



IBRACON

SAP
O.K.
36^a REIBRAC

ANAIIS

2

Porto Alegre, 19 a 23 de setembro de 1994

PUCRS v. 2

Patrocinadores:

A
2.1 CIMINAS

HC

HOLDERCHEM

VOTORANTIM

EMPRESAS ITAU

SYSNO 880659
PROD 000022

ACERVO ESEC

MANUTENÇÃO E CONTROLE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

pg

- Procedimentos de Manutenção e Controle das Estruturas em Concreto, das Usinas Hidrelétricas da Eletronorte <i>Paulo Roberto Amaro, Sérgio de Lemos Luna, Gilson Machado da Luz.</i>	001
- Comportamento da Proteção do Espigão de Jusante da UHK Porto Primavera, Construída com Concreto Compactado a Rolo <i>José Renato Arantes Andrade, Waldomiro Almeida Junior, Marcelo Cardoso Gontijo, Selmo Chapira Kuperman.</i>	011
- Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado na Região Amazônica <i>Paulo M. S. Aranha, Denise C.C. Dal Molin.</i>	025
- Avaliação Comparativa da Durabilidade de Cimentos Adicionados com Escória de Alto-Forno Frente à Corrosão das Armaduras por Cloretos <i>Elton Bauer, Paulo R. L. Helene.</i>	039
- Desenvolvimento e Implantação de Plano de Manutenção de Reservatórios e Travessias <i>Lucy O. Birindelli, Lia Marina Knapp, Nelson L. Maier Borelli, Luciano Afonso Borges, Antônio Carlos Gonçalves.</i>	053
- Critério para Avaliação do Estado de Conservação das Estruturas através da Análise de Decisão <i>Lucy O. Birindelli, Lia Marina Knapp, Nelson L. Maier Borelli, Antônio Carlos Gonçalves.</i>	067
- Técnicas de Ancoragem em Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Chapas de Aço Coladas <i>João Luiz Campagnolo, Américo Campos Filho, Luís Carlos Pinto da Silva Filho.</i>	075
- Inspeção de Estruturas de Concreto com Vistas ao Controle da Corrosão de Armaduras - Técnicas e Parâmetros <i>Osvaldo Cascudo.</i>	087
- Controle da Aderência do Concreto Projetado ao Original em Reparos Estruturais <i>João Carlos Teatini de Souza Climaco.</i>	101
- Parâmetros para uma Metodologia de Manutenção de Estruturas de Concreto <i>João Carlos Teatini de Souza Climaco, Antônio Alberto Nepomuceno.</i>	109
- Produtos Utilizados para Reparos e Reforços de Estruturas de Concreto Armado: Identificação <i>José Roberto Hoffmann, Luiz Roberto Martinez Basso.</i>	121
- Manchas Escuras e Claras na Estrutura do Concreto Pré-moldado <i>José Eduardo Kattar, Nilton Jorge Almeida.</i>	129
- Estudo do Teor de Cloretos Retido em Argamassa com Adição de Microsilica para Reparos Estruturais <i>Marlova P. Kulakowski, Denise C.C. Dal Molin.</i>	145
- Microconcretos Industrializados x Produzidos em Obra a Partir de Graute + Pedrisco - Avaliação Comparativa <i>Alípio Teixeira dos Santos Neto, Marco Aurélio Lima Barbosa, Fernando A.P. Guimarães.</i>	157

Reforço de Vigas de Concreto Armado com Argamassa de Alto Desempenho	
<i>Andréa Schuler, Ana Paula Milad de Oliveira, Denise C.C. Dal Molin.....</i>	171
Reparo em Concreto, Utilizando Argamassa com Microsilica	
<i>João Tarallo Junior, José Renato Arantes Andrade, Edvaldo Fábio Carneiro, Paulo José Ribeiro de Oliveira, Flávio Moreira Salles...</i>	185
O Uso de Pavimento Rígido como Elemento Participante na Seção Resistente do Tabuleiro da Ponte em Projeto e Obras de Restauração e Reforço	
<i>Leonardo Aires Tiltsher, Mauro Ribeiro de Assis Bastos.....</i>	199
Avaliação Estrutural- Subestação Rio Grande 2 - Convênio PUCRS e CCRK	
<i>Adão Villaverde, Eduardo Giugliani, Enio José Verçoza, Fernando Antônio Piazza Recena, Hugo Florestal Ferreira Junior, Régis Baptista, Renato da Silva Solano, Carlos Iran Cardoso, Guilherme Dias, Luiz Augusto Mousquer.....</i>	213

NOVAS PRATICAS DE EXECUÇÃO DE OBRAS DE CONCRETO

Técnicas Construtivas Adotadas na Execução da Viga do Munhão UHE Porto Primavera	
<i>Antônio Celso de Abreu Junior, Djalma Palma Pinto, Rubens Eid da Silva, Henrique Larm Junior, Nelson Takashi Onuma, Edison Hirofumi Kataoka.....</i>	227
Concretagem Continua de Túneis Longos	
<i>Pedro Boscov, José Luiz Pinho Correia.....</i>	241
Concreto Reforçado por Fibras de Aço	
<i>Ferdinand M. G. Budweg, Pedro Boscov.....</i>	253
Controle de Produção de Concreto: Práticas para Alterações em Serviço	
<i>Vicente Coney Campiteli.....</i>	267
Elementos Estruturais de Concreto Armado com Barras de Fibras de Vidro	
<i>Protásio Ferreira de Castro.....</i>	277
Resistência do Concreto Dosado em Central: Classificação e Aspectos de Durabilidade	
<i>Avelino Ap. de Pádua Crepaldi, Levy von Sohsten Rezende, João Gaspar Kjanikian.....</i>	291
Estabilidade de Vigas Protendidas e Esbeltas Durante o Içamento e o Transporte	
<i>José Celso da Cunha.....</i>	299
Sistema Construtivo Pré-Viga/Pré-Laje	
<i>Augusto Guimarães Pedreira de Freitas.....</i>	313
A Diminuição da Permeabilidade do Concreto, Mediante o uso de uma Manta Geotextil como Revestimento Interno das Formas	
<i>André L. B. Geyer, Rejane M.T. Geyer, Hélio A. Greven.....</i>	327
Influência do tipo de Agregado Graúdo nas Propriedades do Concreto de Alta Resistência	
<i>José Roberto A. Gonçalves, Ivan R. Almeida, Lidia C. D. Shehata...</i>	339

Estudo da Aderência da Argamassa entre Camadas de CCR - Concreto Compactado a Rolo	
<i>Elcio Antônio Guerra, João Bosco Moreira do Carmo, Rubens Machado Bittencourt, Walton Facelli de Andrade.....</i>	353
Pisos de Alta Resistência-Execução e Proteção	
<i>Antônio Fernando Krempel, Celso Chineli Crevilaro, Henrique José Ternes Neto, Marcos Aurélio Cassias Pereira.....</i>	369
Desempenho de Barragens de Concreto Compactado a Rolo	
<i>Antônio René C. Aranha de Paula Leite, Julio Cesar Astolphi, Selmo Chapira Kuperman, Luiz Prado Vieira Junior.....</i>	383
Formas Estruturais de Argamassa e Concreto para Elementos de Concreto Armado	
<i>Rui Ferraz de A. P. Massoni, Jefferson B.L. Libório.....</i>	397
Execução do Lote N°. 04 da 2ª Etapa da Linha Vermelha	
<i>José Frederico Torres Matt, Caio de Souza Bastos, Roberto Scofield Lauar, Andrea Nascentes.....</i>	409
Cura Acelerada de Argamassas Estruturais Mediante Cura Térmica (Vapor), sob Pressão Atmosférica	
<i>Aluisio Braz de Mello, Jefferson B. L. Libório.....</i>	423
Concreto Projetado com Fibras Metálicas	
<i>Francisco Gladston Holanda, José Edson Furtado de Mendonça.....</i>	439
Estudo Comparativo entre as Propriedades do Concreto Convencional e Concreto Compactado a Rolo	
<i>José Francisco Farage do Nascimento, João Bosco Moreira do Carmo, Rubens Machado Bittencourt, Walton Pacelli de Andrade.....</i>	451
Estudo de Dosagens para Concreto Bombeado com Dimensão Máxima Característica de 64 mm	
<i>José Francisco Farage do Nascimento, José Tomaz França Fontoura, Moacir Alexandre Souza de Andrade, Walton Pacelli de Andrade.....</i>	463
Execução de Obras Cíveis e de Montagem no Túnel Sta. Bárbara	
<i>Franklin Guilherme de A. Otto, Walter Pedreira Renter, José Frederico Torres Matt, Marco Antônio Gusmão Guerreiro.....</i>	477
Muro-Guia de Eclusas - Soluções Adotadas para os Casos de Bariri e Barra Bonita	
<i>Juan Tomas Resck, Antônio René C.A. de Paula Leite, Antônio Fernando Tarallo, Nelson Bello Junior.....</i>	491
Concreto Leve de Alto Desempenho	
<i>Antônio Luiz Fernandes dos Santos, Theresinha do Menino Jesus Alves, Luiz Cezar de Almeida, Cipriano José de Medeiros Junior, Geraldo Moritz Piccoli, Hamilce S. Iozzi Codá.....</i>	505
Execução de Concreto de Baixa Permeabilidade com o uso de Microsilica	
<i>Rogério Satori Fomasier, Denise C.C. Dal Molin.....</i>	519
Refrigeração do Concreto em Região Metropolitana	
<i>Paulo Fernando A. Silva, Fernando Jardim Mentone, Antonio Carlos Pitta.....</i>	533
Concreto Projetado com Adição de Microsilica	
<i>Maristela Gomes da Silva, Paulo Helene.....</i>	539

do número de camadas da armadura de cisalhamento.

Estes resultados, embora apontem para uma possível e promissora contribuição do uso da armadura de cisalhamento no combate à punção de lajes cogumelo de concreto armado, devem ser ponderados em relação às limitações impostas pelos testes, principalmente em relação ao número de situações diversas ainda não ensaiadas. Furos com maiores dimensões, de formas diferentes e posicionados não simetricamente ou em regiões externas à da armadura de cisalhamento podem influenciar diminuindo a resistência da laje. Por outro lado, deve-se atentar para a importância da distribuição e posicionamento da armadura de cisalhamento.

A relação entre a ausência de determinada quantidade de concreto, devido a existência do furo, e o reforço devido à armadura de cisalhamento deve ter limites em função dos mecanismos de ruptura e o detalhamento da armadura. É possível que a taxa de armadura de flexão, a resistência do concreto e a altura efetiva da laje possam alterar o mecanismo de ruptura e consequentemente a carga última.

6. AGRADECIMENTOS

Aos técnicos e demais engenheiros do Departamento de Apoio e Controle Técnico, Furnas Centrais Elétricas S.A., em especial ao Eng. Walton Pacelli pelo apoio e colaboração.

7. REFERÊNCIAS

- ANDRADE M.S., GOMES R.B. "et alii" (1993). "Resistência à punção de lajes cogumelo com furos e armadura de cisalhamento". Relatório DCT.T.1.141.93-RO, Furnas Centrais Elétricas S.A.
- GOMES R.B. (1991). "Punching Resistance of Reinforced Concrete Flat Slabs with Shear Reinforcement". PhD Thesis, London, The Polytechnic of Central London, October 1991.
- MOKHTAR A., GHALI A. and DILGER W. H. (1985). "Stud shear reinforcement for flat concrete plates". ACI Journal Proceedings, vol 82(5), Sept-Oct 1985. pp 676-683.
- REGAN P.E. (1985). "Shear combs, reinforcement against punching". The Structural Engineer, vol 63B(4), Dec-1985. pp 76-84.
- SEIBLE F., GHALI A. and DILGER W.H. (1980). "Preassembled Shear Reinforcing Units for Flat Plates". ACI Journal, vol 77(1), Jan-Feb 1980. pp 28-35.
- VAN DER VOET A. F., DILGER W. H. and GHALI A. (1982). "Concrete flat plates with well-anchored shear reinforcement elements". Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 9 (1), 1982. pp. 107-114.

CONTROLE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO: ESTUDO DE UTILIZAÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS DE DIMENSÕES REDUZIDAS.

Prof. Dr. Marcos Vinício Costa Agnesini

Prof. Dr. Laércio Ferreira e Silva

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos-SP, BRASIL

RESUMO

Neste trabalho são apresentados resultados comparativos de resistências à compressão de concretos de três diferentes dimensões máximas características. Estas resistências são obtidas em corpos-de-prova cilíndricos de dimensões variadas, a saber, 50mm x 100mm; 75mm x 150mm; 100mm x 200mm e 150mm x 300mm. Demonstra-se que é possível a utilização de corpos-de-prova com as dimensões de 75 x 150mm e 100 x 200mm, respectivamente para concretos com Dimensão Máxima Característica de 9,5mm e 19mm, dosados com consumos normais de cimento, bem como, para os de elevado desempenho.

1. INTRODUÇÃO

Com a tendência atual da utilização de concretos estruturais com dimensões máximas características dos agregados cada vez menores e com o emprego de concretos de elevado desempenho, há necessidade de se adequar os ensaios, principalmente no que tange às dimensões dos corpos-de-prova, a esta evolução tecnológica.

Existem vários trabalhos a nível internacional mostrando esta tendência, através da utilização de corpos-de-prova cilíndricos de 75mm de diâmetro por 150mm de altura e de 100mm x 200mm, para a determinação da resistência à compressão de concretos, demonstrando a conveniência em se diminuir as dimensões do tradicional cilindro de 150mm x 300mm, tendo-se em vista a sua adequação às cargas máximas das prensas hidráulicas normalmente utilizadas.

NASSER et alii (1984,1987) realizaram extenso programa de pesquisa comparando resistências de vários tipos de concretos, obtidos em corpos-de-prova cilíndricos de 75mm x 150mm, comparativamente aos de 150mm x 300mm, concluindo pela viabilidade da utilização dos primeiros para a avaliação da resistência à compressão de concretos com dimensão máxima característica de até 25mm. Estes autores citam ainda que as mesmas conclusões são válidas para espécimes de 100 x 200mm.

3,21.01.00-0
3,24.02.03-7

TABELA 3.2.2 - CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA * (D_{máx} = 19mm)

Designação	Traço em Massa	Consumo Cimento (kg/m ³)	Espalhamento (NBR 9606) (mm)	Abatimento (NBR 7223) (mm)
P ₁₋₄	1:1,60:2,60x:0,35	459	420	70
P ₁₋₅	1:1,30:2,30x:0,30	523	420	70

* Concretos com 1,5% de aditivo SP em relação à massa de cimento

TABELA 3.2.3 - CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS (D_{máx} = 25mm)

Designação	Traço em Massa	Consumo Cimento (kg/m ³)	Espalhamento (NBR 9606) (mm)	Abatimento (NBR 7223) (mm)
P ₂₋₁	1:2,55:3,70x:0,60	315	390	65
P ₂₋₂	1:2,00:3,20x:0,50	370	400	70
P ₂₋₃	1:1,30:2,60x:0,40	472	360	60

3.3. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES

3.3.1- Cimento Portland: na produção dos concretos, empregou-se o CP II- F- 32 (composto com filler). As características físicas e mecânicas desse cimento, impostas pela NBR 11578 (EB-2138) e determinadas através dos ensaios prescritos pela ABNT, estão indicadas na tabela 3.3.1.

3.3.2- Agregado Miúdo: na dosagem dos concretos empregou-se uma areia natural quartzosa, proveniente do Rio Mogi-Guaçu, São Carlos/SP, a qual apresentou as seguintes características:

a) Granulometria: a composição granulométrica, determinada segundo a NBR 7217 (MB-7), é indicada na tabela 3.3.2.

b) Substâncias Nocivas: a areia mostrou-se satisfatória quanto as condições impostas pela NBR 7211 (EB-4).

c) Índices Físicos: massa específica = 2,60 kg/dm³; determinada através da NBR 9776 (MB-2643); massa unitária no estado solto = 1,51 kg/dm³ (areia seca) - NBR 7251 (MB-1665).

d) Forma dos grãos: número de angulosidade médio = 6,5, determinado de acordo com a norma BS-812; índice de esfericidade médio = 0,60.

TABELA 3.3.1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO CP II- F-32

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES		UNIDADE	VALOR OBTIDO
Finura	resíduo na peneira 75µm (NBR 11579)	%	4,0
	área específica (NBR 7224)	m ² /kg	360
Tempo de pega	início de pega (NBR 11581)	min	315
	fim de pega (NBR 11531)	min	385
Expansibilidade a quente (NBR 11582)		mm	0,5
Resistência à Compressão	3 dias de idade (NBR 7215)	MPa	24,6
	7 dias de idade (NBR 7215)	MPa	32,6
	28 dias de idade (NBR 7215)	MPa	40,1

TABELA 3.3.2 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
9,50	0	0	0
6,30	2	0	0
4,80	5	1	1
2,40	12	1	2
1,20	65	6	8
0,60	248	25	33
0,30	432	43	76
0,15	219	22	98
Resíduo	17	2	100
Dimensão máxima característica = 2,4mm			
Módulo de finura = 2,18			
Classificação granulométrica (NBR 7211) = areia fina (zona 2)			

3.3.3. Agregado Graúdo: na produção dos microconcretos e concretos empregou-se agregado artificial resultante do britamento do basalto, retirado de pedreira situada na região de São Carlos/SP. Foram utilizadas britas de graduação 0, 1 e 2, respectivamente para a dosagem de concretos de dimensão máxima característica 9,5, 19 e 25 mm. Estes agregados apresentaram as seguintes características especificadas através da NBR 7211 (EB-4):

a) Granulometria: as composições granulométricas, determinadas de acordo com a NBR 7217 (MB-7) estão representadas na tabela 3.3.3.

b) Substâncias Nocivas: o agregado graúdo apresentou-se satisfatoriamente quanto às condições impostas pela NBR 7211 (EB-4).

c) Índices Físicos: massa específica = 2,89 kg/dm³; determinada através da NBR 9776 (MB-2643); massa unitária no estado solto: p/ brita 0(zero) = 1,38 Kg/dm³; p/ brita 1 = 1,46 kg/dm³; p/ brita 2 = 1,50 Kg/dm³, determinada segundo a norma NBR 7251; massa unitária no estado compactado: p/ brita 0(zero) = 1,59 Kg/dm³; p/ brita 1 = 1,58 Kg/dm³; para brita 2 = 1,62 Kg/dm³, segundo a norma NBR-7810.

d) Forma dos grãos: o agregado graúdo analisado pelo método de ensaio NBR-7809, apresentou índice de forma inferior a 3, estando enquadrado, portanto, na especificação NBR-7211.

TABELA 3.3.3 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO

Peneira (mm)	% Retida Acumulada		
	Brita 2	Brita 1	Brita 0
25,00	0	0	0
19,00	39	1	0
12,50	89	39	0
9,50	97	80	1
6,30	97	94	23
4,80	97	97	70
2,40	97	98	96
1,20	97	98	96
0,60	97	98	96
0,30	97	98	96
0,15	97	98	96
Resíduo	100	100	100
Características	Brita 2	Brita 1	Brita 0
D _{máx}	25 mm	19 mm	9,5 mm
MF	7,18	6,68	5,51

3.3.4. Aditivo: o aditivo empregado, superplastificante de pega normal de elevado efeito redutor, é classificado como sendo do tipo F, segundo a ASTM C-494 e do tipo SP, de acordo com a NBR-11.768 da ABNT, preenchendo todos os requisitos exigidos por esta norma, quanto aos desempenhos referentes à redução de água, tempo de pega, exsudação e resistência mecânica.

4. VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO EM CORPOS-DE-PROVA DE DIFERENTES DIMENSÕES - CONCRETOS CLASSE I ($f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$)

4.1. PROGRAMAÇÃO DOS ENSAIOS

Foram realizadas três séries de ensaios respectivamente para corpos-de-prova moldados com microconcretos ($D_{máx} = 9,5\text{mm}$) e concretos ($D_{máx} = 19\text{mm}$ e 25mm). Para a 1ª série as características foram as seguintes: 3 dosagens em massa P_0-1 , P_0-2 e P_0-3 (tabela 3.1.1); em duas idades (7 e 28 dias); 5 corpos-de-prova por idade e traço; em 3 dimensões destes, a saber: $50 \times 100\text{mm}$; $75 \times 150\text{mm}$ e $100 \times 200\text{mm}$, totalizando 30 corpos-de-prova para cada dimensão. A 2ª série foi obtida também com 3 dosagens em massa: P_1-1 ; P_1-2 e P_1-3 (tabela 3.2.1), nas mesmas condições anteriores, sendo as dimensões dos corpos-de-prova de $100 \times 200\text{mm}$ e $150 \times 300\text{mm}$. A 3ª série apresenta características semelhantes à 2ª, alterando-se o tipo de agregado e dosagem. Assim, foram fixados os traços em massa: P_2-1 ; P_2-2 e P_2-3 (tabela 3.2.3).

É importante observar que todos os concretos foram dosados com consistências semelhantes, de tal modo que a moldagem dos corpos-de-prova foi a mais uniforme possível, não interferindo significativamente esta variável nas resistências à compressão.

4.2. PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

4.2.1. Microconcretos: a mistura foi realizada em betoneira de eixo inclinado, de capacidade 320 litros, com tempo de amassamento de aproximadamente 3 minutos. A moldagem dos corpos-de-prova de dimensões $50 \times 100\text{mm}$ foi executada seguindo-se a NBR 7215. Para os corpos-de-prova de dimensões de $75 \times 150\text{mm}$ e $100 \times 200\text{mm}$, as moldagens foram em 4 camadas, por processo manual, de acordo com a NBR-5738, quanto à metodologia de ensaio. A cura foi feita em câmara úmida ($\text{Temp.} = 23 \pm 2^\circ\text{C}$ e Umidade relativa $> 95\%$).

4.2.2. Concretos: o amassamento também foi executado em betoneira de eixo inclinado, de capacidade de 320 litros, com tempo médio de mistura de 3 minutos. A moldagem e o adensamento dos corpos-de-prova de dimensões $100 \times 200\text{mm}$ e $150 \times 300\text{mm}$ foram executados de acordo com a NBR-5738, com adensamento manual. A cura foi semelhante à anterior.

4.3. OBSERVAÇÕES QUANTO À MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Nos microconcretos ($D_{máx}=9,5\text{mm}$), notou-se uma maior dificuldade na moldagem dos espécimes de dimensões $50 \times 100\text{mm}$, principalmente para a dosagem P_0-3 (traço em massa com relação $a/c = 0,40$ - consumo de cimento de

602 kg/m³). No caso dos concretos preparados com brita nº 1 (D_{máx} = 19mm), os corpos-de-prova de dimensões 100 x 200mm foram moldados, para todas as dosagens (P₁₋₁; P₁₋₂ e P₁₋₃), sem apresentar nenhum grau de dificuldade.

Outrossim, para concretos com brita nº 2 (D_{máx} = 25mm), foram detectados maiores problemas na moldagem dos corpos-de-prova de 100 x 200mm. Esse fato ocorreu devido, possivelmente, à influência de efeito-parede nas fôrmas, considerando-se as dimensões dos agregados empregados e tamanho das mesmas.

4.4. ENSAIOS DE COMPRESSÃO

Os ensaios de compressão em corpos-de-prova cilíndricos de 50 x 100mm e 150 x 300mm foram realizados de acordo com as normas NBR 7215 (MB-1) e NBR 5739 (MB-3) respectivamente. Para os corpos-de-prova de 75 x 150mm e 100 x 200mm foi adotada a mesma metodologia deste ensaio.

4.5. RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão para os microconcretos e concretos estão representados respectivamente nas tabelas 4.5.1 e 4.5.2.

TABELA 4.5.1- ENSAIOS À COMPRESSÃO DOS MICROCONCRETOS (D_{máx}=9,5mm)

Traços em Massa	Resistência à compressão e Desvio Padrão-(MPa)			
	Corpos-de-Prova de 50mm x 100mm			
	7 dias		28 dias	
	fc ₇	S ₇	fc ₂₈	S ₂₈
P ₀₋₁ (a/c=0,60)	17,9	0,3	23,7	0,6
P ₀₋₂ (a/c=0,50)	29,0	1,4	33,8	1,5
P ₀₋₃ (a/c=0,40)	29,2	0,9	40,4	1,4
Corpos-de-Prova de 75mm x 150mm				
P ₀₋₁ (a/c=0,60)	18,0	0,4	28,6	0,6
P ₀₋₂ (a/c=0,50)	26,2	0,9	33,2	0,9
P ₀₋₃ (a/c=0,40)	29,9	0,5	46,4	1,6
Corpos-de-Prova de 100mm x 200mm				
P ₀₋₁ (a/c=0,60)	19,9	0,4	30,3	0,7
P ₀₋₂ (a/c=0,50)	26,6	0,7	34,7	0,2
P ₀₋₃ (a/c=0,40)	30,1	1,0	44,9	1,5

TABELA 4.5.2 - ENSAIOS À COMPRESSÃO DOS CONCRETOS (D_{máx}=19 mm)

Traços em Massa	Resistência à compressão e Desvio Padrão-(MPa)			
	Corpos-de-Prova de 100mm x 200mm			
	7 dias		28 dias	
	fc ₇	S ₇	fc ₂₈	S ₂₈
P ₁₋₁ (a/c=0,60)	20,1	0,6	29,3	1,1
P ₁₋₂ (a/c=0,50)	27,6	1,4	33,8	0,5
P ₁₋₃ (a/c=0,40)	44,5	1,6	49,1	2,4
Corpos-de-Prova de 150mm x 300mm				
P ₁₋₁ (a/c=0,60)	21,1	0,2	31,6	0,6
P ₁₋₂ (a/c=0,50)	27,5	0,4	35,4	0,4
P ₁₋₃ (a/c=0,40)	44,6	0,6	50,1	0,6

TABELA 4.5.3 - ENSAIOS À COMPRESSÃO DOS CONCRETOS (D_{máx}=25 mm)

Traços em Massa	Resistência à compressão e Desvio Padrão-(MPa)			
	Corpos-de-Prova de 100mm x 200mm			
	7 dias		28 dias	
	fc ₇	S ₇	fc ₂₈	S ₂₈
P ₂₋₁ (a/c=0,60)	16,8	0,3	21,9	0,7
P ₂₋₂ (a/c=0,50)	27,1	0,6	31,5	1,5
P ₂₋₃ (a/c=0,40)	30,5	1,1	45,0	1,4
Corpos-de-Prova de 150mm x 300mm				
P ₂₋₁ (a/c=0,60)	20,0	0,2	25,7	0,3
P ₂₋₂ (a/c=0,50)	27,7	0,5	33,0	0,5
P ₂₋₃ (a/c=0,40)	34,4	0,4	44,0	0,5

Na tabela 4.5.4 estão indicados os valores do coeficiente de variação médios determinados para ensaios de microconcretos (traços em massa P₀₋₁; P₀₋₂ e P₀₋₃) e concretos (traços em massa P₁₋₁; P₁₋₂; P₁₋₃; P₂₋₁; P₂₋₂ e P₂₋₃).

TABELA 4.5.4 - COEFICIENTES DE VARIAÇÃO VERIFICADOS NOS ENSAIOS

Dimensões dos Corpos-de-Prova	Valores dos coeficientes de variação v (%)		
	7 dias	28 dias	média
(mm x mm)	Microconcretos (D _{máx} = 9,5mm)		
50 x 100	3,2	3,5	3,3
75 x 150	2,4	2,8	2,6
100 x 200	2,6	2,1	2,4
	Concretos (D _{máx} = 19mm)		
100 x 200	3,9	3,4	3,6
150 x 300	1,2	1,4	1,3
	Concretos (D _{máx} = 25mm)		
100 x 200	2,5	3,7	3,1
150 x 300	1,3	1,3	1,3

Nos ensaios de resistência à compressão para microconcretos e concretos, o valor máximo do coeficiente de variação foi de 5%, sendo de 2,5% o valor médio deste coeficiente, podendo-se, em virtude disto, considerar como satisfatória a confiabilidade destes resultados.

4.6 CONCLUSÕES

4.6.1- MICROCONCRETOS (D_{máx} = 9,5mm)

Analisando-se os resultados constantes da tabela 4.5.1 verifica-se que as resistências determinadas em corpos-de-prova de 75 x 150mm e 100 x 200mm são praticamente iguais. Outrossim, para idades de 28 dias, nota-se em todos os traços um decréscimo nas resistências obtidas em corpos-de-prova de 50 x 100mm relativamente aos de 75 x 150mm e 100 x 200mm. Este fato, provavelmente, deve-se à presença de partículas de D_{máx}=9,5mm, causando o chamado efeito-parede nas formas menores. Verifica-se ainda que esta diferença é acentuada nos traços mais pobres (P₀-1; a/c=0,60; C = 390 kg/m³).

Por outro lado, verificando-se os coeficientes de variação na tabela 4.5.4, observa-se a similaridade entre os valores para os corpos-de-prova de 75 x 150mm e 100 x 200mm.

4.6.2. CONCRETOS COM BRITA 1 (D_{máx} = 19mm)

Da tabela 4.5.2 depreende-se que os valores das resistências determinados nos ensaios a 7 e 28 dias, em corpos-de-prova de 100 x 200mm e 150 x 300mm, foram bastante próximos. O coeficiente de variação médio, no entanto, apresentou valor maior para ensaios realizados em corpos-de-prova de 100 x 200mm, demonstrando uma maior homogeneidade de resultados para os espécimes de 150 x 300mm.

4.6.3. CONCRETOS COM BRITA 2 (D_{máx} = 25mm)

As resistências aos 7 e 28 dias de idade, segundo a tabela 4.5.3, foram sempre inferiores nos corpos-de-prova de 100 x 200mm relativamente aos de 150 x 300mm, sendo que a maior redução observada (cerca de 15%), deu-se para o traço mais pobre (P₂-1; a/c=0,60; C=315kg/m³). Verificando-se a tabela 4.5.4, observa-se também um comportamento semelhante ao concreto com brita 1 (D_{máx}=19mm), no que tange ao coeficiente de variação: os corpos-de-prova de 100 x 200mm apresentaram uma maior dispersão de resultados relativamente aos de 150 x 300mm.

5. VERIFICAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO EM CORPOS-DE-PROVA DE DIFERENTES DIMENSÕES PARA CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (Classe II - f_{ck} ≥ 65 MPa).

5.1. PROGRAMAÇÃO DOS ENSAIOS

Foram realizadas duas séries de ensaios respectivamente para corpos-de-prova moldados com microconcretos (D_{máx} = 9,5mm) e concretos (D_{máx} = 19mm), ambos dosados com aditivo superplastificante.

Para a 1ª série as características dos microconcretos foram as seguintes: 2 dosagens em massa P₀-4 e P₀-5 (tabela 3.1.2); em duas idades (7 e 28 dias); 5 corpos-de-prova por idade e traço; para as dimensões de 75 x 150, 100 x 200 e 150 x 300mm. Assim, para cada dimensão foram moldados 20 corpos-de-prova.

A 2ª série foi composta por concretos preparados com 2 dosagens em massa: P₁-4 e P₁-5 (tabela 3.2.2), nas mesmas condições anteriores, sendo as dimensões dos corpos-de-prova de 100 x 200 e 150 x 300mm.

5.2. PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Tanto os microconcretos, como para os concretos, foram produzidos nas condições, respectivamente descritas nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

A colocação do aditivo superplastificante foi feita imediatamente após a introdução dos materiais na betoneira. A dosagem foi de 1,5% de aditivo em relação à massa de cimento.

5.3. ENSAIOS DE COMPRESSÃO

Os corpos-de-prova de 150 x 300mm foram ensaiados de acordo com as prescrições da NBR 5739. Para os corpos-de-prova de 75 x 150 e 100 x 200mm foi adotada a mesma metodologia.

5.4 RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão para os microconcretos e concretos de alta resistência estão representados, respectivamente, nas tabelas 5.4.1 e 5.4.2. A tabela 5.4.3 fornece os valores do coeficiente de variação médios obtidos nos ensaios de microconcretos e concretos.

Nos ensaios de resistência à compressão para microconcretos e concretos de alta resistência, o valor máximo do coeficiente de variação foi de 3%, sendo de 1,7% o valor médio.

TABELA 5.4.1- ENSAIOS À COMPRESSÃO DOS MICROCONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (D_{máx}=9,5mm)

Traços em Massa *	Resistência à compressão e Desvio Padrão (MPa)			
	Corpos-de-Prova de 75mm x 150mm			
	7 dias		28 dias	
	fc7	S7	fc28	S28
P0-4 (x=0,35)	44,6	0,8	60,0	1,6
P0-5 (x=0,30)	59,9	1,8	66,2	1,7
Corpos-de-Prova de 100mm x 200mm				
P0-4 (x=0,35)	47,6	0,8	61,9	1,5
P0-5 (x=0,30)	58,0	1,1	69,3	0,9
Corpos-de-Prova de 150mm x 300mm				
P0-4 (x=0,35)	47,5	0,6	62,0	1,2
P0-5 (x=0,30)	54,2	0,6	66,7	1,1

* Concretos com aditivo SP (1,5 % / massa de cimento)

TABELA 5.4.2 - ENSAIOS À COMPRESSÃO DE CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (D_{máx}=19 mm)

Traços em Massa *	Resistência à compressão e Desvio Padrão (MPa)			
	Corpos-de-Prova de 100mm x 200mm			
	7 dias		28 dias	
	fc7	S7	fc28	S28
P1-4 (x=0,35)	44,9	1,5	52,9	0,8
P1-5 (x=0,30)	54,1	1,1	62,3	1,0
Corpos-de-Prova de 150mm x 300mm				
P1-4 (x=0,35)	46,9	0,3	53,7	0,5
P1-5 (x=0,30)	54,2	0,5	64,0	0,5

* Concretos com aditivo SP (1,5 % / massa de cimento)

TABELA 5.4.3 - COEFICIENTES DE VARIAÇÃO VERIFICADOS NOS ENSAIOS DE CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Dimensões dos corpos-de-prova (mm x mm)	Valores dos coeficientes de variação (%)		
	7 dias	28 dias	média
Microconcretos (D _{máx} =9,5mm)			
75 x 150	2,4	2,6	2,5
100 x 200	1,8	1,8	1,8
150 x 300	0,9	1,8	1,4
Concretos (D _{máx} =19mm)			
100 x 200	2,6	1,6	2,1
150 x 300	0,8	0,9	0,9

5.5 CONCLUSÕES

5.5.1. MICROCONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (D_{máx}=9,5mm)

Analisando-se a tabela 5.4.1, verifica-se que as resistências obtidas para os microconcretos foram semelhantes para determinações realizadas em corpos-de-prova de 75 x 150, 100 x 200 e 150 x 300 mm. Todavia, para os corpos-de-prova de 75 x 150 mm foram verificadas as menores resistências aos 28 dias. Por outro lado, os valores do coeficiente de variação (Tabela 5.4.3) foram maiores para as

resistências obtidas nos corpos-de-prova de 75 x 150 mm. Para as resistências aos 28 dias, determinadas em corpos-de-prova de 100 x 200 e 150 x 300 mm, os valores deste coeficiente foram idênticos.

5.5.2. CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA ($D_{máx}=19\text{mm}$)

As resistências verificadas aos 7 e 28 dias apresentaram valores bem próximos, para ensaios realizados em corpos-de-prova de 100 x 200 e 150 x 300 mm (tabela 5.4.2). Entretanto, analisando-se os coeficientes de variação determinados nos ensaios (tabela 5.4.3), verifica-se que as resistências obtidas em corpos-de-prova de 100 x 200 mm apresentaram uma maior dispersão de resultados relativamente aos de 150 x 300 mm.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das conclusões consideradas nos itens 4.6 e 5.5, apresenta-se a seguir algumas propostas quanto ao emprego de corpos-de-prova cilíndricos de diferentes dimensões, para moldagem e ensaio de microconcretos e concretos.

6.1. Para microconcretos ($D_{máx} \leq 9,5\text{mm}$) pode-se empregar corpos-de-prova cilíndricos de 75 x 150mm, evitando-se os de 50 x 100mm, pelas razões expostas nos itens 4.6.1 e 5.5.1.

6.2. Para concretos dosados com brita nº 1 ($D_{máx} \leq 19\text{mm}$), em alguns casos pode ser de interesse o emprego de corpos-de-prova de 100 x 200mm, ao invés do usual 150 x 300mm. Este fato é caracterizado em concretos de alta resistência (item 5.5.1). Nestes casos, os ensaios de compressão poderiam ser realizados em prensas usualmente encontradas no mercado, de até 1000kN.

6.3. Quanto a avaliação de resistências à compressão de concretos com $D_{máx}=25\text{mm}$, a análise dos ensaios obtidos no presente trabalho, confirma a adequação dos corpos-de-prova atualmente recomendados pela ABNT.

6.4. Finalmente, deve-se ressaltar que novos ensaios com outros tipos de cimentos, agregados, diferentes dosagens e formas de produção, deverão ser realizados de tal maneira a se obter maior número de resultados, objetivando-se confirmar o estudo relatado no presente trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Normas, Especificações e Métodos de Ensaio para Cimento, Concreto e Agregados.
- NASSER, K. W. & KENYON, J. C. Why Not 3x6 Inch Cylinders for Testing Concrete Compressive Strength? ACI Journal, Detroit, Jan-Feb/1984. p.47-53.
- NASSER, K. W. & AL-MANASEER, A.A. It's Time for a Change From 6x12 to 3x6-in. Cylinders. ACI Journal, Detroit, May-Jun/1987. p.213-216.

METODOLOGIA E CONTROLE DA QUALIDADE ADOTADOS NA CONSTRUÇÃO DE USINAS HIDRELETRICAS

Waldomiro Almeida Junior (*)
Paulo José Ribeiro de Oliveira (*)
João Tarallo Junior (*)
Marcelo Cardoso Gontijo (**)
Luiz Prado Vieira Junior (**)

(*) Engenheiro da CESP - Companhia Energética de São Paulo
(**) Engenheiro da THEMAG Engenharia Ltda.

RESUMO

A construção de usinas hidrelétricas de grande porte engloba grande diversidade e quantidade de elementos estruturais, cada qual com suas características e necessidades específicas. Devido a isto os programas de controle de qualidade associados às estruturas de concreto devem ser objeto de estudos e planejamento plenos, de modo a englobar todos os aspectos relacionados à qualidade. O presente trabalho descreve, resumidamente, tais processos.

1. INTRODUÇÃO

Garantir a qualidade de uma obra é, basicamente, assegurar que ela seja executada de acordo com o estabelecido em projetos e especificações, com o menor custo possível e que apresente desempenho adequado e satisfatório ao longo de toda sua vida útil. Deste modo, de acordo com a conceituação clássica de qualidade, ela será "adequada ao uso".

Os sistemas de controle total da qualidade devem abranger todas as etapas de construção desde os estudos de viabilidade até sua execução; devem levar em conta, também, aspectos relativos ao acompanhamento da vida útil da obra e a sua manutenção. Tais sistemas devem considerar todas as particularidades envolvidas em cada etapa do processo construtivo. Isto faz com que cada tipo de obra, ou melhor cada obra, deva ser considerada como única, face a suas particularidades. Logicamente, quanto maior