

1 **ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DO FATOR ÁGUA CIMENTO E DIFERENTES TIPOS**
2 **DE CURA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

3 ⁽¹⁾Wilton Bernardo da Cruz

4 ⁽²⁾Maria Cláudia Sousa Alvarenga

5 ⁽¹⁾Estudante do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

6 ⁽²⁾Professora Adjunta do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Rio
7 Paranaíba

8 Presidente da banca: Maria Cláudia Sousa Alvarenga

9 Membro 1: Simone Rodrigues Campos Ruas

10 Membro 2: Reynaldo Furtado Faria Filho

11 **26/02/2018**

12 **RESUMO**

13 O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo. Dentre várias qualidades, destaca-
14 se a resistência à compressão. As características do concreto nos estados fresco e endurecido estão
15 ligadas diretamente a quantidade de água. Frente aos erros cometidos durante sua fabricação, cita-
16 se o excesso da quantidade de água na mistura e a cura inadequada. Neste trabalho foi estudada a
17 interferência do tipo de cura no concreto, aplicando em corpos de prova a cura úmida, por aspersão
18 e ao ar, variando-se ainda a relação água/cimento (*a/c*). A fim de retratar a realidade de muitas
19 obras, utilizou-se um traço em volume de 1:3:3 e as relações *a/c* iguais a 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1,0. Os
20 maiores valores de resistência foram obtidos aos 28 dias e corresponderam à modalidade de cura
21 úmida, seguidas por cura por aspersão e ao ar, em todas as relações *a/c* utilizadas, exceto na 1,0.
22 Conclui-se que o pouco ou inexistente contato do concreto com a água após sua produção resulta
23 em piores valores de resistência à compressão, onde foi obtido o menor valor de 8,3 MPa aos 28
24 dias sob cura ao ar. Sob as condições adequadas, o maior valor, de 20,0 MPa, correspondeu àquele
25 de menor relação *a/c* estudado, igual a 0,6. Quanto à adição de mais água à massa para a obtenção
26 de uma maior fluidez, foi verificada a tendência no decréscimo de resistência quanto maior a
27 quantidade empregada na mistura.

28 **PALAVRAS-CHAVE**

29 Cura ao ar, Cura por aspersão, Cura úmida, Cura do concreto, Relação água/cimento.

30
31 **STUDY ON THE INFLUENCE OF THE CEMENT WATER FACTOR AND DIFFERENT**
32 **TYPES OF CURE IN CONCRETE COMPRESSION RESISTANCE**

35 **ABSTRACT**

36 Concrete is the most commonly used building material in the world. Among several qualities, the
37 resistance to compression is outstanding. The characteristics of the concrete in the fresh and
38 hardened states are directly linked to the amount of water. In view of the errors made during its
39 manufacture, the excess of the amount of water in the mixture and the inadequate cure are
40 mentioned. In this work, it was studied the interference of the curing type in the concrete, applying
41 wet curing, spraying and air to the test specimens, varying the water / cement ratio (a / c). In order
42 to portray the reality of many works, a trace in volume of 1: 3: 3 was used and the a / c ratios equal
43 to 0.6; 0.7; 0.8; 0.9 and 1.0. The highest values of resistance were obtained at 28 days and
44 corresponded to the modality of wet curing, followed by curing by spraying and air, in all a / c
45 ratios used, except at 1.0. The results allowed the observation and observation that the little or
46 nonexistent contact of the concrete with the water after its production results in worse values of
47 resistance to compression, where the lowest value of 8.3 MPa was obtained at 28 days under air
48 curing. Under the appropriate conditions, the highest value of 20.0 MPa corresponded to the lowest
49 value a / c studied, equal to 0.6. As for the addition of more water to the mass to obtain a greater
50 fluidity, the tendency in the decrease of resistance was verified the higher the amount used in the
51 mixture.

52 **KEYWORDS**

53 Cure to air, Spray cure, Wet curing, Cure of concrete, Water/cement ratio

54 **1. INTRODUÇÃO**

55 O concreto é um aglomerado artificial resultado da mistura de cimento, agregados e água,
56 onde o cimento torna-se uma pasta resistente ao ser umedecido, além de agrupar os agregados. O
57 material tem uso frequente na construção civil pela alta resistência à compressão, custo
58 relativamente baixo, facilidade de execução em obra, versatilidade, durabilidade e adaptabilidade às
59 mais variadas formas geométricas. Suas propriedades podem ser modificadas com a utilização de
60 aditivos específicos, dependendo da sua finalidade.

61 Para que o concreto confira suas propriedades físicas tanto no estado fresco quanto no
62 endurecido, diversas etapas devem ser cumpridas em sua fabricação. A principal propriedade no
63 estado fresco é a trabalhabilidade, enquanto que no estado endurecido sobressai-se a resistência à
64 compressão, ambas ligadas diretamente à quantidade de água.

65 Alguns erros durante a construção podem provocar danos a estrutura de concreto. Destaca-se
66 como falhas o excesso de água adicionada na mistura, que provoca um aumento na relação
67 água/cimento (a/c), realizada em prol de um concreto mais fluido, e a realização inadequada da
68 cura, item ligado à falta de informação ou negligência dos operadores.

69 A cura é uma etapa que consiste em evitar a perda de água pelo concreto após o início do
70 seu endurecimento. Negligenciá-la gera consequências indesejadas, como fissurações, além de
71 influenciar na resistência a compressão.

72 Sendo assim, neste trabalho, corpos de prova de concreto foram submetidos a diferentes
73 modalidades de cura: cura ao ar, cura úmida (ou cura por imersão em tanque de água), e cura por
74 aspersão. A cura ao ar foi realizada expondo o concreto moldado ao ambiente, em local protegido
75 da ação solar, ventos fortes e chuva, e sem receber interferências humanas. Na cura úmida, os
76 corpos de foram dispostos em um tanque e submergidos em água, recebendo uma aspersão de 100
77 mL de solução de hidróxido de cálcio numa frequência de duas vezes por semana. A cura por
78 aspersão, por sua vez, cada corpo de prova recebeu o despejo de cerca de um litro de água, que foi
79 realizada duas vezes por dia.

80 Portanto, o objetivo do presente trabalho foi analisar a influência na resistência à
81 compressão do concreto nas idades de 3, 7 e 28 dias quando se varia a quantidade de água de
82 amassamento e o tipo de cura empregado.

83 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

84 2.1. Cura do concreto

85 A cura do concreto tem como função principal garantir que as reações de hidratação do
86 cimento sejam processadas, além de contribuir com a manutenção da temperatura na massa
87 (MEHTA e MONTEIRO, 2014). A ABNT NBR 14931:2004 estabelece que, enquanto não atingir o
88 endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para
89 evitar a perda de água pela superfície exposta. A *Fib (International Federation for Structural*
90 *Concrete) Model Code 2010* acrescenta que a cura e proteção devem ser realizadas para minimizar
91 a retração plástica e assegurar a durabilidade frente à agressividade do ambiente.

92 Bauer (2009) e Mehta e Monteiro (2014) recomendam a utilização de cura úmida por um
93 período mínimo que varia de 5 a 7 dias, e o ideal de 28 dias. Battagin *et al.* (2002) relatam que o
94 tempo mínimo de cura deve ser de acordo com o tipo de cimento e relação *a/c* utilizada no concreto
95 (Tabela 2.1).

96 Tabela 2.1: Tempo mínimo de cura recomendado de acordo com o tipo de cimento e relação *a/c* utilizada no concreto

Tipo de Cimento	Relação água/cimento			
	0,35	0,55	0,65	0,70
CP I e II-32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP IV-32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP III-32	2 dias	5 dias	7 dias	10 dias
CP III e II-40	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias
CP V-ARI	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias

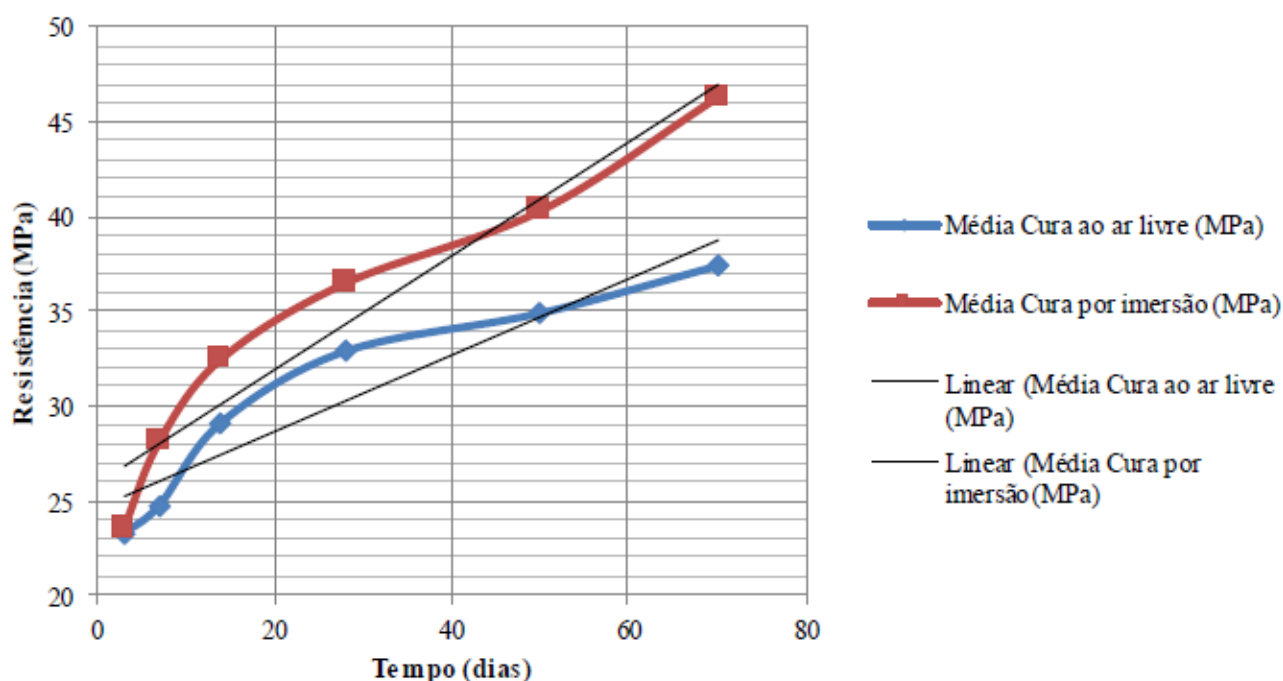
97 Fonte: BATTAGIN et al. (2002)

98 Com relação aos ensaios laboratoriais, a ABNT NBR 5738:2003 estabelece que os corpos de
99 prova devem ser armazenados até o momento do ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio
100 a uma temperatura de 23 ± 2 °C, ou em câmara úmida à semelhante temperatura e umidade relativa
101 do ar superior a 95%, em condições estáticas. A amostra é desmoldada após 24 horas de sua
102 confecção, e submetida à cura até a realização do ensaio de rompimento. Isso visa garantir que o
103 concreto desenvolva todas as reações químicas necessárias para atingir a resistência à compressão
104 desejada, além de evitar a influência de agentes externos, como variações bruscas de temperatura,
105 ação de ventos e contaminantes, entre outros.

106 2.1.1. Tipos de cura

107 No método denominado “cura ao ar livre” não são realizados procedimentos para evitar a
108 evaporação e garantir a hidratação necessária do concreto, sendo o material mantido exposto e
109 sujeito às alterações climáticas no ambiente em que se encontra (VALIN JR. e LIMA, 2008).

110 Diniz *et al.* (2015) comprovaram a influência negativa do processo de cura ao ar livre em
111 concretos convencionais, onde os corpo-de-prova curados por esse método apresentaram um
112 desenvolvimento de resistência à compressão inferior quando se comparado ao método de cura
113 úmida, sendo evidenciado a partir do 7º dia, conforme Figura 2.1:



114
115 Figura 2.1: Curvas de resistência das condições de cura úmida e ao ar livre

116 Fonte: Diniz *et al.* (2015)

117 Este resultado pode ser explicado pelo fato de não existir água exercendo a função protetora
118 do concreto, permitindo interferências externas, como ventos e variações de temperatura, e não
119 assegurando as reações intersticiais (DINIZ *et al.*,2015).

120 A temperatura ambiente é um dos fatores que afeta na resistência mecânica do concreto. Sob
121 menores temperaturas, em um intervalo entre 0¹ e 25° C, há a resultante de um desenvolvimento
122 lento de resistência à compressão até os 14 dias, desencadeado pelo retardo do processo de
123 hidratação, e um ganho a partir de então, aferido a um valor superior àquele submetido à cura em
124 temperatura de 25° C, evidenciando que a estrutura da sua formação cristalina é mais bem formada
125 quão mais lenta é seu processo de hidratação (CECCONELLO e TUTIKIAN, 2012).

126 Deve-se tomar o cuidado de garantir o calor de hidratação do concreto sem permitir a perda
127 de água de hidratação nos períodos de inverno ou de baixas temperaturas, o que pode ser realizado
128 utilizando-se aquecedores para as peças sob cura inicial ou também evitando a utilização de água
129 com temperatura inferior a 20° C ao fabricar o concreto e submetê-lo à cura (LAGUNA e
130 IKEMATSU, 2009).

131 Segundo Valin Jr e Lima (2008), para um concreto de mesma relação água/cimento e
132 dosagem empregada, o método de cura ao ar em câmara úmida sem adição de polímeros
133 compreende melhores resultados quanto à resistência à compressão e a absorção de água se
134 comparada à cura em câmara seca. Ambos os métodos de cura sofrem influências das condições
135 climáticas no decorrer do processo.

136 Battagin *et al.* (2002) concluíram que, de maneira geral, utilizando-se concreto convencional
137 e concreto de alto desempenho (CAD), a resistência à compressão do concreto aumenta conforme
138 acréscimo da permanência na cura em câmara úmida, independente do seu nível de resistência. No
139 método de cura ao ar em câmara seca, a resistência do concreto aos 28 dias com *a/c* igual a 0,30
140 obtida foi a mais afetada sob condições inadequadas de cura quando comparados aos demais
141 concretos utilizados, de *a/c* iguais a 0,45 e 0,65.

142 Gimenes *et al.* (2013) acentuaram o que foi supracitado, em que por meio dos resultados da
143 resistência a compressão a diferentes idades do concreto e do *slump test*, o concreto curado por cura
144 úmida apresentou maior resistência com um menor fator *a/c*. Porém sua trabalhabilidade foi
145 comprometida, conforme baixo valor de abatimento observado. A resistência à compressão
146 diminuiu conforme incremento de água, enquanto que elevou a sua trabalhabilidade.

¹ A ABNT NBR 15900-1:2009 não recomenda a utilização de água de amassamento do concreto à temperatura de 0° C, pelo fato do ponto de fusão da água, coexistindo em dois estados físicos, líquida e sólida (gelo).

147 Conforme Bauer (2009), a cura por aspersão de água consiste do lançamento de água na
148 superfície do concreto, sendo realizada de forma contínua ou intermitente. O mesmo autor indica
149 um ciclo de molhagem diária, a fim de manter o corpo de prova úmido, garantindo a quantidade de
150 água necessária para ocorrência das reações químicas necessárias até que se atinja a resistência
151 esperada.

152 Similar à cura por aspersão de água, a adição de hidróxido de cálcio possibilita maior
153 retenção de água na superfície, tendendo a manter a cura sem interrupções, (PETRUCCI, 1998 e
154 BAUER 2009). A água retida mantém o concreto úmido entre os períodos de molhagem (HELENE
155 e LEVY, 2013).

156

157 2.1.2. Influência da cura nas propriedades físicas e mecânicas do concreto

158 Uma das características mais importantes e que influencia na durabilidade do concreto e no
159 seu comportamento mecânico é a porosidade. Os vazios no interior do corpo podem conter ar, poros
160 capilares e gel, dispostos aleatoriamente, resultando numa complexa microestrutura da pasta de
161 cimento. Com o incremento de água na relação *a/c*, é provocado o aumento da porosidade total,
162 sendo acentuada quanto menor o tempo de cura, resultando também num menor grau de hidratação
163 (CHEN e WU, 2013).

164 A retração por secagem é um fenômeno físico que pode aparecer em um período de semanas
165 ou meses após o endurecimento do concreto, gerando fissuras em lajes e vigas de grande altura, por
166 exemplo (CARMONA FILHO E CARMONA, 2013).

167 O principal mecanismo de retração é a perda de água por evaporação em estado
168 fresco ou endurecido. Água em excesso é normalmente adicionada à massa de
169 concreto para lhe conferir trabalhabilidade, essa água não é consumida na reação
170 de hidratação do cimento. Ao evaporar se deve vencer as forças capilares gerando
171 assim forças de contração na massa. A restrição do encurtamento por uma série de
172 fatores como, por exemplo, o atrito com a base, retração diferencial, rigidez da
173 estrutura, etc. provoca as tensões de tração que levam ao aparecimento ou aumento
174 da abertura de fissuras (CARMONA FILHO E CARMONA, 2013, p.5).

175 O fenômeno químico de hidratação do cimento é um processo exotérmico, que somado ao
176 calor externo do ambiente pode alcançar valores indesejáveis para a estrutura. Pelo fato da perda de
177 umidade ocorrer somente na superfície, um gradiente de umidade se forma no elemento de
178 concreto, que fica sujeito à retração diferencial, que pode ser compensada pelas deformações
179 decorrentes de tensões internas, ou até mesmo resultar em um empenamento caso ocorra secagem
180 assimétrica. As tensões induzidas são modificadas pela relaxação, que ocorre lentamente e pode
181 prevenir a fissuração caso se desenvolva da mesma forma. Porém, se a mesma magnitude de
182 retração ocorrer de modo rápido, as tensões induzidas poderão acarretar na fissuração, sendo
183 denominada de fissuração por retração (NEVILLE, 2016).

184 Frente à cura inadequada, que fornece maior sujeição ao fissuramento, a corrosão das
185 armaduras é uma patologia intrínseca. As aberturas tornam as armaduras sujeitas às ações da
186 umidade e da agressividade do ambiente, favorecendo as reações eletroquímicas que causam sua
187 corrosão (ROCHA, 2015). Rocha *et al.* (2017) notificam que as aberturas tendem a aumentar de
188 tamanho, explicada pela dilatação térmica, visto que as fissuras têm uma temperatura mais baixa
189 que o concreto durante o dia e apresentam um comportamento inverso durante a noite, sob o
190 agravamento de quanto maior a profundidade da fissura, maior o gradiente térmico, sendo
191 recomendado o tratamento das fissuras o quanto antes.

192 Carmona Filho e Carmona (2013) recomendam uma cura intensa a fim de diminuir a
193 fissuração das peças. Logo, um processo de cura que não auxilia no impedimento de variações
194 bruscas ou na dissipação de energia pode influenciar negativamente as características físicas do
195 concreto.

196 Battagin *et al.* (2002) apresentaram resultados em que a absorção por capilaridade
197 independeu do ciclo de cura para concretos com a/c iguais a 0,30 e 0,45. Já para os concretos com
198 a/c 0,65, o fenômeno aumenta nas condições de curas inadequadas, ou seja, quanto menos tempo o
199 concreto permanecer em cura úmida. Os mesmos autores indicam ainda que quanto maior a relação
200 a/c , maior a absorção.

201 2.2. Contextualização das obras

202 De acordo com Souza e Ripper (2009), as causas intrínsecas aos processos de deterioração
203 das estruturas de concreto têm origem nos materiais e peças estruturais durante as fases de execução
204 e/ou de utilização das obras, por falhas humanas, por questões próprias ao material concreto e por
205 ações externas, inclusive acidentes. A cura é uma das deficiências de concretagem que tem como
206 causa intrínseca a falha humana durante a construção.

207 Souza e Ripper (2009) apontam que a cura é a última de todas as operações importantes na
208 execução de uma estrutura em concreto, com reflexos diretos na resistência e durabilidade da
209 estrutura, uma vez que uma cura inadequada aumenta as deformações específicas devidas à
210 retração. Na Figura 2.2 é apresentado um diagrama com os períodos de cura recomendados
211 conforme diferentes condições que podem ser submetidas à estrutura.

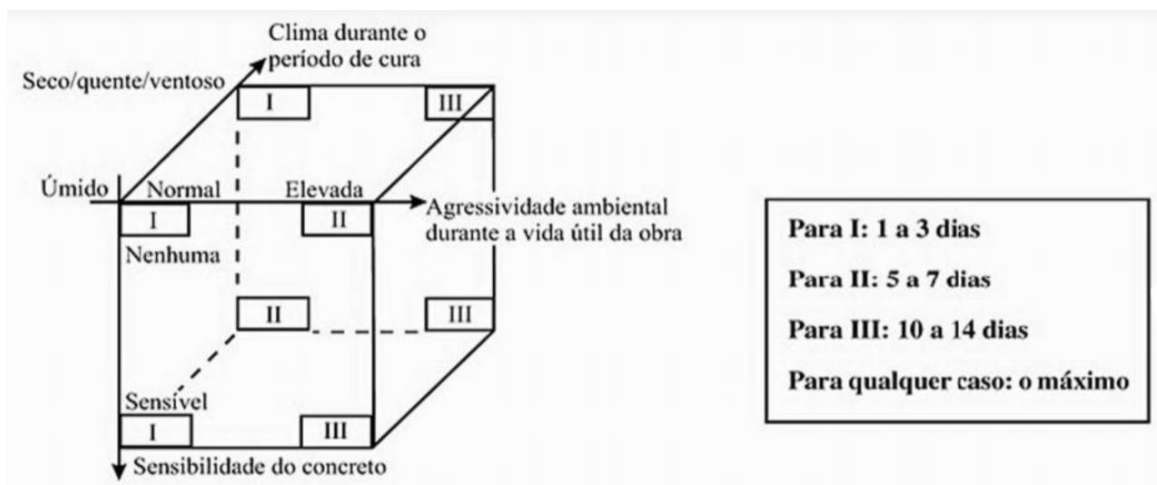


Figura 2.2: Tempo de cura recomendados.

Fonte: C.E.B. – Boletim 183 – 1989 *apud* Souza e Ripper (2009)

A presença de fissuras e corrosão de armaduras presentes em estruturas em concreto armado são patologias que podem ser acarretadas pela cura inadequada, conforme observado por Torres *et al.* (2016) em reservatórios de água.

Viana (2016) realizou um diagnóstico nas estruturas de centrais hidrelétricas na cidade de Urussanga - SC, exposta há aproximadamente 15 anos às intempéries e agentes agressivos, que conduziu a um quadro de deterioração generalizado. A presença de fissuração nas estruturas facilitou a entrada do CO₂ e acelerou o processo de carbonatação, enfraquecendo a estrutura, o que foi gerado pelo emprego de concretos com alto fator *a/c* além de cura inadequada. Para o reparo das estruturas em concreto, faz-se necessário o emprego da cura adequada (SILVA *ET AL.*, 2017)

3. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Viçosa - campus Rio Paranaíba.

3.1. Materiais empregados:

- Cimento CII 32;
- Areia natural quartzosa do rio Moema;
- peneira de abertura 5 milímetros;
- brita número 1;
- cera de abelha;
- óleo mineral;
- estufa;
- betoneira de 100L de capacidade volumétrica;
- equipamentos de *slump*
- bastão;
- colher de pedreiro;

- 239 • concha de concreto;
- 240 • hidróxido de cálcio;
- 241 • higrômetro;
- 242 • prensa hidráulica;
- 243 • envoltórios metálicos com discos de neoprene.

244 3.2. Preparação dos materiais

245 A fim de evitar a presença de grãos com dimensões que descaracterizassem a areia, a mesmo
246 foi peneirada antes do uso na peneira de abertura cinco milímetros. Para garantir uniformidade em
247 seu volume e um mínimo teor de umidade, o agregado miúdo foi disposto em um recipiente
248 apropriado e submetido à secagem em estufa por um período superior a 12 horas.

249 3.3. Definição do traço e das relações água/cimento

250 Foram estabelecidas relações água/cimento iguais a 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1,0. A fim de um
251 melhor controle estatístico, foi adotado o número de três corpos de prova para serem rompidos nas
252 idades de 3, 7 e 28 dias, respectivos às modalidades de cura úmida, por aspersão periódica e ao ar.
253 O número total de corpos de prova moldados correspondente a cada relação *a/c* foi de 27, sendo
254 divididos em duas betonadas devido à limitação de capacidade da betoneira.

255 A fim de retratar a realidade de muitas obras, utilizou-se um traço em volume de 1:3:3,
256 sendo que a quantidade de água adicionada na mistura é proporcional ao peso em cimento. Para
257 compor o traço, os agregados miúdo e graúdo foram dispostos em recipientes correspondentes a três
258 vezes cada em relação ao volume de cimento.

259 3.4. Produção do concreto em betoneira

260 Antes da produção do concreto, a betoneira foi limpa e umedecida, com o intuito de evitar
261 sua contaminação e absorção de água da massa pelo equipamento. Para a obtenção de um concreto
262 mais homogêneo, os materiais foram colocados na ordem. Inicialmente foram adicionados a brita e
263 água, numa proporção de cerca de 50% e 70%, respectivamente. O equipamento foi acionado para
264 realizar a mistura, na qual sem interrupção e em menor espaço de tempo possível foram
265 acrescentados todo o cimento, areia, e a brita e água restantes. O funcionamento foi interrompido
266 para avaliação da uniformidade e da presença de material aderido às paredes do equipamento.

267 3.5. Verificação do abatimento do tronco de cone e moldagem dos corpos de prova

268 O *slump test* foi empregado para verificar a consistência do concreto para o adensamento
269 conforme tipo de elemento estrutural em que se enquadra, de acordo com a ABNT NBR NM 67.

270 Para a moldagem dos corpos de prova, as fôrmas foram limpas e receberam uma fina
271 camada de óleo mineral em suas paredes e fundo, e as aberturas inferiores e lateral foram vedadas
272 utilizando-se cera de abelha. As amostras foram condicionadas em locais adequados à metodologia
273 de cura empregada.

274 3.6. Interferências e aferições diárias

275 Fazendo-se da utilização de um higrômetro, foram realizadas medições da temperatura e teor
276 de umidade relativo do ar duas vezes por dia. Cada corpo de prova submetido ao método de cura
277 por aspersão recebeu duas vezes ao dia o despejo de cerca de um litro de água sobre suas faces.
278 Aqueles sob cura úmida receberam aspersão de 100 mL de solução de hidróxido de cálcio na
279 frequência de duas vezes por semana, e os submetidos ao método cura ao ar não recebem interação.

280 3.7. Rompimento dos corpos de prova

281 Os corpos de prova foram rompidos após a medição das dimensões. O capeamento foi
282 realizado por meio de neoprene. Os valores de força foram corrigidos utilizando-se a equação 1,
283 para posterior cálculo da resistência à compressão.:

284
$$FC = 1,015 \times FL + 381,8 \quad (1)$$

285 Onde:

286 FC = Força corrigida [Kgf];

287 FL = Leitura no dinamômetro da força de compressão.

288

289

290 **4. RESULTADOS**

291 Os resultados do slump test estão apresentados na Tabela 4.1:

292

Tabela 4.1: Resultados do *slump test*

Relação água/cimento	Betonada	Slump [mm]
0,6	1ª	0
	2ª	5
0,7	1ª	70
	2ª	65
0,8	1ª	130
	2ª	115
0,9	1ª	180
	2ª	165
1,0	1ª	220
	2ª	180

293 As diferenças nos valores de abatimento por betonada podem ser explicadas pelo fato da
294 realização do processo de fabricação do concreto ocorrer em horários ou até mesmo datas distintas,
295 onde foram verificadas diferenças de temperatura e teores de umidade relativa do ar conforme era
296 produzido o concreto.

297 Os resultados obtidos cumpriram as tolerâncias prescritas pela ABNT NBR 7212:2012.
298 Entretanto, pela ABNT NBR NM 67:1998 o ensaio não pode ser aplicável aos concretos que
299 apresentam um assentamento igual ou inferior a 10 mm, por não serem classificados como plásticos

300 e coesivos, como é o caso obtido na relação a/c igual a 0,6. Na Figura 4.1 é mostrada uma medição
 301 do abatimento do concreto.



Figura 4.1: Execução do *slump test*

302
 303

304 Os valores de temperatura e umidade relativa do ar obtidos respectivamente na primeira e
 305 segunda aspersão diária durante todo o período do procedimento estão no Apêndice A.

306 Dos três valores de resistência correspondentes a cada idade de concreto a cada modalidade
 307 de cura empregada, um foi descartado, sendo aqueles de valor menos próximo aos demais, o que
 308 possibilitou uma média mais homogênea. Na Tabela 4.2 são apresentados os valores de resistência à
 309 compressão média dos corpos de prova correspondentes à modalidade de cura, idades de
 310 rompimento e relação água/cimento empregadas. Para cada idade, foram destacados em negrito os
 311 maiores valores de resistência referentes à compressão quanto às relações a/c empregadas.

312

Tabela 4.2 Valores de resistência à compressão obtidos a diferentes idades, tipos de cura e relação a/c

Tipo de cura	Idade (dias)	f_{ck} (MPa)				
		Relação a/c				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Úmida	3	12,4	4,1	9,5	3,7	3,0
Ar		12,4	5,9	10,3	3,8	3,3
Aspersão		11,0	4,8	7,0	3,1	2,5
Úmida	7	15,9	10,2	13,4	10,4	4,9
Ar		10,3	7,4	11,4	7,9	6,1
Aspersão		14,2	7,7	10,9	9,3	5,2
Úmida	28	20,0	18,5	18,3	13,8	9,4
Ar		16,7	8,3	11,4	8,5	8,6
Aspersão		15,4	11,5	14,8	10,5	9,6

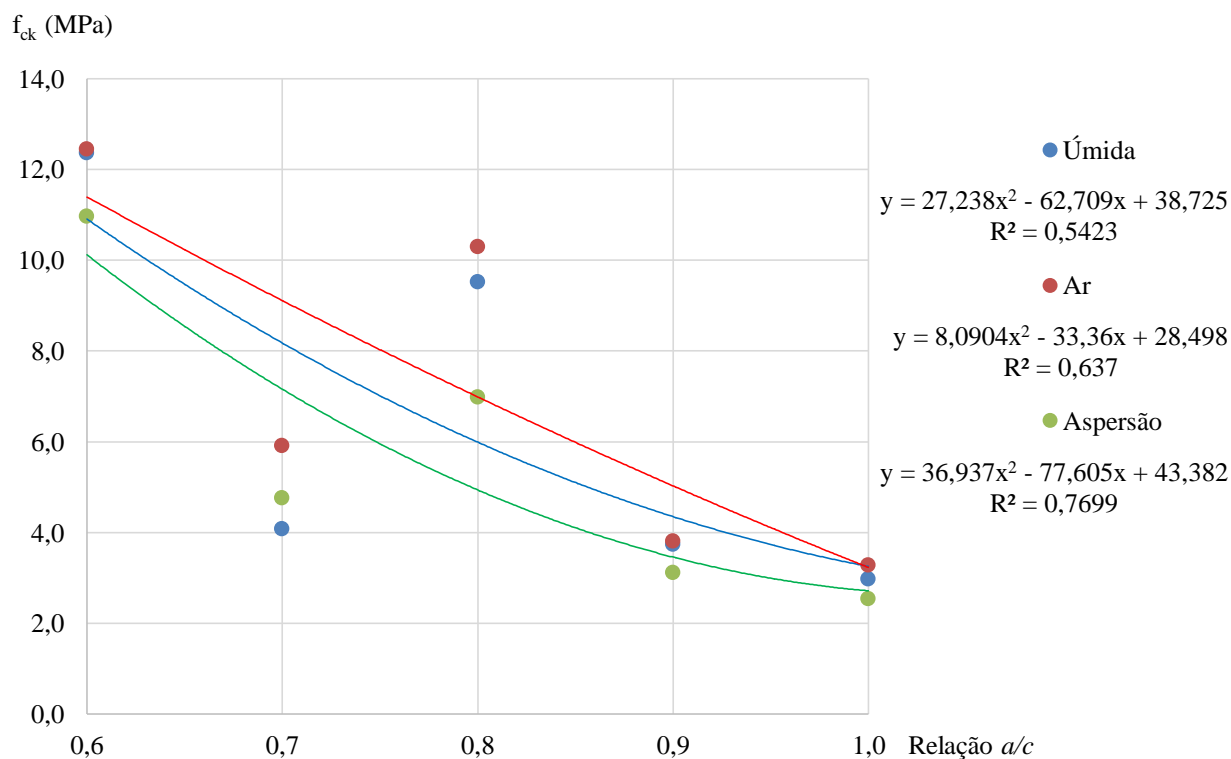
313

314 Dos resultados obtidos depreende-se que de maneira geral, quanto maior a exposição do
 315 concreto à água, maior é a sua resistência à compressão, ou seja, independentemente da relação
 316 água/cimento incorporada à massa. Os corpos de prova submetidos à modalidade de cura úmida
 317 obtiveram os maiores valores médios de resistência à compressão aos 28 dias, corroborando com os
 318 autores Diniz *et al.* (2015), Valin Jr e Lima (2008), Battagin *et al.* (2002) e Gimenes *et al.* (2013).

319 Para a proporção de cimento e agregados empregados no concreto e pelas interferências
320 climáticas atuantes nos corpos de prova, a partir do sétimo dia foi notado no método de cura ao ar
321 um menor desenvolvimento de resistência, como observado por Diniz et al. (2015). Porém na
322 relação a/c igual a 0,6 o mesmo não foi observado, tendo inclusive um valor 21% menor ao obtido
323 na idade anterior, de três dias, cujo motivo para tal não foi encontrado.

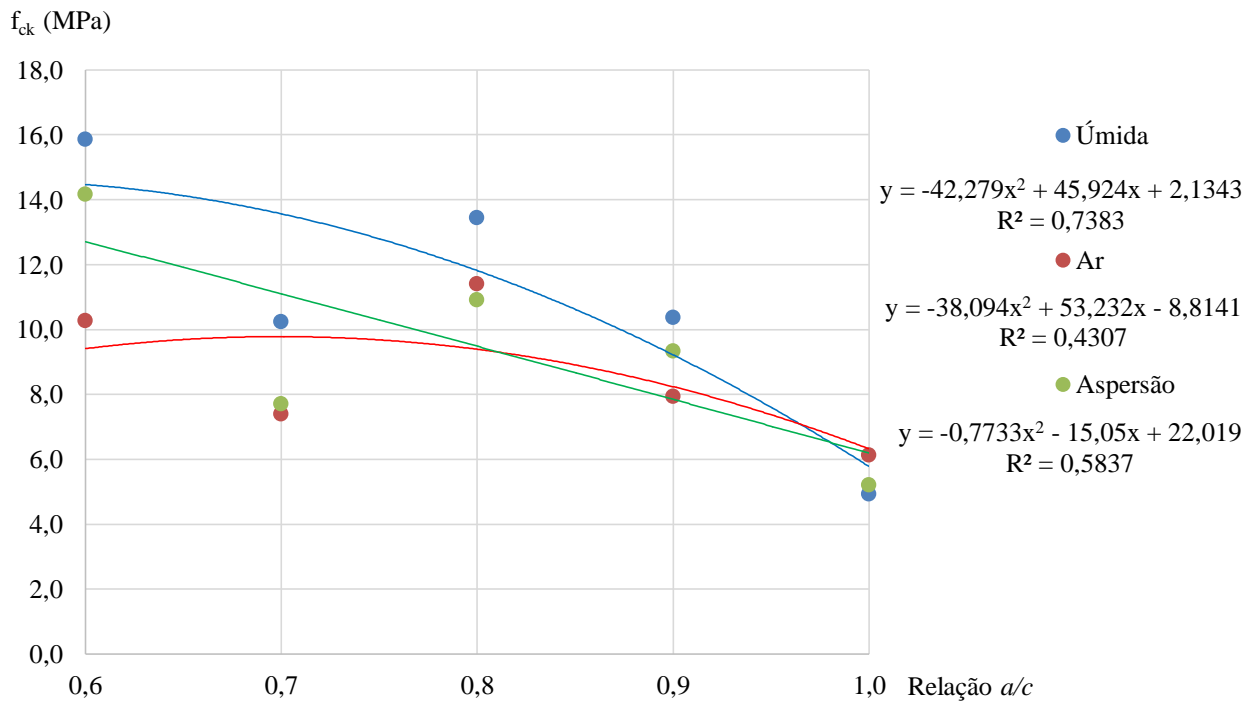
324 Foi verificado que, quando comparado aos demais, o concreto com relação a/c igual a 0,6
325 apresentou os maiores valores de resistência, independente da modalidade de cura empregada,
326 atingindo 20,0 MPa aos 28 dias sob cura úmida.

327 Na Figura 4.2 estão representados os valores e respectivas linhas de tendência para a idade
328 de três dias com os três métodos de cura nas cinco relações a/c empregadas, onde foi obtido o
329 melhor ajuste da curva para o método de cura por aspersão, atingindo um valor de determinação
330 igual a 0,77, sendo também verificada uma tendência ao decréscimo de resistência conforme maior
331 relação a/c empregada. Nas demais metodologias aplicadas, não foram encontradas curvas que
332 representassem bem o comportamento da resistência à compressão versus relação a/c .



333
334 Figura 4.3: Resistências à compressão médias e curvas de tendência obtidas para a idade de rompimento igual a três
335 dias.

336 Para a idade de sete dias, o melhor ajuste da curva foi obtido pela cura úmida, atingindo um
337 coeficiente de determinação igual a 0,74. Nas demais metodologias de cura não se pôde representar
338 bem o comportamento da relação a/c versus resistência à compressão, conforme ilustrado na Figura
339 4.4.



340

341

342

Figura 4.4: Resistências à compressão médias e curvas de tendência obtidas para a idade de rompimento igual a sete dias

343

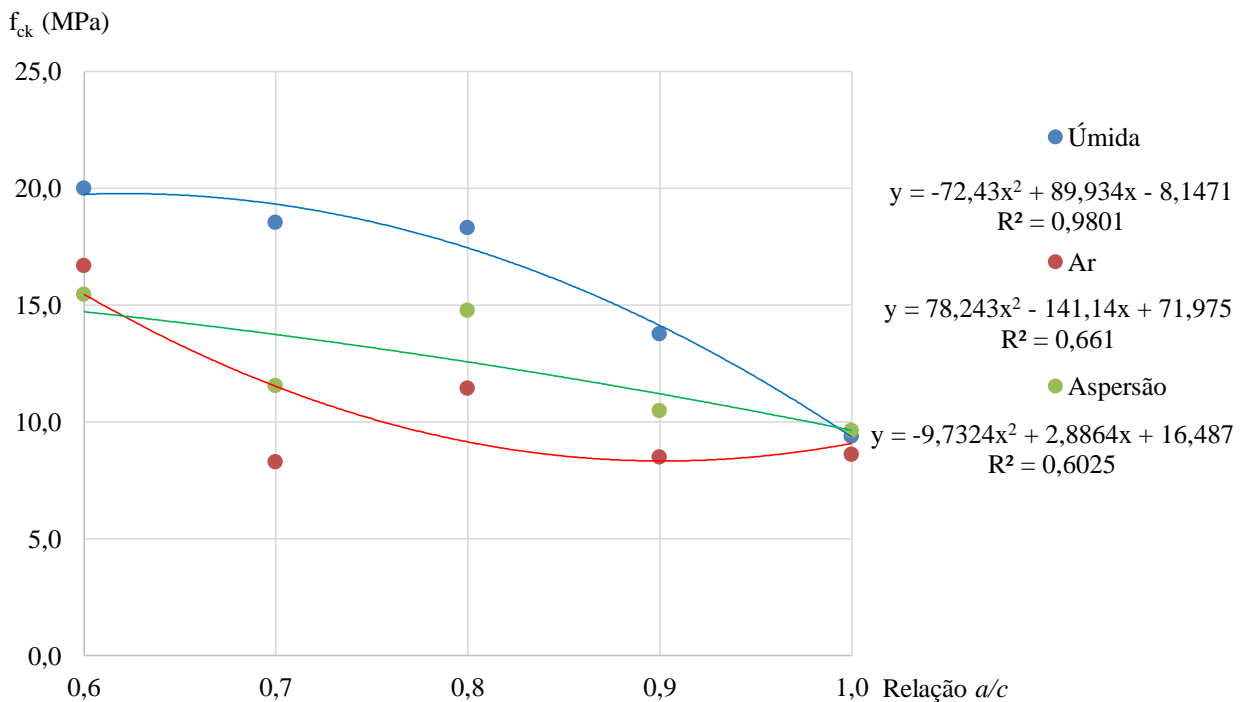
344

345

346

347

Conforme Figura 4.5, aos 28 dias o melhor ajuste da curva foi obtido pela cura úmida, atingindo um coeficiente de determinação igual a 0,98, sendo o maior encontrado nas três idades estudadas. Pela equação da curva encontrada, seria atingido o valor máximo de resistência à compressão de 19,77 MPa à uma relação a/c igual a 0,62. Para as demais metodologias de cura não se pôde representar bem o comportamento da resistência à compressão versus relação a/c .



348

349

350

Figura 4.5: Resistências à compressão médias e curvas de tendência obtidas para a idade de rompimento igual a 28 dias

351 Pela NBR 14931: 2004, a cura úmida ou submersa é a ideal para o controle tecnológico do
 352 concreto, onde são obtidos os maiores valores de ganho de resistência à compressão. Para análise
 353 das influências da cura por aspersão e da cura ao ar, os valores de resistência foram comparados aos
 354 encontrados na cura úmida, sendo apresentados na Tabela 4.3.

355 Tabela 4.3: Crescimento da resistência com relação à cura úmida

Tipo de cura	Idade (dias)	Crescimento da resistência com relação à cura úmida (%)				
		Relação <i>a/c</i>				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Ar	3	0,7	44,6	8,2	2,0	10,5
	7	-35,3	-27,8	-15,2	-23,5	24,5
	28	-16,5	-55,3	-37,5	-38,2	-8,3
Aspersão	3	-11,2	16,6	-26,6	-16,5	-14,5
	7	-10,6	-24,8	-18,7	-10,0	5,7
	28	-22,7	-37,7	-19,3	-23,9	2,6

356 Na modalidade de cura ao ar, aos três dias de cura, todos os valores de resistência foram
 357 maiores quando comparadas ao obtido pela cura úmida, independente da relação *a/c*, atingindo
 358 valores entre 0,7% e 44,6%. Aos sete dias, apenas na relação *a/c* igual a 1,0 a resistência foi
 359 superior em 24,5%. Aos 28 dias, todos foram inferiores aos obtidos pela cura úmida, sendo o valor
 360 mais próximo encontrado de 8,3% que correspondeu à relação *a/c* igual a 1,0.

361 Com três dias de cura, os corpos de prova sob a modalidade de cura por aspersão superaram
 362 o valor de resistência em 16,6% quando comparadas ao obtido pela cura úmida, na relação *a/c* igual
 363 a 0,7. Aos sete dias, o mesmo se repetiu, porém na relação *a/c* igual a 1,0, com 24,5% a mais de
 364 resistência. Na idade final estudada de 28 dias, o valor de resistência à compressão obtida na relação
 365 *a/c* igual a 1,0 ultrapassou em 2,6% o valor encontrado na cura úmida.

366 Frente à ABNT NBR 6118:2014, um concreto de relação *a/c* menor ou igual a 0,60 atende
 367 ao necessário para resistir à classe de agressividade ambiental II, que correspondeu à condição em
 368 que se encontravam os corpos de prova. Para análise das influências das diferentes relações *a/c* em
 369 diferentes idades, os valores de resistência foram comparados aos encontrados na relação *a/c* igual a
 370 0,6; sendo apresentados na Tabela 4.4, para o método de cura úmida.

371 Tabela 4.4: Percentuais de ganho de resistência comparadas aos obtidos na relação *a/c* igual a 0,6 para o método de cura
 372 úmida

Idade (dias)	Crescimento da resistência comparados à relação <i>a/c</i> igual a 0,6 (%)			
	Relação <i>a/c</i>			
	0,7	0,8	0,9	1,0
3	-67,0	-23,0	-69,8	-76,0
7	-35,4	-15,3	-34,6	-68,9
28	-7,2	-8,5	-31,1	-53,0

373

374 Nas idades de 3 e 7 dias, o concreto de relação a/c igual a 0,8 atingiu dentre os demais o
 375 valor mais próximo daquela alcançada na relação a/c igual a 0,6. Aos 28 dias isso aconteceu na
 376 relação a/c igual a 0,7, sendo observado nessa idade um decréscimo de resistência conforme
 377 aumento da quantidade de água, constatando o obtido por Battagin *et al.* (2002) e Gimenes *et al.*
 378 (2013).

379 Na cura ao ar, os valores mais próximos aos obtidos pelo concreto de relação a/c igual a 0,6
 380 foram os correspondentes à relação a/c igual a 0,8, sendo então a relação menos prejudicada frente à
 381 cura inadequada (Tabela 4.5). Pelo método de cura por aspersão, o mesmo foi observado, como
 382 apresentado na Tabela 4.6.

383 Tabela 4.5: Percentuais de ganho de resistência comparados aos obtidos na relação a/c igual a 0,6 para o método de cura
 384 ao ar

Idade (dias)	Crescimento da resistência comparados à relação a/c igual a 0,6 (%)			
	Relação a/c			
	0,7	0,8	0,9	1,0
3	-52,5	-17,2	-69,4	-73,6
7	-27,9	11,1	-22,7	-40,2
28	-50,3	-31,5	-49,1	-48,4

385

386

387 Tabela 4.6: Percentuais de ganho de resistência em relação a relação a/c igual a 0,6 para o método de cura por aspersão

Idade (dias)	Crescimento da resistência com relação à relação a/c igual a 0,6 (%)			
	Relação a/c			
	0,7	0,8	0,9	1,0
3	-56,6	-36,3	-71,6	-76,8
7	-45,6	-23,0	-34,1	-63,2
28	-25,3	-4,5	-32,2	-37,6

388

389 Quanto à quantidade de água incorporada na mistura, observa-se que quão maior sua adição
 390 maior a trabalhabilidade, porém seu decréscimo de resistência aos 28 dias é anunciado,
 391 paralelamente ao que foi dito por Battagin *et al.* (2002).

392

393 5. CONCLUSÃO

394 Pôde-se comprovar a influência positiva do processo de cura úmida, que depreendeu nos
 395 maiores valores de resistência à compressão, seguidamente da cura por aspersão. A superioridade
 396 dos concretos que receberam interação direta de água foi devido à garantia da cura, promovendo o
 397 desenvolvimento das reações intersticiais.

398 Os resultados permitiram concluir que o pouco ou inexistente contato do concreto com a
 399 água após sua produção resulta em piores valores de resistência à compressão, onde foi obtido o

400 menor valor, de 8,3 MPa, aos 28 dias sob cura ao ar. O maior valor médio de resistência foi de 20,0
401 MPa, correspondeu ao concreto submetido à cura úmida, na menor relação *a/c* estudada, igual a 0,6.
402 Ou seja, se fosse realizada uma comparação aos custos, o valor de produção de um concreto menos
403 resistente à compressão seria semelhante ao de maior resistência, visto que a diferença entre eles é o
404 emprego correto da água, já que o custo da água é geralmente inferior aos demais constituintes do
405 concreto

406 Conforme o incremento de água na mistura do concreto, foi observado um maior valor de
407 abatimento, conferindo maior fluidez, com reflexo aos menores valores de resistência à compressão
408 encontrados. O contrário foi obtido quando se empregou as relações *a/c* menores.

409 Independente da metodologia de cura empregada, o concreto obteve maiores valores de
410 resistência à compressão na maior idade de rompimento, referente a 28 dias.

411 **6. AGRADECIMENTOS**

412 Agradeço primeiramente a Deus, pela graça e pelo dom da vida.

413 Aos meus pais, Adão e Maria Basília, que não mediram esforços para minha manutenção na vida
414 acadêmica, agradeço pelo amor, confiança e bondade.

415 À minha namorada Carina, pelo amor, companheirismo, incentivo e apoio incondicional.

416 À minha orientadora Maria Cláudia, pelo suporte, pelas suas correções e incentivo.

417 Ao técnico Ednei, ao auxílio no desenvolvimento prático do trabalho.

418 Aos meus amigos e companheiros de república, pelas noites e noites ganhadas em estudos e
419 diversões.

420 A todos os professores da UFV-CRP, pela amizade, confiança e por todo aprendizado transmitido.

421 E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu sincero muito
422 obrigado.

423

424 **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

425 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento
426 para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

427 _____ . **NBR 6118**: Projetos de estrutura de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
429

430 _____ . **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 13p.
431

432 _____ . **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 2012. 7p.
433

434 _____ . **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
435 53p.

436 _____ . **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.
437 Rio de Janeiro, 1998. 8 p.
438

439 BATTAGIN A. F.; CURTI R.; SILVA C. O.; MUNHOZ F. A. C.; Influência das Condições de
440 Cura em Algumas Propriedades dos Concretos Convencionais e de Alto Desempenho. **Instituto**
441 **Brasileiro do Concreto - 44º Congresso Brasileiro**, 13 p, 2002.
442

443 BAUER, L. A. F. Materiais de construção: Novos Materiais para Construção Civil. v.1. 5. Ed. Rio
444 de Janeiro: LTC, 2009, p. 488.
445

446 CARMONA FILHO A.; CARMONA T. Fissuração nas estruturas de concreto – **Boletim Técnico**.
447 Mérida, México: ALCONPAT, 2013. 18 p. Disponível em: < [http://alconpat.org.br/wp-](http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B3-Fissura%C3%A7%C3%A3o-nas-estruturas-de-concreto.pdf)
448 [content/uploads/2012/09/B3-Fissura%C3%A7%C3%A3o-nas-estruturas-de-concreto.pdf](http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B3-Fissura%C3%A7%C3%A3o-nas-estruturas-de-concreto.pdf) >. Acesso
449 em: 13 jan. 2018.
450

451 CECCONELO V.; TUTIKIAN B. A influência das baixas temperaturas na evolução das
452 resistências do concreto. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 5, p. 68-83, 2012.
453

454 CHEN X.; WU S. Influence of water-to-cement ratio and curing period on pore structure of cement
455 mortar. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 804-812, 2013.
456

457 DINIZ H. A. A.; MONTE JUNIOR I. V.; OLIVEIRA S.S.; SOUZA K. J. M. S. Influência da cura
458 por imersão em concretos convencionais. **Revista Tecnologia & Informação**, v. 1, p. 17-27, 2015.
459

460 fib. Model Code 2010. **First Complete Draft. Bulletin 55 e 56**. DCC - Document Competence
461 Center, Germany, 2010. Disponível em: <
462 <http://210.42.35.80/G2S/eWebEditor/uploadfile/20161006233323944.pdf>>. Acesso em: 13 jan.
463 2018.
464

465 GIMENES A. V. N.; MENDONÇA JUNIOR C. R.; FREITAS G. H. M.; SILVA P. J.; RIBEIRO T.
466 F.; SILVA J. R. R. Avaliação da resistência do concreto em relação à variação na dosagem de água.
467 **Iniciação Científica Cesumar**, v. 15, p. 13-21, 2013.
468

469 HELENE, P.; LEVY, S. Cura do Concreto – **Boletim Técnico**. Mérida, México: ALCONPAT,
470 2013. 12 p. Disponível em: <[http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B8-Cura-do-](http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B8-Cura-do-concreto.pdf)
471 [concreto.pdf](http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B8-Cura-do-concreto.pdf)>. Acesso em: 13 jan. 2018.
472

473 LAGUNA L. A.; IKEMATSU P. A influência da temperatura na desforma do concreto, **Revista**
474 **Téchne**, v. 1, p. 54-58, 2011.
475

476 MEHTA P. K.; MONTEIRO P. J. M. Concreto: Microestrutura , Propriedades e Materiais. 2. Ed.
477 São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto - IBRACON, 2014, 782 p.
478

479 NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5. Ed. São Paulo: Bookman, 2016, p. 912.
480

481 PETRUCCI E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. Ed. São Paulo: Globo, 1998, 307 p.
482 Rio de Janeiro: LTC, 2009, p. 409.
483

484 ROCHA I. Corrosão em estruturas de concreto armado. **Revista Especialize On-line IPOG**, v.1,
485 p. 1-26, 2015.
486

487 ROCHA J.; SILVA M.; PÓVOAS Y.; MONTEIRO E. Análise da Profundidade de Fissuras em
488 Concreto com Termografia Infravermelha. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, p.
489 58-65, 2017.
490

491 SILVA A. C. G.; CAMPOS G. R.; SANTOS FILHO M. L. Análise de manifestações patológicas
492 em obras de arte especiais - estudo de caso e propostas de recuperação. **2º Simpósio Paranaense de**
493 **Patologia das Construções**, p. 159–170, 2017.
494

495 SOUZA V. C. M.; RIPPER T. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. v. 1. 1.
496 Ed. São Paulo: Pini, 2009. 257 p.
497

498 TORRES A. S.; SILVA V. M. B.; PALIGA C. M. Análise das manifestações patológicas em
499 reservatórios elevados na cidade de Pelotas/RS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil – REEC**,
500 v. 12, p. 12-22, 2016.
501

502 VALIN JR M. O.; LIMA, S. M. Influência do clima tropical na cura do concreto. **2º Jornada da**
503 **Produção Científica da Educação Profissional e Tecnológica da Região Centro Oeste**, 8 p.
504 2008.
505

506 VIANA T. Manifestações patológicas e recuperação de estruturas de concreto armado na PCH Rio
507 Palmeiras. **Revista Especialize On-line IPOG**, v. 1, p. 1-14, 2016.
508

APÊNDICE A: Valores de temperatura e teores de umidade do ar obtidos durante o experimento

DATA	HORÁRIO DE AFERIÇÃO:	TEMPERATURA [°C]	UMIDADE RELATIVA DO AR	HORÁRIO DE AFERIÇÃO:	TEMPERATURA [°C]	UMIDADE RELATIVA DO AR
15/11/2017	09:43	27,7	51	17:58	29,7	35
16/11/2017	10:19	28,3	35	15:46	32,8	32
17/11/2017	10:32	28,4	29	15:54	33,2	27
18/11/2017	09:32	26,4	62	18:52	25,3	67
19/11/2017	14:10	25,7	76	19:17	23,0	82
20/11/2017	14:27	27,7	74	18:50	25,4	78
21/11/2017	14:40	27,7	76	19:22	24,4	80
22/11/2017	11:44	28,3	74	19:00	26,5	60
23/11/2017	14:02	31,2	61	20:12	27,1	55
24/11/2017	13:50	30,7	44	18:34	29,1	28
25/11/2017	13:12	28,2	28	17:27	32,3	32
26/11/2017	14:27	33,4	37	19:07	24,8	50
27/11/2017	14:15	23,8	72	18:05	24,5	40
28/11/2017	10:37	24,8	70	15:24	31,8	30
29/11/2017	14:38	28,7	48	18:22	26,3	70
30/11/2017	15:07	30,8	60	18:15	26,2	59
01/12/2017	09:12	20,0	91	15:01	29,3	53
02/12/2017	15:12	28,9	71	17:56	23,3	82
03/12/2017	12:49	27,3	62	17:00	24,8	74
04/12/2017	13:12	29,9	51	17:44	22,1	72
05/12/2017	14:01	30,1	61	20:12	20,8	76
06/12/2017	12:13	27,3	58	19:42	22,3	71
07/12/2017	13:07	26,5	63	18:53	24,8	81
08/12/2017	11:52	27,0	53	19:00	23,1	79
09/12/2017	14:01	31,3	48	18:25	26,4	72
10/12/2017	13:32	32,1	48	17:49	26,4	74
11/12/2017	12:22	28,3	62	18:12	25,1	76
12/12/2017	13:31	30,7	68	19:44	22,3	61
13/12/2017	13:10	30,1	64	20:12	24,2	61
14/12/2017	12:34	27,8	30	17:35	26,3	50
15/12/2017	12:45	25,4	58	18:30	21,9	81
16/12/2017	12:25	28,2	74	18:10	21,8	80
17/12/2017	13:15	29,5	62	19:32	22,3	82
18/12/2017	13:32	27,1	68	19:10	23,4	74
19/12/2017	12:00	28,0	61	19:00	24,0	60
20/12/2017	14:04	33,6	52	17:58	25,4	55
21/12/2017	13:56	29,6	58	19:07	23,7	64
22/12/2017	13:12	31,1	71	18:15	26,2	58
23/12/2017	14:00	28,7	62	17:44	22,9	56
24/12/2017	13:22	30,8	48	17:20	24,0	62
25/12/2017	13:32	32,0	41	19:12	28,4	71
26/12/2017	14:24	28,3	39	20:17	22,7	48
27/12/2017	14:46	28,1	44	20:45	23,8	62
28/12/2017	12:10	29,3	58	21:12	21,3	62
29/12/2017	13:55	30,5	63	18:46	27,4	67
30/12/2017	12:58	27,9	63	17:33	28,3	71
31/12/2017	13:25	28,6	58	19:26	25,4	62
01/01/2018	14:30	31,2	52	18:30	27,4	74
02/01/2018	14:20	30,8	59	18:20	26,5	55
03/01/2018	11:56	26,4	64	19:31	24,4	54
04/01/2018	12:12	25,8	56	19:00	22,0	68
05/01/2018	13:19	28,1	48	18:45	24,2	72
06/01/2018	13:26	30,2	54	17:28	25,7	88
07/01/2018	12:54	28,4	65	17:39	30,1	70
08/01/2018	14:24	33,2	71	19:12	28,7	64
09/01/2018	14:14	31,7	73	19:31	24,1	60
10/01/2018	13:25	32,0	62	19:25	28,3	58

510

11/01/2018	12:34	30,3	58	20:12	26,1	32
12/01/2018	12:22	32,4	52	20:20	25,5	51
13/01/2018	12:36	33,0	54	17:16	29,5	60
14/01/2018	12:28	31,3	41	21:01	22,9	40
15/01/2018	12:01	30,9	49	19:47	25,0	48
16/01/2018	13:30	29,8	54	19:55	25,0	30