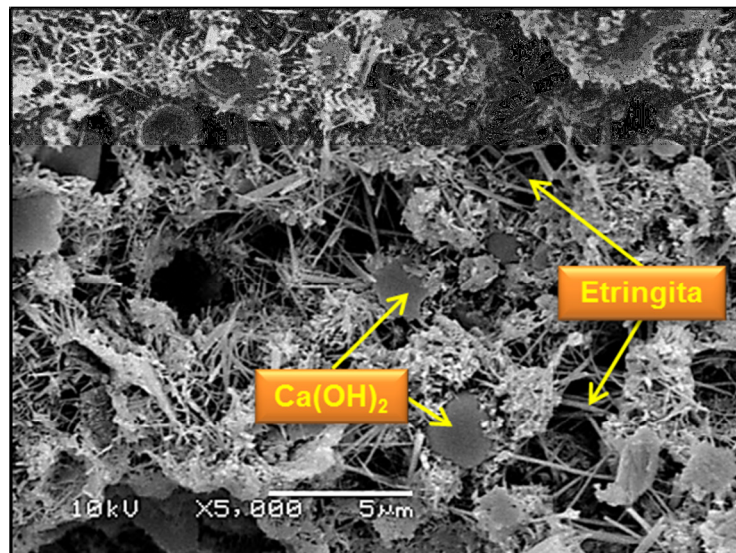


Figura 69: MEV por elétrons secundários para o concreto com CPIV e relação a/c de 0,68 aos 3 dias de idade com tempo de mistura de 0 hora. Magnificação: 5000 X

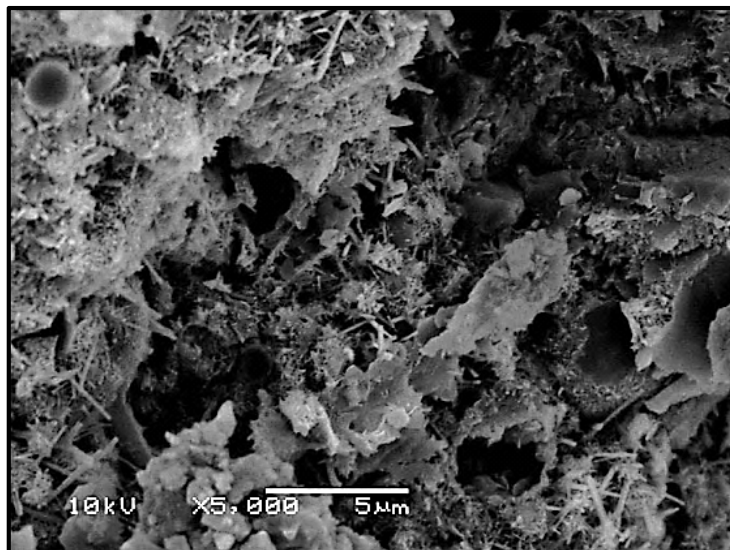


Figura 70: MEV por elétrons secundários para o concreto com CPIV e relação a/c de 0,68 aos 3 dias de idade com tempo de mistura de 4 horas. Magnificação: 5000 X

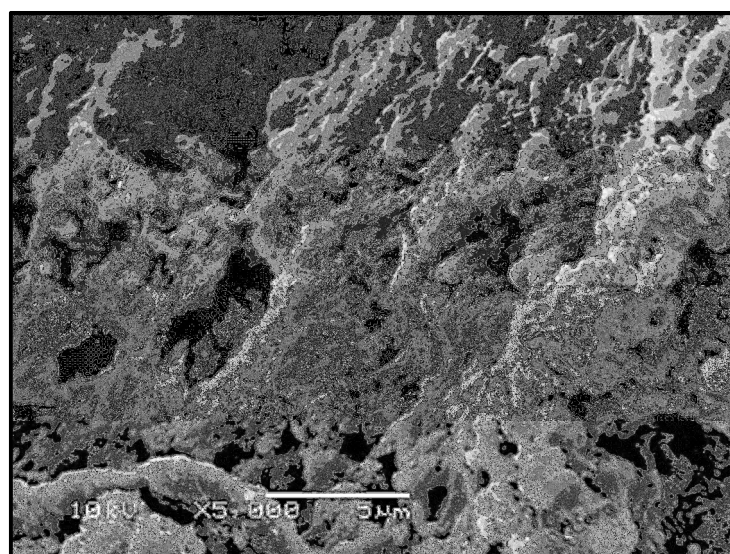


Figura 71: MEV por elétrons secundários para o concreto com CPIV e relação a/c de 0,68 aos 3 dias de idade com tempo de mistura de 6 horas. Magnificação: 5000 X

Analisando as imagens obtidas (figuras 67 a 69) pode-se dizer que ao longo do tempo, com a manutenção do abatimento através da incorporação do aditivo superplastificante e mantendo-se o concreto em períodos de agitação até o tempo de 6 horas, após o primeiro contato da água com o cimento, as amostras apresentam uma densificação da massa de concreto.

Pela figura 69, para concreto recém-misturado, pode-se observar a presença em grande quantidade de cristais em forma de agulhas (etringita) e hexagonais (hidróxido de cálcio), que são cristais de baixa resistência. Para o concreto que apresenta 4 horas de mistura (figura 70), é possível visualizar também a presença desses cristais, porém em tamanhos menores. Após as 6 horas de mistura (figura 71) é notável a densificação da matriz de cimento com cristais de tamanhos bem inferiores aos observados nos outros tempos. Para Pourchet et al. (2006), a presença do policarboxilato retarda a precipitação da etringita e, considerando que o aditivo pode diminuir a taxa de dissolução do C_3A , ele atua principalmente no crescimento da etringita, dando origem a menores tamanhos dos cristais de etringita formada. Além disso, a mistura prolongada através da agitação contínua tende a diminuir, quebrar os primeiros cristais formados como produtos do processo de hidratação do cimento, reduzindo seu tamanho e densificando a matriz.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo principal verificar o comportamento do concreto nas primeiras horas, assim como a real influência sobre suas propriedades no estado endurecido aos 28 dias, quando o concreto utilizado já tiver excedido o tempo máximo de mistura e transporte especificado por norma de 150 minutos.

A concepção deste trabalho ocorreu em função de reais solicitações encontradas por obras e centrais de concretos, evidenciando a necessidade de uma melhor investigação em relação à possibilidade de utilização de concretos com tempo superior ao máximo prescrito pela norma. Para tal, adotou-se metodologia própria com a utilização de materiais específicos. Desta forma, várias conclusões puderam ser verificadas em função dessa manutenção do concreto em mistura por um tempo maior, antes de sua aplicação. As conclusões aqui listadas dizem respeito aos materiais e métodos utilizados neste trabalho. Cabe salientar, que a eficiência do procedimento adotado está muito vinculada ao desempenho do aditivo superplastificante utilizado, o que reflete diretamente sobre os resultados obtidos e apresentados neste trabalho.

5.1 CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados, segundo as propriedades analisadas (resistência à compressão e absorção de água), e com os materiais que foram utilizados, pode-se concluir que é possível utilizar concretos com tempo de mistura e transporte acima do máximo estabelecido pela NBR 7212, por até 6 horas, desde que a trabalhabilidade seja mantida até o momento do lançamento do concreto com a incorporação de aditivo superplastificante e o concreto permaneça em processo de mistura.

A diminuição da resistência à compressão registrada no comportamento geral, para idade de 28 dias, tanto em laboratório (3,2% observado na figura 35c) como na central de concreto (3,3% observado na figura 40c), ocorreu no primeiro intervalo de tempo analisado, de 0h para 2h. Cabe ressaltar que esse intervalo de tempo está contemplado no limite especificado pela norma, que é de até 150 minutos. A partir do tempo de 2h a resistência à compressão, estatisticamente, mostrou-se sem alterações na condição de produção em escala real na central de concreto, sendo que na condição de produção do concreto em laboratório foi registrado um leve ganho no intervalo final de 5h para 6h (figura 35c), superando, inclusive, o resultado inicial no tempo 0h.

O crescimento da resistência à compressão, monitorado para as idades de 3 dias até 63 dias, não sofreu influência em função do tempo de mistura prolongado do concreto fresco em até 6 horas. O comportamento verificado foi praticamente o mesmo para todos os tempos de mistura (0h, 2h, 4h, 5h e 6h), variando de 93% a 105%, quando avaliado de 3 para 63 dias de idade. O maior crescimento, de 105%, foi registrado para o concreto com maior tempo de mistura, de 6 horas, com cimento CPIV.

Através da absorção por capilaridade foi verificado que o concreto apresenta mesmas condições, mesmo quando mantido em mistura prolongada por até 6 horas. Estatisticamente, esse tempo de mistura não se mostrou significativo, tanto para produção de concretos em laboratório quanto na central, o que mostra que a absorção de água apresentada para o concreto recém-misturado equivale àquela com até 6 horas de mistura, quando adotado ao longo desse tempo o restabelecimento do abatimento à condição inicial com utilização de aditivo superplastificante, segundo procedimento utilizado neste trabalho.

Durante as primeiras 2 horas, registrou-se uma perda do abatimento maior para concretos produzidos com cimento CPII quanto comparado com cimento CPIV, em ambas as condições de produção, laboratório e usina. Também se verificou que em laboratório as perdas no abatimento, durante esse período, foram mais acentuadas se comparadas à central dosadora. Em laboratório a perda de abatimento para os concretos com CPII foi em média 41,2% e para o CPIV ficou em 36,5%, enquanto que na central dosadora registrou-se uma perda média de 32,8% para concretos produzidos com CPII e 19,4% no caso de CPIV.

A incorporação do aditivo superplastificante à mistura mostrou-se extremamente eficiente, pois além de permitir o restabelecimento do abatimento, garantiu que o concreto permanecesse em boas condições para manuseio e adensamento. Tanto em condição de laboratório como na central dosadora de concreto, foi possível obter abatimentos finais atendendo ao padrão estabelecido de 120 ± 20 mm, inclusive após 6 horas de mistura.

Com a realização de uma das misturas em condição climática diferente, com aumento médio da temperatura de 12°C , mostrou-se a forte influência dessa alteração em relação à perda do abatimento ao longo do tempo e, conseqüentemente, na maior demanda de consumo de aditivo para o restabelecimento do abatimento, que se mostrou viável, mesmo em altas temperaturas ambientes. Obteve-se como dosagem final, em todos os concretos produzidos, percentuais de aditivo superplastificante que atendem aos limites estabelecidos pelo fabricante, 0,2% a 1,0%. Não houve alterações em relação às resistências à compressão para o aumento de temperatura ambiente de 12°C durante a produção dos concretos.

Este trabalho mostrou-se como uma importante ferramenta para as empresas de serviço e fornecimento de concreto pré-misturado, pois além de mostrar que a resistência à compressão é mantida, para concretos que permanecem em mistura prolongada (até 6 horas...), com a manutenção do abatimento pela utilização do aditivo superplastificante, por períodos de tempos acima do especificado pela norma, contribuirá para a redução de concreto residual gerado pelas centrais de concreto, conseqüentemente, diminuindo o impacto causado ao meio ambiente com esse resíduo.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em virtude da escassez de trabalhos apresentados na literatura que abordam o comportamento de concretos com tempos de mistura acima do especificado por norma, e por perceber a falta de conhecimento do meio técnico, o desenvolvimento de novas pesquisas sobre o assunto faz-se necessário. Assim sendo, são feitas a seguir algumas propostas de pesquisas futuras:

- avaliar o desempenho de outros tipos de cimentos e principalmente aditivos;
- investigar melhor as propriedades relacionadas à durabilidade de concretos com tempos de mistura de até 6 horas;
- avaliar o calor de hidratação liberado pelo concreto em função do tempo de mistura de até 6 horas;
- avaliar o módulo de deformação apresentado para concretos com até 6 horas de mistura;
- investigar, através de novos estudos, o fato da dosagem de aditivo para restabelecimento do abatimento apresentar uma tendência de aumento na central de concreto, diferentemente do que ocorreu em laboratório;
- avaliar a temperatura do concreto em função do tempo de mistura prolongada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHOZAIMY, A. M. **Effect of retempering on the compressive strength of ready-mixed concrete in hot-dry environments.** Cement & Concrete Composites 29, 124-127, 2007.

ALMUSALLAM, A. A. **Effects of environmental conditions on the properties of fresh and hardened concrete.** Cement & Concrete Composites 23, 353-361, 2001.

ANTUNES, H. B.; GASTALDINI, A. L. G.; OSMARI, P. H.; SAMARA, U. N.; SANTOR, M. S. **Absorção capilar de concretos compostos com diferentes tipos de cimento submetidos a tratamento superficial.** Anais da 26ª Jornada Acadêmica Integrada - UFSM. Santa Maria, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC). Disponível em: < <http://www.abesc.org.br/> > Acesso em: 6 dez. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia básico de utilização do cimento portland.** 7 ed. São Paulo, 2002. 28p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 5736:** Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 5p.

_____ **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 3p.

_____ **NBR 5739:** Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. São Paulo, 2007. 9p.

_____ **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 11p.

_____ **NBR 7212:** Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 7p.

_____ **NBR 9779:** Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 2 p.

_____ **NBR 11578:** Cimento Portland composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1991. 5 p.

_____ **NBR 11768:** Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 19 p.

_____ **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 8p.

_____ **NBR NM 67:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8p.

_____. **NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6p.

BASHAM, KD. **Hot weather affects fresh concrete.** Concrete Construction 1992.

BASSIONI, G. **The influence of cement composition on superplasticizers' efficiency.** International Journal of Engineering (IJE), Volume 3, 577-587, 2010.

BRITISH STANDARD – BS 5328 : **Part 3 : Specification for the procedures to be used in producing and transporting concrete.** 1990.

BULLARD, J. W.; JENNINGS, H. M.; LIVINGSTON, R. A.; NONAT, A.; SCHERER, G. W.; SCHWEITZER, J. S.; SCRIVENER, K. L.; THOMAS, J. J.. **Mechanisms of cement hydration.** Cement and Concrete Research 41, 1208-1223, 2011.

CHANDRA, S., BJÖRNSTRÖM, J. **Influence of superplasticizer type and dosage on the slump loss of Portland cement mortars – Part II.** Cement and Concrete research 32, 1613-1619, 2002.

CIMENTO.ORG – **O Mundo do Cimento.** Disponível em: < <http://www.cimento.org/>> Acesso em: 1 out. 2011.

COLLEPARDI, M.; COPPOLA, L.; CERULLI, T.; FERRARI, G.; PISTOLESI, C.; ZAFFARONI, P.; QUEK, F. **Zero slump loss superplasticized concrete.** Proceedings of the Congress "Our World in Concrete and Structures", Singapore, pp 73-80, 1993.

COLLEPARDI, M. **Admixtures used to enhance placing characteristics of concrete.** Cement & Concrete Composites 20, 103-112, 1998.

COLLEPARDI, M. **A State-of-the-art review on delayed ettringite attack on concrete.** Cement & Concrete Composites 25, 401-407, 2003.

COLLERPADI, M. **Admixtures-enhancing concrete performance.** 6th International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, U.K. July 2005.

DEWAR, J.D.; ANDERSON, R. **Manual of ready mixed concrete.** Blackie Academic and Professional, second ed., Glasgow, UK, 1992.

CSI: WBCSD Cement Sustainability Initiative. **Cement Industry Energy and CO₂ Performance.** 2009

DUARTE, L.C.; JUCHEN, P. L.; et al. **Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistemas de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros.** Pesquisas em Geociência 30 (2), 3-15, 2003.

ERDOĞDU, S. **Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing.** Cement & Concrete Research 35, 907-912, 2005.

GHAFOORI, N.; DIAWARA, H. **Influence of temperature on fresh performance of self-consolidating concrete.** Construction and Building Materials 24, 946-955, 2010.

HARTMANN, C. T.; HELENE, P. R. L. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilato destinados a concretos de cimento Portland.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo: EPUSP, 2003.

HARTMANN, C. T.; JEKNAVORIAN, A.; SILVA, D.; BENINI, H.. **Aditivos químicos para concretos e cimento.** Concreto: Ciência e Tecnologia. Ed. Geraldo C. Isaia. IBRACON, São Paulo, 2011.

HEIKAL, M.; MORSY, M. S.; AIAD, I. **Effect of treatment temperature on the early hydration characteristics of superplasticized silica fume blended cement pastes.** Cement & Concrete Research 35, 680-687, 2005.

HSU, K.-C.; CHIU, J.-J.; CHEN, S.-D.; TSENG, Y.-C. **Effect of addition time of a superplasticizer on cement adsorption and on concrete workability.** Cement & Concrete Composites 21, 425-430, 1999.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Tracking industrial energy efficiency and CO₂ emissions.** Paris, 2007.

JOLICOEUR, C.; SIMARD, M-A. **Chemical admixture-cement interactions: phenomenology and physico-chemical concepts.** Cement & Concrete Composites 20, 87-101, 1998.

KIRCA, Ö.; TURANLI, L.; ERDOĞAN, T. **Effects of retempering on consistency and compressive strength of concrete subjected to prolonged mixing.** Cement & Concrete Research 32, 441-445, 2002.

KIRCHHEIM, A. P. **Aluminatos tricálcico cúbico e otorrômbico: análise da hidratação *in situ* e produtos formados.** (Tese de Doutorado) Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LYRA, J. S. **Estudo da influência de policarboxilato comercial na hidratação, reologia e físico-química de superfície do cimento.** (Dissertação de Mestrado) Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NEPOMUCENO, A.A. **Mecanismo de Transporte de Fluidos no Concreto.** Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, vol 2 (793-827) ed. G.C.Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.** Tradução Salvador E. Giammusso. 2 ed. São Paulo: PINI, 1997.

PALACIOS, M.; PUERTAS, F. **Estabilidad de aditivos superplastificantes y reductores de la retracción em médios fuertemente básicos.** *Materiales de Construcción*, Vol. 54, nº 276. Espanha, 2004.

PAPAYIANNI, I.; TSOHOS, G.; OIKONOMOU, N.; MAVRIA P. **Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures.** *Cement & Concrete Composites*, 27, 217-222, 2005.

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

PILZ, S. E.; PAVAN, R. C.; MENDOZA, R. J.; TORRESCANA, C.E.; CAVALHEIRO, E. K. **Concreto bombeado: verificação da variabilidade das propriedades entre a saída do caminhão betoneira até a chegada no local da concretagem.** 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Curitiba-PR, IBRACON, 2009.

POLESELLO, E.; ROHDEN, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, A. B. **Proposta para Utilização Total dos Resíduos Gerados pelas Usinas Dosadoras de Concreto.** XIII Encontro Nacional do Ambiente Construído – ENTAC. Canela, 2010.

POURCHET, S.; COMPARET, C.; NONAT, A.; MAITRASSE, P. **Influence of three types of superplasticizers on tricalciumaluminate hydration in presence of gypsum.** International Conference on Superplasticizers and other Chemical Admixtures in Concrete, Sorrento – Italia, 2006.

PRINCE, W.; ESPAGNE, M.; AÏTCIN, P.-C. **Ettringite formation: a crucial step in cement superplasticizer compatibility.** *Cement and Concrete Research*, 33, 635-641, 2003.

PUERTAS, F.; VÁZQUEZ, T. **Hidratación inicial del cemento. Efecto de aditivos superplastificantes.** *Materiales de Construcción*, Vol. 51, nº 262. Espanha, 2001.

RAMACHANDRAN, V. S. **Effect of retarders / water reducers on slump loss in superplasticized concrete.** *American Concrete Institute Special Publication 68*, 393-407, 1981.

RAMACHANDRAN, V. S. **Influence of superplasticizers on the hydration of cement.** 3rd International Congress on Polymers in Concrete 13, 1071-1081, 13-15 May 1981.

RAMACHANDRAN, V. S. **Use of superplasticizers in concrete.** *II Cimento* Vol. 84, nº 3, 273-298, July-September 1987.

RAVINA, D.; SOROKA, I. **Slump loss and compressive strength of concrete made with WRR and HRWR admixtures and subjected to prolonged mixing.** *Cement and Concrete Research*, 24, 1455-1462, 1994.

RIBEIRO, J. L. D; CATEN, C. S. T. **Projeto de Experimentos.** Série Monográfica Qualidade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. FEENGE. Porto Alegre, 2003.

ROHDEN, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; VIEIRA, G. L. **Tempo de lançamento do concreto: um novo paradigma,** *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, IBRACON, 2011 – *Encaminhado para publicação.*

SILVA, N. G.; SNEFF, L.; KATO R. B.; REPETTE W. L. **Avaliação do desempenho de aditivos plastificantes e superplastificantes na manutenção da fluidez**, 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Curitiba-PR, IBRACON, 2009.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. London, 1990.

TEIXEIRA, R. B.; PELISSER, F. **Análise da perda de resistência à compressão do concreto com adição de água para correção da perda de abatimento ao longo do tempo**. Revista de Iniciação Científica da UNESC, Vol. 5, No 1, 2007.

WEIDMANN, D. F.; OLIVEIRA, A. L.; SOUZA, J.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; BIACHINI, M. **Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água para o uso em centrais de concreto: estudo de caso**, 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves-RS, IBRACON, 2007.

ANEXO I – Dados Individuais de Resistência à Compressão

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,68

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	201,2	204,0	204,6	25,6	26,0	26,1	25,9	0,23	0,89%
2 h	185,2	170,2	172,6	23,6	21,7	22,0	22,4	1,03	4,58%
4 h	164,4	164,8	162,2	20,9	21,0	20,7	20,9	0,18	0,85%
5 h	165,4	177,4	166,4	21,1	22,6	21,2	21,6	0,85	3,92%
6 h	176,4	176,4	173,2	22,5	22,5	22,1	22,3	0,24	1,05%
7 h									

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,52

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	288,4	305,8	271,8	36,7	38,9	34,6	36,8	2,16	5,89%
2 h	261,4	267,4	295,8	33,3	34,0	37,7	35,0	2,34	6,69%
4 h	312,4	295,0	272,0	39,8	37,6	34,6	37,3	2,58	6,91%
5 h	295,2	292,0	284,4	37,6	37,2	36,2	37,0	0,71	1,91%
6 h	327,2	327,6	295,4	41,7	41,7	37,6	40,3	2,35	5,83%
7 h	334,0	313,0	309,5	42,5	39,9	39,4	40,6	1,69	4,16%

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,40

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	387,0	377,0	389,0	49,3	48,0	49,5	48,9	0,82	1,67%
2 h	375,0	367,0	364,5	47,7	46,7	46,4	47,0	0,70	1,49%
4 h	376,0	364,0	348,5	47,9	46,3	44,4	46,2	1,76	3,80%
5 h	343,0	382,0	366,2	43,7	48,6	46,6	46,3	2,50	5,39%
6 h	368,5	385,0	387,0	46,9	49,0	49,3	48,4	1,29	2,67%
7 h									

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP II - Relação a/c = 0,68

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	218,2	216,4	213,4	27,8	27,6	27,2	27,5	0,31	1,12%
2 h	192,6	209,4	207,4	24,5	26,7	26,4	25,9	1,17	4,52%
4 h	215,0	198,2	213,0	27,4	25,2	27,1	26,6	1,17	4,40%
5 h	207,0	220,8	204,2	26,4	28,1	26,0	26,8	1,13	4,22%
6 h	209,4	225,0	203,8	26,7	28,6	25,9	27,1	1,40	5,16%
7 h									

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP II - Relação a/c = 0,52

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	312,4	316,4	307,6	39,8	40,3	39,2	39,7	0,56	1,41%
2 h	337,4	327,8	300,2	43,0	41,7	38,2	41,0	2,46	6,00%
4 h	332,2	333,8	305,8	42,3	42,5	38,9	41,2	2,00	4,85%
5 h	315,0	286,6	300,2	40,1	36,5	38,2	38,3	1,81	4,73%
6 h	325,8	353,2	336,2	41,5	45,0	42,8	43,1	1,76	4,09%
7 h	360,0	328,0	358,5	45,8	41,8	45,6	44,4	2,30	5,18%

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP II - Relação a/c = 0,40

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	368,5	379,0	410,5	46,9	48,3	52,3	49,1	2,78	5,66%
2 h	390,5	381,5	396,0	49,7	48,6	50,4	49,6	0,93	1,88%
4 h	373,0	398,0	410,0	47,5	50,7	52,2	50,1	2,40	4,80%
5 h	389,0	365,5	372,5	49,5	46,5	47,4	47,8	1,54	3,21%
6 h	377,5	403,5	410,0	48,1	51,4	52,2	50,5	2,19	4,33%
7 h									

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido na CENTRAL com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,68

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	191,6	195,8	202,6	24,4	24,9	25,8	25,0	0,71	2,82%
2 h	191,4	184,4	186,0	24,4	23,5	23,7	23,8	0,47	1,96%
4 h	178,0	178,2	181,0	22,7	22,7	23,0	22,8	0,21	0,94%
5 h	179,4	188,0	174,6	22,8	23,9	22,2	23,0	0,86	3,76%
6 h	191,8	173,0	180,4	24,4	22,0	23,0	23,1	1,21	5,21%
7 h									

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido na CENTRAL com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,52

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	306,8	307,2	317,0	39,1	39,1	40,4	39,5	0,74	1,86%
2 h	287,4	309,0	307,8	36,6	39,3	39,2	38,4	1,55	4,03%
4 h	308,4	302,6	290,4	39,3	38,5	37,0	38,3	1,17	3,06%
5 h	300,4	300,6	284,2	38,2	38,3	36,2	37,6	1,20	3,19%
6 h	289,2	314,6	296,8	36,8	40,1	37,8	38,2	1,66	4,34%
7 h	291,5	288,5	301,0	37,1	36,7	38,3	37,4	0,83	2,22%

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido na CENTRAL com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,40

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	395,4	377,4	389,6	50,3	48,1	49,6	49,3	1,17	2,37%
2 h	363,4	356,6	369,4	46,3	45,4	47,0	46,2	0,82	1,76%
4 h	363,8	380,7	377,8	46,3	48,5	48,1	47,6	1,15	2,42%
5 h	375,4	352,6	336,8	47,8	44,9	42,9	45,2	2,47	5,47%
6 h	360,6	355,6	386,0	45,9	45,3	49,1	46,8	2,08	4,44%
7 h									

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido na CENTRAL com Cimento CP II - Relação a/c = 0,68

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	211,8	218,4	216,6	27,0	27,8	27,6	27,5	0,43	1,58%
2 h	212,8	207,6	201,2	27,1	26,4	25,6	26,4	0,74	2,80%
4 h	207,6	197,4	201,0	26,4	25,1	25,6	25,7	0,66	2,56%
5 h	203,2	199,0	194,0	25,9	25,3	24,7	25,3	0,59	2,32%
6 h	202,8	194,6	196,4	25,8	24,8	25,0	25,2	0,55	2,18%
7 h									

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido na CENTRAL com Cimento CP II - Relação a/c = 0,52

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	317,0	299,0	328,6	40,4	38,1	41,8	40,1	1,90	4,74%
2 h	322,8	306,0	333,0	41,1	39,0	42,4	40,8	1,74	4,25%
4 h	316,2	331,4	326,0	40,3	42,2	41,5	41,3	0,98	2,37%
5 h	285,0	297,0	320,4	36,3	37,8	40,8	38,3	2,29	5,99%
6 h	315,2	297,2	330,6	40,1	37,8	42,1	40,0	2,13	5,32%
7 h	299,2	317,6	287,4	38,1	40,4	36,6	38,4	1,94	5,05%

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido na CENTRAL com Cimento CP II - Relação a/c = 0,40

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	384,4	410,0	385,2	48,9	52,2	49,0	50,1	1,85	3,70%
2 h	360,4	402,6	374,4	45,9	51,3	47,7	48,3	2,74	5,67%
4 h	361,8	390,0	377,4	46,1	49,7	48,1	47,9	1,80	3,75%
5 h	360,4	392,0	364,0	45,9	49,9	46,3	47,4	2,20	4,65%
6 h	392,0	360,2	377,8	49,9	45,9	48,1	48,0	2,03	4,23%
7 h									

Cargas e Resistências à Compressão Individuais - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,68 - MISTURA ADICIONAL

Idade de 3 DIAS

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA 3 DIAS (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	118,5	114,5	121,0	15,1	14,6	15,4	15,0	0,42	2,78%
2 h	117,0	121,0	121,5	14,9	15,4	15,5	15,3	0,31	2,06%
4 h	119,5	120,5	124,0	15,2	15,3	15,8	15,4	0,30	1,95%
5 h	113,0	115,5	116,0	14,4	14,7	14,8	14,6	0,20	1,40%
6 h	111,0	107,5	112,5	14,1	13,7	14,3	14,0	0,33	2,33%

Idade de 7 DIAS

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA 3 DIAS (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	132,0	138,5	137,5	16,8	17,6	17,5	17,3	0,45	2,57%
2 h	142,0	140,0	135,5	18,1	17,8	17,3	17,7	0,42	2,39%
4 h	134,0	140,0	140,5	17,1	17,8	17,9	17,6	0,46	2,62%
5 h	130,3	133,5	133,5	16,6	17,0	17,0	16,9	0,24	1,40%
6 h	124,5	131,5	132,5	15,9	16,7	16,9	16,5	0,55	3,37%

Idade de 28 DIAS

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA 3 DIAS (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	191,0	187,0	191,5	24,3	23,8	24,4	24,2	0,31	1,30%
2 h	189,0	183,0	185,5	24,1	23,3	23,6	23,7	0,38	1,62%
4 h	194,0	190,5	195,5	24,7	24,3	24,9	24,6	0,33	1,33%
5 h	179,0	182,0	179,5	22,8	23,2	22,9	22,9	0,20	0,89%
6 h	171,0	175,5	178,0	21,8	22,3	22,7	22,3	0,45	2,03%

Idade de 63 DIAS

TEMPO	CARGA (KN)			RESISTÊNCIA 3 DIAS (MPa)			Média (MPa)	Desvio (MPa)	Coef. Var.(%)
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3			
0 h	229,0	235,2	229,4	29,2	29,9	29,2	29,4	0,44	1,50%
2 h	225,8	236,8	232,0	28,7	30,2	29,5	29,5	0,70	2,38%
4 h	252,8	241,2	247,0	32,2	30,7	31,4	31,4	0,74	2,35%
5 h	228,6	226,2	227,0	29,1	28,8	28,9	28,9	0,16	0,54%
6 h	223,4	238,0	219,2	28,4	30,3	27,9	28,9	1,26	4,35%

ANEXO II – Dados Individuais de Absorção por Capilaridade

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,68

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm³)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm²)						ABSORÇÃO - 72 horas				
		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		Qtde	%	% méd.
		Seco																						
0 h	1	3636,2	3645,8	3653,8	3668,8	3677,6	3683,4	0,122	0,224	0,415	0,527	0,601	0,099	0,194	0,378	0,483	0,550	47,20	1,30%	1,19%				
	2	3630,7	3639,6	3648,4	3665,1	3674,3	3679,8	0,113	0,225	0,438	0,555	0,625	0,097	0,204	0,415	0,548	0,632	33,20	0,92%	1,39%				
	3	3619,1	3623,9	3629,4	3641,2	3647,9	3652,3	0,061	0,131	0,281	0,367	0,423	0,097	0,204	0,415	0,548	0,632	53,10	1,48%	1,39%				
2 h	1	3576,1	3585,6	3594,2	3611,9	3622,7	3629,2	0,121	0,230	0,456	0,593	0,676	0,097	0,204	0,415	0,548	0,632	56,80	1,59%	1,48%				
	2	3574,6	3582,1	3591,3	3610,0	3623,0	3631,4	0,095	0,213	0,451	0,616	0,723	0,097	0,204	0,415	0,548	0,632	39,10	1,10%	1,48%				
	3	3561,9	3567,8	3575,2	3588,6	3596,0	3601,0	0,075	0,169	0,340	0,434	0,498	0,184	0,293	0,481	0,589	0,666	48,20	1,37%	1,48%				
4 h	1	3528,7	3539,9	3547,8	3557,7	3568,5	3576,9	0,143	0,243	0,369	0,507	0,614	0,184	0,293	0,481	0,589	0,666	62,70	1,77%	1,48%				
	2	3541,9	3558,8	3568,6	3588,6	3598,6	3604,6	0,215	0,340	0,595	0,722	0,798	0,184	0,293	0,481	0,589	0,666	46,10	1,29%	1,48%				
	3	3560,4	3575,6	3583,7	3598,0	3602,6	3606,5	0,194	0,297	0,479	0,537	0,587	0,191	0,308	0,524	0,623	0,689	66,80	1,90%	1,53%				
5 h	1	3518,1	3534,0	3544,3	3565,7	3578,2	3584,9	0,202	0,334	0,606	0,765	0,851	0,191	0,308	0,524	0,623	0,689	50,70	1,43%	1,53%				
	2	3535,8	3550,4	3559,6	3575,5	3582,0	3586,5	0,186	0,303	0,505	0,588	0,646	0,184	0,290	0,454	0,529	0,582	44,80	1,26%	1,29%				
	3	3557,0	3571,4	3579,5	3593,2	3597,5	3601,8	0,183	0,286	0,461	0,516	0,570	0,184	0,290	0,454	0,529	0,582	47,80	1,35%	1,29%				
6 h	1	3550,3	3565,1	3573,0	3586,2	3593,7	3598,1	0,188	0,289	0,457	0,553	0,609	0,184	0,290	0,454	0,529	0,582	43,00	1,22%	1,29%				
	2	3520,7	3535,1	3543,2	3554,2	3559,6	3563,7	0,183	0,286	0,427	0,495	0,547	0,184	0,290	0,454	0,529	0,582	46,40	1,32%	1,29%				
	3	3527,4	3541,5	3550,5	3565,0	3569,7	3573,8	0,180	0,294	0,479	0,539	0,591												
7 h	1																							
	2																							
	3																							

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,52

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm³)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm²)						ABSORÇÃO - 72 horas				
		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		Qtde	%	% méd.
		Seco																						
0 h	1	3692,9	3713,0	3718,0	3721,5	3722,5	3725,8	0,256	0,320	0,364	0,377	0,419	0,271	0,332	0,384	0,399	0,445	32,90	0,89%	0,96%				
	2	3604,5	3626,6	3630,8	3634,9	3636,2	3639,4	0,281	0,335	0,387	0,404	0,444	0,271	0,332	0,384	0,399	0,445	34,90	0,97%	0,96%				
	3	3666,4	3688,0	3693,3	3697,8	3699,1	3703,5	0,275	0,343	0,400	0,416	0,472	0,271	0,332	0,384	0,399	0,445	37,10	1,01%	0,96%				
2 h	1	3683,8	3693,9	3699,6	3705,4	3707,2	3710,7	0,129	0,201	0,275	0,298	0,343	0,183	0,255	0,334	0,363	0,399	26,90	0,73%	0,86%				
	2	3653,3	3672,4	3677,8	3683,9	3687,1	3688,8	0,243	0,312	0,390	0,430	0,452	0,183	0,255	0,334	0,363	0,399	35,50	0,97%	0,86%				
	3	3666,9	3680,8	3686,7	3693,5	3695,3	3698,6	0,177	0,252	0,339	0,362	0,404	0,278	0,347	0,424	0,469	0,505	31,70	0,86%	0,86%				
4 h	1	3644,5	3667,4	3672,8	3678,3	3681,8	3685,3	0,292	0,360	0,430	0,475	0,519	0,278	0,347	0,424	0,469	0,505	40,80	1,12%	1,09%				
	2	3668,9	3689,7	3694,9	3701,7	3704,7	3707,1	0,265	0,331	0,418	0,456	0,486	0,278	0,347	0,424	0,469	0,505	38,20	1,04%	1,09%				
	3	3652,3	3674,0	3679,7	3685,6	3689,6	3692,3	0,276	0,349	0,424	0,475	0,509	0,278	0,347	0,424	0,469	0,505	40,00	1,10%	1,09%				
5 h	1	3699,9	3710,4	3715,5	3721,7	3724,2	3726,3	0,138	0,199	0,278	0,309	0,336	0,141	0,202	0,273	0,304	0,337	26,40	0,71%	0,72%				
	2	3667,4	3678,5	3683,2	3688,2	3690,3	3692,9	0,141	0,201	0,265	0,292	0,325	0,141	0,202	0,273	0,304	0,337	25,50	0,70%	0,72%				
	3	3687,0	3698,4	3703,3	3708,7	3711,4	3714,4	0,145	0,208	0,276	0,311	0,349	0,165	0,222	0,274	0,292	0,331	27,40	0,74%	0,70%				
6 h	1	3700,4	3713,4	3717,5	3721,7	3723,4	3725,8	0,166	0,218	0,271	0,293	0,323	0,165	0,222	0,274	0,292	0,331	25,40	0,69%	0,70%				
	2	3673,5	3684,4	3688,7	3691,9	3693,5	3696,3	0,135	0,194	0,234	0,255	0,290	0,165	0,222	0,274	0,292	0,331	22,80	0,62%	0,70%				
	3	3690,1	3705,4	3710,0	3714,9	3716,0	3719,8	0,195	0,253	0,316	0,330	0,378	0,165	0,222	0,274	0,292	0,331	29,70	0,80%	0,70%				
7 h	1	3664,2	3674,0	3677,4	3681,9	3683,0	3685,6	0,125	0,168	0,225	0,230	0,272	0,112	0,165	0,216	0,236	0,262	21,40	0,58%	0,56%				
	2	3616,1	3625,0	3629,0	3632,3	3634,0	3636,3	0,113	0,164	0,206	0,228	0,257	0,112	0,165	0,216	0,236	0,262	20,20	0,56%	0,56%				
	3	3662,2	3670,0	3674,9	3679,2	3681,0	3682,4	0,099	0,162	0,216	0,239	0,257	0,112	0,165	0,216	0,236	0,262	20,20	0,55%	0,56%				

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,40

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm ²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm ²)			ABSORÇÃO - 72 horas				
		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas	
		Seco	3712,7	3722,6	3731,5	3736,9	3739,0	3742,5	0,126	0,239	0,308	0,335	0,379	0,163	0,256	0,343	0,440	0,80%	0,94%		
0 h	1	3623,8	3639,1	3644,7	3650,2	3652,5	3656,3	0,195	0,266	0,336	0,365	0,414	0,163	0,256	0,343	0,440	0,80%	0,94%			
	2	3671,8	3685,1	3692,4	3701,9	3707,2	3713,1	0,169	0,262	0,383	0,451	0,526	0,163	0,256	0,343	0,440	0,80%	0,94%			
	3	3697,0	3707,9	3712,2	3715,9	3717,4	3719,6	0,139	0,194	0,241	0,260	0,288	0,143	0,213	0,300	0,396	0,61%	0,85%			
2 h	1	3650,5	3662,7	3670,9	3684,2	3692,0	3698,0	0,155	0,260	0,429	0,528	0,605	0,143	0,213	0,300	0,396	1,30%	0,85%			
	2	3701,6	3712,3	3716,3	3719,6	3720,9	3724,7	0,136	0,187	0,229	0,246	0,294	0,143	0,213	0,300	0,396	1,30%	0,85%			
	3	3648,5	3662,4	3669,3	3677,5	3680,0	3683,9	0,177	0,265	0,369	0,401	0,451	0,173	0,255	0,364	0,425	0,97%	0,96%			
4 h	1	3649,8	3664,1	3671,3	3684,2	3689,7	3690,7	0,182	0,274	0,438	0,508	0,521	0,173	0,255	0,364	0,425	1,12%	0,96%			
	2	3669,2	3681,7	3687,0	3691,6	3697,9	3698,0	0,159	0,227	0,285	0,365	0,367	0,173	0,255	0,364	0,425	0,78%	0,96%			
	3	3735,1	3746,0	3749,4	3753,0	3754,5	3756,3	0,139	0,182	0,228	0,247	0,270	0,134	0,176	0,220	0,241	0,57%	0,57%			
5 h	1	3720,4	3730,6	3733,9	3737,6	3739,3	3741,8	0,130	0,172	0,219	0,241	0,272	0,134	0,176	0,220	0,241	0,58%	0,57%			
	2	3721,1	3731,6	3734,8	3737,9	3739,5	3741,8	0,134	0,174	0,214	0,234	0,264	0,134	0,176	0,220	0,241	0,56%	0,57%			
	3	3648,9	3661,4	3667,5	3676,6	3681,8	3686,2	0,159	0,237	0,353	0,419	0,475	0,143	0,199	0,277	0,315	1,02%	0,77%			
6 h	1	3669,5	3680,6	3685,1	3691,2	3693,7	3697,1	0,141	0,199	0,276	0,308	0,351	0,143	0,199	0,277	0,315	0,75%	0,77%			
	2	3608,1	3618,2	3620,9	3624,0	3625,3	3627,7	0,129	0,163	0,202	0,219	0,250	0,143	0,199	0,277	0,315	0,54%	0,77%			
	3																				
7 h	1																				
	2																				
	3																				

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP II - Relação a/c = 0,68

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm ²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm ²)			ABSORÇÃO - 72 horas				
		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas	
		Seco	3666,8	3684,4	3688,7	3701,5	3714,7	3706,1													
0 h	1	3629,6	3646,8	3652,2	3670,6	3676,1	3680,1	0,219	0,288	0,522	0,592	0,643	0,216	0,279	0,477	0,575	1,07%	1,28%			
	2	3628,7	3644,9	3649,9	3665,4	3669,7	3679,2	0,206	0,270	0,467	0,522	0,643	0,216	0,279	0,477	0,575	1,39%	1,28%			
	3	3546,9	3565,7	3572,2	3600,7	3616,5	3633,0	0,239	0,322	0,685	0,886	1,096	0,210	0,279	0,542	0,657	2,43%	1,66%			
2 h	1	3603,5	3621,3	3626,4	3644,1	3650,6	3653,9	0,227	0,292	0,517	0,600	0,642	0,210	0,279	0,542	0,657	1,40%	1,66%			
	2	3634,2	3647,0	3651,7	3667,6	3672,2	3675,9	0,163	0,223	0,425	0,484	0,531	0,210	0,279	0,542	0,657	1,15%	1,66%			
	3	3500,8	3519,0	3525,1	3549,1	3563,1	3571,4	0,232	0,309	0,615	0,793	0,899	0,219	0,284	0,548	0,668	2,02%	1,65%			
4 h	1	3537,8	3555,8	3562,0	3587,9	3599,4	3606,7	0,229	0,308	0,638	0,784	0,877	0,219	0,284	0,548	0,668	1,95%	1,65%			
	2	3613,1	3628,4	3631,6	3643,9	3646,6	3648,9	0,195	0,236	0,392	0,427	0,456	0,219	0,284	0,548	0,668	0,99%	1,65%			
	3	3515,1	3533,4	3538,5	3558,4	3568,5	3573,5	0,233	0,298	0,551	0,680	0,744	0,219	0,284	0,548	0,668	1,66%	1,70%			
5 h	1	3491,8	3508,9	3514,9	3536,1	3548,5	3555,2	0,218	0,294	0,564	0,722	0,807	0,213	0,281	0,542	0,682	1,82%	1,70%			
	2	3511,0	3525,8	3530,8	3551,1	3561,7	3567,8	0,188	0,252	0,511	0,646	0,723	0,213	0,281	0,542	0,682	1,62%	1,70%			
	3	3453,9	3471,2	3476,9	3498,4	3508,8	3513,3	0,220	0,293	0,567	0,699	0,756	0,216	0,289	0,570	0,694	1,72%	1,69%			
6 h	1	3505,5	3522,8	3528,2	3548,9	3557,4	3561,7	0,220	0,289	0,553	0,661	0,716	0,216	0,289	0,570	0,694	1,60%	1,69%			
	2	3457,8	3474,1	3480,1	3504,3	3514,6	3517,9	0,208	0,284	0,592	0,723	0,765	0,216	0,289	0,570	0,694	1,74%	1,69%			
	3																				
7 h	1																				
	2																				
	3																				

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP II - Relação a/c = 0,52

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm ²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm ²)			ABSORÇÃO - 72 horas			
		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	Qtde	%	% méd.	
		Seco	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas			
0 h	1	3698,8	3715,2	3718,7	3729,5	3733,3	3735,0	0,209	0,253	0,391	0,439	0,461	0,222	0,277	0,454	0,519	0,548	36,20	0,98%	1,17%
	2	3647,7	3666,9	3672,1	3689,7	3697,1	3700,2	0,244	0,311	0,535	0,629	0,668						52,50	1,44%	
	3	3704,5	3721,1	3725,5	3738,8	3743,0	3744,9	0,211	0,267	0,437	0,490	0,514						40,40	1,09%	
2 h	1	3659,3	3679,3	3684,8	3695,3	3705,7	3709,2	0,255	0,325	0,458	0,591	0,635	0,263	0,350	0,460	0,592	0,639	49,90	1,36%	1,38%
	2	3655,2	3676,0	3683,1	3693,1	3700,6	3704,3	0,265	0,355	0,483	0,578	0,625						49,10	1,34%	
	3	3628,4	3649,6	3657,5	3663,0	3676,0	3680,0	0,270	0,371	0,441	0,606	0,657						51,60	1,42%	
4 h	1	3682,2	3698,8	3704,1	3719,2	3725,4	3729,8	0,211	0,279	0,471	0,550	0,606	0,202	0,258	0,431	0,495	0,538	47,60	1,29%	1,15%
	2	3708,5	3723,8	3727,5	3739,9	3743,8	3746,4	0,195	0,242	0,400	0,449	0,483						37,90	1,02%	
	3	3661,0	3676,7	3680,9	3694,1	3699,1	3702,2	0,200	0,253	0,421	0,485	0,525						41,20	1,13%	
5 h	1	3645,4	3662,1	3667,8	3690,2	3702,6	3710,6	0,213	0,285	0,570	0,728	0,830	0,218	0,277	0,482	0,566	0,624	65,20	1,79%	1,34%
	2	3668,4	3687,7	3693,2	3709,2	3714,7	3719,0	0,246	0,316	0,519	0,590	0,644						50,60	1,38%	1,34%
	3	3721,2	3736,6	3739,3	3749,1	3751,0	3752,4	0,196	0,230	0,355	0,379	0,397						31,20	0,84%	
6 h	1	3701,4	3713,3	3716,8	3725,8	3729,7	3729,6	0,152	0,196	0,311	0,360	0,359	0,157	0,199	0,321	0,377	0,374	28,20	0,76%	0,80%
	2	3682,1	3693,3	3695,5	3702,8	3708,1	3704,8	0,143	0,171	0,264	0,331	0,289						22,70	0,62%	
	3	3659,3	3673,3	3677,3	3689,9	3693,9	3696,6	0,178	0,229	0,390	0,441	0,475						37,30	1,02%	
7 h	1	3612,0	3623,6	3626,5	3636,8	3641,8	3643,0	0,148	0,185	0,316	0,379	0,395	0,147	0,183	0,330	0,389	0,401	31,00	0,86%	0,86%
	2	3688,4	3700,5	3703,4	3720,7	3725,1	3726,5	0,154	0,191	0,411	0,467	0,485						38,10	1,03%	
	3	3710,7	3721,6	3724,3	3731,3	3735,9	3736,1	0,139	0,173	0,262	0,321	0,323						25,40	0,68%	

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em LABORATÓRIO com Cimento CP II - Relação a/c = 0,40

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm ²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm ²)			ABSORÇÃO - 72 horas			
		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	Qtde	%	% méd.	
		Seco	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas			
0 h	1	3703,2	3717,9	3723,4	3726,8	3728,7	3731,6	0,187	0,257	0,300	0,325	0,362	0,223	0,286	0,379	0,437	0,467	28,40	0,77%	0,99%
	2	3715,5	3735,1	3739,9	3744,1	3750,5	3753,7	0,250	0,311	0,364	0,446	0,486						38,20	1,03%	
	3	3697,7	3716,0	3720,4	3734,9	3740,1	3741,1	0,233	0,289	0,474	0,540	0,553						43,40	1,17%	
2 h	1	3734,5	3746,9	3750,1	3759,1	3761,6	3762,1	0,158	0,199	0,313	0,345	0,351	0,173	0,218	0,342	0,376	0,391	27,60	0,74%	0,82%
	2	3746,9	3761,4	3765,0	3775,0	3777,5	3779,0	0,185	0,230	0,358	0,390	0,409						32,10	0,86%	
	3	3714,1	3728,0	3731,8	3742,0	3745,0	3746,6	0,177	0,225	0,355	0,393	0,414						32,50	0,88%	
4 h	1	3703,5	3709,9	3713,2	3726,4	3732,8	3734,4	0,081	0,124	0,292	0,373	0,393	0,138	0,188	0,374	0,448	0,465	30,90	0,83%	0,99%
	2	3684,1	3697,6	3702,1	3717,4	3721,9	3723,7	0,172	0,229	0,424	0,481	0,504						39,60	1,07%	
	3	3671,2	3683,7	3687,9	3703,2	3709,6	3710,2	0,159	0,213	0,407	0,489	0,497						39,00	1,06%	
5 h	1	3695,6	3705,0	3708,9	3723,4	3728,8	3732,0	0,120	0,169	0,354	0,423	0,463	0,156	0,204	0,355	0,400	0,430	36,40	0,98%	0,91%
	2	3664,8	3679,9	3683,5	3693,8	3696,3	3698,8	0,192	0,238	0,369	0,401	0,433						34,00	0,93%	
	3	3706,2	3718,4	3722,2	3733,0	3735,8	3737,0	0,155	0,204	0,341	0,377	0,392						30,80	0,83%	
6 h	1	3692,3	3702,9	3705,3	3713,3	3715,8	3716,1	0,135	0,166	0,267	0,299	0,303	0,140	0,180	0,326	0,373	0,394	23,80	0,64%	0,85%
	2	3666,0	3675,8	3678,9	3690,6	3695,5	3697,0	0,125	0,164	0,313	0,376	0,395						31,00	0,85%	
	3	3625,2	3637,7	3641,6	3656,4	3660,2	3663,2	0,159	0,209	0,397	0,446	0,484						38,00	1,05%	
7 h	1																			
	2																			
	3																			

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em CENTRAL com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,68

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm ²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm ²)			ABSORÇÃO - 72 horas		
		Seco		6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	Qtde	%
		3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas		
0 h	1	3598,6	3616,0	3620,2	3629,4	3633,6	3638,1	0,222	0,275	0,392	0,446	0,503	0,224	0,281	0,407	0,463	0,508	39,50	1,10%
	2	3616,4	3634,0	3638,6	3648,8	3653,7	3656,5	0,224	0,283	0,413	0,475	0,511						40,10	1,11%
	3	3624,5	3642,2	3646,8	3657,1	3661,2	3664,6	0,225	0,284	0,415	0,467	0,511						40,10	1,11%
2 h	1	3631,6	3648,7	3653,7	3666,3	3672,4	3674,1	0,218	0,281	0,442	0,519	0,541	0,231	0,294	0,447	0,516	0,537	42,50	1,17%
	2	3604,2	3622,7	3626,9	3636,4	3640,0	3641,1	0,236	0,289	0,410	0,456	0,470						36,90	1,02%
	3	3580,2	3599,1	3604,6	3618,7	3625,1	3627,4	0,241	0,311	0,490	0,572	0,601						47,20	1,32%
4 h	1	3615,0	3630,8	3634,7	3644,7	3649,0	3649,6	0,201	0,251	0,378	0,433	0,441	0,204	0,264	0,429	0,509	0,532	34,60	0,96%
	2	3594,0	3610,0	3614,9	3628,1	3634,5	3636,5	0,204	0,266	0,434	0,516	0,541						42,50	1,18%
	3	3529,4	3545,7	3551,1	3566,7	3574,9	3577,7	0,208	0,276	0,475	0,579	0,615						48,30	1,37%
5 h	1	3518,1	3532,4	3540,3	3551,2	3560,7	3564,7	0,182	0,283	0,421	0,542	0,593	0,193	0,286	0,432	0,548	0,633	46,60	1,32%
	2	3538,2	3551,3	3560,1	3568,3	3578,3	3591,4	0,167	0,279	0,383	0,511	0,677						53,20	1,50%
	3	3528,1	3546,2	3551,4	3566,6	3574,5	3577,5	0,230	0,297	0,490	0,591	0,629						49,40	1,40%
6 h	1	3477,7	3488,6	3498,8	3512,7	3520,4	3528,9	0,139	0,269	0,446	0,544	0,652	0,184	0,285	0,469	0,533	0,603	51,20	1,47%
	2	3558,6	3576,9	3583,0	3600,8	3604,1	3607,9	0,233	0,311	0,537	0,579	0,628						49,30	1,39%
	3	3494,9	3509,1	3516,5	3528,3	3532,4	3536,5	0,181	0,275	0,425	0,477	0,530						41,60	1,19%
7 h	1																		
	2																		
	3																		

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em CENTRAL com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,52

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm ²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm ²)			ABSORÇÃO - 72 horas		
		Seco		6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	Qtde	%
		3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas	3 horas	6 horas		
0 h	1	3596,0	3602,8	3606,2	3616,1	3624,6	3627,7	0,087	0,130	0,256	0,364	0,404	0,090	0,132	0,262	0,372	0,418	31,70	0,88%
	2	3602,5	3610,5	3614,2	3626,0	3635,4	3639,5	0,102	0,149	0,299	0,419	0,471						37,00	1,03%
	3	3556,3	3562,8	3565,4	3574,4	3582,5	3586,1	0,083	0,116	0,230	0,334	0,379						29,80	0,84%
2 h	1	3641,4	3649,7	3653,9	3663,8	3671,4	3674,3	0,106	0,159	0,285	0,382	0,419	0,098	0,149	0,278	0,382	0,419	32,90	0,90%
	2	3642,8	3651,7	3656,3	3667,0	3675,2	3677,8	0,113	0,172	0,308	0,413	0,446						35,00	0,96%
	3	3628,7	3634,7	3637,8	3647,6	3656,2	3659,6	0,076	0,116	0,241	0,350	0,393						30,90	0,85%
4 h	1	3543,6	3550,1	3553,6	3564,0	3570,4	3573,4	0,083	0,127	0,260	0,341	0,379	0,107	0,164	0,323	0,413	0,448	29,80	0,84%
	2	3523,6	3532,7	3537,6	3551,2	3558,5	3561,9	0,116	0,178	0,351	0,444	0,488						38,30	1,09%
	3	3531,9	3541,6	3546,5	3560,0	3567,5	3569,3	0,124	0,186	0,358	0,453	0,476						37,40	1,06%
5 h	1	3619,9	3626,4	3630,6	3641,7	3650,3	3652,9	0,083	0,136	0,278	0,387	0,420	0,087	0,139	0,290	0,410	0,449	33,00	0,91%
	2	3493,9	3501,7	3505,8	3518,1	3527,6	3531,0	0,099	0,152	0,308	0,429	0,472						37,10	1,06%
	3	3543,4	3549,6	3553,5	3565,8	3575,8	3579,2	0,079	0,129	0,285	0,413	0,456						35,80	1,01%
6 h	1	3428,2	3434,6	3437,6	3448,8	3456,8	3459,5	0,081	0,120	0,262	0,364	0,399	0,092	0,142	0,294	0,403	0,438	31,30	0,91%
	2	3481,3	3488,4	3492,4	3505,0	3514,1	3517,3	0,090	0,141	0,302	0,418	0,458						36,00	1,03%
	3	3545,8	3553,9	3558,8	3570,8	3579,3	3581,8	0,103	0,166	0,318	0,427	0,458						36,00	1,02%
7 h	1	3678,0	3690,8	3696,6	3700,9	3703,6	3704,5	0,163	0,237	0,292	0,326	0,337	0,095	0,155	0,256	0,377	0,441	26,50	0,72%
	2	3624,3	3626,2	3625,8	3634,2	3649,3	3656,9	0,024	0,019	0,126	0,318	0,415						32,60	0,90%
	3	3640,4	3648,1	3656,9	3668,0	3678,7	3685,2	0,098	0,210	0,351	0,488	0,570						44,80	1,23%

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em CENTRAL com Cimento CP IV - Relação a/c = 0,40

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm ²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm ²)			ABSORÇÃO - 72 horas								
		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		Qtde	%	% méd.	
		Seco																							
0 h	1	3696,8	3708,9	3711,3	3715,7	3718,9	3720,4	0,154	0,185	0,241	0,281	0,300	0,155	0,185	0,248	0,275	0,302	23,60	0,64%						
	2	3705,7	3718,5	3720,7	3726,2	3728,0	3730,2	0,163	0,191	0,261	0,284	0,312	0,155	0,185	0,248	0,275	0,302	24,50	0,66%						
	3	3729,9	3741,5	3744,1	3748,9	3750,4	3752,9	0,148	0,181	0,242	0,261	0,293	0,155	0,185	0,248	0,275	0,302	23,00	0,62%						
2 h	1	3714,3	3726,2	3729,2	3734,1	3735,6	3738,0	0,152	0,190	0,252	0,271	0,302	0,150	0,184	0,248	0,271	0,306	23,70	0,64%						
	2	3709,6	3721,7	3724,4	3730,0	3731,5	3734,6	0,154	0,188	0,260	0,279	0,318	0,150	0,184	0,248	0,271	0,306	25,00	0,67%						
	3	3711,9	3723,2	3725,5	3730,2	3732,5	3735,2	0,144	0,173	0,233	0,262	0,297	0,150	0,184	0,248	0,271	0,306	23,30	0,63%						
4 h	1	3684,3	3694,5	3697,4	3702,3	3704,2	3706,9	0,130	0,167	0,229	0,253	0,288	0,130	0,164	0,224	0,259	0,296	22,60	0,61%						
	2	3690,7	3701,1	3703,6	3709,1	3711,5	3714,6	0,132	0,164	0,234	0,265	0,304	0,130	0,164	0,224	0,259	0,296	23,90	0,65%						
	3	3696,3	3706,4	3709,0	3712,7	3716,7	3719,6	0,129	0,162	0,209	0,260	0,297	0,130	0,164	0,224	0,259	0,296	23,30	0,63%						
5 h	1	3702,3	3712,3	3714,6	3719,2	3721,3	3724,1	0,127	0,157	0,215	0,242	0,278	0,115	0,140	0,194	0,239	0,277	21,80	0,59%						
	2	3681,3	3689,9	3691,6	3695,8	3699,4	3702,1	0,109	0,131	0,185	0,230	0,265	0,115	0,140	0,194	0,239	0,277	20,80	0,57%						
	3	3665,0	3673,5	3675,3	3679,3	3684,3	3687,6	0,108	0,131	0,182	0,246	0,288	0,115	0,140	0,194	0,239	0,277	22,60	0,62%						
6 h	1	3580,4	3588,6	3590,7	3594,7	3597,4	3600,4	0,104	0,131	0,182	0,216	0,255	0,109	0,133	0,182	0,228	0,261	20,00	0,56%						
	2	3611,8	3619,9	3621,7	3625,7	3629,8	3632,2	0,103	0,126	0,177	0,229	0,260	0,109	0,133	0,182	0,228	0,261	20,40	0,56%						
	3	3633,4	3642,8	3644,5	3648,1	3652,1	3654,6	0,120	0,141	0,187	0,238	0,270	0,109	0,133	0,182	0,228	0,261	21,20	0,58%						
7 h	1																								
	2																								
	3																								

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em CENTRAL com Cimento CP II - Relação a/c = 0,68

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm ²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm ²)			ABSORÇÃO - 72 horas								
		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		3 horas		6 horas		24 horas		48 horas		72 horas		Qtde	%	% méd.	
		Seco																							
0 h	1	3583,0	3597,1	3605,2	3630,3	3644,8	3648,2	0,180	0,283	0,602	0,787	0,830	0,205	0,313	0,631	0,809	0,847	65,20	1,82%						
	2	3574,1	3590,8	3599,9	3625,3	3639,5	3642,5	0,213	0,328	0,652	0,833	0,871	0,205	0,313	0,631	0,809	0,847	68,40	1,91%						
	3	3577,8	3595,3	3603,5	3628,0	3641,1	3643,7	0,223	0,327	0,639	0,806	0,839	0,205	0,313	0,631	0,809	0,847	65,90	1,84%						
2 h	1	3533,4	3551,7	3559,5	3583,4	3599,0	3605,1	0,233	0,332	0,637	0,835	0,913	0,233	0,330	0,640	0,850	0,932	71,70	2,03%						
	2	3525,4	3543,8	3551,3	3576,3	3593,7	3600,7	0,234	0,330	0,648	0,870	0,959	0,233	0,330	0,640	0,850	0,932	75,30	2,14%						
	3	3539,9	3558,1	3565,6	3589,7	3606,2	3612,6	0,232	0,327	0,634	0,844	0,926	0,233	0,330	0,640	0,850	0,932	72,70	2,05%						
4 h	1	3553,8	3572,4	3580,2	3602,1	3616,8	3623,3	0,237	0,336	0,615	0,802	0,885	0,232	0,329	0,610	0,806	0,887	69,50	1,96%						
	2	3524,9	3543,7	3551,4	3574,1	3590,9	3598,2	0,239	0,337	0,626	0,840	0,933	0,232	0,329	0,610	0,806	0,887	73,30	2,08%						
	3	3526,9	3544,2	3551,6	3573,2	3587,0	3593,1	0,220	0,314	0,590	0,775	0,843	0,232	0,329	0,610	0,806	0,887	66,20	1,88%						
5 h	1	3479,8	3500,0	3507,7	3530,9	3547,0	3552,6	0,257	0,355	0,651	0,856	0,927	0,244	0,340	0,629	0,834	0,906	72,80	2,09%						
	2	3429,0	3447,8	3455,5	3478,7	3494,4	3500,5	0,239	0,337	0,633	0,833	0,910	0,244	0,340	0,629	0,834	0,906	71,50	2,09%						
	3	3474,6	3493,2	3500,2	3522,0	3538,4	3543,8	0,237	0,326	0,604	0,812	0,881	0,244	0,340	0,629	0,834	0,906	69,20	1,99%						
6 h	1	3482,0	3497,9	3504,4	3523,2	3536,4	3540,8	0,202	0,285	0,525	0,693	0,749	0,222	0,312	0,579	0,784	0,839	58,80	1,69%						
	2	3419,8	3438,0	3445,6	3467,2	3481,5	3487,0	0,232	0,328	0,604	0,786	0,856	0,222	0,312	0,579	0,784	0,839	67,20	1,97%						
	3	3471,1	3489,3	3496,3	3519,0	3539,7	3542,7	0,232	0,321	0,610	0,873	0,912	0,222	0,312	0,579	0,784	0,839	71,60	2,06%						
7 h	1																								
	2																								
	3																								

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em CENTRAL com Cimento CP II - Relação a/c = 0,52

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm²)			ABSORÇÃO - 72 horas			
		3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas		3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	Qtde	%	% méd.
0 h	1	3585,5	3602,5	3609,6	3628,7	3641,1	3644,8	0,216	0,307	0,550	0,708	0,755	0,241	0,452	0,633	0,633	59,30	1,65%	1,38%	1,38%
	2	3583,2	3595,2	3600,9	3618,2	3626,5	3632,6	0,153	0,235	0,446	0,551	0,629	0,167	0,452	0,558	0,633	49,40	1,38%	1,38%	1,38%
	3	3600,3	3610,7	3615,3	3628,6	3632,8	3640,7	0,132	0,191	0,360	0,414	0,514	0,160	0,248	0,640	0,692	40,40	1,12%	1,12%	1,53%
2 h	1	3582,9	3596,9	3604,1	3627,5	3636,4	3640,2	0,178	0,270	0,568	0,681	0,730	0,160	0,523	0,640	0,692	57,30	1,60%	1,55%	1,53%
	2	3537,5	3547,6	3554,6	3577,0	3588,4	3592,4	0,129	0,218	0,503	0,648	0,699	0,160	0,523	0,640	0,692	54,90	1,55%	1,44%	1,44%
	3	3528,5	3542,0	3548,7	3567,6	3575,0	3579,4	0,172	0,257	0,498	0,592	0,648	0,160	0,523	0,640	0,692	50,90	1,44%	1,44%	1,44%
4 h	1	3590,1	3594,5	3596,8	3606,4	3616,0	3627,5	0,056	0,085	0,208	0,330	0,476	0,141	0,415	0,557	0,661	37,40	1,04%	1,04%	1,45%
	2	3562,3	3575,2	3582,0	3599,8	3610,2	3616,2	0,164	0,251	0,477	0,610	0,686	0,141	0,415	0,557	0,661	53,90	1,51%	1,51%	1,45%
	3	3565,6	3581,6	3588,8	3609,6	3623,1	3630,0	0,204	0,295	0,560	0,732	0,820	0,197	0,553	0,640	0,728	64,40	1,81%	1,81%	1,61%
5 h	1	3547,8	3565,5	3572,7	3592,2	3600,4	3604,7	0,225	0,317	0,565	0,670	0,724	0,197	0,553	0,640	0,728	56,90	1,60%	1,52%	1,61%
	2	3526,4	3541,2	3548,8	3568,1	3573,8	3580,1	0,188	0,285	0,531	0,604	0,684	0,195	0,533	0,649	0,734	53,70	1,52%	1,54%	1,62%
	3	3579,3	3593,2	3600,5	3623,4	3630,0	3640,3	0,177	0,270	0,561	0,646	0,777	0,146	0,542	0,653	0,736	61,00	1,70%	1,70%	1,67%
6 h	1	3567,4	3585,3	3593,3	3617,0	3626,6	3630,1	0,228	0,330	0,632	0,754	0,798	0,195	0,533	0,649	0,734	62,70	1,76%	1,57%	1,62%
	2	3550,8	3568,2	3574,6	3591,1	3600,2	3606,5	0,222	0,303	0,513	0,629	0,709	0,195	0,533	0,649	0,734	55,70	1,57%	1,54%	1,62%
	3	3546,2	3556,9	3563,1	3582,0	3590,6	3600,7	0,136	0,215	0,456	0,565	0,694	0,146	0,542	0,653	0,736	54,50	1,54%	1,57%	1,67%
7 h	1	3493,6	3505,6	3513,3	3536,9	3542,3	3548,6	0,153	0,251	0,551	0,620	0,700	0,146	0,542	0,653	0,736	55,00	1,57%	1,57%	1,67%
	2	3432,9	3444,2	3451,8	3473,6	3480,9	3486,8	0,144	0,241	0,518	0,611	0,686	0,146	0,542	0,653	0,736	53,90	1,57%	1,57%	1,67%
	3	3482,9	3494,1	3502,1	3526,7	3540,1	3547,5	0,143	0,244	0,558	0,728	0,823	0,146	0,542	0,653	0,736	64,60	1,85%	1,85%	1,67%

Dados Individuais de Absorção por Capilaridade - Concreto Produzido em CENTRAL com Cimento CP II - Relação a/c = 0,40

TEMPO	Nº CP	MASSA DOS CORPOS-DE-PROVA (g)						ABSORÇÃO (g/cm²)						ABSORÇÃO MÉDIA (g/cm²)			ABSORÇÃO - 72 horas			
		3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas		3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas	Qtde	%	% méd.
0 h	1	3604,1	3612,4	3618,9	3641,6	3648,5	3652,2	0,106	0,188	0,477	0,565	0,612	0,073	0,360	0,446	0,497	48,10	1,33%	1,08%	1,08%
	2	3611,5	3614,4	3615,9	3623,0	3628,0	3630,0	0,037	0,056	0,146	0,210	0,236	0,073	0,360	0,446	0,497	18,50	0,51%	0,51%	1,08%
	3	3607,7	3613,6	3620,5	3643,6	3651,8	3658,2	0,075	0,103	0,457	0,561	0,643	0,073	0,360	0,446	0,497	50,50	1,40%	1,40%	1,08%
2 h	1	3583,8	3592,6	3598,1	3620,1	3626,0	3630,6	0,112	0,182	0,462	0,537	0,596	0,103	0,401	0,510	0,559	46,80	1,31%	1,23%	1,23%
	2	3536,8	3545,6	3550,1	3569,2	3578,7	3581,6	0,112	0,169	0,413	0,533	0,570	0,103	0,401	0,510	0,559	44,80	1,27%	1,13%	1,23%
	3	3546,2	3552,8	3556,1	3571,9	3582,3	3586,2	0,084	0,126	0,327	0,460	0,509	0,103	0,401	0,510	0,559	40,00	1,13%	1,13%	1,23%
4 h	1	3552,6	3559,9	3566,9	3580,1	3590,9	3600,2	0,093	0,182	0,350	0,488	0,606	0,106	0,392	0,538	0,628	47,60	1,34%	1,39%	1,39%
	2	3545,2	3553,2	3560,4	3582,4	3593,6	3600,2	0,102	0,194	0,474	0,616	0,700	0,106	0,392	0,538	0,628	55,00	1,55%	1,55%	1,39%
	3	3562,4	3572,1	3579,0	3590,0	3602,4	3607,7	0,124	0,211	0,351	0,509	0,577	0,106	0,392	0,538	0,628	45,30	1,27%	1,27%	1,39%
5 h	1	3546,3	3553,3	3560,0	3581,1	3587,4	3596,1	0,089	0,174	0,443	0,523	0,634	0,101	0,407	0,544	0,637	49,80	1,40%	1,41%	1,41%
	2	3563,4	3572,6	3578,8	3590,6	3603,5	3610,7	0,117	0,196	0,346	0,511	0,602	0,101	0,407	0,544	0,637	47,30	1,33%	1,33%	1,41%
	3	3553,2	3560,9	3566,3	3587,1	3600,1	3606,1	0,098	0,167	0,432	0,597	0,674	0,101	0,407	0,544	0,637	52,90	1,49%	1,49%	1,41%
6 h	1	3525,7	3536,4	3542,4	3564,0	3575,2	3578,1	0,136	0,213	0,488	0,630	0,667	0,115	0,415	0,575	0,629	52,40	1,49%	1,49%	1,40%
	2	3529,5	3538,2	3545,2	3560,8	3577,2	3583,0	0,111	0,200	0,399	0,607	0,681	0,115	0,415	0,575	0,629	53,50	1,52%	1,52%	1,40%
	3	3524,3	3531,9	3538,7	3552,5	3562,5	3566,7	0,097	0,183	0,359	0,486	0,540	0,115	0,415	0,575	0,629	42,40	1,20%	1,20%	1,40%
7 h	1																			
	2																			
	3																			

ANEXO III – Abatimentos Individuais e Quantidades de Aditivo Superplastificante Utilizadas

Concretos Produzidos em LABORATÓRIO com Cimento CP IV

a/c	Tempo Estudado	Condições Ambientais		Abatimento Inicial (mm)	Super Plastificante (g)	Abatimento Final (mm)
		Temp. (°C)	Umidade (%)			
0,68	0 h	15,4	79,0	115	-	-
	2 h	17,8	76,0	75	45,6	130
	3 h	-	-	-	-	-
	4 h	19,6	65,0	75	30,4	120
	5 h	19,6	62,0	95	15,2	120
	6 h	19,9	61,0	75	15,2	125
0,52	0 h	14,4	82,0	130	-	-
	2 h	17,0	71,0	85	20,0	120
	3 h	19,2	62,0	75	20,0	115
	4 h	21,1	51,0	70	32,0	125
	5 h	22,2	50,0	80	20,0	130
	6 h	23,8	48,0	75	10,0	110
	7 h	24,0	44,0	60	10,0	125
0,40	0 h	13,7	81,0	125	-	-
	2 h	16,2	75,0	75	31,0	110
	3 h	17,2	67,0	85	15,5	110
	4 h	18,0	62,0	60	25,5	130
	5 h	19,1	59,0	85	13,0	120
	6 h	20,1	54,0	85	7,5	125

Concretos Produzidos em LABORATÓRIO com Cimento CP II

a/c	Tempo Estudado	Condições Ambientais		Abatimento Inicial (mm)	Super Plastificante (g)	Abatimento Final (mm)
		Temp. (°C)	Umidade (%)			
0,68	0 h	18,1	90,0	120	-	-
	2 h	18,0	89,0	70	45,0	115
	3 h	18,1	90,0	85	30,0	125
	4 h	18,5	91,0	80	24,0	115
	5 h	18,5	90,0	55	36,0	120
	6 h	18,4	93,0	45	30,0	105
0,52	0 h	17,2	90,0	140	-	-
	2 h	18,3	95,0	90	6,0	120
	3 h	20,7	92,0	85	15,7	115
	4 h	22,4	84,0	75	25,5	120
	5 h	22,6	81,0	70	31,4	120
	6 h	22,9	80,0	60	31,4	120
	7 h	22,7	80,0	40	19,6	100
0,40	0 h	16,6	73,0	130	-	-
	2 h	17,9	73,0	70	35,7	110
	3 h	18,5	73,0	85	25,5	105
	4 h	18,6	74,0	75	35,7	120
	5 h	18,9	75,0	65	25,5	110
	6 h	19,4	75,0	50	25,5	110

Concretos Produzidos na CENTRAL com Cimento CP IV

a/c	Tempo Estudado	Condições Ambientais		Abatimento Inicial (mm)	Super Plastificante (g)	Abatimento Final (mm)
		Temp. (°C)	Umidade (%)			
0,68	0 h	14,3	88,0	120	-	-
	2 h	16,5	77,0	105	1500,0	150
	3 h	17,0	72,0	110	500,0	125
	4 h	18,6	61,0	90	750,0	120
	5 h	19,2	57,0	80	12000,0	100
	6 h	20,1	50,0	55	22000,0	95
0,52	0 h	12,8	86,0	120	-	-
	2 h	14,2	81,0	105	340,0	115
	3 h	14,6	77,0	95	400,0	115
	4 h	14,9	75,0	90	594,0	120
	5 h	14,8	61,0	95	990,0	110
	6 h	15,2	68,0	60	1980,0	100
	7 h	14,4	71,0	40	2376,0	95
0,40	0 h	13,7	73,0	105	-	-
	2 h	16,5	68,0	70	2007,0	110
	3 h	19,6	64,0	90	700,0	115
	4 h	19,5	56,0	70	1542,0	100
	5 h	20,6	51,0	65	3855,0	100
	6 h	21,2	51,0	55	3855,0	90

Concretos Produzidos na CENTRAL com Cimento CP II

a/c	Tempo Estudado	Condições Ambientais		Abatimento Inicial (mm)	Super Plastificante (g)	Abatimento Final (mm)
		Temp. (°C)	Umidade (%)			
0,68	0 h	10,3	91,0	120	-	-
	2 h	13,7	83,0	80	1050,0	130
	3 h	15,7	73,0	80	1050,0	110
	4 h	17,3	68,0	80	1500,0	110
	5 h	18,4	62,0	50	4200,0	110
	6 h	19,1	57,0	40	4200,0	100
0,52	0 h	15,0	85,0	125	-	-
	2 h	15,8	81,0	80	1572,0	110
	3 h	16,8	74,0	80	1572,0	120
	4 h	19,1	66,0	80	1886,0	110
	5 h	22,8	70,0	70	4087,0	110
	6 h	19,3	72,0	50	5659,0	100
	7 h	18,7	72,0	30	8322,0	80
0,40	0 h	14,7	99,0	120	-	-
	2 h	14,6	98,0	85	1275,0	110
	3 h	15,1	98,0	95	1275,0	120
	4 h	15,1	99,0	80	2040,0	110
	5 h	15,6	97,0	50	3060,0	110
	6 h	16,0	96,0	30	3825,0	95

Concretos Produzidos em LABORATÓRIO com Cimento CP IV - MISTURA ADICIONAL

a/c	Tempo Estudado	Condições Ambientais		Abatimento Inicial (mm)	Super Plastificante (g)	Abatimento Final (mm)
		Temp. (°C)	Umidade (%)			
0,68	0 h	29,5	60,0	130	-	-
	2 h	32,0	58,0	65	42,0	120
	3 h	32,7	48,0	65	30,0	110
	4 h	31,0	51,0	45	60,0	120
	5 h	30,9	62,0	40	40,0	135
	6 h	30,2	54,0	30	30,0	140