

Surface treatment of concrete test specimens subjected to compression

Tratamentos superficiais em corpos de prova de concreto submetidos à compressão



J. A. CHIES^a
josuchies@hotmail.com

A. B. ROHDEN^a
abrcivil@gmail.com

L. C. P. SILVA FILHO^a
lcarlos66@gmail.com

Abstract

The technological control of concrete can only be considered a quality control procedure when all its steps are followed properly. Compressive strength testing plays a critical role in the technological control of concrete structures and in the technological development of concrete. The aim of this study is to select the most suitable preparation technique for conventional and high-strength concrete by analyzing mean strength, standard deviation and coefficients of variation. Test specimens with compressive strength ranging from 20 to 120 MPa were prepared in a laboratory and were then subjected to seven different types of surface treatment, using bonded, unbonded and mechanical wear (grinding) systems. Results show that the most effective technique is grinding using a rigid head. The performance of unbonded system was also suitable for use with conventional and high strength concrete.

Keywords: surface treatment, test specimens, compressive strength.

Resumo

O controle tecnológico do concreto só pode ser considerado um procedimento de qualidade, quando todas as suas fases são realizadas adequadamente. O ensaio de resistência à compressão tem importância incontestável no controle tecnológico das estruturas de concreto bem como no desenvolvimento tecnológico do material. O presente trabalho tem como objetivo eleger a técnica de preparação mais adequada para concretos de resistência convencional e de alta resistência através da análise da resistência média, do desvio padrão e do coeficiente de variação. Para isso foram produzidos em laboratório concretos com resistência à compressão de 20 a 120 MPa. Estes foram submetidos a sete tratamentos superficiais diferentes, utilizando o sistema aderido, não aderido e por desgaste abrasivo. Como resultado constatou-se que a técnica mais eficiente é o desgaste mecânico por disco rígido. O desempenho do sistema não aderido também foi considerado adequado para concreto convencional e de alta resistência.

Palavras-chave: tratamentos superficiais, corpos de prova, resistência à compressão.

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS, Brasil.

1. Introdução

A norma ABNT NBR 5738 (2003), no item 9, destaca a importância do processo de preparação dos topos dos corpos de prova cilíndricos para o ensaio de compressão axial. Esta norma indica três procedimentos para este fim: o arremate com pasta de cimento, o capeamento e a retificação. Segundo a norma, outros procedimentos podem ser adotados, desde que os resultados sejam submetidos à avaliação prévia por comparação estatística e compatíveis com os obtidos com corpos de prova capeados pelo processo tradicional. Para assegurar uma adequada determinação da resistência à compressão dos concretos é necessário garantir uma adequada distribuição da carga aplicada na área em contato com os pratos da prensa. Com o intuito de minimizar o efeito da excentricidade a norma ASTM C 39 (2003) prevê um tratamento para a superfície dos corpos de prova de forma que os desvios de planicidade não ultrapassem 0,05 mm e que o desvio entre as faces paralelas e o eixo longitudinal seja inferior a 0,5°. Neste aspecto, os corpos de prova cúbicos levam vantagem sobre os cilíndricos, uma vez que nos primeiros há maior facilidade em se obter pelo menos duas faces paralelas, dentre as seis existentes. Este aspecto é ainda mais importante para concretos de alta resistência. Isto porque o capeamento, que é a preparação de topo de corpo de prova mais utilizada em concretos convencionais, pode romper antes do concreto (HANSEN et al. 1996).

De forma genérica as técnicas de tratamento superficial podem ser classificadas em três categorias: sistemas aderentes (argamassas de enxofre ou argamassas de cimento), sistemas não aderentes (pratos metálicos com revestimento elastomérico confinado ou placas de madeira) e sistemas com desgaste mecânico (utilização de diferentes retíficas ou serras circulares) conforme encontra-se relatado na bibliografia. Sem dúvida cada uma das alternativas conduz a resistências finais diferentes e, por esse motivo, deve-se especificar o tipo de tratamento mais adequado para cada caso (TORALLES-CARBONARI, 1996; MINDESS, 1994).

É consenso na literatura internacional que o uso de tratamento com argamassa de enxofre para corpos de prova cilíndricos leva a bons resultados se os concretos tiverem resistência de até cerca de 70 MPa. Entretanto, para resistências maiores, o sistema mais indicado é o desgaste mecânico das faces do corpo de prova (TORALLES-CARBONARI, 1996; DE LARRARD, 1996; HANSEN et al., 1996; AÏTCIN, 1989; PISTILLI; WILLEMS, 1993; BURG; OST, 1992).

Nos últimos cinco anos diversos estudos abordaram o assunto no Brasil, focando-se principalmente nos concretos de resistência convencional (até 50 MPa). Contudo, não se criou um consenso sobre o assunto, tão pouco discutiu-se de forma abrangente a eficiência dos diferentes sistemas e técnicas quando aplicados a concretos com resistências mais elevadas.

Estes trabalhos comparam, por exemplo, o desempenho do capeamento com enxofre com o desempenho do desgaste com retífica. A maioria dos autores conclui que o melhor sistema é o capeamento com enxofre (BARBOSA, 2009; RUDUIT, CREMONINI, 2009; BARBOSA, OLIVEIRA, 2010), contudo, alguns indicam que o melhor sistema é o desgaste por retífica (ZANETTI, 2009) e outros que concluem que os dois tratamentos tem a mesma eficiência (SILVA, et al., 2011.a).

Pesquisas mais abrangentes comparam o desempenho das técnicas dos três sistemas: aderido, não aderido e desgaste mecânico. Novamente não há consenso quanto a melhor técnica utilizada. Há trabalhos que mostram que a técnica utilizando neoprene confinado apresenta melhor resultado (JERÔNIMO, et al., 2011)

enquanto outros mostram que a técnica utilizando neoprene somente é mais indicada para concretos de resistência até 40 MPa e para resistências superiores os demais sistemas são mais indicados (MENEZES, CABRAL, 2012). Há ainda um autor que propõe como mais adequada a utilização de dois sistemas diferentes e combinados, por exemplo, usando o desgaste superficial e o neoprene confinado simultaneamente (LOPES, et al., 2012).

Verifica-se assim que, no Brasil, diferentemente do que pode ser visto no cenário internacional, ainda não há consenso sobre a eficiência das técnicas de tratamento superficial de corpos de prova cilíndricos para concreto convencional, muito menos para concretos de alta resistência. É importante destacar também que diversos outros aspectos relacionados ao tema são objeto de diferentes pesquisas como: o tamanho do corpo de prova (VIEIRA, et al., 2008; SILVA, et al., 2010; ARAÚJO, GUIMARÃES e GEYER, 2012), a influência da saturação ou não do corpo de prova (VIEIRA, 2012) e a influência de diferentes operadores no resultado final (GOMES, et al. 2010). Além disto, estudos realizados a partir de dados obtidos em obras e que também destacam a importância do processo de preparação dos topos dos corpos de prova tem sido desenvolvidos nos últimos anos no Brasil (ZANETTI, 2009; SILVA, et al., 2010.a; SILVA, et al., 2010b; LEITÃO, PAMPLONA e CABRAL, 2010; GOMES, et al., 2010; CUNHA e SOARES, 2011; GOMES, LIMA e ASSIS, 2011; SILVA, et al., 2011.b).

1.1 Justificativa

O presente trabalho busca analisar a adequação dos diferentes sistemas e suas respectivas técnicas de tratamento de topo de corpo de prova de acordo com a resistência à compressão dos concretos, visto que há no Brasil uma lacuna de conhecimento sobre este assunto.

2. Materiais e programa experimental

2.1 Materiais utilizados

2.1.1 Cimento

O cimento utilizado para as moldagens foi o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV – ARI) com massa específica de 3,11 kg/dm³. O CPV – ARI é o cimento com menores percentuais de adição em sua composição (ABNT NBR 5733, 1991) e também é o mais adequado para dosagens de concreto de alta resistência.

A Tabela 1 apresenta a caracterização química dos cimentos utilizados, os dados fornecidos pelo fabricante e a exigência da normalização brasileira.

Tabela 1 – Caracterização química dos cimentos utilizados		
Características avaliadas (% da massa)	CPV – ARI (fabricante)	Exigência da ABNT NBR 5733/91
MgO	3,01	≤6,50
SO ₃	4,26	≤4,50
Perda ao fogo	3,90	≤4,50

Tabela 2 – Caracterização física dos cimentos utilizados

Características avaliadas	CP V – ARI (fabricante)	Exigência da ABNT NBR5733/91
Massa específica (cm ³ /g)	3,10	–
Expansão à quente (mm)	0,0	≤5,0
Tempo de pega (h:mim) Início	02:55	≥01:00
Tempo de pega (h:mim) Fim	04:35	≤10:00
Consistência normal (%)	–	–
Finura Blaine (cm ² /g)	4970	≥3000
Resíduo peneira #200µm (%)	0,16	≤6,0
Resíduo peneira #3250µm (%)	1,44	–

A Tabela 2 apresenta a caracterização física dos cimentos utilizados, dados fornecidos pelo fabricante e a exigência da normalização brasileira.

2.1.2 Agregado miúdo

Foi utilizado como agregado miúdo areia quartzosa com massa específica 2,62 g/cm³, determinada segundo a ABNT NBR NM 52, com dimensão máxima característica igual à 4,8 mm e módulo de finura 2,4, conforme a ABNT NBR NM 248.

2.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi rocha britada de origem basáltica com massa específica de 2,90 g/cm³, determinada segundo a ABNT NBR NM 53 (2003), com dimensão máxima característica igual a 25 mm e índice de forma igual a 2,66, determinados conforme a ABNT NBR NM 248 (2003) e ABNT NBR 7809 (1983), respectivamente.

2.1.4 Água

A água utilizada foi potável, disponível na rede de abastecimento da cidade de Porto Alegre, RS.

2.1.5 Aditivo superplastificante

Foi empregado aditivo superplastificante somente nos traços de relação água/aglomerantes menores, que originaram concretos de alta

resistência. Utilizou-se um aditivo policarboxilato de terceira geração com massa específica de 1,087 g/cm³ e teor de sólidos de 40 %.

2.1.6 Silica Ativa

A sílica ativa foi somente utilizada nos traços de concreto de alta resistência, a mesma apresenta massa específica de 2,20 kg/dm³, superfície específica de 20.000 m²/kg e diâmetro médio de 0,2 mm de acordo com dados fornecidos pelo fabricante.

2.2 Metodologia

Os traços de concreto foram dosados a partir de dois métodos diferentes, os concretos com relação água / aglomerante 0,80; 0,70; 0,60 e 0,40 foram dosados seguindo os procedimentos tabelados no método ACI 211 (1991) e para os concretos com relação água / aglomerante 0,27 e 0,2 utilizou-se o método proposto por Metha e Aïtcin (1990). Os traços unitários e as relações água / aglomerante são apresentados na tabela 3.

O concreto foi misturado numa betoneira de eixo inclinado, betoneira de tombo, com capacidade de 250 l. Cada traço foi executado de uma só vez. Foram moldados 35 corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, conforme os procedimentos da ABNT NBR 5738/03. Antes da moldagem realizou-se a determinação da consistência por abatimento do tronco de cone, conforme a norma ABNT NBR NM 67 (1998), os resultados encontram-se na tabela 3.

Tabela 3 – Composição das misturas e relações água/cimento

Traço unitário	Materiais kg/m ³					Relação a/a	Abatimento mm
	Cimento	Sílica ativa	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Super plastificante		
1:3,99:4,92	230	–	918	1131	–	0,80	100
1:3,33:4,30	263	–	8191	1131	–	0,70	170
1:2,79:3,69	307	–	854	1131	–	0,60	170
1:2,18:3,07	368	–	804	1131	–	0,50	170
1:1,58:2,45	460	–	776	1131	–	0,40	120
1:0,95;1,23:2,22	527	50	650	1169	5,26	0,27	140
1:0,95;1,05:2,07	582	56	615	1205	7,00	0,20	140

Após moldados, os corpos de prova cilíndricos foram cobertos com sacos de aninhagem umedecidos e ficaram expostos à temperatura e à umidade ambiente por 24 horas, quando então foram desmoldados e levados para um tanque de água saturada com cal, onde permaneceram submersos à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, até um dia antes da data de serem ensaiados. Nesta data, os corpos de prova receberam diferentes tratamentos em seus topos e foram levados ao ensaio de compressão.

As faces dos corpos de prova foram preparadas empregando três técnicas de sistema aderido: enxofre puro (AEP), enxofre reutilizado (AER) e enxofre preparado conforme a norma NM 77 (1996) (AEN); duas técnicas de sistemas não aderido: almofada de neoprene confinada com dureza shor 60 (NAN60) e dureza shor 70 (NAN70); e duas técnicas de sistema de desgaste mecânico: retífica de disco rígido (RRDR) e retífica de disco fino (RRDF). Para cada tipo de tratamento de face foram moldados 5 corpos de prova totalizando 245 corpos de prova cilíndricos. Também foram moldados para cada relação água / aglomerante três corpos de prova cúbicos, totalizando 21 corpos de prova, sendo que estes foram rompidos sem nenhum tratamento superficial e serviram como padrão de comparação para os demais métodos de tratamento.

2.2.1 Sistemas de desgaste mecânico

O processo de desgaste mecânico é indicado na norma ABNT NBR 5738 (2003) contudo há diferentes equipamentos que realizam esta atividade. Por acreditar que as diferenças existentes entre estes equipamentos, bem como sua adequada utilização, produzem resultados diferentes, empregou-se neste trabalho dois equipamentos disponíveis no mercado brasileiro com características distintas.

O primeiro é uma retífica de disco rígido (RRDR). Esta máquina possui uma cápsula com um braço pneumático para aprisionamento do corpo de prova, e que tem como objetivo garantir a perpendicularidade entre a superfície lateral e o disco diamantado de desgaste. A grande vantagem da configuração desta máquina é permitir o ajuste

bastante sensível da altura do disco abrasivo, permitindo a retirada de camadas pouco espessas até se alcançar uma superfície plana e lisa. Com o intuito de minimizar os efeitos de vibração que podem afetar nos resultados de resistência a compressão, o avanço do cabeçote com o disco diamantado deve ser feito de forma lenta e uniforme em camadas progressivas. A figura 1 apresenta algumas das características da máquina tipo RRDR.

Já o segundo é uma retífica de disco fino (RRDF), é o equipamento mais utilizado, pois seu custo geralmente é bastante menor do que o da primeira. Esta máquina possui uma cantoneira onde é colocado o corpo de prova deitado, com o auxílio de uma alavanca, ativada manualmente ou de forma pneumática, o operador consegue fazer com que o corpo de prova fique preso à máquina. Basicamente as duas retíficas trabalham a partir do mesmo princípio utilizando um disco diamantado, contudo as diferenças consistem principalmente na estrutura de fixação menos eficiente das retíficas tipo RRDF. Também neste tipo de equipamento não há como se fazer a regulação do avanço do cabeçote ou do corpo de prova com a precisão do equipamento tipo RRDR. E a principal diferença existente entre estes dois equipamentos é a menor rigidez das retíficas tipo RRDF que está diretamente ligada aos defeitos de planicidade relatados por Ruduit, Cremonini, (2009) e Zanetti (2009). Por ser menos rígida, ocorre uma vibração diferencial, oriunda do próprio motor do equipamento, entre o disco abrasivo e o corpo de prova.

A vibração promovida no conjunto será tanto maior quanto menor for a rigidez do equipamento, quanto maior for a camada de concreto removida do corpo de prova e quanto menor for a rotação do motor do equipamento.

2.2.2 Sistema aderente

Os sistema aderente pode ser empregado através de diversas técnicas como o emprego de pasta de cimento, resinas do tipo epoxi e o mais tradicional emprego de enxofre. O enxofre apresenta alguns inconvenientes do ponto de vista da saúde. Quando

Figura 1 – Corpo de prova sendo retificado com retífica tipo RRDR (B) e disco rígido diamantado (A)

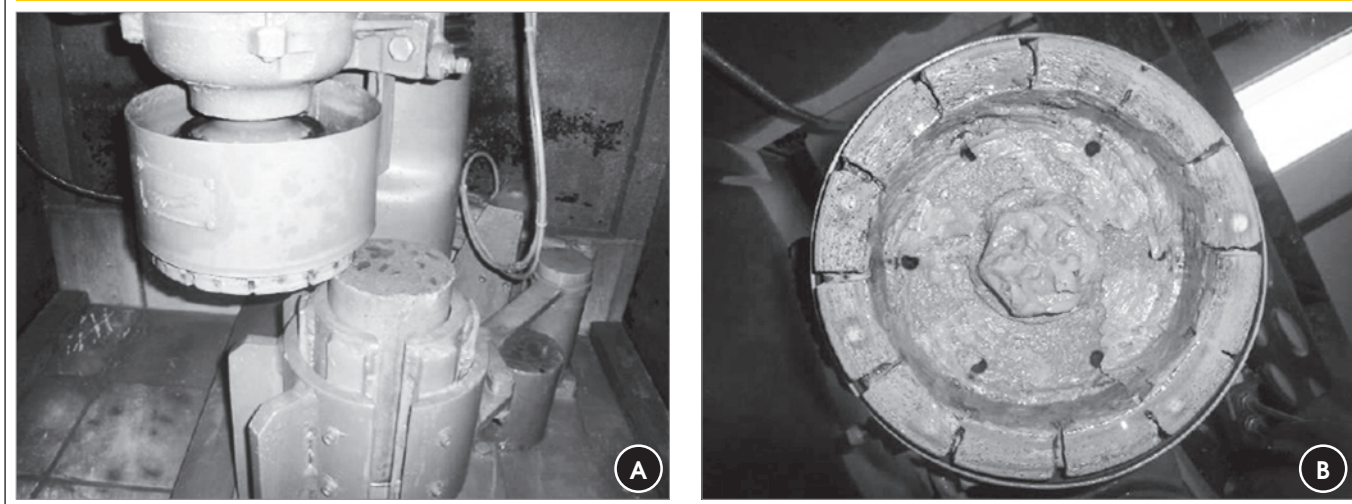
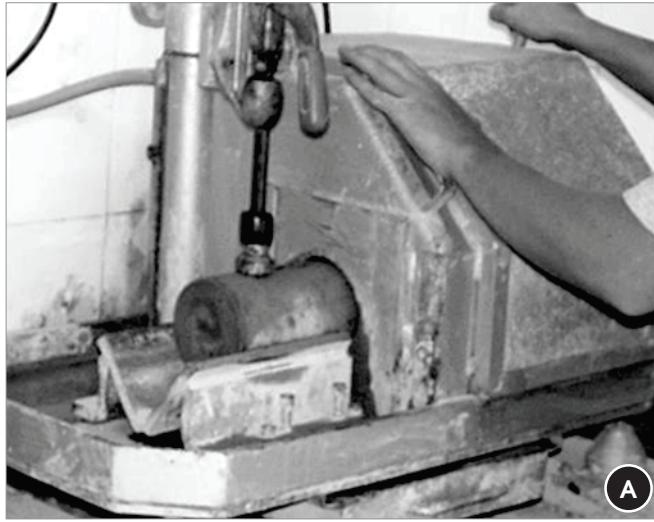


Figura 2 – Corpo de prova sendo retificado com retífica tipo RRDF (B) e disco fino diamantado à esquerda (A)



aquecido, o enxofre libera SO_2 , que é tóxico e altamente irritante para as mucosas das vias respiratórias. Esse gás é perigoso porque, ao se combinar com o vapor de água e com o oxigênio do ar, forma ácido sulfúrico nos pulmões (AMORIM et al., 2007; RUDUIT, CREMONINI, 2009; AGUIAR, ARAÚJO e GEYER, 2009; BARBOSA e OLIVEIRA, 2010; LIMA, BASSANI e ALMEIDA JÚNIOR (2010). Essa técnica ainda é utilizada atualmente pois, além de ser prevista em norma, apresenta como benefícios a facilidade de execução, pois ganha resistência rapidamente, e com isso alta produtividade.

Foram utilizadas neste estudo três técnicas a primeira foi a uti-

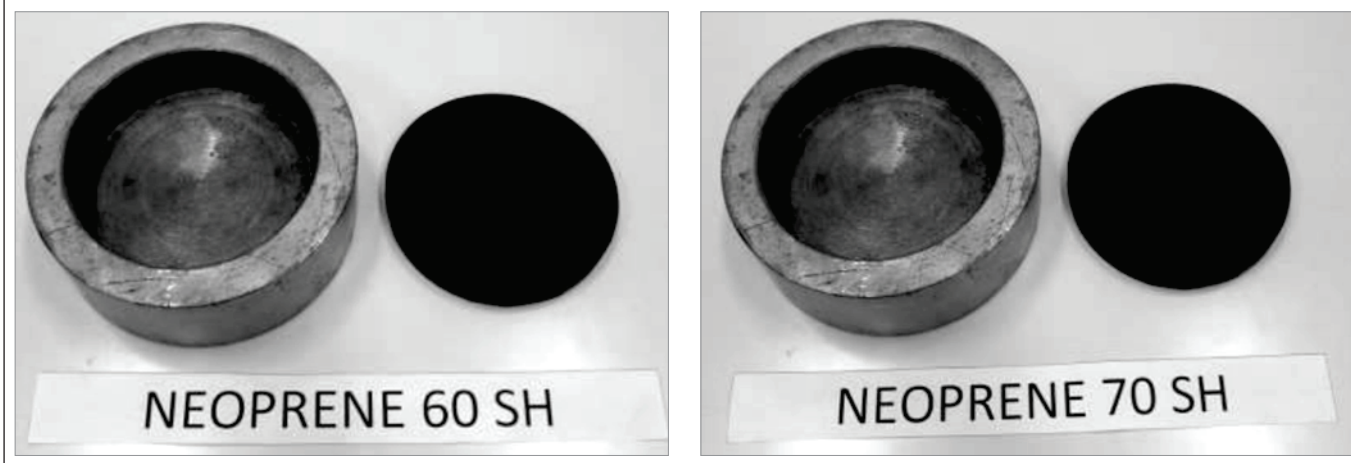
lização de argamassa de enxofre conforme recomendações da norma ABNT NM 77 (1996) que estabelece uma mistura com proporcionalidade de 75% de enxofre em pó, 20% de material inerte (caulim ou filer) e 5% de grafite em pó (AEN). A temperatura de mistura para aplicação é de 130°C (figura 3). Nesta temperatura a argamassa de enxofre apresenta uma consistência que permite uma boa homogeneidade, sem deposição de material no fundo do tacho e uma viscosidade bastante adequada para aplicação.

Após a execução do capeamento os corpos de prova foram colocados em uma superfície limpa onde permaneceram pelo período mínimo de duas horas para os concretos de resistência conven-

Figura 3 – Temperatura de mistura da argamassa de enxofre (AEN) (B) e corpo de prova sendo capeado (A)



Figura 4 – Discos de neoprene de diferentes durezas shore utilizados no estudo



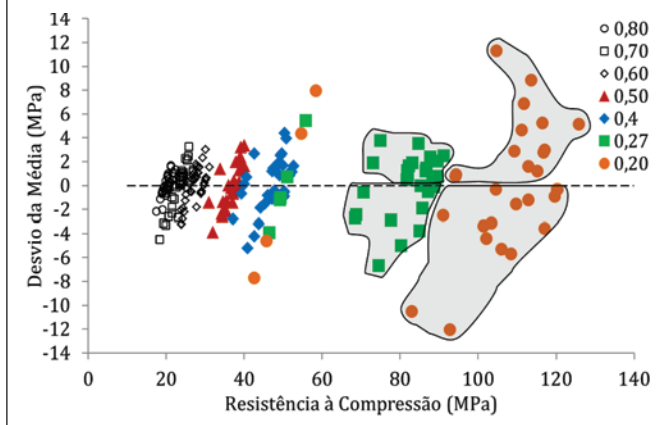
cional e de 16 horas para concretos de alta resistência. A segunda técnica aderida utilizada foi a argamassa de enxofre puro (AEP). A execução desse método teve seus procedimentos exatamente iguais ao da AEN, exceto na composição da sua mistura, que foi preparada apenas com enxofre puro derretido. Observou-se que

o enxofre puro derretido mostrou-se consideravelmente mais fluido que a mistura proposta pela norma ABNT NM 77 (1996). A terceira técnica aderida utilizada foi a argamassa de enxofre reciclado (AER), oriundo da reutilização da argamassa proveniente de corpos de prova já ensaiados anteriormente. A execução desse

Tabela 4 – resultados individuais de resistência a compressão

Tratamento superficial	Relação água/aglomerante													
	0,80		0,70		0,60		0,50		0,40		0,27		0,20	
AEP	20,3	18,4	21,5	23,3	23,9	28,2	34,4	39,0	44,1	47,2	68,5	68,7	113,7	101,5
	20,5	19,4	19,4	25,7	29,4	23,9	37,3	37,4	40,8	50,4	70,6	73,1	104,6	92,8
	18,8	-	22,5	-	30,1	-	36,8	-	47,4	-	74,9	-	111,7	-
AER	20,3	21,1	24,4	23,3	24,9	27,8	31,0	-	40,6	42,5	51,1	49,2	54,7	42,6
	19,9	18,9	23,5	21,5	26,7	27,2	33,9	-	40,0	39,2	49,4	55,8	58,3	-
	17,4	-	23,7	-	24,3	-	-	-	37,1	-	46,4	-	45,8	-
AEN	19,0	21,2	23,3	25,3	25,1	27,7	35,3	39,1	50,8	45,4	77,7	-	94,3	94,4
	19,3	18,9	24,2	-	26,0	23,8	40,0	34,5	49,4	46,0	82,3	-	104,8	83,0
	19,1	-	19,9	-	26,7	-	34,3	-	42,7	-	81,9	-	91,0	-
NAN60	19,9	20,7	23,9	18,2	26,5	28,6	37,3	37,4	47,1	49,9	89,4	85,0	115,3	116,8
	20,4	21,5	23,7	25,0	24,2	27,7	35,4	38,9	47,8	49,1	89,6	88,7	117,1	108,4
	19,8	-	22,6	-	28,1	-	38,9	-	47,3	-	91,3	-	112,9	-
NAN70	20,6	21,0	20,6	23,6	28,3	27,4	37,0	38,0	49,7	52,0	88,4	87,3	109,8	112,9
	20,4	19,9	22,0	25,6	24,6	26,3	38,7	40,0	51,6	50,3	85,7	89,7	116,6	-
	21,9	-	23,9	-	27,2	-	38,1	-	50,2	-	87,1	-	106,0	-
RRDR	19,9	20,2	24,3	21,4	27,8	29,0	37,1	37,1	50,1	52,2	86,5	86,8	120,3	125,8
	19,9	19,6	24,5	23,8	31,1	29,8	37,3	37,9	50,1	52,7	80,3	85,3	117,1	119,7
	20,7	-	24,4	-	30,2	-	39,3	-	50,2	-	87,7	-	120,3	-
RRDF	22,3	20,7	27,0	23,0	29,6	30,0	34,6	37,9	48,7	49,6	81,6	74,5	111,2	102,1
	21,5	19,0	26,0	25,5	29,1	28,9	39,1	35,9	48,8	43,8	84,7	83,1	103,4	-
	21,4	-	26,8	-	30,3	-	32,0	-	43,8	-	82,1	-	109,4	-
Padrão	21,2	-	25,6	-	32,0	-	42,5	-	52,9	-	88,1	-	117,5	-
	21,0	-	25,3	-	31,1	-	40,5	-	54,8	-	90,4	-	121,0	-
	20,9	-	25,9	-	31,6	-	41,8	-	56,9	-	95,8	-	132,8	-

Figura 5 – Desvios relativos de cada valor individual para a média de cada combinação versus a resistência à compressão de cada medida individual



método se deu através da fusão de fragmentos de enxofre coletado de corpos de prova já ensaiados.

2.2.3 Sistema não aderente

O uso de sistemas não aderentes como o uso de neoprene tem ganhado espaço em empresas e laboratórios que trabalham com o controle tecnológico. A norma ASTM C 1231 (2000) dá recomendações para a execução do ensaio, como por exemplo a dureza nominal a ser utilizada para cada intervalo de resistência: discos com dureza shore 60 (NAN60) são recomendados para concretos com resistência entre 10 e 50 MPa. Enquanto discos de dureza shore 70 (NAN70) são recomendados para concretos com resistência entre 28 e 80 MPa. Foram utilizados discos de neoprene com diâmetro de 104 mm e espessura de 10 mm. No intuito de minimizar a influência do desgaste dos discos de neoprene, estes foram utilizados somente cinco vezes cada, ou seja, um disco novo para cada combinação. Foi utilizado um par de pratos metálicos de confinamento, que impediam a deformação excessiva do neoprene, os discos são mostrados na figura 4. Empregou-se um disco na face inferior do corpo de prova e outro disco na face superior. Além dos discos de neoprene encontram-se na literatura outras téc-

nicas de sistemas não aderidos como o uso de placas de madeira (AMORIM et al., 2007; LIMA, BASSANI E ALMEIDA JÚNIOR, 2010) e areia confinada (LIMA, BASSANI E ALMEIDA JÚNIOR, 2010). Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5739 (1994). Eles foram executados utilizando-se a máquina servo controlada Shimadzu de 2.000 kN a uma velocidade de aplicação de tensão de 0,45 MPa/s, que foi mantida constante durante todo o ensaio.

3. Resultados e discussões

A apresentação dos resultados foi feita primeiramente através dos valores individuais de resistência à compressão mostrada na tabela 4. Foi realizada uma análise dos desvios absolutos, e apresentada a análise de variância realizada sobre os dados experimentais. Posteriormente foi realizada a comparação de média entre as resistências à compressão para cada tipo de tratamento superficial e para os diferentes traços de concreto. Também foi apresentada uma análise do desvio padrão para cada nível de resistência e uma análise do coeficiente de variação. A figura 5 apresenta os desvios residuais dos valores individuais em relação à média de cada combinação. Este gráfico foi apresentado, pois mostra um aspecto importante: a amplitude dos desvios foi pro-

Figura 6 – Comparação de médias entre os tratamentos superficiais para a os concretos de relação água/aglomerante 0,80

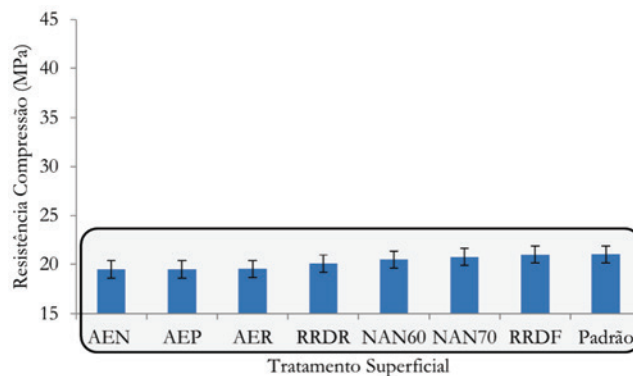


Tabela 5 – Análise de variância

Fonte	Teste					
	SQ	GDL	MQ	F	Probab	Comentário
A: Relação água/aglomerante	186707,6	6	31117,94	2592,52	0,000%	S
B: Tratamento superficial	6268,14	6	1044,69	87,04	0,000%	S
AB	13067,94	36	363,00	30,24	0,000%	S
Erro	2268,56	189	12,00	-	-	-
Total	208312,2	237	-	-	-	-

GDL: grau de liberdade; SQ: soma quadrada; MQ=SQ/GDL: média quadrada; F: valor calculado de F: valor calculado da distribuição de Fischer; S/N: efeito significativo (S) e não significativo (NS).

Figura 7 – Comparação de médias para os concretos de relação água/aglomerante 0,70

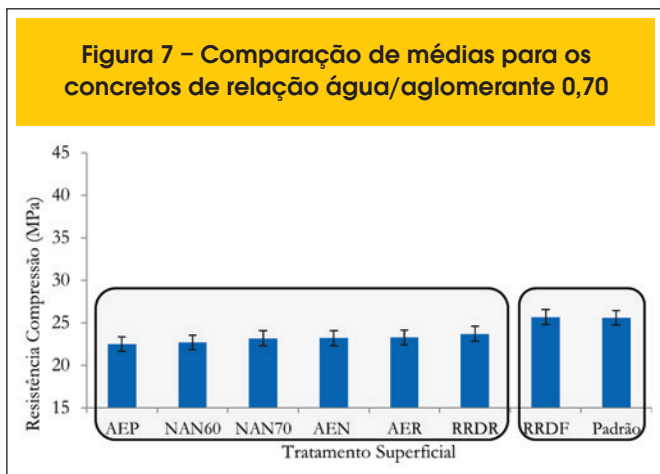
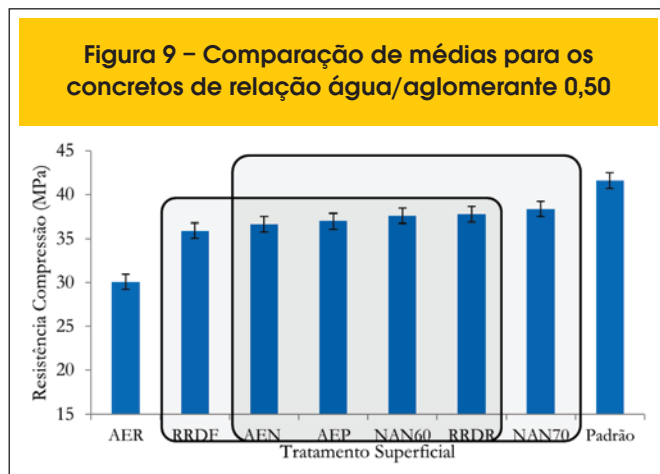


Figura 9 – Comparação de médias para os concretos de relação água/aglomerante 0,50



porcional à resistência do concreto, assim concretos de alta resistência apresentam uma dispersão maior e os concretos de resistência convencional uma dispersão menor. O erro ou desvio da média se deve aos fatores variáveis ao longo do processo. Como os concretos foram moldados seguindo os mesmos procedimentos estes desvios a princípio seriam os mesmos. Contudo o gráfico da figura 5 mostra que o erro ou desvio dos valores individuais não é inerente ao processo simplesmente, mas também é uma característica do material gerado. A tabela 5 apresentou a análise de variância realizada a partir dos dados experimentais. Ela também mostrou que os dois fatores controláveis, que são: a relação água / aglomerante e o tratamento superficial, são fatores significativos na variável de resposta. Isso indica que há diferença significativa entre as variáveis analisadas. É conhecimento comum que o primeiro fator, a relação água / aglomerante, está diretamente ligado à resistência e, por este motivo, não serão realizadas comparações de média para este fator. Já para o outro fator controlável, o tratamento superficial, que é objeto principal deste trabalho, será realizado a comparação de médias para cada nível de relação água / aglomerante.

sistemas estudados para concretos com relação água / aglomerante 0,80. Através da comparação de média pode-se ver que a variação encontrada entre os diferentes sistemas não foi suficiente para que estes fossem considerados estatisticamente diferentes. O limite de decisão utilizado nas comparações de médias, obtido a partir dos dados experimentais, corresponde a 1,76 MPa.

3.1 Comparação de médias a para os concretos de resistência convencional

A comparação de média é realizada tendo como objetivo identificar grupos de resistência equivalentes estatisticamente. As técnicas de tratamento superficial agregarão ruído experimental à grandeza mensurada, neste caso a resistência média. Admitindo como hipótese que o ruído somente fará a média diminuir, adota-se como entendimento nas análises deste trabalho que quanto maior a resistência média mais eficiente será a técnica de tratamento da face, pois menor será a influência do ruído experimental. Adotou-se como padrão de comparação nos gráficos o corpo de prova cúbico, pois, o mesmo não apresenta tratamento superficial. Não se propôs, no entanto, neste trabalho, discutir a relação existente entre a resistência do padrão a resistência dos demais corpos de prova em função da geometria ser diferente.

A figura 6 apresenta a comparação de média para os diferentes

A figura 7 apresenta a comparação de médias para o segundo nível de resistência correspondente à relação água / aglomerante 0,70. Para este nível de resistência a retífica de disco fino

Figura 8 – Comparação de médias para os concretos de relação água/aglomerante 0,60

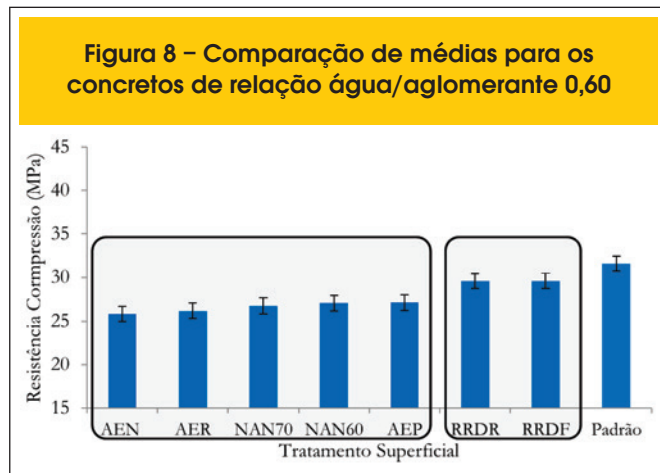
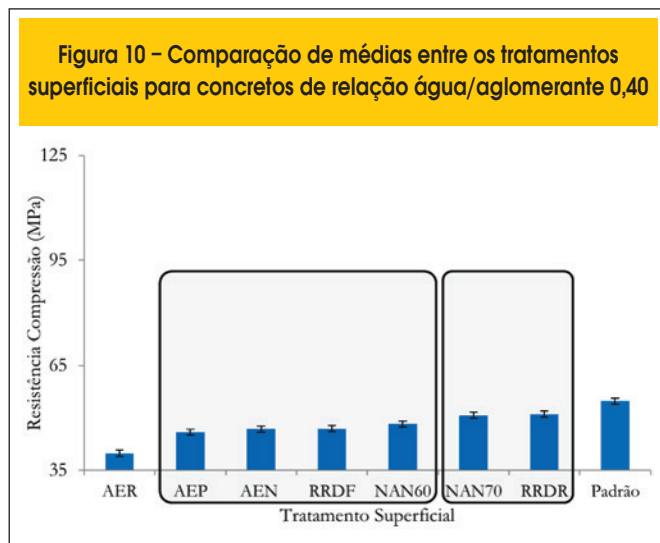
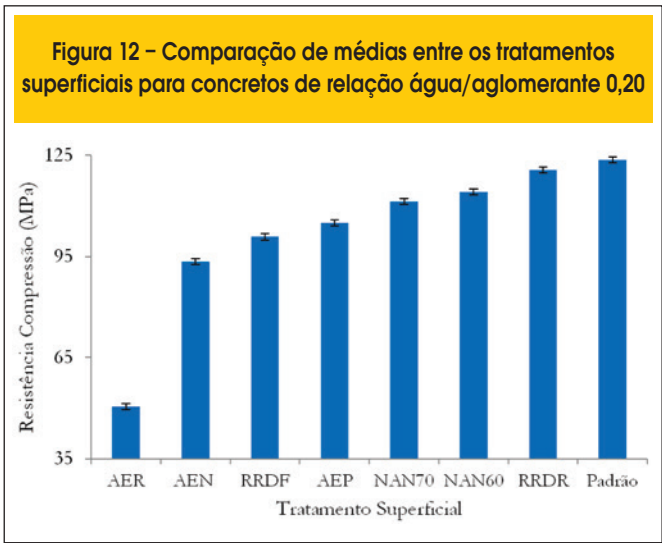
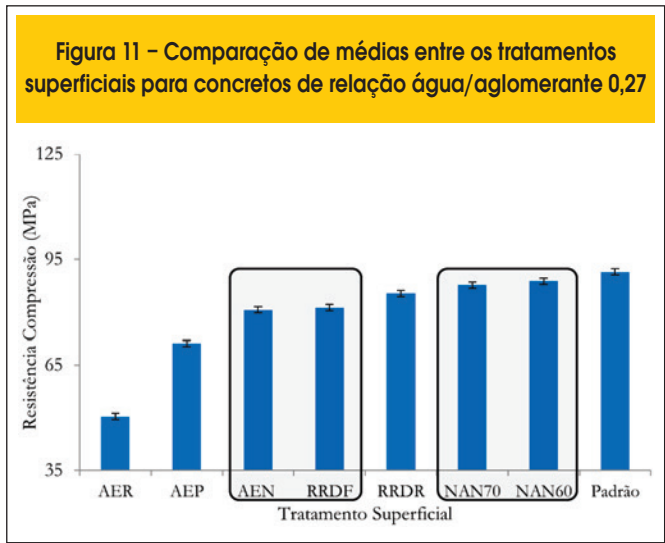


Figura 10 – Comparação de médias entre os tratamentos superficiais para concretos de relação água/aglomerante 0,40





apresentou resistência à compressão igual estatisticamente ao padrão e diferente das demais resistências.

A figura 8 apresenta a comparação de médias para o nível de resistência correspondente a relação água / aglomerante 0,60. Para esta, as técnicas de desgaste mecânico apresentam os maiores valores estatisticamente comparadas com os demais.

A figura 9 apresenta a comparação de médias para o nível de resistência compatível à relação água / aglomerante 0,50. Para esta relação percebe-se que há dois grupos cujas resistências são estatisticamente equivalentes e menores do que o padrão. Somente a técnica AER apresentou resistência significativamente menor que estes dois grupos. Isso significa uma diferença na resistência de cerca de 10 MPa a menos que o padrão. Essa diferença é bastante grande e justifica-se, pois o enxofre reciclado utilizado provavelmente perde a capacidade de adquirir resistências mais elevadas após sucessivas reutilizações. Cabe também destacar que, para os concretos de resistência convencional, o desempenho das demais técnicas foi satisfatório do ponto

de vista da análise das médias. A alternância das diferentes técnicas como: mais eficiente, maior resistência média, em cada nível de relação água/aglomerante, explica os relatos divergentes encontrados na literatura quanto à eficiência dos métodos. Contudo, é de suma importância analisar os desvios correspondentes a cada uma das médias, pois, o desvio padrão também é uma informação bastante relevante. A discussão sobre os desvios será realizada em seguida.

3.2 Comparação de médias para concretos de alta resistência

A figura 10 apresenta a comparação de médias dos concretos dosados com relação água / aglomerante 0,40. Nota-se que há formação de dois grupos estatisticamente diferentes sendo que o grupo de maior resistência é composto pelos sistemas de RRDR e NAN70. A figura 11 apresenta a comparação de médias para os traços de concretos dosados com relação água/aglomerante 0,27. Para este traço de concreto, diferentemente dos demais, os dois sistemas

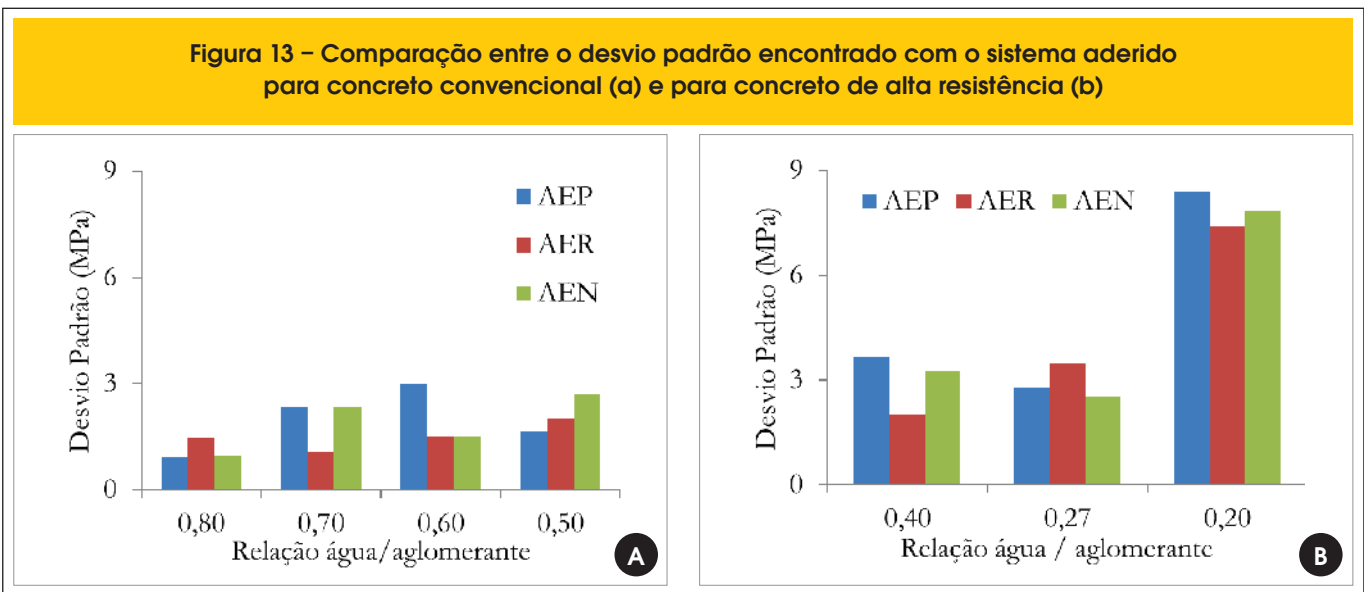
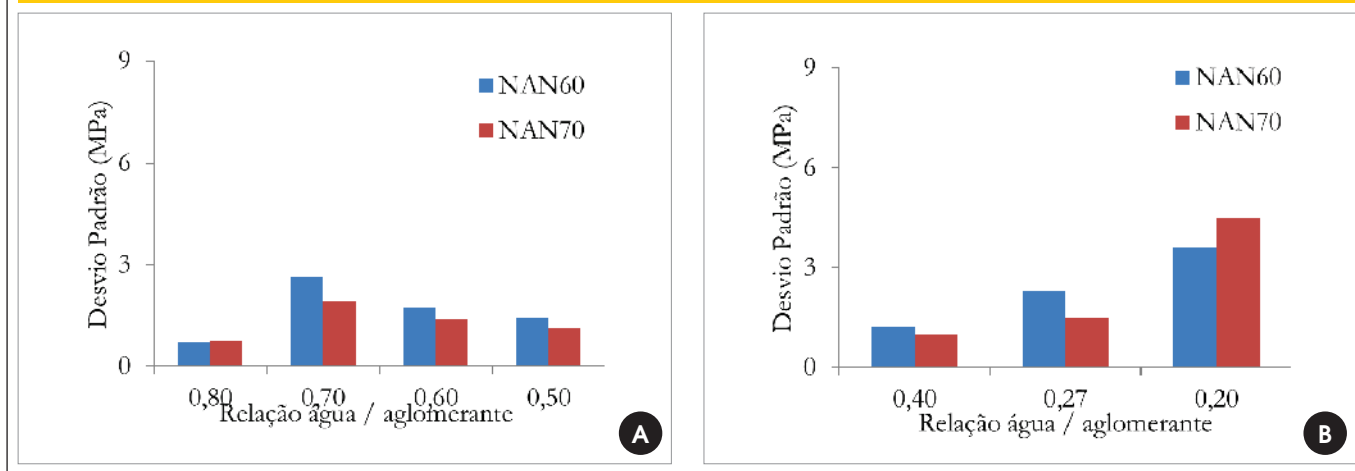


Figura 14 – Comparação entre os desvio padrão do sistema não aderido para concretos convencionais (a) e de alta resistência (b)



não aderidos apresentaram estatisticamente as médias maiores que os demais sistemas.

A figura 12 apresenta a comparação de médias para os traços de concreto produzidos com relação água / aglomerante 0,20. Para este nível de resistência todos os tratamentos superficiais apresentam resistências médias estatisticamente diferentes. Destaca-se a técnica de RRDR como a que apresentou a maior resistência média.

De maneira geral observou-se através da análise de médias que os tratamentos NAN60, NAN70 e RRDR foram os mais eficientes. Sendo estes, para todos os níveis de relação água / aglomerante igual ou menor que 0,40, os três mais eficientes. Salienta-se o fato de que os métodos NAN70 e NAN60 foram executados com almofadas de neoprene novas sendo que cada uma delas foi utilizada somente cinco vezes. Não foram feitos testes quanto à durabilidade das almofadas, por tanto, não se identificou para quantas utilizações as mesmas apresentam este desempenho.]

3.3 Comparação do desvio padrão encontrado em cada método e do coeficiente de variação

O desvio padrão na resistência dos corpos de prova irmãos é um indicativo da confiabilidade do ensaio. Ter um desvio padrão baixo implica em pouco ruído experimental.

A figura 13 representa o desvio padrão encontrado para as técnicas de sistema aderido. Os valores são maiores do que os encontrados por Ruiduit e Cremonini (2009), cerca de 1 a 1,5 MPa para concretos convencionais. Porém são menores dos que encontrados por Silva et al (2010). A figura 14 apresenta os desvios para o sistema não aderido, para os concretos de resistência convencional e de alta resistência. Para os concretos de resistência convencional a técnica utilizando o neoprene de 70 Shore apresentou menores valores de desvio padrão. Os desvios para as diferentes relações água / aglomerante são menores do que os do sistema não aderido quando

Figura 15 – Comparação entre o desvio padrão encontrada para o sistema com desgaste mecânico por retífica para concretos convencionais (a) e alta resistência (b)

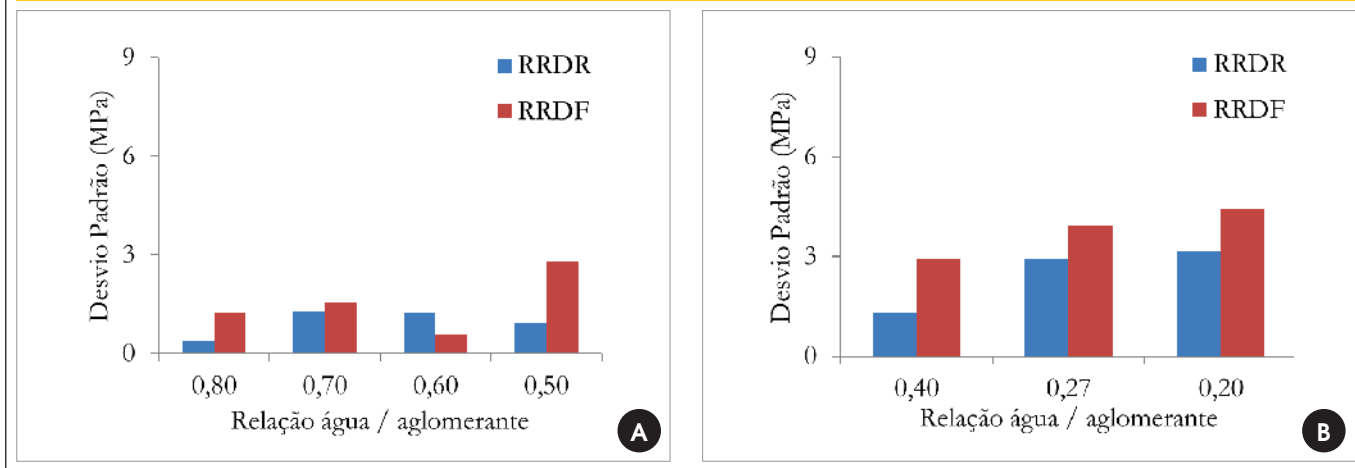
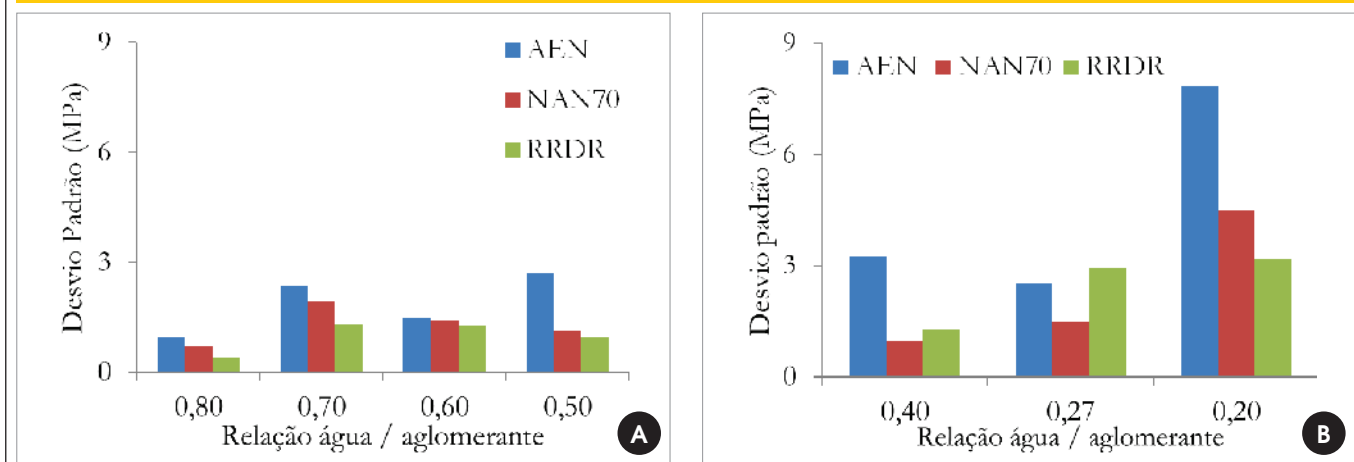


Figura 16 – Comparação entre os menores desvio padrão encontrada para cada técnica dos três sistemas para concretos convencionais (a) e concretos de alta resistência (b)



comparado com o sistema aderido. Os valores encontrados são da mesma ordem de grandeza dos encontrados por Lopes et al (2012) que obteve para esta técnica em concretos de 40 MPa valores de desvio padrão entre 1,48 e 2,61 MPa e de 4,5 MPa para concretos de 60 MPa.

A figura 15 apresenta os desvio padrão apresentados pelos concretos de resistência convencional e de alta resistência quando ensaiados com sistema de regularização superficial dos topos, ou seja, desgaste mecânico por retífica. Somente para a relação água / aglomerante 0,6 o desvio padrão da técnica RDRF apresentou desvio padrão inferior ao apresentado pela técnica de RRDR. Os valores encontrados são semelhantes aos encontrados por Ruduit e Cremonini (2009) e Silva et al (2012) para o mesmo sistema de tratamento de topo.

A figura 16 apresenta uma comparação entre as técnicas mais eficientes de cada um dos três sistemas. Para os concretos convencionais a técnica RRDR apresentou os menores desvio padrão. Já para o concreto de alta resistência a técnica de NAN70 apresen-

tou menores desvio padrão para os concretos com relação água / aglomerante 0,4 e 0,27.

Além da análise do desvio padrão, outro parâmetro analisado é o coeficiente de variação. A figura 17 apresenta os menores coeficientes de variação de cada um dos três sistemas para os concretos estudados. O coeficiente de variação sendo o cociente do desvio padrão pela média permite uma análise combinada dos dois fatores. Através da análise do coeficiente de variação percebe-se que para os diferentes níveis de relação água / aglomerante o sistema RRDR apresentou o menor valor com exceção dos concretos moldados com as relações 0,4 e 0,27.

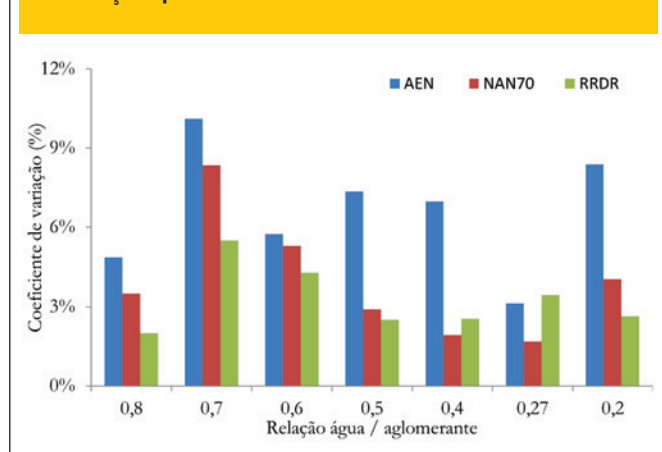
4. Conclusões

O presente trabalho avaliou diferentes tipos de tratamento superficial para corpos de prova cilíndricos através da moldagem e ruptura de 245 corpos de prova. Uma contribuição ao conhecimento na área foi a inserção de ensaios para concretos com 20 MPa a 125 MPa, que ainda não havia sido estudada. Foi possível verificar que há diferenças significativas entre os sistemas analisados, como a bibliografia já afirmava. Outra constatação é que técnicas de um mesmo sistema podem apresentar resultados distintos, como no caso das técnicas RRDF e RRDR.

Tendo em vista os objetivos do presente trabalho conclui-se, através da análise de médias, que os sistemas analisados apresentaram resultados semelhantes para os concretos de resistência convencional, com exceção da técnica AER. Contudo, ao se avaliar o desvio padrão encontrado para grupos de cinco corpos de prova irmãos verifica-se que o desempenho da técnica de RRDR foi superior a todos os demais para os quatro níveis de relação água / aglomerante analisados, apresentando os menores valores de desvio padrão. Essa afirmação também é confirmada pela análise do coeficiente de variação que associa a média e o desvio padrão dos diferentes concretos convencionais. Assim, conclui-se e recomenda-se para concretos convencionais a técnica de RRDR por ser a mais eficiente.

Para os concretos de alta resistência, através da análise de médias, constata-se que os tratamentos NAN60, NAN70 e RRDR

Figura 17 – Comparação entre os coeficientes de variação para os diferentes concretos estudados



apresentaram-se os mais eficientes sendo os três níveis de relação água / aglomerante iguais ou inferiores a 0,40 os mais eficientes, ou seja, apresentaram os maiores valores de média. O mesmo comportamento se observa para o desvio padrão e para o coeficiente de variação. A técnica NAN70 apresentou os menores valores de desvio padrão para as relações água / aglomerante 0,40 e 0,27. Já a técnica RRDR apresentou o menor desvio para a relação água / aglomerante 0,20. Conclui-se assim que a técnica RRDR e a técnica NAN70 são as mais indicadas para concreto de alta resistência. Também recomenda-se para estudos futuros uma análise de número de ensaios possíveis utilizando a mesma bolacha de neoprene, mantendo o mesmo desempenho obtido no presente trabalho.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao LEME (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais) da UFRGS pelo apoio na realização dos experimentos e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento deste trabalho.

6. Referências bibliográficas

- [01] ACI Committee 211.1. Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991.
- [02] AGUIAR, R.; ARAÚJO, J.; GEYER, A. Agressão aos trabalhadores e ao meio ambiente de trabalho na utilização do enxofre no capeamento de corpos de prova. 51º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2009.
- [03] AÏTCIN, P. C. (1989). Les betons a très haute resistance. Bulletin Liaison Lab. P. et Ch. Juil-Août, 55-60.
- [04] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 39 – Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. ASTM Committee C09 on Concrete and concrete Aggregates, 2003.
- [05] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1231/C: Standard practice for use of unbounded caps in determination of compressive strength of hardened concrete cylinders. New Mexico, 2000.
- [06] Amorim, B.; Sagave, A. M.; Beber, A. J.; Santos, S. Capeamento com enxofre VS. Compensado de madeira: uma alternativa viável. 49º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Bento Gonçalves – RS, Setembro, 2007.
- [07] ARAÚJO, S. S.; GUIMARÃES, G. N.; GEYER, A. L. B. Influência do tipo de concreto, da dimensão do corpo de prova cilíndrico e do tipo de laboratório na determinação da resistência à compressão do concreto. 54º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Maceió – AL, Outubro, 2012.
- [08] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [09] _____. NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [10] _____. NBR NM 65: Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega – método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- [11] _____. NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- [12] _____. NBR NM 77: Concreto – Preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- [13] _____. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [14] _____. NBR 5733: Cimento Portland – Cimento Portland de alta resistência inicial – especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- [15] _____. NBR 5735: Cimento Portland – Cimento Portland de alto-forno - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- [16] _____. NBR 5736: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [17] _____. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [18] _____. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- [19] _____. NBR 7112: Concreto – Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- [20] _____. NBR 7809. Agregado Graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 1983.
- [21] _____. NBR 11578: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [22] BARBOSA, F. R.; MOTA, J. M.; SILVA, A. J. C.; OLIVEIRA, R. Análise da influência do capeamento de corpos de prova cilíndricos na resistência à compressão do concreto. 51º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2009.
- [23] BARBOSA, H. A.; OLIVEIRA, S. L. Análise de diferentes tipos de capeamento na resistência à compressão do concreto. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Fortaleza – CE, Outubro, 2010.
- [24] BURG, R. G.; OST, B. W. Engineering properties of commercially available high-strength concretes, Research and Development Bulletin RD104T, Portland Cement Association, 1992.
- [25] CUNHA, R. R.; SOARES, L. P. F. Cuidados e precauções nos processos de moldagem, cura e ensaios a compressão axial simples de corpos de prova cilíndricos de concreto usinado como referência a NBR 5738. 53º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Florianópolis – SC, Novembro, 2011.
- [26] De LARRARD, F. Mechanical material properties, Proceedings Fourth International Symposium on Utilization of High Strength / High Performance Concrete, 29-31 May, Paris France, 1996. p. 29-38.
- [27] GOMES, E. L.; LIMA, F. B.; ASSIS, W. S. Análise estatística da resistência a compressão do concreto produzido em Alagoas de 2004 a 2010. 53º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Florianópolis – SC, Novembro, 2011.
- [28] GOMES, E. L.; LIMA, A. L.; SANTOS, R. B.; GOMES, P. C.; ASSIS, W. S. Análise do desempenho de técnicos de laboratório a partir de resultados de resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos de concreto. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2010.
- [29] HANSEN, E. A., LEIVO, M., RODRIGUES, J.; CATHER, R. Mechanical properties of high strength concrete – Influence of test conditions, specimens and constituents.

- Proceedings Fourth International Symposium on utilization of high strength/high performance concrete, 29-31 May, Paris France, 1996. p. 187-202.
- [30] HELENE, P. L.; TERZIAN, P. R. Manual de dosagem e controle do concreto. Brasília: Pini, 1992.
- [31] JERÔNIMO, V. L.; SOUZA, L. A. A. S.; SILVA, B. V.; MARQUES, G. G.; SILVA FILHO, L. C. P. Análise da influência da regularização dos topos de corpos de prova cilíndricos sobre a resistência a compressão do concreto. 53º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Florianópolis – SC, Novembro, 2011.
- [32] LEITÃO, M. T.; PAMPLONA, H.; CABRAL, A. E. B. Estudo do desvio padrão utilizado por usinas de concreto da cidade de Fortaleza. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2010.
- [33] LIMA, M. G.; BASSANI, A. C.; ALMEIDA JÚNIOR, G. S. Estudo de materiais alternativos para capeamento de corpos de prova cilíndricos de concreto para ensaios de resistência a compressão. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2010.
- [34] LOPES, J. B. O.; WILRICH, F. L.; DIAS, C. G.; BERNARDI, N. Uso de almofada de neoprene confinada combinada com retificação para ensaios de compressão axial de corpos de prova de concreto. 54º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Maceió – AL, Outubro, 2012.
- [35] MEHTA, P.K; AÏTCIN, P-C. Principles underlying production of high performance concrete. *Cement, Concrete & Aggregates* v. 12, n.2, p. 70-78, 1990.
- [36] MENEZES, A. J. R.; CABRAL, E. B. Estudo comparativo entre capeamento de corpo de prova de concreto com enxofre, uso de neoprene e retificação de topo para ensaio de resistência a compressão axial. 54º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Maceió – AL, Outubro, 2012.
- [37] MINDESS, S. Materials selection, proportioning and quality control high performance concrete and applications. Edited by S. P. Shah, P. Sundera, and S. H. Ahmad, 1-25, 1994.
- [38] PISTILLI, M. K; WILLEMS, T. Evaluation of cylinder size and capping method in compression strength testing of concrete. *Cement, Concrete, and Aggregates, CCAGDP*, Vol. 15, Nº 1, Summer, 59-69, 1993.
- [39] RUDUIT, F. R.; CREMONINI, R. A. Estudo comparativo de métodos de preparo de topos de corpos de prova de concreto para ensaio de resistência a compressão. 51º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2009.
- [40] SILVA, A. J. C.; SANTOS, C. F.; NETO, J. M. C.; MONTEIRO, E. C. B. Discussão dos fatores de influência nas operações de ensaio em corpos de prova de concreto. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2009. (a)
- [41] SILVA, A. S. R.; AZEVEDO, M. T.; COSTA, F. N.; AZEVEDO, A. P.; SANTOS, A. B.; CARMO, A. A. Contribuição para o estudo da influência das dimensões dos corpos de prova cilíndricos na confiabilidade dos resultados de resistência à compressão axial de concretos. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2010.
- [42] SILVA, A. S. R.; AZEVEDO, M. T.; COSTA, F. N.; SANTOS, S. A. B.; BRITO, J. S.; CARMO, A. A. Avaliação dos resultados de resistência a compressão axial de concretos fornecidos a obras em Salvador. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2010.
- [43] SILVA, A. S. R.; AZEVEDO, M. T.; COSTA, F. N.; SILVEIRA, I. P.; CARMO, A. A. Avaliação dos resultados de resistência a compressão axial de concretos fornecidos a obras e produzidos por centrais dosadoras em Salvador – parte 2. 53º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Florianópolis – SC, Novembro, 2011.
- [44] SILVA, M. J.; RUBIA, R.; PONCIANO, B.; SANTOS, D. H.; BEZERRA, A. C. S.; PEIXOTO, R. A. F. Influência de dois tipos de capeamento de corpos de prova de concreto. 53º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Florianópolis – SC, Novembro, 2011.
- [45] TORALLES-CARBONARI, B. M. T. Estudio paramétrico de variables y componentes relativos a la dosificación y producción de hormigones de altas prestaciones, 1996. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [46] VIEIRA, L. B. P. Análise sobre o impacto da realização do ensaio de compressão axial do concreto na condição saturada contra condição seca. 54º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Maceió – AL, Outubro, 2012.
- [47] VIERA, T. M.; VASCONCELOS, A. S.; LAGO, L. B.; BRANCO, H. L.; SOUZA, P. S. L. Influência da dimensão do corpo de prova de concreto e da forma de capeamento, nos resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade. 50º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Salvador – BA, Setembro, 2008.
- [48] ZANETTI, J. J. Falhas dos processos de laboratório que comprometem a avaliação dos resultados de resistência dos concretos. 51º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Curitiba – PR, Outubro, 2009.