



*comitê brasileiro
de grandes barragens*

XIII seminário nacional de grandes barragens

CONCRETO ADENSADO COM ROLO VIBRATÓRIO

**ANais
VOLUME I**

Rio de Janeiro, abril 1980

XIII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS

RIO DE JANEIRO

ABRIL 1980

"CONCRETO ADENSADO COM ROLO VIBRATÓRIO"

TEMA: II

ENGº IDEVAL BETIOLI

Divisão de Controle de Quali
dade de Campo

ENGº LUERCIO SCANDIUZZI

Divisão de Laboratório e Ins
trumentação do Concreto

ENGº FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLI

Assistência Construção de
Concreto

ITAIPU BINACIONAL

CONCRETO ADENSADO COM ROLO VIBRATÓRIO

1 - APRESENTAÇÃO

A construção de obras de grande porte, principalmente Hidroelétricas, tem levado os tecnologistas à pesquisa de materiais e processos de construção, que permitam o lançamento de grandes volumes de concreto em curtos espaços de tempo.

São, porém, notórias, as limitações de volumes e velocidades de aplicação de grandes massas de concreto, em função, principalmente, dos problemas decorrentes das reações exotérmicas de hidratação do cimento.

A fim de minimizar ou contornar os efeitos desse fenômeno, pesquisas foram feitas para desenvolvimento de materiais tais como cimentos de baixo calor de hidratação, uso de agregados de grande bitola, com intuito de diminuir consumo de cimento, uso de material pozolânico, bem como, técnicas de pré e pós resfriamento do concreto. Recentemente foi dada grande atenção às pesquisas e algumas aplicações de uma nova técnica de proporcionamento de misturas, de tal forma a adaptar o processo executivo de construção de barragens de enrocamento e terra à construção de obras de caráter massivo de concreto.

A este conjunto (proporcionamento e lançamento) chamou-se de "Concreto Adensado com Rolo Vibratório", do inglês Roller Compacted Concrete - "Rollcrete".

Esta técnica, onde é usada uma mistura sem trabalhabilidade, com aspecto arenoso, permite, com o uso de equipamentos de construção de enrocamentos, um lançamento contínuo e pode possibilitar economia de tempo e custo, na construção de barragens de concreto, do tipo gravidade.

Na construção da Hidroelétrica de ITAIPU, este processo foi utilizado em alguns locais, com caráter não estrutural. Neste trabalho, procura-se mostrar resultados de ensaios obtidos e observações efetuadas durante o processo de produção, transporte e lança-

mento do "Rollcrete".

2 - APLICAÇÕES EM ITAIPU

2.1 - CANTEIRO INDUSTRIAL

A primeira tentativa de desenvolvimento da tecnologia de aplicação do "Rollcrete", na Hidroelétrica de ITAIPU, se deu no início de 1976, quando ainda da implantação do canteiro industrial, na confecção de contra-pisos de galpões.

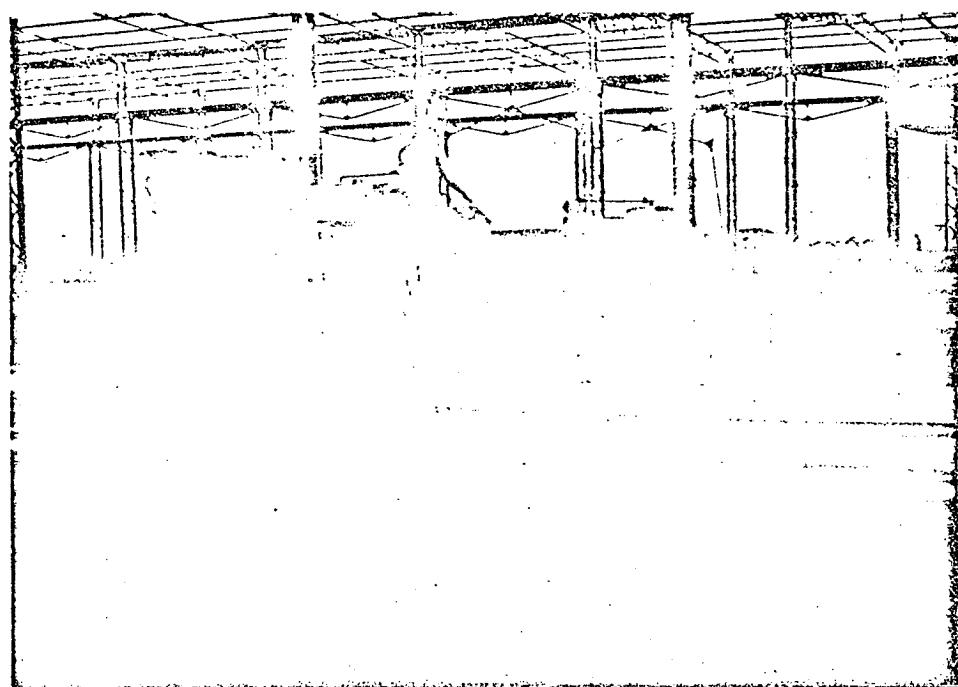


Foto I - Primeira aplicação de "Rollcrete" em ITAIPU. Concretagem de contra-piso de galpões, onde foi utilizado concreto com Ø máx. 19 mm, misturado e lançado através de caminhões betoneira.

Em vista da finalidade da aplicação desse concreto (contra-piso de galpões) não foi feito nenhum registro técnico de resultados de ensaios.

2.2 ESTRUTURA DE DESVIO

Quando já estavam em andamento as concretagens da Estrutura Principal (Estrutura de Controle de Desvio do Rio) da barragem de ITAIPU houve, no período abril-maio/78, possibilidade e interesse na

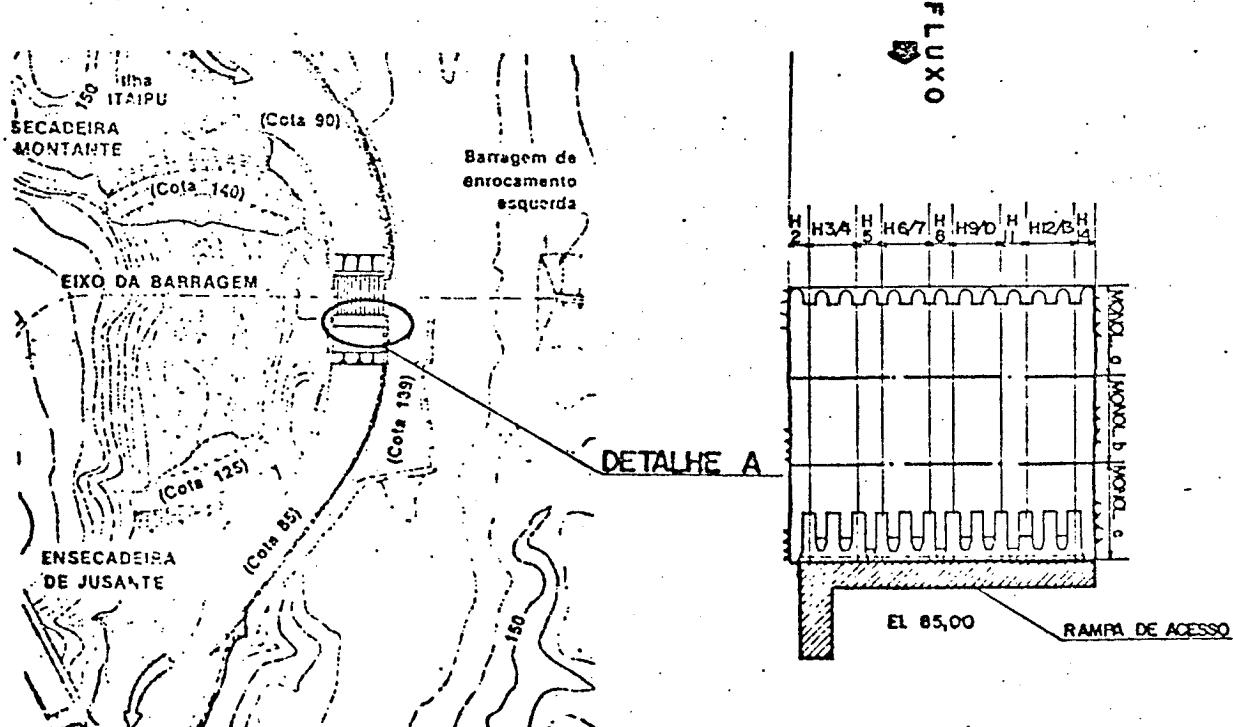
aplicação do conceito do "Rollcrete".

3 DETALHAMENTO DA APLICAÇÃO DE ROLLCRETE NA ESTRUTURA DE DESVIO

3.1 OBJETIVO

No período abril-maio/78 as concretagens da Estrutura de Desvio da Obra de ITAIPU atingiram volumes da ordem de $140.000 \text{ m}^3/\text{mês}$. A operação de desvio do rio de seu leito natural, marcada para outubro/78, fazia obrigatório que estes volumes e velocidades de lançamento fossem mantidos, para cumprimento dessa meta. Por outro lado, para antes do início do lançamento de concreto nas fundações da Estrutura de Controle do Desvio foi construída uma rampa em rocha para acesso a esta fundação, desde a cota $\approx 83,00$ (cota do canal) até a cota $\approx 63,00$ (cota de fundação da estrutura). Esta rampa ficou imediatamente a jusante da Estrutura de Desvio. Portanto, a operação de desvio do rio de seu leito natural, para o canal, fazia obrigatório que houvesse concordância hidráulica entre o leito do canal e as soleiras das adufas da Estrutura de Desvio.

O croquis II e a foto III locam e ilustram o acesso deixado a jusante da estrutura.



Croqui II - Localização da rampa de acesso à fundação da estrutura de desvio.

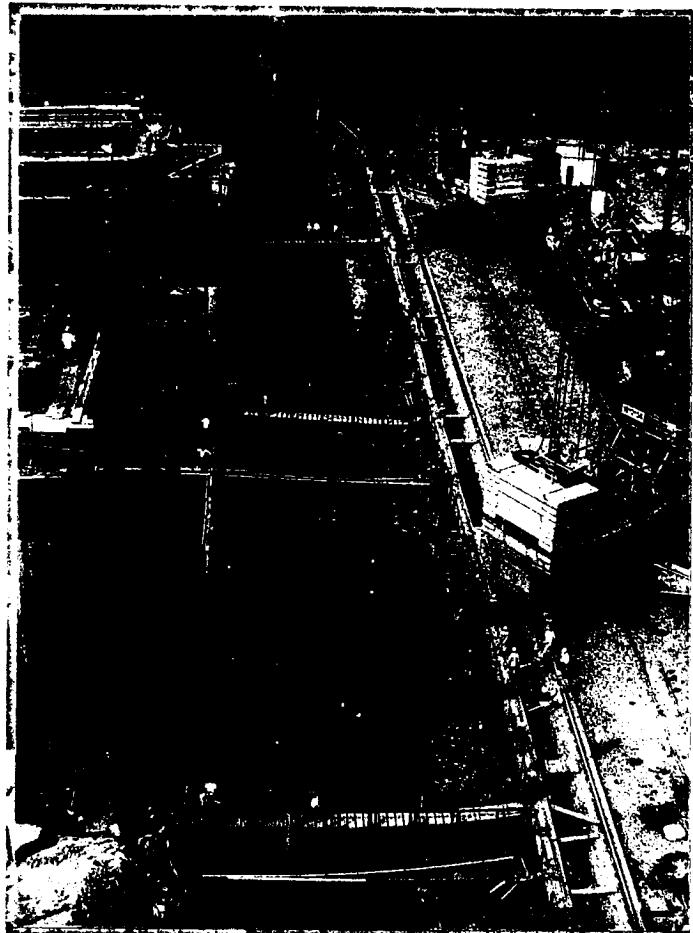


Foto III - Parte da rampa de acesso desde o leito do Canal de Desvio (El.83,00) até a fundação (El.63,00) da Estrutura de Controle de Desvio (à esquerda da foto).

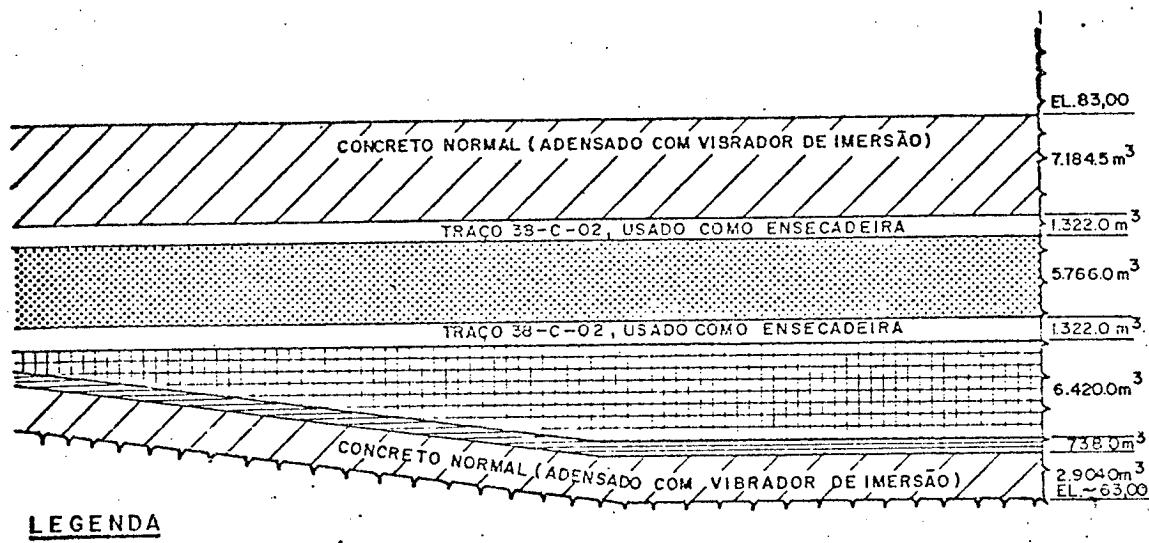
O volume estimado para o preenchimento da rampa e concordância hidráulica das soleiras das adufas com o leito do canal foi em torno de 26.000 m³.

Havia porém, o vínculo, praticamente total, dos equipamentos de transporte e lançamento de concreto convencional na Estrutura de Desvio, para atender à velocidade e cronograma dessa estrutura, dificultando portanto a utilização desses equipamentos no preenchimento da rampa.

Em vista disso, a ITAIPU sugeriu ao Empreiteiro e Projetista a concretagem da rampa usando o conceito de Concreto Adensado com Rolo Vibratório. Dessa maneira, poderiam ser aliviados os equipamentos convencionais de concretagem para os grandes volumes da Estrutura de Desvio, bem como, atender à necessidade de preenchimento transitório (período de desvio do rio) da rampa. Esta rampa sofrerá, no futuro, modificações para implantação de casas de força no Ca-

nal de Desvio.

O volume aplicado nessa concretagem foi de aproximadamente 26.000 m³ distribuidos conforme croqui IV. O tempo necessário, no preenchimento da rampa, foi de aproximadamente 40 dias, sendo 82% do volume total aplicado em 20 dias. O pico diário de produção de "Rollcrete" se deu em 21.05.79 com 3.504 m³.



LEGENDA

- Ø MAX. f_c (TENSÃO MÉDIA)
- Ø 19mm 100/180 SEM ABATIMENTO (Lançado a medida que subia a rampa)
- Ø 76mm 100/180 SEM ABATIMENTO
- Ø 76mm 140/365 SEM ABATIMENTO

PERFIL LONGITUDINAL DO ACESSO

Croqui IV - Tipos e volumes de concretos aplicados no enchimento da rampa.

3.2 MATERIAIS USADOS

Os materiais usados nos estudos e na produção do Rollcrete aplicado na rampa de acesso foram os mesmos utilizados para produção de concretos convencionais.

3.2.1 AGLOMERANTES

Os cimentos usados atenderam às especificações ITAIPU, como mos-

tram as médias das amostras de controle coletadas nas Centrais de Concreto, no período março-junho/78. Na tabela V são fornecidos os resultados de ensaios desse material. Nesta tabela, são fornecidas ainda as médias das propriedades físico-químicas das cinzas volantes usadas no mesmo período. A cinza usada era proveniente da Usina Jorge Lacerda - Tubarão - Santa Catarina.

3.2.2 AGREGADOS

Os agregados graúdos usados foram britas obtidas da britagem de basalto denso e são, enquanto que o agregado miúdo (areia) normalmente usado em ITAIPU é uma composição em peso de 70% de areia artificial produzida da britagem do basalto, com 30% de areia natural dragada no leito do rio. Esta composição se deve à disponibilidade de areia natural e, estudos técnicos-econômicos anteriores. As curvas granulométricas de controle desses materiais, no período de produção do Rollcrete, são fornecidas na tabela V.

3.2.3 ÁGUA E ADITIVO

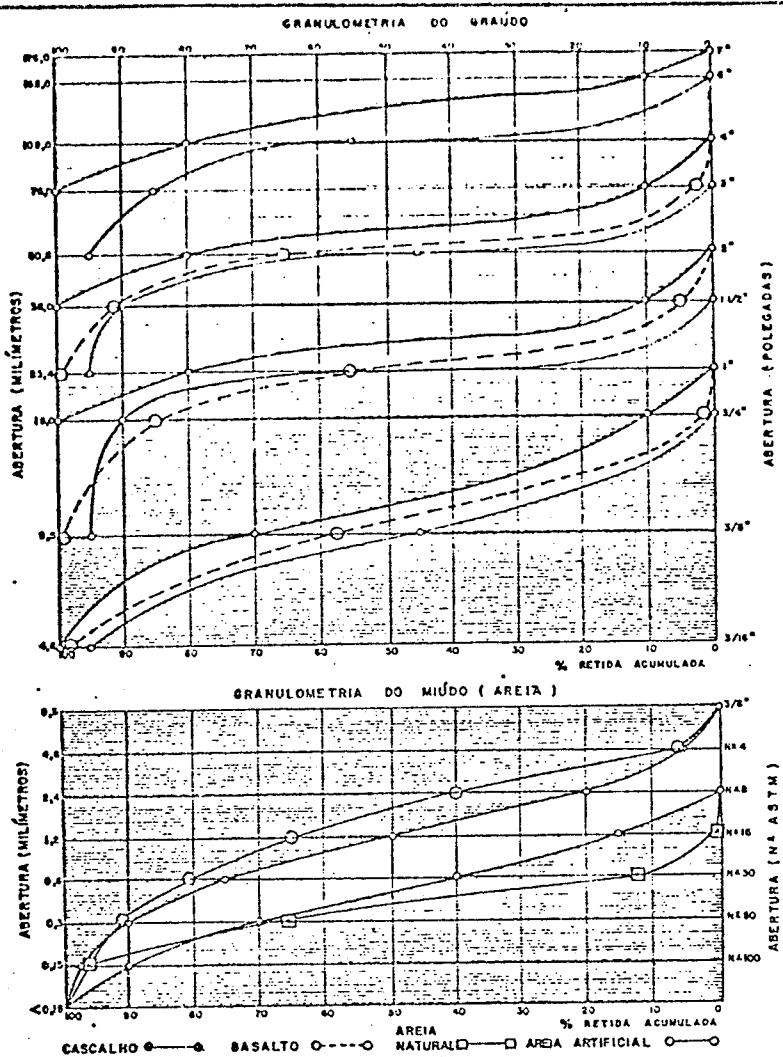
A água utilizada foi a normalmente usada na produção de concretos convencionais e, sofre tratamento prévio. Foi usado ainda, um aditivo incorporador de ar.

3.3 PROPORCIONAMENTO DAS MISTURAS

3.3.1 CRITÉRIOS E PARÂMETROS ADOTADOS

As misturas foram proporcionadas com base em experiências e dados bibliográficos. Para tanto, adotou-se como diretriz básica o interesse em se obter misturas que, após adensadas, proporcionassem máxima densidade ou seja, a combinação das várias gamas de agregados foi feita de tal forma a se obter o menor índice de vazios.

O critério adotado para essa combinação foi o preconizado pelo "U.S. Army - Corps of Engineers" (Ref. 7.1) sendo que a menor porcentagem de vazios nos agregados graúdos se obtém pela expressão:



CIMENTO

PENEIRA	200	(%) RETIDA	3,5
PENEIRA	325	(%) FETIDA	3654
SUR. ESPECIFICA (BLAINE)	cm ² /g		3,16
CER. STATE ABSOLUTA	(g/cm ³)		106
ÁGUA DE CONSTITUÍDOS	GRAMAS	%	0,46
PASTA			02.41
INÍCIO DE PEGA (MINIM.)			0,14
EXFANSÃO EM AUTO CLAVE (%)			145
RESISTÊNCIA A CONF. ESCO.	CONSISTÊNCIA DE ARTANASSA	GRAMAS / N/C	0,46
	FLON (mm)		168
	3 DIAS (kg/cm ²)		149
	7 DIAS (kg/cm ²)		248
	28 DIAS (kg/cm ²)		334
CALOR HIDRATADO	FE	7 DIAS (CAL./g)	1,66
		28 DIAS (CAL./g)	0,26
	PERCA AO FOGO		21,42
ANÁLISE	INSGLOUVEIS		3,58
	SiO ₂		4,76
	Fe ₂ O ₃		62,71
	Al ₂ O ₃		3,25
GUÍMICA	CaO		1,69
	MgO		
	SC ₂		
(%)	Nd ₂ O ₃		
	K ₂ O		
	EQUIV ALCALÍNICO EM NUZO		1,34
	Ca LIVRE EM GAO		45,1
COMPOSTOS	C 2 S		27,4
MÉTODO	C 2 S		6,6
DE BUGUE	C 3 A		10,9
(%)	C 4 AF		2,81
	Ca(OH) ₂		

TIPO DE MATERIAL POZOLÁNICO		PROCEDÊNCIA		DATA DE COLETA	
PESO ESPECÍFICO DOS GHÃOS (g/cm ³)		PESO (%) DE FETICA		PESO (%) DE MÉTRO (m)	
FINURA	BLAINE	SUPERFÍCIE EFETIVA (m ² /g)			
		PASTA COM 10% CIMENTO (%)	PASTA COM 20% CIMENTO (%)	PASTA COM 30% CIMENTO (%)	PASTA COM 40% CIMENTO (%)
ÁGUA (E)					
CIMENTO (E)					
EXTENSÃO EM AUTOCLAVE					
RELATÓRIO CIM ALCAFI					
ÍNDICES DE ATIVIDADE POZOLÂNICA		ÁGUA HIGROSCÓPICA (%)	SUM. CIMENTO (%)	SUM. CAL (kg/m ²)	
- AUMENTO DE FETICAÇÃO POR SECAGEM (%)					
- PERDA DA AMOSTRA (%)					
ANÁLISE QUÍMICA (%)		PERDA AO FOGO			
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
					SiO ₃
			Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃		

Tabela V - Resultados médios do controlo dos agregados e aglomerantes usados na produção do Rollcrete.

$$P = \frac{d^x - (0,1875)^x}{(\phi_{\max})^x - (0,1875)^x} \times 100 \text{ onde}$$

P = Porcentagem acumulada que passa na malha de abertura d

d = Abertura da malha

ϕ_{\max} = Diâmetro máximo nominal

x = Exponente (normalmente adotado $x = 0,8$ para materiais britados).

As composições foram feitas de tal forma a se usar concretos com diâmetros máximos de 19, 38 e 76 mm, em vista das informações contidas no ACI - Committee 207 - Roller Compacted Concrete (Ref. 7.2) de que não há grande interesse em se utilizar, para esse tipo de concreto, agregados acima de 76 mm, além do fato de que agregados com diâmetros máximos 152 mm trariam dificuldades suplementares para adensamento.

O teor de argamassa foi obtido experimentalmente, com base em informações do ACI - Committee 207 (Ref. 7.2) e do Corps of Engineers (Ref. 7.3).

Visando dar uma maior homogeneidade à mistura, visto que por si só o "Rollcrete" é bastante "áspero" e que a areia artificial agrava este fato, foi usada como agregado miúdo, uma mistura em peso de 60% de areia artificial e 40% de areia natural em lugar da composição 70% / 30%, normalmente usada nos concretos convencionais, em ITAIPU.

A quantidade de pasta em volume sólido por metro cúbico (aglomerante + água) ficou, para as resistências requeridas, ao redor de:

ϕ_{\max} (mm)	$f_{cj}(Kg/cm^2) = 100/180$	$f_{cj}(Kg/cm^2) = 140/365$
19	150,4 litros	165,6 litros
38	131,8 litros	144,9 litros
76	108,6 litros	112,9 litros

enquanto que para os concretos convencionais utilizados na Obra de ITAIPU o teor de pasta está ao redor de:

ϕ máx. (mm)	f_{cj} (Kg/cm^2) = 100/180	f_{cj} (Kg/cm^2) = 140/365
19	-	227,8 litros
38	159,1 litros	215,0 litros
76	128,9 litros	180,0 litros

Com relação à reposição de cimento por material pozolânico, adotou-se substituir 40% do cimento em volume sólido nas misturas $f_{cj} = 100 \text{ kg}/\text{cm}^2/180$ dias e 30% nas misturas $f_{cj} = 140 \text{ kg}/\text{cm}^2/365$ dias, de tal forma a aproveitar melhor a finura do fly-ash no aumento da parte de finos da argamassa.

3.3.2 - MÉTODOS PARA CONTROLE E MOLDAGENS

Além dos ensaios normais de rotina, para caracterização dos materiais componentes do concreto, foram executados ensaios para verificar a homogeneidade e características das misturas.

A "trabalhabilidade" desse tipo de concreto não pode ser medida através do método usual de abatimento do tronco de cone (Slump), pois o mesmo não possui trabalhabilidade, e o adensamento através de vibradores de imersão não é adequado para concretos "no slump" para controle de resistência nos moldes cilíndricos convencionais, nem para determinação do teor de ar incorporado.

Em função disto e com base nas informações do Corps of Engineers (Ref. 7.3) procurou-se adotar a mesa vibratória do aparelho Vebe para determinar a "trabalhabilidade" através da capacidade de adensamento.

Observou-se entretanto, que a avaliação da compacidade e do peso específico, obtidos dessa maneira, apresentou dispersões consideráveis.

A determinação do teor de ar incorporado, usando-se ainda a aparelho Vebe indicou também grandes dispersões. O documento "Roller Compacted Concrete - ACI - 207" (Ref. 7.2) indica que a utilização de aditivos incorporadores de ar e redutores de água, é beneficiante para a redução do tempo de vibração para o adensamento adequado, entretanto a eficiência do incorporador, com o intuito de incorporar ar, é difícil de ser avaliada.

Para a moldagem de corpos de provas $\varnothing 15 \times 30$ cm, foi utilizado o aparelho Vebe como mesa vibratória, sendo o adensamento auxiliado por um peso de aproximadamente 13 kg, colocado sobre a mistura.

Os concretos com diâmetros máximos maiores que 38 mm foram moldados em 15 x 30 cm, com a fração peneirada na malha de 38 mm.

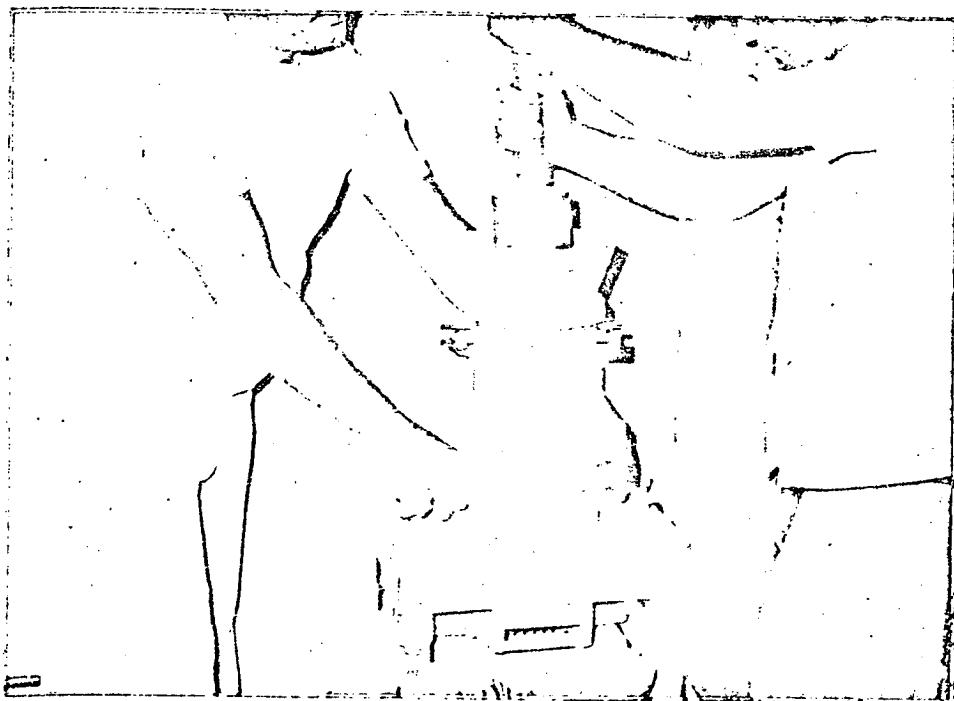


Foto VI - Moldagem de espécimes 15 x 30 cm com auxílio da mesa vibratória do Vebe e peso adicional de 13 kg.

Paralelamente, com intuito de se comparar o processo de moldagem de corpos de provas pelo Vebe, com o processo de adensamento similar ao adotado na execução, foram feitas pequenas concretagens no pátio do Laboratório usando, como equipamento de adensamento, um compactador portátil ("sapo"), como mostrado na foto VII.



Foto VII - Área de ensaio, no Laboratório, sendo adensada com compactador portátil.

O compactador usado (modelo MTR-80-H da Milkasa) apresentava as seguintes características:

Placa de contacto para adensamento - 300 x 345 mm

Impactos - 550 a 600 por minuto

Peso - 78 kg

Força de Impacto - 550 a 600 kg por impacto

A compactação foi feita em subcamadas de aproximadamente 18 cm do material solto e de 13 cm após compactada. A altura total de moldagem foi de aproximadamente 45 cm. Desses áreas compactadas foram extraídos testemunhos por meio de sonda rotativa, permitindo obter corpos de provas com comprimentos ao redor de 40 cm e diâmetros de 25 cm.

3.3.3 RESULTADOS PRELIMINARES

Nos quadros VIII e IX são fornecidas as composições das misturas e os resultados dos ensaios executados nos estudos preliminares no Laboratório de Concreto.

CARACTERÍSTICAS			ENSAIOS MISTURA FRESCA			MATERIAIS (kg/m³)								RESISTÊNCIA À COMPRIMAÇÃO ESTÉCNICAS 15x30 (kg/cm²)		
Ø MAX (mm)	FATUR A/Ceq	% CIMENTO/ CINZA	LIG. A INTERCAL (kg/m³)	LIG. A INTERCAL (kg/m³)	AR %	CIMENTO	CINZA	ÁGUA	AREIA NATURAL	AREIA ARTIFICIAL	81 19 mm	82 38 mm	83 76 mm	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
76	0,600	60/40	2.593	2.501	5,1	83	36	83	295	487	400	556	640	34	45	79
76	0,800	60/40	2.598	2.522	5,0	62	27	83	306	507	400	556	640	22	39	67
76	1,000	60/40	2.581	2.501	5,5	50	22	83	313	518	400	556	640	17	19	32
76	0,600	70/30	2.587	2.508	5,8	91	26	78	303	501	400	556	640	49	79	126
76	0,800	70/30	2.553	2.466	5,9	68	19	78	314	519	400	556	640	27	41	61
76	1,000	70/30	2.497	2.410	9,1	55	15	78	320	530	400	556	640	17	26	35
38	0,600	70/30	2.487	-	6,4	117	33	100	397	655	570	691	-	42	62	101
38	0,800	70/30	2.452	-	7,7	83	25	100	410	679	570	691	-	*	28	40
38	1,000	70/30	2.430	-	8,3	70	20	100	419	692	570	691	-	12	*	*
19	0,600	70/30	2.479	-	5,8	134	38	115	440	727	1070	-	-	34	46	78
19	0,800	70/30	2.445	-	7,0	100	28	115	456	754	1070	-	-	20	30	46
19	1,000	70/30	2.399	-	8,0	81	23	115	465	770	1070	-	-	12	*	28

TABELA VIII - RESUMO DOS DADOS DOS ESTUDOS INICIAIS EM LABORATÓRIO.

* = Danificado na desforma

Ø MÁX mm	% CIMENTO/ CINZA	IDADE (DIAS)	MEDIDAS			RESULTADOS DOS ENSAIOS (JÁ CORRIDO PARA $n=2D$)					
			ALTURA (cm)	DIÂMETRO (cm)	PESO (kg)	DENSIDADE (kg/m³)	MOD. ELAST. CRACC (kg/cm²)	COMPRESSÃO AXIAL (kg/cm²)	TRACÔ DINDI- NETA (kg/cm²)	ESTEABILIDADE	
76 (1)	0/40	119	36,01	24,79	46,2	2560	143700	127,6	-	-	-
76 (1)	60/40	119	34,30	24,78	43,4	2590	-	-	10,2	-	-
38 (2)	70/30	119	32,22	24,78	39,6	2550	200600	136,1	-	-	-
38 (2)	70/30	119	34,14	24,80	42,1	2550	-	-	12,9	-	-
38 (2)	70/30	119	37,40	24,70	46,1	2570	242600	150,2	-	-	-
38 (2)	70/30	119	33,05	24,70	40,1	2530	-	-	13,9	-	-
38 (2)	70/30	119							-	-	-
38 (2)	70/30	119							-	-	-
38 (*)	70/30	119	30,18	14,99	13,6	2550	-	77,1	-	-	-
38 (*)	70/30	119	30,16	14,97	13,4	2530	-	78,4	-	-	-
38 (*)	70/30	119	30,26	14,99	13,5	2530	-	82,4	-	-	-

TABELA IX - REGISTRO DE ENSAIOS FEITOS NO LABORATÓRIO. AUMENTAMENTO COM COMPACTADOR
MÉCANICO E EXTRAÇÃO COM SONDA DIAMANTADA Ø 250 mm.

- * CORPOS DE PROVA MOLDADOS DURANTE O TESTE N° 2.

- (1) - Teste n° 1 - A/Ceq = 0,80

- (2) - Teste n° 2 - A/Ceq = 0,80

Comparando-se os resultados de resistência à compressão da mistura ϕ máx 38 mm, com A/Ceq. 0,80, dos corpos de provas moldados e extraídos com sonda rotativa, nota-se que os espécimes extraídos apresentam valores mais elevados, enquanto que os valores de densidade estão próximos.

Nota-se por outro lado que as densidades do concreto integral com ϕ máx 76 mm foram maiores ($\approx 3\%$) que aqueles obtidos pela fração peneirada na malha 38 mm, do mesmo concreto.

3.4 EXECUÇÃO E CONTROLES EFETUADOS NO ENCHIMENTO DA RAMPA DE ACESSO

3.4.1 LIMPEZA DE FUNDAÇÃO E REGULARIZAÇÃO

A superfície de rocha a receber o concreto foi preparada adequadamente, levando-se em consideração a finalidade do enchimento.

Após as limpezas "grossa" e "fina", foi executada a concretagem de regularização, com concreto convencional, conforme mostrado na foto X.



Foto X - Concretagem de regularização. O concreto usado foi de diâmetro máximo 76 mm com trabalhabilidade (slump) $3 \pm 0,5$ cm. O lançamento foi executado com guindastes e cabos aéreos e o adensamento com vibradores convencionais de imersão.

3.4.2 CONTROLES DURANTE A PRODUÇÃO DO ROLLCRETE

O Rollcrete foi produzido em Centrais Dosadoras-misturadoras, com capacidades nominais de $180 \text{ m}^3/\text{h}$, modelo TIB-Johnson. Os materiais foram controlados através de amostragens periódicas nas próprias Centrais de Concreto.

Para o controle do Rollcrete, foram coletadas amostras tanto nas centrais de produção quanto no próprio local de lançamento.

Estas amostragens visaram observar a densidade, temperatura, teor de ar incorporado e, posterior moldagem de corpos de provas para determinação de resistência à compressão axial simples.



Foto XI - Coleta de amostras no local de lançamento, para ensaios de Laboratório.

É conveniente lembrar que esse tipo de concreto não permite fazer, no controle de produção, o ajuste do teor de água através da "trabalhabilidadé" (Slump).

Nesta situação, o controle do teor de água na mistura foi feito por meio de inspeção visual no lançamento. Procurou-se trabalhar com o teor de água o mais "próximo" possível do teórico.

Quando algum concreto era produzido mais "úmido" de tal forma a acarretar "borrachudos" durante a compactação, este material era

revolvido e misturado pela lâmina do trator, com "concreto mais seco". Este tipo de controle exige uma equipe, no lançamento, adequadamente treinada para observações e, um perfeito sincronismo com as Centrais de Produção para informar as correções necessárias na mistura.

3.4.3 TRANSPORTE DO CONCRETO

Para transporte do concreto desde as Centrais de Produção até o local de lançamento, foram utilizados quase que na totalidade do volume lançado, caminhões basculantes "fora-de-estrada" (R-22 e R-35 - Terex) e com raríssimas exceções, somente em locais de difícil acesso aos caminhões, utilizou-se dos cabos aéreos para transporte do concreto.



Foto XIII- Caminhão fora-de-estrada (terex R-35) sendo abastecido nas Centrais de Concreto.

Cada caminhão chegou a transportar até 12 m^3 .

Imediatamente antes dos caminhões entrarem no local de lançamentos, os mesmos tiveram seus pneus lavados de modo a não carrearem sujeira por sobre a região de trabalho.



Foto XIII- Limpeza dos pneus dos caminhões "fora-de-estrada" imediatamente antes da entrada na região do lançamento.

3.4.4 LANÇAMENTO E ESPALHAMENTO DO CONCRETO

O lançamento do "Rollcrete" foi executado pelo próprio basculamento dos caminhões "fora-de-estrada" no local adequado, tendo sido efetuado a partir da parte mais baixa da rampa (El. 63,00) e prosseguiu nivelado e ascendente.



Foto XIV - Instante de basculamento de um "Fora-de-Estrada", sobre concreto já anteriormente adensado. Nota-se o aspecto "arenoso" da mistura.

Para o espalhamento e nivelamento das subcamadas, utilizou-se de tratores de lâminas, sobre esteiras, dos tipos D-4, D-6 e D-7 da Caterpillar. As subcamadas foram de 25 cm de material solto, controladas por estaqueamento.

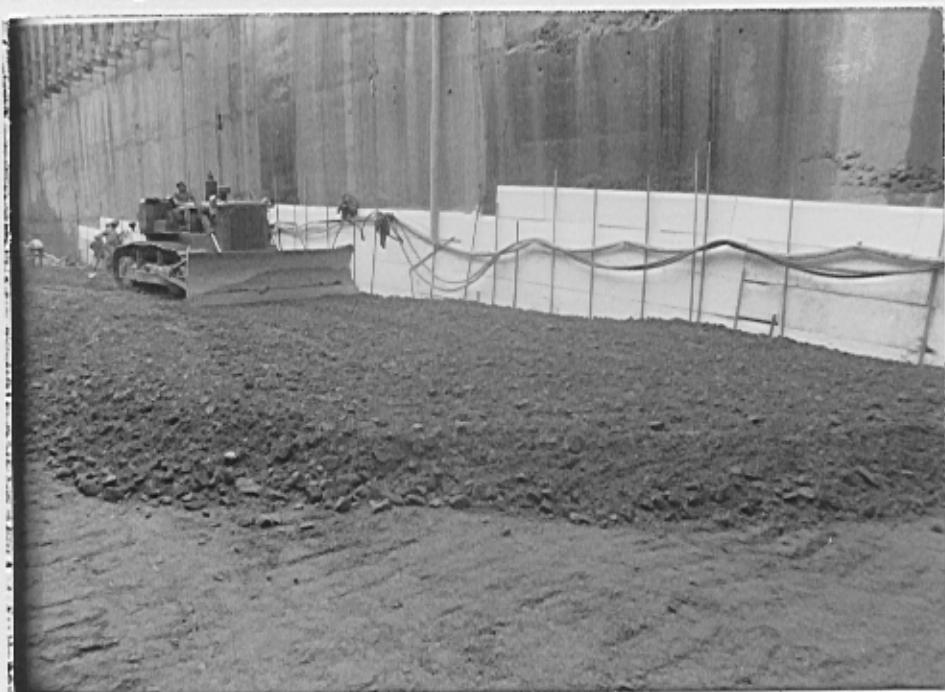


Foto XV - Operação de espalhamento e nivelamento de uma subcama da em lançamento, sobre uma outra anteriormente adensada. Ao fundo nota-se uma equipe executando limpeza "fina" na parte mais alta da rampa.



Foto XVI - Instante de término de nivelamento de mais uma subcama da. À esquerda vê-se uma estaca orientativa da cota de nivelamento da subcamada. Vê-se ainda funcionários usando pás e enxadas para eliminar pontos eventuais de segregação ("ninhos" de pedra).

3.4.5. ADENSAMENTO DO "ROLLCRETE"

O adensamento do "Rollcrete" foi efetuado com rolo compactador vibratório liso do tipo CA-15 (DINAPAC) com impacto dinâmico de 15.000 a 18.600 kg e frequência de vibração, em trabalho, ao redor de 17.000 R.P.M., com baixa velocidade de translação.

O controle do adensamento foi efetuado por meios topográficos de maneira semelhante ao dos aterros e enrocamentos. Após o espalhamento e nivelamento do material solto em subcamadas de espessura aproximadamente igual a 25 cm, passava-se o rolo e media-se a variação de espessura da subcamada.

Este processo foi repetido até que o topo da subcamada não apresentasse variações de cotas consideráveis. Através de várias medidas efetuadas, observou-se que entre 5 e 7 passadas do rolo CA-15 a espessura da subcamada não mais se alterava, ficando ao redor de 20 cm.

Adotou-se então, como mínimo, 6 passadas do rolo CA-15, para adensamento ou seja, 3 idas e 3 voltas. É interessante lembrar que a passagem do próprio trator de lâminas para espalhamento e nivelamento da subcamada já efetua um pequeno pré-adensamento.

As regiões de contacto "Rollcrete"-talude rochoso e "Rollcrete"-face jusante da Estrutura de Desvio foram adensadas com compactadores auxiliares tipo placa vibratória auto-propelida, tipo "sapo" e tipo "perereca", sendo os dois últimos de acionamento pneumático.



Foto XVII - Execução do adensamento do "Rollcrete" através da utilização do rolo vibratório tipo CA-15 (DYNAPAC). É interessante notar nesta foto ainda (entre o talude rochoso e o tambor compactador) uma pequena "ensecadeira" feita com concreto convencional, destinada a drenar água de infiltração do talude. Nota-se ainda, operários procurando eliminar pontos de segregação, operação esta executada imediatamente após o espalhamento e antes da compactação.



Foto XVIII - Região de contacto da face jusante da Estrutura de Desvio com o "Rollcrete", sendo adensada por meio de compactadores portáteis (sapo) - Modelo MTR-80 H, da Milkasa, com as características descritas na foto VII
 Nota-se que entre o "Rollcrete" e a face de concreto da estrutura foram colocadas placas de isopor, afim de facilitar a futura remoção do enchimento, para construção das casas de força.



Foto XIX - Região sendo compactada por meio de compactador portátil tipo "perereca" tipo SP-5 da Brobrás, peso 15,5 kg com 500 impactos por minutos.

3.4.6 CURA

A cura foi executada de forma convencional, sobre a rampa já concluída ($El \approx 83,00$) através de aspersão de água, por um período de 21 dias.

3.4.7 RESUMO DA SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES



Foto XX - Vista geral do local de trabalho, observando-se o caminhão "Fora-de-Estrada" em término de basculamento da mistura, o trator de lâminas indo em direção ao material basculado, para espalhamento, e o rolo compactador efetuando o adensamento das subcamadas niveladas. Em primeiro plano observa-se ainda a execução de limpeza de fundação.

3.5. EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS TESTEMUNHOS

Pelo croqui IV observa-se que a concretagem entre as elevações 82,00 e 83,00 (cota de acabamento do enchimento) foi executada com concreto massa convencional, adensado com vibradores de imersão. Para que fosse possível a extração de testemunhos do "Rollcrete," foi deixado um "Block-out" nesta última camada, de aproximadamente 10×10 m, junto à ombreira esquerda hidráulica da rampa.

O início de extração foi após o "concreto rolado" ter completado 80 dias de idade, pelo uso de sonda rotativa com coroa diamantada

da, de diâmetro útil 250 mm e comprimento de extração máximo de 2000 mm. Todos os testemunhos extraídos foram verticais.

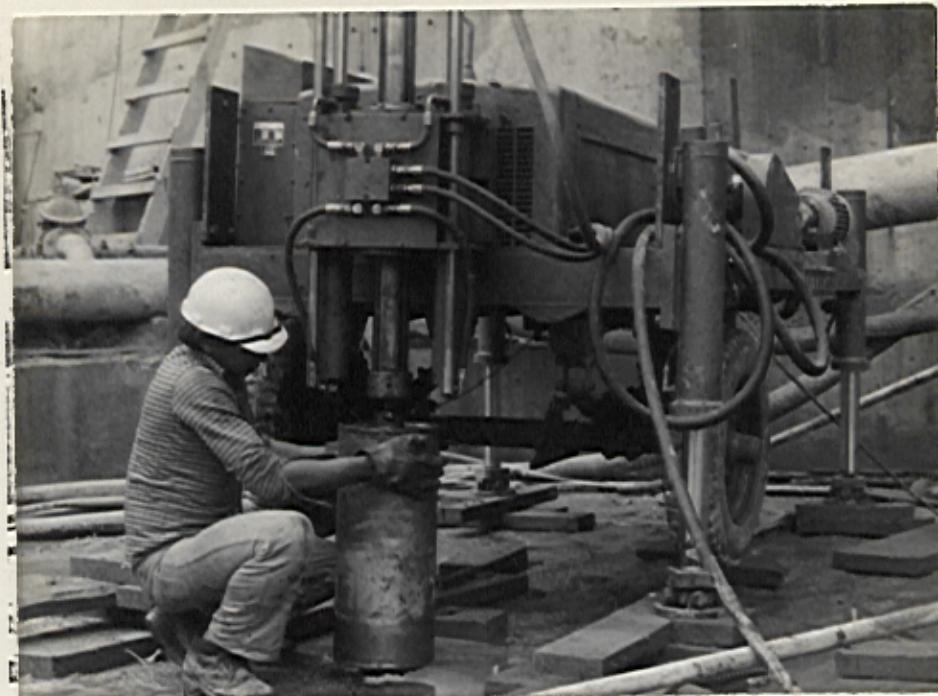


Foto XXI- Máquina extratora do Laboratório de Concreto da ITAIPU BINACIONAL, durante a extração dos testemunhos de "Roll crete".

Imediatamente após a retirada dos furos, os testemunhos foram levados para a câmara úmida do Laboratório, onde permaneceram até as datas de preparação e ensaio.

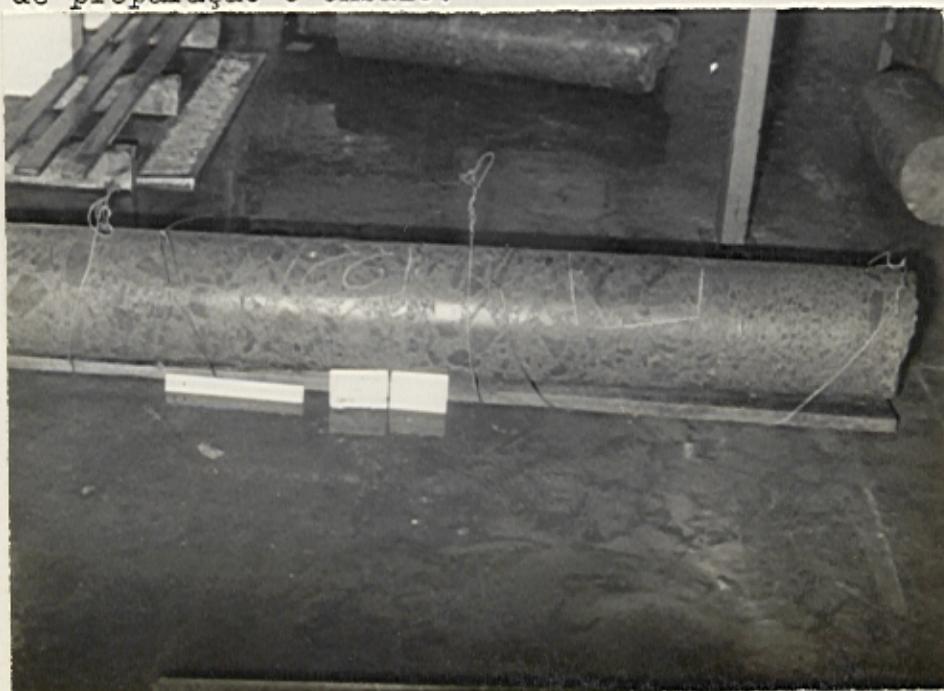


Foto XXII- Testemunho de diâmetro 250 mm e comprimento aproximado de 2000 mm, estocado em câmara úmida.

A obtenção de corpos de provas para ensaios a partir dos testemunhos foi feita pelo corte, perpendicular ao eixo longitudinal - dos testemunhos, como mostra a foto XXIII, através de serra de disco diamantada.

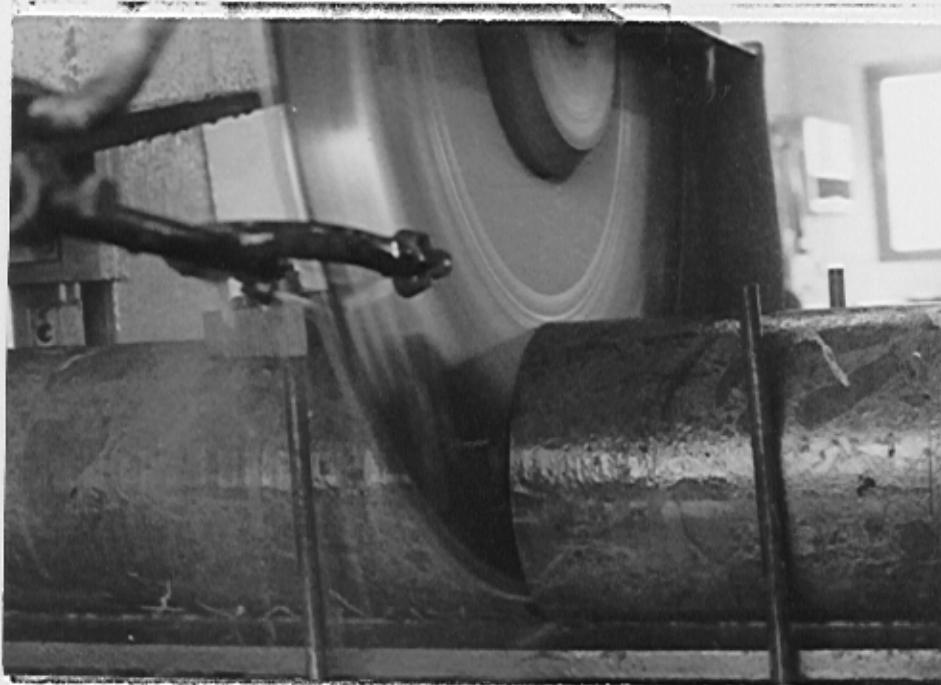


Foto XXIII- Corte dos testemunhos para obtenção dos corpos de provas. Os topes dos corpos de provas foram ainda capedados para execução dos ensaios.

3.6. ENSAIOS E RESULTADOS

3.6.1. CORPOS DE PROVAS MOLDADOS

Os resultados dos ensaios feitos sobre as amostras coletadas nas Centrais de Concreto (ensaios sobre a mistura fresca e moldagem de corpos de provas nas próprias Centrais) bem como das amostras coletadas na frente de lançamento, com moldagens executadas no Laboratório Central da ITAIPU BINACIONAL, são fornecidos nas tabelas XXIV e XXV.

TRAÇO	% CIMENTO E CINZA	FATOR A/Ceq	PESOS (kg)		ENSAIOS NORMAIS			DENSIDADES (kg/m³)		RESISTENCIA A COMPRESSÃO (kg/cm²)					
			CIMENTO	CINZA	DATA MOLDAGEM	SLUMP (cm)	AR (%)	INTEGRAL	PENETRACAO	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
19-X-01	70/30	0,73	101	28	24.05.78	80	14,0	2259	-	-	13	-	-	-	35
19-I-01	70/30	0,80	101	28	18.05.78	80	5,2	2455	-	-	22	-	-	-	216
19-I-01	70/30	0,80	101	28	20.05.78	80	4,7	2441	-	-	21	-	-	-	66
76-D-03	70/30	0,55	91	25	23.05.78	80	8,4	-	2371	-	74	-	159	-	-
76-D-03	70/30	0,55	91	25	25.05.78	80	4,0	-	2413	-	19	-	68	-	-
76-D-03	70/30	0,55	91	25	25.05.78	80	11,6	-	2357	-	-	41	-	-	64
76-H-01	60/40	0,74	62	27	21.05.78	80	5,5	-	2441	-	19	-	-	-	93
76-H-01	60/40	0,74	62	27	23.05.78	80	7,0	2559	2496	-	-	33	56	72	-
76-I-02	60/40	0,80	62	27	19.05.78	80	5,4	-	2497	-	45	-	-	-	103

Tabela - XXIV - Misturas e Moldagens executadas na Central de Concreto.

TRAÇO	% CIMENTO E CINZA	FATOR A/Ceq	PESOS (kg)		ENSAIOS NORMAIS			DENSIDADES (kg/m³)		RESISTENCIA A COMPRESSÃO (kg/cm²)					
			CIMENTO	CINZA	DATA MOLDAGEM	SLUMP (cm)	AR (%)	INTEGRAL	PENETRACAO	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS	180 DIAS	360 DIAS
76-I-02	60/40	0,80	62	27	13.05.78	-	-	-	-	-	43	49	82	93	-
76-I-02	60/40	0,80	62	27	19.05.78	-	2,7	2531	2578	-	27	41	60	75	-
76-I-02	60/40	0,80	62	27	19.05.78	-	7,9	2509	2473	-	58	90	107	-	-

Tabela - XXV - Misturas Executadas na Central de Concreto corpos de prova moldados no Laboratório.

3.6.2 CORPOS DE PROVAS OBTIDOS DOS TESTEMUNHOS

Com os espécimes obtidos dos testemunhos, foram realizados ensaios para determinação de:

- Densidade do concreto endurecido
- Módulo de elasticidade à compressão axial simples
- Tensão de ruptura por compressão axial simples
- Tensão de tração por compressão diametral

- Permeabilidade

Os ensaios foram executados às idades de 110 e 180 dias.

Chama-se atenção para o fato de que os resultados obtidos nos ensaios de compressão (tensão de ruptura e módulo de elasticidade) foram corrigidos a partir do "fator de correção" adotado, para as diversas relações comprimento/diâmetro (L/ϕ) dos corpos de provas.

Isto se fez necessário, para um melhor aproveitamento dos testemunhos, por não ser possível obter sempre a relação $L/\phi = 2$.

Os resultados dos ensaios são fornecidos nas tabelas XXVI. A foto XXVII mostra um instante de ensaio no Laboratório de Concreto.

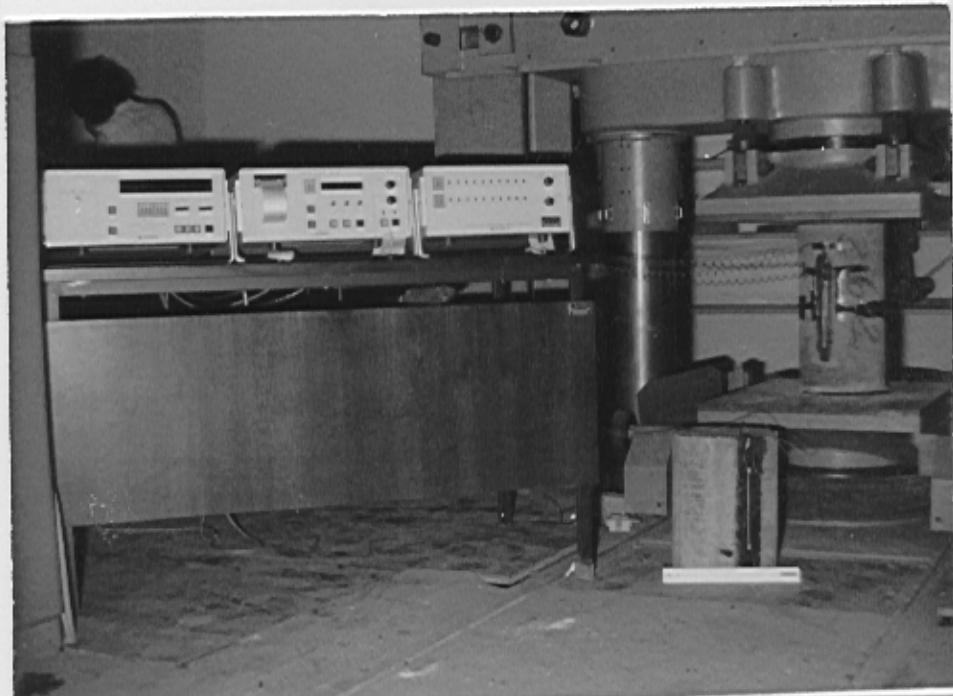


Foto XXVII - Ensaio de módulo de elasticidade com medida de deformação através de extensômetros elétricos (wire strain-gages). À esquerda vê-se o sistema de leitura dos extensômetros.

3.6.3 COMENTÁRIOS SOBRE OS RESULTADOS DE ENSAIOS

Pelos valores fornecidos na tabela XXVI, observa-se que a densidade obtida está ao redor de 2.500 kg/m^3 , valor próximo da densidade obtida para o concreto integral convencional (ϕ máx 76 mm) na Obra de ITAIPU (2.630 kg/m^3) mostrando desta forma a boa compactação alcançada.

RESULTADO - EXAME DE EXTENSÃO

TRACO 76-D-03		ÁREA ARTIFICIAL = 801 h ² /m ³	
CIMENTO	91 h ² /m ³	DEITA 12 mm	420 h ² /m ³
CHIA	20 h ² /m ³	DEITA 32 mm	350 h ² /m ³
ÁGUA	71 h ² /m ³	DEITA 70mm	340 h ² /m ³
ÁREA NATURAL	503 h ² /m ³		

卷之三

* Já corrigidos a partir de L/Ø # 2

Tabela XXVI - Resumo dos Resultados - Espécimes Extraídos

As resistências à compressão obtidas a 110 e 180 dias mostraram:

- Evolução média de 110 para 180 dias, de 14,6 %

- Coeficientes de variação - Cv 110 = 31,2%

Cv 180 = 21,6%

- Rendimentos - Este valor é obtido da relação entre a resistência média à compressão pelo consumo de aglomerante: $\eta = \frac{\text{kg/cm}^2}{\text{kg/m}^3}$

Para os concretos convencionais com Ø máx 76 mm têm-se obtido em ITAIPU um rendimento médio de 1,27 a 180 dias portanto, praticamente o mesmo obtido para o "Rollcrete" ($\eta=1,28$).

Os valores alcançados para Módulo de Elasticidade do "Rollcrete" (ao redor de 300.000 kg/cm²) foram da mesma ordem de grandeza do concreto convencional. Relativo à resistência à tração por compressão diametral, observa-se a mesma ordem de relação dos concretos convencionais (em torno de 1/10 da resistência à compressão).

A permeabilidade apresentou valores em torno de 10^{-5} cm/seg, adotando-se o roteiro de cálculo indicado para materiais granulares com cargas variáveis (Ref. 7.4).

O ensaio feito de acordo com o método do "Bureau of Reclamation", com carga constante de 21 kg/cm², apresentou grande vazão pelo corpo de prova. Comparativamente, os valores obtidos pelos dois métodos apresentaram-se próximos.

4 ESTUDOS COMPLEMENTARES

Após a aplicação do "Rollcrete" na rampa de acesso, a Equipe de Controle de Qualidade de Concreto da ITAIPU BINACIONAL vem desenvolvendo estudos complementares, orientados para sanar algumas dificuldades encontradas no que se refere a proporcionamento de misturas, controle de produção e colocação do Rollcrete, com vistas a outras aplicações.

Para tanto, foi executado um aterro experimental com um volume ao redor de 250 m³ onde se procurou analisar:

- Método para controle da mistura fresca, quer para determinação

do teor ótimo de água, pasta e argamassa, como para moldagens, a fim de se determinar a densidade, teor de ar incorporado, propriedades elastomecânicas e permeabilidade.

- Simulação de compactação ao lado de formas bem como preparo de juntas de construção, por vários processos, e eficiência desses preparos.

Abaixo as fotos XXVIII e XXIX mostram fases da execução desse aterro.



Foto XXVIII - Início de execução do aterro experimental. Chama-se atenção para a homogeneidade da mistura.

5 COMENTÁRIOS GERAIS

A experiência adquirida pelos estudos preliminares, bem como pela possibilidade de se ter aplicado em ITAIPU o "Rollcrete", pode permitir considerar mais uma opção nos processos executivos de construções de grande porte.

Pode-se observar, pelo que se relatou anteriormente, que os valores obtidos pelos diversos ensaios executados a partir de amostras do "Rollcrete", assemelham-se aos valores normalmente obtidos nos concretos convencionais no que se refere as propriedades elas tomecânicas.

Foi também evidente e maior facilidade de transporte, lançamento e adensamento desse novo tipo de concreto. Isto pode permitir a redução de custos quer pelas próprias características dos equipamentos de trabalho, como também pela rapidez que esse processo executivo pode alcançar.

Observou-se que o teor de aglomerante usado nesse tipo de concreto é da mesma ordem, ou menor, do que aquele usado para os concretos massa, para os mesmos níveis de resistência.

Os eventuais pontos de segregação podem ser facilmente eliminados, quer pelos próprios equipamentos, ou através dos operários, como visto pelas aplicações mais recentes.

As observações efetuadas permitem considerar que os equipamentos utilizados normalmente nos serviços de transporte, lançamento e adensamento de enrocamentos são perfeitamente adaptáveis ao processo de trabalho do "Rollcrete".

6 RESUMO

Este trabalho procura apresentar alguns dados, conceitos e considerações referentes a um novo processo executivo com possibilidade para aplicação nas construções de concreto, em obras de grande porte.

O processo consiste na aplicação de equipamentos convencionais nos serviços de enrocamento, tais como caminhões "fora-deestrada", "bulldozers" e rolo vibratório-liso para o transporte, lançamento, espalhamento e adensamento do concreto.

São apresentadas orientações a respeito dos procedimentos para o proporcionamento adequado das misturas, para esse processo.

Das propriedades estudadas evidenciam-se as elasto-mecânicas com desempenho tão bom ou melhor que as do concreto massa convencional.

Apresentam-se resultados obtidos e observações efetuadas durante o processo de utilização, após que foram extraídos testemunhos para completar o ciclo de observações.

Este trabalho, elaborado pela Equipe Técnica de Controle de Qualidade do Concreto da ITAIPU BINACIONAL, além de poder fornecer alguns subsídios aos elementos de decisões técnicas, econômicas e construtivas do TEMA II, permitem efetuar uma série de sugestões para futuros estudos bem como aprimorar o processo, tornando-o uma opção econômica, rápida, e eficiente para construções pesadas.

7 REFERÉNCIAS

- 7.1 Proportioning Concrete Mixes - ACI - SP 46.6 -
SP-46.6 - Mixture Proportioning for Mass Concrete
- 7.2 Roller Compacted Concrete - Committee - 207
American Concrete Institute
- 7.3 Roller Compacted Concrete Studies at Lost Creek Dam - U.S.
Army Engineer District - Portland, Oregon.
- 7.4 Mecânica dos Solos - Vol.I (Vitor F.B. de Melo e Alberto H.
Teixeira - 1971)
- 7.5 Economical Construction of Concrete Dams Engineering Foundations Conferentes - Asilomar - California - Março/1970 e
maio/1972.
- 7.6 Revista o Empreiteiro - Nº 125 - Julho/1978.

I N D I C E

1 APRESENTAÇÃO

2 APLICAÇÕES EM ITAIPU

2.1 Canteiro Industrial

2.2 Estrutura de Desvio

3 DETALHAMENTO DA APLICAÇÃO DE ROLLCRETE NA ESTRUTURA DE DESVIO

3.1 Objetivo

3.2 Materiais Usados

3.2.1 Aglomerantes

3.2.2 Agregados

3.2.3 Água e Aditivos

3.3 Proporcionamento das Misturas

3.3.1 Critérios e Parâmetros Adotados

3.3.2 Métodos para Controle e Moldagens

3.3.3 Resultados Preliminares

3.4 Execução e Controles Efetuados no Enchimento da Rampa de Acesso.

3.4.1 Limpeza de Fundação e Regularização

3.4.2 Controles Durante a Produção do Rollcrete

3.4.3 Transporte do Concreto

3.4.4 Lançamento e Espalhamento do Concreto

3.4.5 Adensamento do "Rollcrete"

3.4.6 Cura

3.4.7 Resumo da Sequência de Operações

3.5 Extração e Preparação de Testemunhos

3.6 Ensaios e Resultados

3.6.1 Corpos de Provas Moldados

3.6.2 Corpos de Provas Obtidos dos Testemunhos

3.6.3 Comentários sobre os Resultados de Ensaios

4 ESTUDOS COMPLEMENTARES

5 COMENTÁRIOS GERAIS

6 RESUMO

7 REFERÊNCIAS