



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

REUNIÃO COMEMORATIVA DO DÉCIMO ANIVERSÁRIO

SÃO PAULO, 26 a 30/07/1982

• Colóquio sobre Concreto em Fundações e Obras Subterrâneas

PARÂMETROS DE CONCRETOS DESTINADOS À FUNDAÇÃO
DE OBRAS EM CONCRETO MASSA

Engº Luércio Scandiuzzi*

Engº Francisco Rodrigues Andriolo**

(*) Itaipu Binacional, Divisão de Laboratório e Instrumentação de Concreto.

(**) Themag Engenharia Ltda., Departamento de Tecnologia dos Materiais e Técnicas das Construções.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

JULHO/82

PARÂMETROS DE CONCRETOS DESTINADOS À FUNDAÇÃO
DE OBRAS EM CONCRETO MASSA

Engº Luercio Scanduzzi
Divisão de Laboratório e Instru-
mentação de Concreto -
ITAIPU BINACIONAL

Engº Francisco Rodrigues Andriolo
Departamento de Tecnologia dos
Materiais e Técnicas das Constru-
ções -

THEMAG ENGENHARIA LTDA.

RESUMO

Os autores apresentam resultados de propriedades de concretos de caráter massivo obtidos através de ensaios realizados em Laboratórios. Através dos resultados obtidos são feitas comparações com recomendações usuais em Especificações Técnicas, para aplicação do concreto junto à fundação de obras de concreto massa.

Com base nas análises e comparações efetuadas é feita uma recomendação sobre a conveniência de se especificar a bitola do agregado no concreto junto à fundação de obras massivas, tendo sido mostrados os benefícios que a substituição de concretos de diâmetros máximos 76mm por 152mm (onde as condições de lançamento assim permitir) trazem, principalmente na redução do consumo e a conseqüente menor evolução de temperatura do concreto.

ÍNDICE

- 1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVO
- 2 ENSAIOS, RESULTADOS E VERIFICAÇÕES
- 2.1 Permeabilidade
- 2.2 Resistência à Tração e Capacidade de Alongamento à Tração
- 2.2.1 Estudos Realizados no Laboratório de Concreto de Itumbiara
- 2.2.2 Estudos Realizados no Laboratório de Concreto de Itaipu
- 2.2.3 Estudos Realizados no Laboratório de Concreto - Ilha Solteira - CESP
- 2.2.4 Informações Complementares
- 2.2.5 Correlações
- 2.2.5.1 Resistência à Tração por Flexão (Módulo de Ruptura)
- 2.2.5.2 Resistência à Tração por Ruptura Diametral
- 2.2.5.3 Relação entre Módulo de Ruptura e Tração por Ruptura Diametral
- 2.2.5.4 Relação Devido ao Tamanho dos Corpos de Prova
- 2.2.5.5 Capacidade de Alongamento à Tração

2.3 Evolução Térmica

3 CONSIDERAÇÕES

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APRESENTAÇÃO E OBJETIVO

Este trabalho procura chamar a atenção sobre algumas propriedades do concreto, requeridas quando da sua aplicação às fundações.

As informações aqui apresentadas procuram trazer à luz das discussões alguns conceitos aplicados às construções de grande massa.

Em várias Especificações Técnicas é comum se observar:

... "Sobre a fundação de rocha deverá ser lançada inicialmente uma camada de 75cm de espessura com agregado de diâmetro máximo de 76mm (3"), seguida de duas camadas de 1,25m antes de começado o lançamento das camadas de 2,50m. Além disso, se houver intervalo de 30 dias entre o lançamento de duas camadas deverão ser usadas duas novas camadas de 1,25m antes do reinício do lançamento de camadas de 2,50m"...

Isso mesmo para estruturas onde se tenha especificado concreto pré-refrigerado com lançamentos à temperaturas ao redor de 7°C.

Essas recomendações devem ser analisadas, sob o ponto de vista da Durabilidade da Estrutura com base nas propriedades referentes à:

- Permeabilidade;
- Resistência à Tração e Capacidade de Alongamento à Tração;
- Evolução Térmica

Este trabalho tratará de apresentar resultados e discutir procedimentos convenientes ao lançamento de concreto junto as fundações de obras de caráter massivo

com intuito de minimizar os efeitos térmicos e implementar a Durabilidade da Obra.

2 ENSAIOS, RESULTADOS E VERIFICAÇÕES

2.1 Permeabilidade

A Permeabilidade dos concretos é normalmente determinada através de ensaios sobre corpos de prova cilíndricos, de concreto endurecido, colocados em campânulas metálicas cilíndricas. A campânula com o corpo de prova é conectada a um sistema aplicador de pressão e de alimentação de água. Nesse sistema mantém-se a pressão de certa coluna d'água e lê-se a quantidade de água que passa pelo corpo de prova, de dimensões conhecidas, a intervalos regulares de tempo sob a pressão conhecida. A Permeabilidade, assim determinada pela Lei de Darcy, é expressa em "cm/s".

Através de ensaios executados em Laboratórios, sobre concretos de características massivas é sabido que a Permeabilidade dos concretos massa de diâmetros máximos de agregado 76mm e 152mm tem-se apresentado ao redor de $K = 10^{-10}$ cm/s, com valores de 10^{-11} cm/s $< K < 10^{-9}$ cm/s, como ilustra a Figura 1.

Observa-se pelos valores citados na Figura 1 que não se caracteriza evidente supremacia dos concretos com agregados de diâmetro máximo ($\emptyset_{\text{máx}}$) 76mm sobre os de $\emptyset_{\text{máx}}$ 152mm, com respeito à Permeabilidade.

2.2 Resistência à Tração e Capacidade de Alongamento à Tração

Para a apresentação dos valores sobre Resistência à Tração foram compilados resultados obtidos em ensaios executados em Ilha Solteira [1], Itumbiara e Itaipu [4].

DOSAGEM	Ø MÁX (mm)	ÁGUA/CIMENTO (EQ)	PERMEABILIDADE k=cm/s
AV-01	19	0,60	$0,23 \times 10^{-10}$
AV-02	19	0,50	$0,05 \times 10^{-10}$
AV-03	38	0,60	$0,23 \times 10^{-10}$
AV-05	38	0,60	$0,29 \times 10^{-10}$
AV-06	76	0,55	$1,00 \times 10^{-10}$
AV-06	76	0,70	$1,00 \times 10^{-10}$
AV-06	76	0,85	$1,00 \times 10^{-10}$
AV-08	76	0,55	$1,20 \times 10^{-10}$
AV-08	76	0,70	$1,00 \times 10^{-10}$
AV-08	76	0,85	$0,90 \times 10^{-10}$
AV-12	152	0,55	$0,45 \times 10^{-10}$
AV-12	152	0,70	$1,40 \times 10^{-10}$
AV-12	152	0,85	$1,50 \times 10^{-10}$

Valores extraídos de |1| - "Concretos para a Obra da Usina de Água Vermelha" - CESP - Agosto/1974

DOSAGEM	Ø MÁX mm	CONSUMO kg/m ³	LOCAL DE MOLDAGEM	PERMEABILIDADE K= cm/s
152-E-01	152	109(cim)+31(cinza)	Central de Conc.	$11,6 \times 10^{-10}$
152-E-01	152	109(cim)+31(cinza)	Central de Conc.	$7,5 \times 10^{-11}$
152-E-01/	152	109(cim)+31(cinza)	Extração de Junta	$5,3 \times 10^{-11}$
152-F-01		100(cim)+29(cinza)	Extração de Junta	$5,2 \times 10^{-11}$
			Extração de Junta	$2,2 \times 10^{-9}$
			Extração de Junta	$3,2 \times 10^{-9}$
			Extração de Junta	$6,7 \times 10^{-9}$

Valores extraídos de |2| relatório "RC-24/78 - Extração de Testemunhos nas Juntas de Concretagem" e |3| RE-02/79 IIIº Resumo do Controle Tecnológico do Concreto" - Itaipu Binacional.

Figura 1 - Valores de Permeabilidade de Concretos

2.2.1 Estudos Realizados no Laboratório de Concreto de Itumbiara-Furnas

Os estudos preliminares para caracterização de alguns concretos para a Obra de Itaipu foram executados no Laboratório de Concreto de Itumbiara-Furnas.

Os valores da Resistência à Tração e Capacidade de Alongamento à Tração foram obtidos através de ensaios de Flexão, com carregamentos aplicados no terço médio de vigas de 30x30x180 (cm x cm x cm) sobre concretos com as seguintes composições:

MATERIAIS kg/m ³ (S.S.S.)	DOSAGENS (Nomenclaturas)			
	E-784	E-785	E-861	E-862
Ø m _{ax} (mm)	152	152	76	76
Água	105	102	122	120
Cimento	163,3	133,6	216,3	174,1
Cinza Volante	51,1	38,2	54,7	44,0
Fator A/CEQ	0,45	0,55	0,41	0,50
Areia Natural	139	152	153	159
Areia Artificial	352	386	389	429
Brita 19 (4,8-19)mm	355	355	404	405
Brita 38 (19-38) mm	355	355	566	567
Brita 76 (38-76) mm	443	443	646	647
Brita 152(76-152) mm	620	620	-	-
Teor de ar (%) ($\leq$ 38mm)	5,6	5,9	4,0	3,8

Figura 2 - Composição dos Concretos ensaiados no Laboratório de Concreto de Itumbiara-Furnas

Foram ensaiadas as seguintes quantidades de vigas (de dimensões 30cm x 30cm x 180cm)

IDADE DO ENSAIO (DIAS)	DOSAGENS (NOMENCLATURA)			
	E-784	E-785	E-861	E-862
7	3	3	3	3
28	3	3	-	-

Para os concretos E-784 e E-785 (de Ø m_{ax} 152mm) a fração de agregados compreendida entre 76mm - 152mm foi substituída por igual volume sólido pela fração 38 mm-76mm.

Para as medidas das deformações, na determinação da Capacidade de Alongamento à Tração, foram utilizados extensômetros de resistência (Strain-Meters) tipo Carlson de 25cm de comprimento, sendo um instalado próximo à face tendida e o outro próximo a face comprimida. Para a facilidade de instalação destes medidores, durante a moldagem eles foram fixados nas laterais da forma, sendo a viga girada, posteriormente, em 90° .

O adensamento do concreto, durante a moldagem foi feito com vibrador elétrico de imersão. As vigas foram mantidas nos moldes, dentro da câmara úmida, e cobertas com plástico fino.

O carregamento foi executado como mostrado na Figura 3.

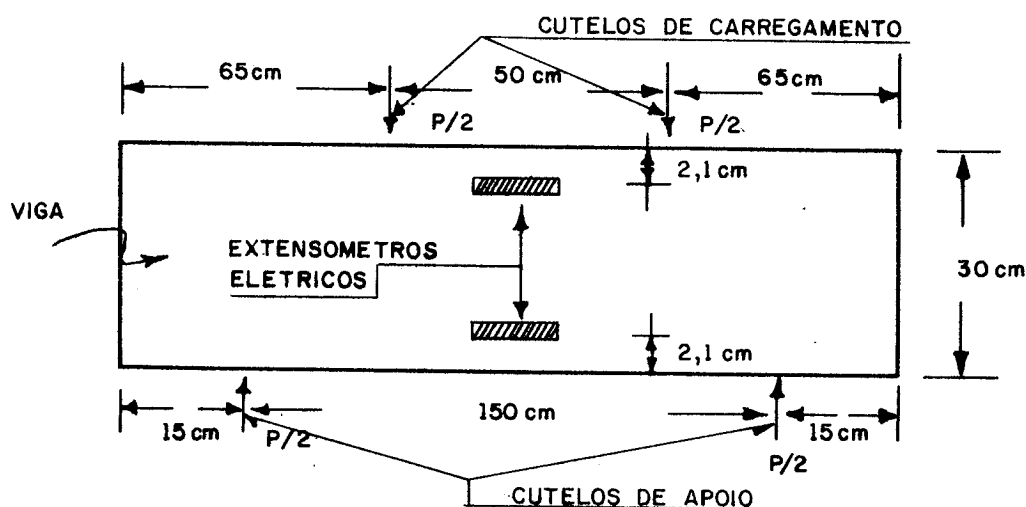


Figura 3 - Situação Esquemática de Carregamento nos Ensaios Efetuados no Laboratório de Itumbiara Furnas.

MISTURA	Ø MAX mm	CONSUMO (kg/m ³)			IDADE (dias)	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO kgf/cm ²	$n_1 = \frac{\text{kgf/cm}^2}{\text{kg/m}^3}$	CAPACIDADE DE ALONGAMENTO A 95% DO MÓDULO DE RUPTURA (10 ⁻⁶)	$n_2 = \frac{\mu\text{strain}}{\text{kg/m}^3}$
		CIMENTO	CINZA	CIN+ZIN					
E-784	152	163,3	51,1	214,4	7	19,10	0,089	79,56	0,371
					28	25,70	0,120	86,33	0,403
E-785	152	133,6	38,2	171,8	7	13,95	0,081	87,58	0,510
					28	21,44	0,125	76,99	0,448
E-785	76	216,3	54,7	271,0	7	20,84	0,077	91,96	0,339
E-862	76	174,1	44,0	218,1	7	15,26	0,070	80,77	0,370
Nota 1: n_1 : $\frac{\text{Resistência à Tração (Módulos de Ruptura)}}{\text{Consumo de Aglomerante (cimento + cinza)}} \left(\frac{\text{kgf/cm}^2}{\text{kg/m}^3} \right)$ n_2 : $\frac{\text{Capacidade de Alongamento (a 95\% da Ruptura)}}{\text{Consumo de Aglomerante (cimento+cinza)}} \left(\frac{10^{-6} \text{ cm/cm}}{\text{kg/m}^3} \right)$									

Figura 4 - Valores dos Ensaios de Tração, por Flexão em Vigas, realizados no Laboratório Itumbiara-Furnas.

Através dos ensaios foram obtidos os seguintes resultados médios (a cada 3 vigas ensaiadas), constantes da Figura 4.

A Capacidade de Alongamento é determinada a 95% da carga de ruptura, ou seja, é o valor de deformação que o concreto apresentou quando o mesmo estava submetido a 95% da carga de ruptura. Quando o medidor de deformação está embutido no concreto, é necessário fazer a extrapolação do valor da deformação para a fibra externa. Os valores apresentados neste trabalho já estão corrigidos devido à extrapolação.

A velocidade de carregamento foi de aproximadamente 0,2 kgf/cm²/min.

2.2.2 Estudos Realizados no Laboratório de Concreto de Itaipu

Os ensaios de tração realizados no Laboratório de Concreto de Itaipu foram divididos em duas séries, principais, a saber:

- Série I - O objetivo fundamental dessa série era o de determinar a Resistência à Tração de concretos em dois níveis principais de Resistências Características à Compressão.

Mesmo sendo objetivo determinar a Resistência à Tração, sob carregamento rápido, em alguns corpos de prova (vigas) foram colados medidores de deformação (wire strain gages) para uma avaliação da Capacidade de Alongamento à Tração. Após uma análise dos primeiros valores obtidos, juntamente com Prof. Roy W. Carlson, sugeriu-se uma nova série de ensaios.

- Série II - o objetivo dessa série foi o de determinar também a Capacidade de Alongamento, através de ensaios sob o carregamento semi-lento (velocidade de

carregamento de $0,2 \text{ kgf/cm}^2/\text{min}$), além do valor da Resistência à Tração.

As misturas de concreto utilizadas em ambas as séries estão indicadas na Figura 5.

As dimensões das vigas para os concretos com agregados de ϕ máx 19mm, 38mm, 76mm e 152mm, foram iguais a 15cm x 15cm x 60cm, 15cm x 15cm x 60 cm, 25cm x 25cm x 100cm, e 45cm x 45cm x 180cm, respectivamente, sendo que todos os concretos foram lançados integralmente, sem substituição ou peneiramento. A quantidade de corpos de prova ensaiados nas duas séries é apresentada na Figura 6.

Para a série I, foram moldados, por mistura 12 corpos de prova cilíndricos $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ para ensaios nas idades de 7, 28 e 90 dias, sendo dois para a ruptura axial e dois para a ruptura diametral, a cada idade. Para cada mistura com ϕ máx 76mm foram moldados mais 4 corpos de prova cilíndricos $\phi 25 \times 50 \text{ cm}$, com concreto integral, para ensaios 2 a 2 à compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias. Para cada mistura com ϕ máx 152mm foram moldados mais 2 corpos de prova cilíndricos $\phi 45 \times 90 \text{ cm}$, com concreto integral, para ensaios de compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias. Logo após as rupturas à idade de 90 dias, das vigas de 45cm x 45cm x 180 cm (moldadas com concreto integral de ϕ máx 152mm), foram extraídos das extremidades de cada viga (através de extração rotativa) dois corpos de prova de $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ e um de $\phi 25 \times 33 \text{ cm}$ para ruptura diametral.

Para a série II, foram moldadas vigas e corpos de prova cilíndricos para cada mistura de concreto (76-J-01 e 152-G-01), somente para ensaios à idade de 28 dias. A distribuição de concreto para moldagem obedeceu ao esquema a seguir.

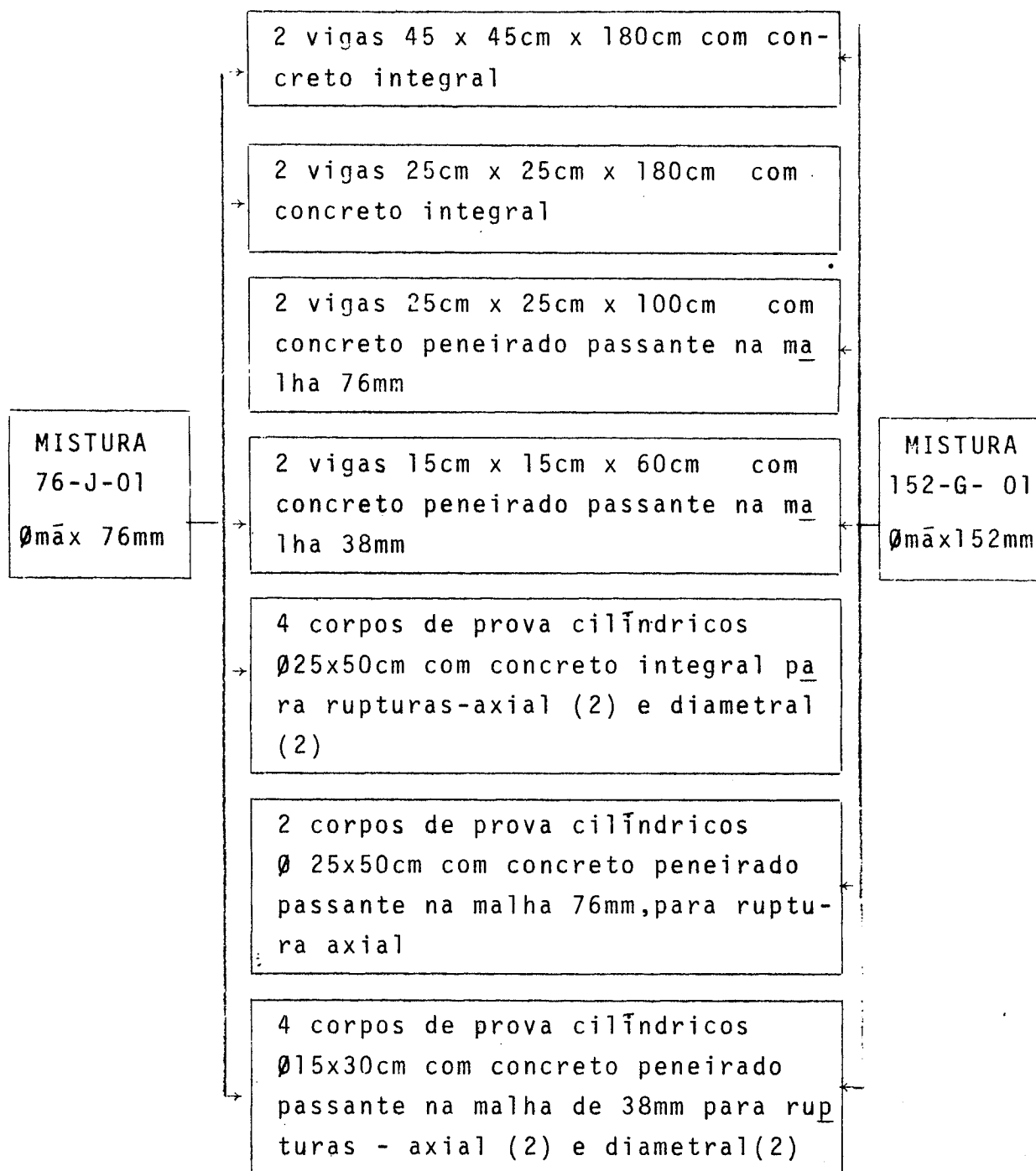
MATERIAIS Kg/m ³ (S.S.S.)	DOSAGENS (NOMENCLATURA)									
	19-I-02	19-Q-01	38-F-01	38-M-01	76-D-05	76-J-01	152B-03	152-G-01		
Ø máx (mm)	19	19	38	38	76	76	152	152		
Água	160	155	134	134	108	106	86	85		
Cimento	175	113	184	119	169	106	162	108		
Cinza Volante	21	13	22	14	20	13	19	13		
Fator A/Ceq	0,78	1,17	0,62	0,96	0,54	0,85	0,45	0,67		
Areia Natural	293	317	274	294	194	216	155	174		
Areia Artificial	684	740	638	687	453	503	363	405		
Brita 19 (4,8-19)mm	1125	1125	692	692	529	529	400	400		
Brita 38 (19-38)mm	-	-	568	568	436	436	329	329		
Brita 76 (38-76)mm			-	-	650	650	465	465		
Brita 152 (76-152)mm	-	-	-	-	-	-	643	643		

Figura 5 - Composição dos Concretos Ensaaiados no Laboratório de Concreto de Itaipu.

QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA MOLDADOS E EXTRAÍDOS NAS
DUAS SÉRIES ENSAIADAS NO LABORATÓRIO DE CONCRETO DE ITAIPU

DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA		NOMENCLATURA DAS MISTURAS E IDADES DE ENSAIO																							
		19-I-02			19-Q-01			38-F-01			38-M-01			76-D-05			76-J-01			152-B-03			152-G-01		
		7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90
VIGA 15 x 15 x 60 cm (Ø máx. = 19 mm e 38 mm)		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	-	-	2(*)	-	-	-	-	-	2(*)	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2(*)	-	-	-	-	-	2(*)	-	-
VIGA 25 x 25 x 100 cm (Ø máx. = 76 mm)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2(*)	-	-	-	-	-	2(*)	-	-
VIGA 45 x 45 x 180 cm (Ø máx. = 152 mm)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2(*)	-	-	-	-	-	2(*)	-	-
CORPO DE PROVA CILÍNDRICO DE 15x30 cm PARA ENSAIO DE RUPTURA:	DIAMETRAL	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2(*)	-	-	2	2	2	2	2	2
	AXIAL	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2(*)	-	-	2	2	2	2	2	2
CORPO DE PROVA CILÍNDRICO DE 25 x 50 cm PARA RUPTURA AXIAL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2(*)	-	-	-	-	-	2(*)	-	-
CORPO DE PROVA CILÍNDRICO DE 25 x 50 cm PARA ENSAIO DE RUPTURA DIAMETRAL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2(*)	-	-	-	-	-	-	-	-
CORPO DE PROVA CILÍNDRICO DE 45 x 90 cm PARA ENSAIO DE RUPTURA DIAMETRAL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CORPO DE PROVA EXTRAÍDAS EXTREMIDADES DA VIGA DE 45x45x180 cm COM DIMENSÕES DE:	15x30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	-	-
	25x33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2

(*) CORPOS DE PROVA DA SÉRIE II



O adensamento dos corpos de prova foi executado com vibradores de imersão, tomando os devidos cuidados para não danificar os medidores de deformação, embutidos durante a moldagem.

As vigas foram mantidas nos moldes, sendo que no lado superior das mesmas foi espalhada areia úmida. No dia anterior ao ensaio as vigas foram desmoldadas, passando-se 4 a 5 camadas de plástico fino (vita-film) em toda a sua superfície. Na região de colagem de extensômetros (wire strain-gages) fazia-se um recorte no plástico, que era recolocado após as operações de colagem.

Na série I, de ensaios, as vigas foram manuseadas com auxílio de um pequeno guindaste cujas pás eram fixadas a uma estrutura metálica que suportava a viga através de parafusos e sapatas. Na série II, colocou-se uma chapa metálica sobre as pás do guindaste, movimentando a viga pela sua superfície inferior, colocando-a, pelo seu terço médio, no sistema de carregamento.

As velocidades de carregamento utilizadas nas duas séries foram:

SÉRIE	DIMENSÕES DAS VIGAS (cmxcmxcm) E VELOCIDADES DE CARREGAMENTO kgf/cm ² /min		
	15x15x60	25x25x100	45x45x180
I	10,0	10,0	5,0
II	0,2	0,2	0,2

As figuras 7 e 8 apresentam os resumos dos valores obtidos nos diferentes ensaios efetuados no Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional.

Com as leituras fornecidas pelos medidores de deformação foi determinada a Capacidade de Alongamento a 95 %

DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA	SÉRIE Nº	S E R I E I																SÉRIE II					
		19		19		38		38		76		76		152		152		SÉRIE II					
		19-1-02	19-Q-01	38-F-01	38-H-01	76-D-05	76-J-01	152-C-03	152-G-01	76-J-01	152-G-01	76-J-01	152-G-01	76-J-01	152-G-01	76-J-01	152-G-01	76-J-01	152-G-01				
	Ø máx. (mm)	196	126	206	133	189	119	181	121	119	121	119	121	119	121	119	121	119	121				
	MISTURA	19-1-02	19-Q-01	38-F-01	38-H-01	76-D-05	76-J-01	152-C-03	152-G-01	76-J-01	152-G-01	76-J-01	152-G-01	76-J-01	152-G-01	76-J-01	152-G-01	76-J-01	152-G-01				
	CONSUMO TODA (DIAS)	196	126	206	133	189	119	181	121	119	121	119	121	119	121	119	121	119	121				
VIGA 15x15x 60 cm	TRAÇÃO POR FLEXÃO (MÓDULO DE RUPTURA)	14,3 23,7 29,3 6,7 12,7 17,2 16,5 29,8 34,8 13,0 16,5 23,5																15,78	21,79				
VIGA 25x25x100 cm	TRAÇÃO POR FLEXÃO (MÓDULO DE RUPTURA)	-	-	-	-	-	-	-	-	18,1 24,9 29,6 8,7 17,1 22,0	-	-	-	-	-	-	-	14,49	23,72				
VIGA 45x45x180 cm	TRAÇÃO POR FLEXÃO (MÓDULO DE RUPTURA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,1 25,9 29,6 9,8 13,3 20,3	14,97	18,31						
CILÍNDRICO 15x30 cm 19 e 38 mm (Integral)	TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	9,2 15,6 29,7 4,2 6,7 17,3 12,5 19,9 23,2 7,2 12,4 14,2 15,3 19,3 29,7 7,8 14,7 16,5													18,4 26,4 27,4 8,5 12,3 16,2	12,4	16,2						
76 e 152 mm (+/- 38 mm)	COMPRESSÃO AXIAL	67 121 150 31 46 63 88 161 199 53 83 114 112 200 243 54 101 125 153													239 321 55 92 129 92	92	127						
CILÍNDRICO 25x50 cm	COMPRESSÃO AXIAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	82	101					
CONCRETO INTEGRAL	TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	-	-	-	-	-	-	-	-	13,0 16,3	-	6,7 10,0	-	-	-	-	-	8,5	-				
CILÍNDRICO DE 45 x 90 cm CONCRETO INTEGRAL	TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,5 18,4	-	5,9 9,2	-	-				
CILÍNDRICO EXTRATO COM DIMENSÕES DE:	TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,8	15,0	-	-			
	TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,7	13,4	-	-		

FIGURA 7
VALORES DAS RESISTÊNCIAS (kgf/cm^2) NAS DUAS SÉRIES DE
ENSAIOS NO LABORATÓRIO DE CONCRETO DE ITAIPU

da Ruptura à Tração.

2.2.3 Estudos Realizados no Laboratório de Concreto - Ilha Solteira - CESP

Os ensaios de Tração e Capacidade de Alongamento efetuados no Laboratório da CESP - Ilha Solteira foram executados com a mesma técnica descrita em 2.2.2, e os valores foram extraídos da referência [1] e referem-se a resultados dos estudos básicos para a obra de Água Vermelha.

Os resultados dos estudos básicos realizados em Ilha Solteira, para a obra de Água Vermelha estão indicados na Figura 9.

2.2.4 Informações Complementares

Com intuito de permitir efetuar várias correlações são apresentadas algumas informações complementares obtidas durante o controle do concreto na obra de Itaipu.

Assim é que na Figura 10 são mostrados resultados das Resistências à Compressão Axial Simples e a Tração por Ruptura Diametral obtidas em corpos de prova cilíndricos $\varnothing$ 15x30cm de concretos usados nas estruturas da obra de Itaipu.

Os corpos de prova referentes aos concretos com $\varnothing$ máx superior a 38mm foram moldados com a fração peneirada passante pela malha de abertura 38mm.

2.2.5 Correlações

2.2.5.1 Resistência à Tração por Flexão (Módulo de Ruptura)

A Figura 11 apresenta um resumo da relação (n_1 - ver nota 1 da Figura 4) entre a Resistência à Tração por Flexão (Módulo de Ruptura) e o consumo de aglomerante

FIGURA 10: RESISTÊNCIAS A TRAÇÃO (COMPRESSÃO DIMETRAL) E COMPRESSÃO (AXIAL SIMPLES)

CONSUMO (kg)		RUPTURA AXIAL - $\bar{f}_{cj}$ (kgf/cm ²) - CONCRETO PENEIRADO (# 1 1/2")										RUPTURA DIAMETRAL - $\bar{f}_{cj}$ (kgf/cm ²) - CONCRETO PENEIRADO (# 1 1/2")																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		7		28		90		180		360		7		28		90		180		360		7		28		90		180		360																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$	N	$\bar{f}_{cj}$

N = Número de Amostras

$$= f_{c,j} = \text{Resistência Média à Compressão Axial Simples (kgf/cm}^2\text{)}$$

$\bar{\sigma}_{tj}$ = Resistência Média à Compressão Axial Simples (kgf/cm²)
 $\bar{\sigma}_{tj}$ = Resistência Média à Tração por Compressão Diametral (kgf/cm²)

C_v = Coeficiente de Variação (%)

FIGURA 11

RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR FLEXÃO (MÓDULO DE RUPTURA)
E O CONSUMO DE AGLOMERANTE (CIMENTO+MATERIAL POZOLÂNICO) EM
(kgf/cm²)/(kg/m³), A CADA Ø MÁX, A PARTIR DE VIGAS MOLDADAS COM
CONCRETO INTEGRAL

CONCRETOS PARA A OBRA DE	IDADES															
	3 dias				7 dias				28 dias				90 dias			
	19 mm	38 mm	76 mm	152mm	19 mm	38 mm	76 mm	152mm	19 mm	38 mm	76 mm	152mm	19 mm	38 mm	76 mm	152mm
ITAIPU	-	-	-	-	0,063	0,089	0,085	0,093	0,111	0,134	0,132	0,135	0,143	0,173	0,171	0,166
ITAIPU (Estudado em Itumbiara)	-	-	-	-	-	-	0,069	0,085	-	-	0,087	0,123	-	-	-	-
ÁGUA VERMELHA	0,064	0,062	0,085	0,088	0,094	0,086	0,118	0,125	0,110	0,123	0,154	0,185	0,143	0,153	0,168	0,209

$$\eta_{11} = \frac{\text{RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR FLEXÃO (MÓDULO DE RUPTURA) Kgf/cm}^2}{\text{CONSUMO DE AGLOMERANTE (CIMENTO + MAT. POZOL) Kg/m}^3}$$

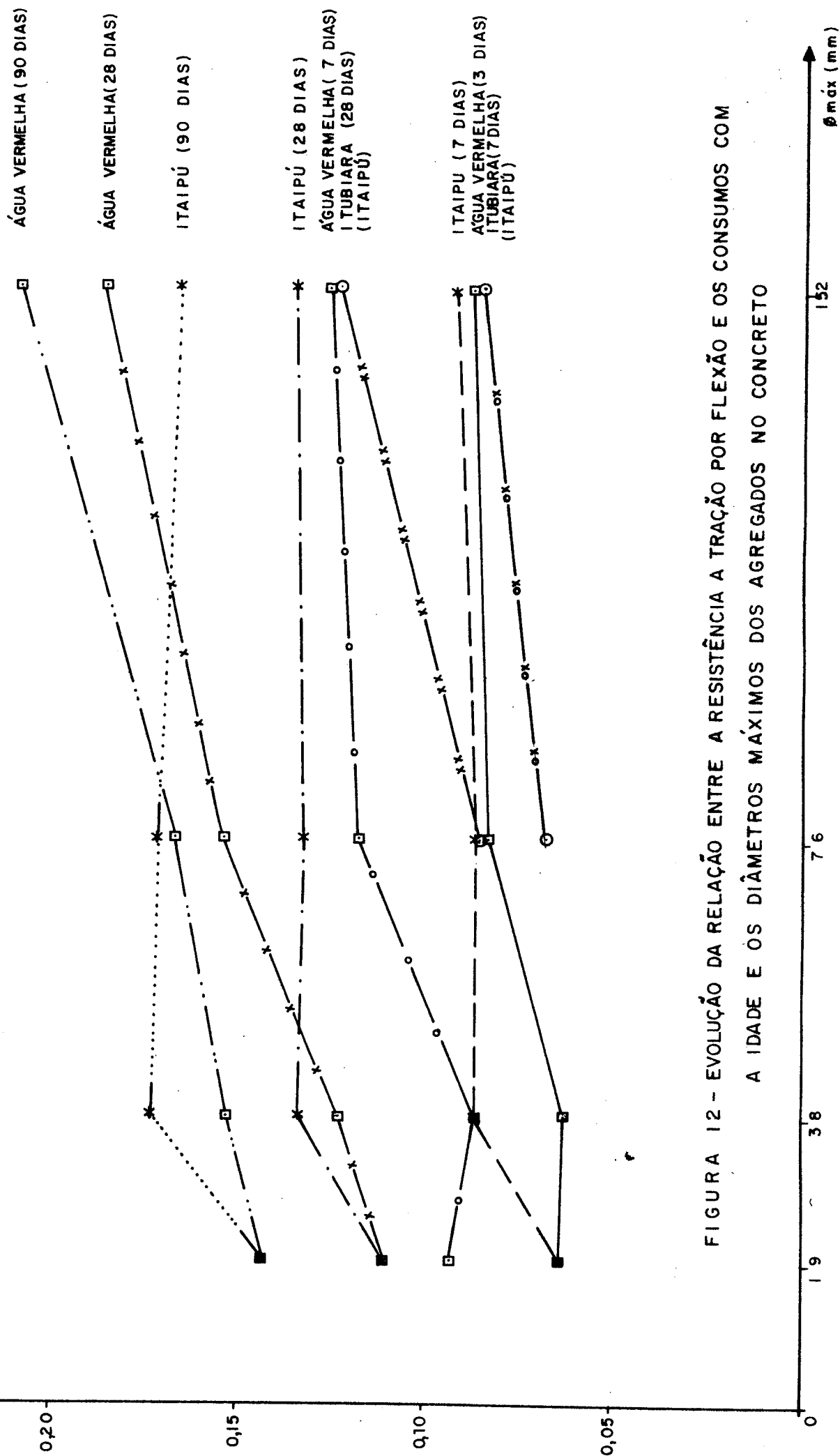


FIGURA 12 - EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR FLEXÃO E OS CONSUMOS COM A IDADE E OS DIÂMETROS MÁXIMOS DOS AGREGADOS NO CONCRETO

RELACÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À TRACÇÃO POR RUPTURA DIAMETRAL
E O CONSUMO DE AGLOMERANTE EM $(\text{kgf/cm}^2)/(\text{kg/m}^3)$ À CADA Ø MÁX.

Obs.: As resistências à tração foram obtidas por ruptura diametral de corpos de prova moldados com concreto peneirado passante pela malha de 38 mm

(cimento + material pozzolânico) a cada diâmetro máximo do agregado. A Figura 12 fornece os valores da Figura 11 em forma de gráfico.

Pelos valores das Figuras 11 e 12 nota-se que a relação " n_1 " apresenta um sensível aumento à medida que se aumenta o $\phi_{\text{máx}}$ do agregado no concreto bem como o aumento com a idade, o que era de se esperar.

2.2.5.2 Resistência à Tração por Ruptura Diametral

A Figura 13 indica a evolução da relação entre a Resistência à Tração, obtida através do ensaio por ruptura diametral, e o consumo de aglomerante a cada diâmetro máximo do agregado no concreto. Como observado em 2.2.5.1., verifica-se um sensível aumento dessa relação, à medida que se aumenta o $\phi_{\text{máx}}$ do agregado para uma mesma idade.

2.2.5.3 Relação entre a Resistência à Tração por Flexão em Vigas (Módulo de Ruptura), com concreto Integral e Resistência à Tração por Ruptura Diametral com Concreto pe-neirado passante na malha de 38mm

Os valores dessa relação são apresentados na Figura 14.

CONCRETO REFERENTE A OBRA DE	Ø MÁX (mm)	IDADE (DIAS)			
		3	7	28	90'
ITAIPU	19	-	1,6	1,7	1,0
	38	-	1,6	1,4	1,6
	76	-	1,2	1,2	1,2
	152	-	1,1	1,0	1,1
ÁGUA VERMELHA	19	1,7	1,4	1,0	1,2
	38	1,6	1,1	1,1	1,3
	76	1,6	1,3	1,0	1,1
	152	1,5	1,5	1,1	1,0
ITAIPU (Estudado em Itumbiara)	19	-	-	-	-
	38	-	-	-	-
	76	-	1,4	1,2	-
	152	-	1,3	1,1	-

Figura 14 - Relação entre as Resistências à Tração por Flexão e por Compressão Diametral

2.2.5.4 Relação devido ao Tamanho dos Corpos de Prova, com Referência à Resistência à Tração por Ruptura Diametral

Através dos valores da Figura 7 pode-se avaliar o efeito do "peneiramento" do concreto integral no que se refere a Resistência à Tração por Ruptura Diametral, ou seja:

$$q'_{76\text{mm}} = \frac{\text{Resistência à Ruptura Diametral } \varnothing 15 \times 30 \text{ cm (peneirado)}}{\text{Resistência à Ruptura Diametral } \varnothing 25 \times 50 \text{ cm (integral)}}$$

$$q'_{152\text{mm}} = \frac{\text{Resistência à Ruptura Diametral } \varnothing 15 \times 30 \text{ cm (peneirado)}}{\text{Resistência à Ruptura Diametral } \varnothing 45 \times 90 \text{ cm (integral)}}$$

tendo sido obtidos (Nota 2) os seguintes valores:

$$q'_{76\text{mm}} = 1,29 \quad \text{e} \quad q'_{152\text{mm}} = 1,37$$

Nota 2: É prudente considerar esses valores como preliminares e provisórios tendo em vista a pequena quantidade de resultados obtidos para essa correlação, até o momento.

2.2.5.5 Capacidade de Alongamento à Tração

Através dos valores apresentados nas Figuras 8 e 9 verifica-se que os resultados de Capacidade de Alongamento apresentaram-se aproximadamente iguais, para concretos com diâmetros máximos de 76mm e 152mm, principalmente quando comparados a mesmos níveis de consumo de aglomerante. Nota-se, ainda, que as diferenças entre os valores das Capacidades de Alongamentos dos concretos de $\varnothing$ máx 76mm e 152mm são próximas, em geral, da precisão de leitura dos medidores de deformação.

Com base no artigo [5] - "Causes and Control of Cracking in Unreinforced Mass Concrete" - ACI - July/1979 - a capacidade de alongamento à Tração dos Concretos pode ser estimada com razoável aproximação e pela relação entre a Resistência à Tração e o Módulo de Deformação (a Compressão Axial Simples).

2.3 Evolução Térmica

Devido às peculiaridades das obras de concreto massa, onde os blocos de concreto são de grandes dimensões e as quantidades de calor geradas são consideráveis, o conhecimento do comportamento térmico é de vital importância no seu dimensionamento.

Dentre as propriedades térmicas - Elevação Adiabática de Temperatura - Calor Específico, Difusibilidade e Condutividade Térmica - a Elevação Adiabática de Temperatura é um fator preponderante na avaliação das tensões de origem térmica.

Para a determinação da Elevação Adiabática de Temperatura há necessidade de se manter o concreto em condições adiabáticas, ou seja sem trocas de calor com o ambiente, durante a hidratação do cimento.

O Laboratório de Concreto de Itaipu [6] dispõe para essa determinação de equipamento que consiste basicamente de 2 câmaras climatizadas e aparelhos de controle para a execução dos ensaios. Os ensaios de Elevação Adiabática de Temperatura são executados, normalmente até a idade de 28 dias, que corresponde ao período em que ocorre grande parte da geração de calor, pela hidratação do aglomerante.

As misturas utilizadas [6] nos ensaios, são fornecidas na Figura 15.

Através dos ensaios de Elevação Adiabática da Temperatura foram obtidos os valores apresentados nas Figuras 16 e 17. Nessas tabelas são apresentadas as evoluções unitárias de temperatura (e_{ui}) aqui definidas como sendo o quociente da Evolução Adiabática do Concreto pelo Consumo de Aglomerante (cimento + material pozzolânico):

$$e_{\mu i} = \frac{\Delta \Theta i}{c} \quad \text{onde:}$$

$e_{\mu i}$ = Evolução Unitária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{kg}/\text{m}^3$)

i = Idade (dias)

$\Delta \Theta i$ = Evolução Adiabática do Concreto ($^{\circ}\text{C}$) à idade " i " dias

c = Peso (consumo) de aglomerante (cimento + Material pozzolânico) por metro cúbico de concreto (kg/m^3)

Pelos valores da Figura 17 nota-se que as evoluções unitárias de temperatura não apresentam diferenças significativas, para os diversos diâmetros máximos dos agregados nos concretos. Os valores de $e_{\mu 28 \text{ dias}}$ estiveram entre 0,13 e 0,14, para os diversos $\emptyset \text{ máx}$ de concretos estudados (com mesmo percentual de reposição de material pozzolânico).

3 CONSIDERAÇÕES

Considerando os parâmetros apresentados no item 2 é importante ressaltar que:

- Não há diferenças significativas nos valores de Permeabilidade entre os concretos com $\emptyset \text{ máx}$ 76mm e 152mm;
- Há uma sensível elevação relação entre a Resistência à Tração e o consumo de aglomerante para os concretos de $\emptyset \text{ máx}$ 152mm quando comparados com concretos de $\emptyset \text{ máx}$ 76mm;
- Há proximidade dos valores de Capacidade de Alongamento entre concretos de $\emptyset \text{ máx}$ 76mm e 152mm, quando comparados a mesmos níveis de consumo;
- Há proximidade dos valores das Evoluções Unitárias de Temperatura ($e_{\mu i}$) nas diversas bitolas de concretos estudados.

Tendo em vista as considerações acima, faz-se conveniente uma análise das recomendações de se utilizar concretos com $\emptyset$ máx 76mm junto às fundações, mesmo para concretos refrigerados.

Para melhor avaliar essa necessidade, pode-se exemplificar:

- Ao se especificar um determinado Nível de Resistência (quer seja à Compressão ou à Tração), para um concreto junto à fundação de uma estrutura massiva estar-se-á, indiretamente, determinando a relação Resistência/Consumo a ser utilizada. Tendo em vista que essa relação é sensivelmente maior (quer seja à Compressão ou à Tração) para concretos com $\emptyset$ máx 152mm, que para os concretos com $\emptyset$ máx 76mm, o consumo do concreto com $\emptyset$ máx 152 mm será sensivelmente inferior ao do concreto $\emptyset$ máx 76mm, para o mesmo nível de Resistência. Sendo a Evolução Unitária de Temperatura (e_{ui}), aproximadamente igual para os diversos $\emptyset$ máx de concreto, ter-se-á o concreto com $\emptyset$ máx 152mm atingindo uma menor elevação adiabática, e desta forma potencialmente superior para o combate dos efeitos térmicos.

MATERIAIS		NOMENCLATURA DAS MISTURAS									
kg/m ³ (S.S.S.)		152-G-01	152-E-03	152-C-01	76-H-04	76-F-03	76-C-07	38-C-06	38-A-12	19-C-21	19-A-09
Ø máx (mm)		152	152	152	76	76	76	38	38	19	19
Água		85	84	84	106	108	108	139	146	157	154
Cimento		108	126	147	125	145	189	251	326	290	325
Cinza Volante		13	15	17	15	17	22	30	38	33	38
Fator A/Ceq		0,67	0,57	0,48	0,72	0,63	0,49	0,47	0,38	0,46	0,40
Areia Natural		174	168	161	209	202	188	248	216	219	252
Areia Artificial		405	391	376	487	470	438	579	504	658	588
Brita 19(4,8-19)mm		400	400	400	529	529	529	692	692	1120	1120
Brita 38 (19-38)mm		329	329	329	436	436	436	518	568	-	-
Brita 76 (38-76)mm		465	465	465	650	650	650	-	-	-	-
Brita 152(76-152)mm		643	643	643	-	-	-	-	-	-	-
Trabalhabilidade(cm)		3,5+0,5	3,5+0,5	3,5+0,5	3,5+0,5	3,5+0,5	3,5+0,5	4,5+0,5	4,5+0,5	4,5+0,5	4,5+0,5
Ar Incorporado(%)		7,5+0,5	7,5+0,5	7,5+0,5	6,5+0,5	6,5+0,5	6,5+0,5	4,5+0,5	4,5+0,5	4,5+0,5	4,5+0,5

Figura 15 - Composição das Misturas Ensaaiadas para Elevação Adiabática.

FIGURA Nº 16. EVOLUÇÃO UNITÁRIA DE TEMPERATURA DE CONCRETOS.

Δe = Evolução Adiabática
e_u = Evolução Unitária

C_v = Coeficiente de Variação

Ø MÁXIMO CONSTANTE DE AGLOMERANTE	CONCRETOS COM AGREGADOS Ø MÁXIMO 152 mm			CONCRETOS COM AGREGADOS Ø MÁXIMO 76 mm			CONCRETOS COM AGREGADOS Ø MÁXIMO 38 mm			CONCRETOS COM AGREGADOS Ø MÁXIMO 19 mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	121	141	164	140	162	211	281	364	323	363	MÉDIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
152-G-01	152-E-03	152-C-01	76-H-04	76-F-03	76-C-07	36-C-06	38-A-12	19-C-21	19-A-09																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Δe (°C)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)	Δe (°C/kg.m ⁻³)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
01	5,32	0,0440	6,31	0,0448	6,77	0,0373	6,11	0,0436	7,49	0,0462	7,37	0,0349	10,95	0,0390	11,79	0,0324	10,32	0,0320	11,15	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307	0,0307

IDADE i (dias)	Concreto Ø máx 152 mm		Concreto Ø máx 76 mm		Concreto Ø máx 38 mm		Concreto Ø máx 19 mm	
	Média	C.V.(%)	Média	C.V.(%)	Média	C.V.(%)	Média	C.V.(%)
1	0,0420	9,8	0,0416	14,2	0,0357	13,1	0,0314	2,9
2	0,0633	6,8	0,0630	10,4	0,0620	4,0	0,0604	4,0
3	0,0780	1,1	0,0752	8,7	0,0780	5,4	0,0801	10,9
4	0,0887	4,0	0,0832	6,4	0,0885	6,0	0,0936	14,1
5	0,0966	7,1	0,0898	7,2	0,0960	5,4	0,1031	16,3
6	0,1028	8,6	0,0945	7,0	0,1021	4,8	0,1098	16,2
7	0,1077	9,3	0,0985	6,6	0,1069	4,4	0,1145	15,3
8	0,1114	9,7	0,1018	6,3	0,1108	4,0	0,1180	14,2
9	0,1194	7,7	0,1047	5,9	0,1136	3,3	0,1207	13,2
10	0,1172	9,7	0,1072	5,8	0,1164	3,2	0,1230	12,1
11	0,1198	9,4	0,1094	5,4	0,1186	3,0	0,1248	11,1
12	0,1220	9,3	0,1111	4,9	0,1206	2,6	0,1263	10,0
13	0,1238	9,2	0,1130	4,8	0,1223	2,5	0,1277	9,1
14	0,1255	9,0	0,1148	4,8	0,1239	2,5	0,1289	8,3
15	0,1271	8,7	0,1164	4,7	0,1251	2,4	0,1299	7,5
16	0,1286	8,5	0,1179	4,6	0,1257	2,0	0,1308	6,9
17	0,1299	8,2	0,1193	4,5	0,1273	2,3	0,1316	6,3
18	0,1312	7,8	0,1207	4,4	0,1282	2,3	0,1324	5,8
19	0,1322	7,6	0,1218	4,3	0,1290	2,3	0,1330	5,4
20	0,1313	7,3	0,1229	4,3	0,1298	2,2	0,1335	5,0
21	0,1341	7,2	0,1240	4,1	0,1305	2,3	0,1339	4,6
22	0,1351	7,0	0,1250	4,0	0,1311	2,3	0,1343	4,3
23	0,1360	6,7	0,1260	3,9	0,1315	2,4	0,1348	4,0
24	0,1369	6,4	0,1268	3,9	0,1320	2,5	0,1351	3,8
25	0,1376	6,1	0,1278	3,9	0,1324	2,5	0,1354	3,6
26	0,1382	5,8	0,1287	3,7	0,1327	2,5	0,1358	3,3
27	0,1389	5,3	0,1296	3,6	0,1332	2,5	0,1360	3,1
28	0,1396	5,0	0,1303	3,8	0,1335	2,5	0,1362	2,9

Figura 17 - Média dos Valores de e_{ui} ,   cada $\phi_{máx}$ do concreto, a partir dos ensaios.

cv = Coeficiente de Variação

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- |1| - Concretos para a Obra da Usina de Água Vermelha
CESP-Agosto 1974 - Engº Bento Carlos Sgarboza e
Engº Francisco Rodrigues Andriolo

- |2| - RC-24/78 - Extração de Testemunhos nas Juntas de
Concretagem - Itaipu Binacional

- |3| - RE-02/79 - IIIº Resumo do Controle Tecnológico do
Concreto - Itaipu Binacional

- |4| - RC-33/79 - Resistência à Tração de Concretos da
Obra de Itaipu - Itaipu Binacional- Engºs Gusta-
vo R. Lobo Vasconcelos - Roberval F. da Silva -
Luercio Scandiuzzi - Francisco Rodrigues Andrio-
lo

- |5| - "Causes and Control of Cracking in Unreinforced
Mass Concrete" - ACI - Journal - July/1979.

- |6| - RC-37/81 - Estudo das Propriedades Térmicas do
Concreto de Itaipu - Itaipu Binacional.

IDENTIFICAÇÃO DA MISTURA				SÉRIE DE ENSAIOS	IDADE (dias)	DIMENSÕES DA VIGA (cm)	CAPACIDADE DE DEFORMAÇÃO A 95% DO MÓDULO DE RUPTURA (10^{-6} cm/cm)			
NOMENCLATURA	Ø MAX (mm)	A/Ceq	CONSUMO AGLOMERANTE (kg/m^3)				VALORES INDIVIDUAIS	MÉDIA	n_2	
152-B-03	152	0,45	181	I	28	45x45x180	72	64	0,354	
152-B-03	152	0,45	181	I	28	45x45x180	56			
152-B-03	152	0,45	181	I	90	45x45x180	93,5	93,5	0,512	
152-B-03	152	0,45	181	I	90	45x45x180	*			
152-G-01	152	0,67	121	I	28	45x45x180	90	90	0,744	
152-G-01	152	0,67	121	I	28	45x45x180	90			
152-G-01	152	0,67	121	I	90	45x45x180	95	95	0,785	
152-G-01	152	0,67	121	I	90	45x45x180	95			
76-J-01	76	0,85	119	II	28	15x15x60	80	79,5	0,668	
76-J-01	76	0,85	119	II	28	15x15x60	79	79	0,664	
76-J-01	76	0,85	119	II	28	25x25x100	79			
76-J-01	76	0,85	119	II	28	45x45x180	64	68	0,571	
76-J-01	76	0,85	119	II	28	45x45x180	72			
152-G-01	152	0,67	121	II	28	15x15x60	75	80	0,661	
152-G-01	152	0,67	121	II	28	15x15x60	85			
152-G-01	152	0,67	121	II	28	25x25x100	68	70,5	0,583	
152-G-01	152	0,67	121	II	28	25x25x100	73			
152-G-01	152	0,67	121	II	28	45x45x180	64	65,5	0,541	
152-G-01	152	0,67	121	II	28	45x45x180	67			

n_2 - Ver Nota 1 da Figura 4

* Desprezado por ter sido ensaiada com velocidade rápida

Figura 8 - Valores de Capacidade de Alongamento a 95% do Módulo de Ruptura