



XXV

## Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural

11 A 15 DE NOVEMBRO DE 1991 - PORTO ALEGRE, RS - BRASIL

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Departamento de Engenharia Civil

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

### CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO COMPACTO A ROLO (CCR) EMPREGADO NO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE CAPANDA - ANGOLA.

Eng. Fernando Dias Resende (\*)

Eng. Francisco Rodrigues Andriolo (\*\*)

(\*) Construtora Norberto Odebrecht S/A

(\*\*) Consultor

#### SUMARIO

Este trabalho apresenta uma síntese do Controle de Qualidade dos Materiais e do Concreto Compactado a Rolo (CCR), empregado na construção da barragem do APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE CAPANDA, em ANGOLA. Resume-se as informações do controle durante a produção do CCR em dois tipos distintos de central de concreto, bem como nas etapas de colocação e adensamento. As informações procuram demonstrar a possibilidade de produzir-se CCR de baixo teor de aglomerante com os mesmos níveis de variações e de confiança tradicionalmente obtidos em concretos massa convencionais, aplicados em obras de âmbito internacional.

#### 1 - INTRODUÇÃO

O Aproveitamento Hidroelétrico de Capanda situa-se no trecho médio do Rio Kwanza, na região norte-centro da República Popular de Angola, distando cerca de 450 km via terrestre da capital Luanda. O Empreendimento está sendo construído para o governo angolano, representado pelo Gabinete de Aproveitamento do Médio Kwanza - GAMEK. Os serviços estão a cargo de um consórcio brasileiro-soviético, constituído pela Construtora Norberto Odebrecht S/A e pela V/O Technopromexport. As obras consistem das seguintes estruturas principais:

- barragem de gravidade em CCR, incorporando em sua parte central um vertedouro e um descarregador de fundo;
- estrutura de tomada d'água;
- condutos forçados subterrâneos;
- casa de máquinas com 4 turbinas tipo Francis de 130 Mw cada, e área de montagem contígua;
- subestação com linhas de transmissão de 220 KV,



XXV

# Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural

11 A 15 DE NOVEMBRO DE 1991 - PORTO ALEGRE, RS - BRASIL

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Departamento de Engenharia Civil

Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

## CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO COMPACTO A ROLO (CCR) EMPREGADO NO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE CAPANDA - ANGOLA.

Eng. Fernando Dias Resende (\*)

Eng. Francisco Rodrigues Andriolo (\*\*)

(\*) Construtora Norberto Odebrecht S/A

(\*\*) Consultor

### SUMARIO

Este trabalho apresenta uma síntese do Controle de Qualidade dos Materiais e do Concreto Compactado a Rolo (CCR), empregado na construção da barragem do APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE CAPANDA, em ANGOLA. Resume-se as informações do controle durante a produção do CCR em dois tipos distintos de central de concreto, bem como nas etapas de colocação e adensamento. As informações procuram demonstrar a possibilidade de produzir-se CCR de baixo teor de aglomerante com os mesmos níveis de variações e de confiança tradicionalmente obtidos em concretos massa convencionais, aplicados em obras de âmbito internacional.

### 1 - INTRODUÇÃO

O Aproveitamento Hidroelétrico de Capanda situa-se no trecho médio do Rio Kwanza, na região norte-centro da República Popular de Angola, distando cerca de 450 km via terrestre da capital Luanda. O Empreendimento está sendo construído para o governo angolano, representado pelo Gabinete de Aproveitamento do Médio Kwanza - GAMEK. Os serviços estão a cargo de um consórcio brasileiro-soviético, constituído pela Construtora Norberto Odebrecht S/A e pela V/O Technopromexport. As obras consistem das seguintes estruturas principais:

- barragem de gravidade em CCR, incorporando em sua parte central um vertedouro e um descarregador de fundo;
- estrutura de tomada d'água;
- condutos forçados subterrâneos;
- casa de máquinas com 4 turbinas tipo Francis de 130 Mw cada, e área de montagem contígua;
- subestação com linhas de transmissão de 220 KV,

- interligando Capanda ao sistema energético regional;
- tunel de desvio e ensecadeiras provisórios.

## 2 - CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM EM CCR

A barragem de gravidade em CCR apresenta os seguintes quantitativos:

- altura máxima sobre a fundação:.....110 m
- extensão total:.....1200 m
- volumes de concreto:
  - concreto compactado a Rolo (CCR): ..... 660.000 m<sup>3</sup>
  - concreto convencional na barragem: ..... 104.000 m<sup>3</sup>
  - total na barragem: ..... 764.000 m<sup>3</sup>
  - concreto convencional de outras estruturas: ..... 290.000 m<sup>3</sup>

A conceituação de projeto para o barramento inclui as seguintes características:

- talude de jusante com declividade 0,74:1 (h:v);
- zona montante impermeável (membrana de PVC + concreto de face + concreto de berço entre camadas de CCR);
- zonas central e de jusante com garantia de propriedades mecânicas (coesão, atrito e resistência) e drenantes;
- concreto compactado a rolo (CCR) com resistência a compressão característica ( $f_{ck}$ ) de 80 kgf/cm<sup>2</sup> a 180 dias.

O concreto de face e o CCR são lançados em camadas de 40 cm de espessura adensada. Para atender aos parâmetros especificados de resistência para maciço da barragem, foi previsto o uso de CCR com consumo de cimento entre 60 e 80 kg/m<sup>3</sup>, acrescidos de cerca de 140 kg/m<sup>3</sup> de "filler" de rocha meta-arenítica, ou PO DE PEDRA, dotado de atividade pozolânica específica.

Os estudos de estabilidade quanto ao deslizamento entre as camadas de CCR definiram o uso de concreto convencional de ligação entre as mesmas, denominado "concreto de berço ou bedding-mix". A aplicação de concreto de berço é obrigatória numa faixa equivalente a 0,25 da largura da barragem na camada a executar, contados a partir do paramento de montante, e limitada a um mínimo de 5,0 m. A jusante desta faixa, a mistura é aplicada caso o tempo decorrido entre o lançamento de uma determinada camada e o seu recobrimento pela camada sobrejacente ultrapassar 8 horas.

As análises de estabilidade ao tombamento determinaram a declividade do talude jusante, na região do vertedouro, em 1:0,74 (v:h), tendo o maciço de CCR uma densidade mínima de 2,40 t/m<sup>3</sup>.

### 3 - ESTUDOS PRÉVIOS DE CARACTERIZAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Os estudos prévios dos materiais e concretos para a obra de Capanda foram realizados pelo Laboratório de Concreto da Itaipu Binacional. No planejamento dos estudos, estabelecido em 1987, foram considerados os seguintes objetivos:

- otimizar o consumo de cimento das misturas;
- avaliar exaustivamente as características da rocha disponível, particularmente quanto a sua possível reatividade com os álcalis do cimento, bem como a real necessidade de uso de materiais pozolânicos;
- explorar ao máximo os recursos de utilizar a areia artificial, obtida pela britagem do meta-arenito;
- investigar e explorar ao máximo os benefícios do PO DE PEDRA, tanto na sua ação contra eventuais reações álcalis-agregado, como na melhoria das propriedades de resistência e de impermeabilidade.
- caracterizar misturas típicas de concreto.
- caracterizar e qualificar produtos industriais diversos de origem brasileira, (como aços, elastômeros e aditivos), antes de sua expedição para Angola.

Os estudos encontram-se detalhadamente apresentados nas referências [1] e [2], sendo os principais aspectos resumidos a seguir:

- \* O cimento disponível, marca CIMANGOLA, produzido em Luanda, apresentou-se apto para uso na obra.
- \* O material britado, quando submetido as diversas metodologias para avaliação de sua reatividade potencial, comportou-se como "inócuo".
- \* O PO DE PEDRA (material de dimensões inferiores a 0,15 mm) mostrou-se benéfico na redução de eventuais expansões decorrentes de reações álcalis-silica, comportando-se com um material pozolânico de atividade específica, além de reduzir significativamente a permeabilidade do concreto.
- \* O agregado graúdo apresentou resultados que o classificam como resistente e durável.
- \* As propriedades mecânicas, elásticas e térmicas dos concretos mostraram-se consistentes e compatíveis com o porte das obras, e propiciaram parâmetros para estudo do comportamento térmico e para o dimensionamento estrutural.
- \* Materiais diversos, como aços, elastômeros e aditivos, foram previamente qualificados, com objetivo de evitar o fornecimento e embargo na obra de produtos em discordância com as especificações.

#### 4 - PLANO DE CONTROLE DE QUALIDADE DOS MATERIAIS E CONCRETOS

O controle de qualidade dos materiais e concretos empregados na obra de Capanda é de responsabilidade do Construtor.

Para o desempenho dessas atividades foi estabelecido um "Plano de Controle de Qualidade", de modo a atender aos requisitos dos projetos e especificações (ver FIGURA 4.1).

Considerou-se, também, as condições de logística para a construção do Aproveitamento, tais como suprimentos de materiais básicos, distância da obra aos centros produtores, disponibilidade quali-quantitativa de mão de obra, cronologia, e segurança para com os parâmetros de qualidade compatíveis com a magnitude do Projeto.

#### 5 - CONTROLE DE QUALIDADE DOS MATERIAIS

##### 5.1 - AGREGADOS

O controle dos agregados é exercido através de dois tipos de amostras: Produção e Controle. As amostras de Produção são tomadas nas correias de transporte dos agregados. Esta amostragem permite verificar as condições do sistema de britagem e classificação. As amostras de Controle são tomadas nos dosadores das centrais de concreto, caracterizando os agregados quando da sua aplicação imediata nos concretos. As gamas granulométricas para a produção dos agregados para concretos convencionais e rolado são apresentados na TABELA 5.1.

TABELA 5.1: Gamas granulométricas para produção dos agregados

DENOMINACAO DO AGREGADO	FRACIONAMENTO NOMINAL	APLICACAO (TIPO DE CONCRETO)	
		ROLADO	CONVENCIONAL
Areia artificial	0 a 06 mm	sim	sim
Brita 1	6 a 19 mm	sim	sim
Brita 2	19 a 38 mm	sim	sim
Brita 3	38 a 76 mm	sim	sim
Composto G 1	0 a 19 mm	sim	não
Composto G 2	19 a 64 mm	sim	não

Verifica-se na TABELA 5.1, que o CCR pode ser produzido a partir das diversas gamas granulométricas disponíveis. Tal fato deve-se a possibilidade de produzir-se o CCR tanto nas centrais de concreto convencional (batch), como nas centrais de mistura

continua (pug-mill).

O agregado composto "G 1" (0 - 19 mm) é obtido combinando-se a areia artificial com a brita 1, na própria central de britagem. Da mesma forma, o agregado composto "G 2" (19 - 64 mm) é obtido pela combinação das britas 2 e 3, com uma pequena redução no tamanho máximo da brita 3. Tal redução objetiva um melhor desempenho da central de CCR de mistura contínua, garantindo ainda uma menor ocorrência de segregação, tanto do agregado "G 2" como do CCR.

Sendo a fração arenosa contida em "G 1" insuficiente para compor a granulometria global do CCR, uma quantidade adicional de areia artificial é fornecida diretamente pelos rebitadores para finos. Os dados médios obtidos no controle de agregados são apresentados na TABELA 5.2.

TABELA 5.2: Características dos Agregados de Capanda.

PROPRIEDADE	AREIA ARTIF.	AGREG. G1	AGREG. G2	BRITA 1	BRITA 2	BRITA 3
Densidade aparente: (g/cm <sup>3</sup> )	1,50	1,61	1,42	1,44	1,43	1,41
Densidade real (sss): (g/cm <sup>3</sup> )	2,65	2,65	2,66	2,65	2,66	2,65
Absorção (%)	1,05	0,80	0,40	0,60	0,40	0,40
Modulo finura:	3,15	4,20	8,28	6,63	7,60	8,83
Lamelaridade (%)	-	-	8,0	15,0	12,0	16,2

## 5.2 - CIMENTO

Nas obras do Aproveitamento de Capanda utiliza-se o cimento do tipo Portland Comum, com as seguintes características médias:

- finura Blaine: ..... 3430 cm<sup>2</sup>/g
- resistência a compressão 28 dias: ..... 339 kgf/cm<sup>2</sup>
- C38: ..... 45,1%
- C28: ..... 24,9%
- C3A: ..... 9,0%
- C4AF: ..... 11,7%

## 6 - CONTROLE DE QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE CONCRETOS CONVENCIONAIS

O controle de qualidade da produção dos concretos convencionais é exercido através da coleta rotineira de amostras do concreto e de seus materiais constituintes. A amostragem é efetuada junto as próprias centrais de concreto, onde foram instalados pequenos laboratórios de campo.

Os ensaios sobre o concreto endurecido possibilitam avaliar estatisticamente o atendimento aos requisitos de projeto, com base nas confianças estabelecidas e nas dispersões obtidas.

Como controle preventivo, efetua-se um "check-list" periódico do equipamento, onde são inspecionadas as condições de estocagem e abastecimento dos diversos materiais, dosadores e misturadores.

A composição dos concretos convencionais mais utilizados na barragem, bem como seus respectivos parâmetros de controle são vistos na TABELA 6.1.

MATERIAL SISTEMA	LOCAL DE AMOSTRA.	NORMA DE AMOSTRAG.	TIPO/FI- NALIDADE	FREQUENCIA AMOSTRAGEM	LOCAL DE ENSAIO	ENSAIOS/VERIFICAÇÕES
ACOS	Estoques	ABNT-NBR 7480	Recepção	P/Carregamento	Lab. Obra	kg/m; $f_y$ ; $f_x$ ; $\Delta l$ ; dobramento
EMENDAS	Estruturas	ABNT-NBR 7480	Controle	2% Emendas	Lab. Obra	$f_x$
ÁGUA	Dosador	LCAP 1-10	Controle	1 Semanal	Lab. Obra	sólidos; pH, $O_2$ , $SO_4$ , Cl
ADITIVOS	Dosador	LCAP 2-1	Recepção	1 Am/1000kg	Lab. Obra	sólidos, pH, densidade
VEDA JUNTA	Fábrica	LCAP 5-1	Liberção	1 Am/200m	Itaipu	átalio, dureza, tração, $\Delta l$
MANTA P.V.C.	Fábrica	-	Liberção	1 Am/1000m <sup>2</sup>	Itaipu	idem acima, pressão hidr.; volatéis; $\gamma$ ; rasga.; absor.
CIMENTO	Fábrica	BS 4550	Liberção	1 Am/20/100t	Fábrica	CaO LIVRE; Blaine; Pega; PF
	Controle		1 Am/dia/500t	Fábrica	SiO <sub>2</sub> ; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; SO <sub>3</sub> ; CaO; CaO LIVRE; MgO; RI; PF	
	Containers	ABNT NBR 5781	Recepção	1 Am/100t	Lab. Obra	Composição potencial Bogue %H <sub>2</sub> O; %S <sub>2</sub> S; Blaine; Pega
	Dosador		Controle	1 Am/Semanal	Lab. Obra	Massa espec.; Autoclavo; Chatelier; Resistência a compressão ( $f_R$ ).
AGREGADOS	Britador	LCAP 10-2	Produção	1 Am/Semanal	Lab. Obra	gran; $\delta_{AB}$ ; $\delta_{AP}$ ; abs; forma
	Dosador	ABNT NBR 7216	Controle	1 Am/20/2s dia	Central	umidade; correção no traço
				1 Am/Semanal	Lab. Obra	gran; $\delta_{AB}$ ; $\delta_{AP}$ ; abs.
CONCRETO	Centrais	LCAP 4-1	Controle	1 Am/200m <sup>3</sup>	Lab. Obra	slump; %ar; temp; $t_{cj}$ ; $\delta_{AP}$
				1 Am/2000m <sup>3</sup>	Lab. Obra	idem acima; E; $f_t$
	CCR	LCAP 7-1	Controle	1 Am/Turno	Centrais	gran; %cim.; $V_B$ ; $t_{cj}$ ; $\delta_{AP}$
				1 Am/100m <sup>3</sup>	Barragem	densidade; umidade
TESTEMUNHO CCR	Barragem	LCAP 11-5	Controle	1 Am/1000m <sup>3</sup>	Barragem	densidade; $t_{cj}$ ; $\delta_{AP}$ ; E
CENTRAL DE BRITAGEM		LCAP 10-1	Inspecção	Diária	Sistema	"check list" do sistema
CENTRAIS DE CONCRETO		LCAP 10-7	Inspecção	Diária	Sistema	"check list" do sistema

FIGURA 41 PLANO DE CONTROLE DE QUALIDADE DE MATERIAIS E CONCRETOS

TABELA 6.1: Composição e dados dos concretos em uso na Barragem.

APLICAÇÃO		FACE		BERÇO		PLINTO
fck (kg/cm <sup>2</sup> )		120		120		160
IDADE DE CONTROLE		90 dias		90 dias		28 dias
NOMENCLATURA		E 38 03	E 38 04	E 19 07	E 19 08	C 38 01
SLUMP (cm)		5+-1	5 +-1	14 +-2	14 +-2	5 +-1
TEOR DE AR (%)		4+-1	4 +-1	4 +-1	4 +-1	4 +-1
CONSUMO (kg/m <sup>3</sup> )						
. Cimento		230	200	260	230	265
. Agua		166	168	218	220	168
. Agregados		1900	1940	1795	1805	1865
fcj 28 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	ensaios	82	150	143	34	84
	média	217	186	177	129	276
	desvio	43,9	32,3	30,3	20,6	43,8
	c.var.	20,2	17,4	17,1	16,0	15,9
	c.v.am.	3,1	2,2	2,3	1,6	2,3
fcj 90 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	ensaios	78	127	139	16	-
	média	256	210	210	156	-
	desvio	45,0	37,1	35,1	-	-
	c.var.	17,6	17,7	16,7	-	-
	c.v.am.	2,5	2,7	2,0	-	-

## 7 - CONTROLE DE QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE CONCRETO ROLADO

### 7.1 - EQUIPAMENTOS DE PRODUÇÃO

Até junho de 1991 foram produzidos cerca de 400.000 m<sup>3</sup> de CCR, sendo que a execução da barragem teve início em outubro de 1989. Para a produção do CCR, contou-se inicialmente com centrais de concreto convencional (batch), as quais forneceram cerca de 150.000 m<sup>3</sup> de CCR.

A partir de maio de 1990, entraram em operação duas centrais de produção contínua (pug-mill), onde todos os agregados são dosados gravimetricamente, mediante correias transportadoras de velocidade variável.

### 7.2 - CORREÇÕES E AJUSTES NAS DOSAGENS

Intercalando-se aos ensaios com os agregados, determina-se ainda a umidade da própria mistura de CCR, na fração peneirada na malha de 19 mm. O ensaio de umidade na fração peneirada demonstrou maior comodidade, precisão e eficácia, comparativamente ao ensaio

com o concreto integral, visto contemplar principalmente a fração contendo a matriz fina, maior responsável pela compactabilidade do CCR na praça de lançamento.

Nos traços de CCR para a barragem de Capanda, a areia artificial corresponde a cerca de 47% do consumo total de agregados. Parte desta areia é incorporada a brita 1 ainda na central de britagem, compondo o denominado agregado "G 1". A parcela complementar de areia é fornecida pelos rebritadores de finos, posicionados próximos a central de mistura contínua (pug-mill). Levando em conta o balanceamento das necessidades de agregados para todo o Empreendimento, além da performance da central de britagem, os equipamentos foram ajustados de modo que o teor de areia contido no agregado "G 1" se enquadrasse entre 58% e 65%.

### 7.3 - TEOR DE CIMENTO NA MISTURA DE CCR FRESCA

Para verificar a homogeneidade da dosagem de cimento, ou a eficiência dos misturadores, são efetuados diariamente ensaios de reconstituição do teor de cimento na mistura de CCR fresca.

Tal reconstituição é realizada mediante processo químico de titulação, determinando-se a quantidade de cimento indiretamente, a partir do teor de cálcio presente na amostra.

Os dados obtidos durante o controle de qualidade, através dessa determinação, são vistos na FIGURA 7.1, onde também são mostrados resultados obtidos em outras aplicações de CCR [3], [4].

OBRA - LOCALIDADE	TIPO DE DOSADOR DA CENTRAL	MISTURAS PRINCIPAIS Cmax fck IDADE mm kg/cm <sup>2</sup> DIAS	DOSAGEM NOMINAL DE AGLOMERANTE kg/m <sup>3</sup>	CONTROLES EFETUADOS										
				TEOR DE CIMENTO			RESISTENCIA A COMPRESSÃO							
				VALOR MED kg/m <sup>3</sup>	COEF VAR %	% + TEOR	VALOR MED kg/cm <sup>2</sup>	COEF DE VAR.	%					
BARRAGEM SACO DE NOVA OLINDA - BRASIL	VOLUMÉTRICO	CC-04 (21%)	75	53,4	-	-28,8	26	29	42	-	-	-	16	
		CC-09 (38%)	70	50,4	-	-28,0	26	29	34	-	-	-	18	
ENSECADEIRA SERRA DA MESA - FURNAS - BRASIL	VOLUMÉTRICO	38 - -	60 CM. + 140 ESC.	188	23,5	-6,0	76	142	265	-	31	24	17	
BARRAGEM URUGUAÍ ARGENTINA	GRAVIMÉTRICO	76 - -	60	61,5	5,2	+2,5	-	56,5	74	98	-	16	12	10
	CONTÍNUO	76 - -	90	91,1	6,8	+1,2	-	75	96	121	-	12	10	12
BARRAGEM DE CAPANDA - ANGOLA	GRAVIMÉTRICO CONVENCIONAL (BATCH)	76 80 180	80	77,6	6,3	-3,0	41	69	86	100	20,0	18,0	17,2	15,9
			70	68,4	5,6	-2,0	38	55	78	93	-	-	14,2	9,3
	GRAVIMÉTRICO CONTÍNUO (PUG-MILL)	70	80	82,0	10,3	+2,5	42	67	93	115	-	-	-	18,1
			70	70,2	16,2	+0,4	39	55	78	95	25,2	22,0	18,1	14,0

FIGURA 7.1: Dados de reconstituição do teor de cimento, resistência e variabilidade do CCR de Capanda comparativamente ao de outras aplicações.

#### 7.4 - RECONSTITUIÇÃO DA GRANULOMETRIA DA MISTURA DE CCR

Os traços de CCR utilizados na Barragem de Capanda, foram dosados com agregados de massa específica ao redor de 2,65 t/m<sup>3</sup>, combinados de modo a obter-se o menor índices de vazios. Para tanto, foi adotada uma curva granulométrica de referência, do tipo  $p = (d/D_{max})^{1,2} \times 100\%$ , inicialmente para agregados com  $D_{max} = 76$  mm.

Para minimizar segregações, é comum ajustar a fração graúda dessa curva, reduzindo-se ligeiramente o teor de agregados  $D_{max} = 76$  mm. Alternativamente, procede-se a diminuição do próprio  $D_{max}$  do agregado.

Na obra de Capanda, optou-se pela diminuição do  $D_{max}$  para 64mm, no caso do CCR produzido pelas centrais de mistura contínua (pug-mill). Para o CCR produzido nas centrais de concreto do tipo convencional (batch), optou-se pela redução do teor de agregado  $D_{max} = 76$  mm (brita 3), não interferindo com as especificações de agregados para concretos convencionais massivos de outras estruturas do Aproveitamento, sem comprometimento no consumo de cimento.

A reconstituição granulométrica do CCR é realizada sobre as mesmas amostras coletadas para a determinação do teor de cimento, sendo o peneiramento efetuado pela via úmida.

Na FIGURA 7.2 é mostrada a faixa granulométrica especificada para o CCR da central de mistura contínua, juntamente com a faixa realmente obtida com probabilidade de ocorrência de 95% dos casos. A faixa granulométrica especificada foi determinada pela equação citada anteriormente, com pequenas adequações nas frações abaixo de 0,3mm.

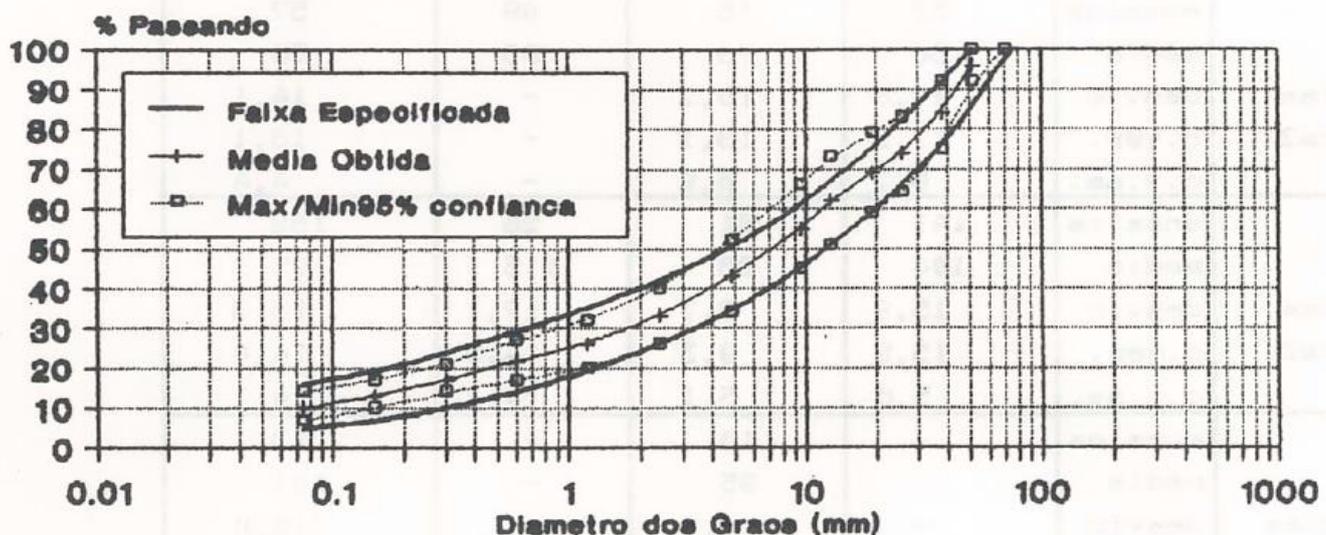


FIGURA 7.2: Reconstituição granulométrica da mistura de CCR.

## 7.5 - ENSAIOS EM CORPOS DE PROVA DE CCR

Em cada turno de serviço, ou aproximadamente a cada 1000 m<sup>3</sup>, molda-se uma série de corpos de prova cilíndricos 025x50 cm com a mistura de CCR integral. O adensamento dos corpos de prova é realizado com compactador pneumático manual, do tipo "perereca", apiloando-se em quatro camadas no tempo de 25 segundos cada.

Foi especificado para o CCR da obra de Capanda a resistência característica (fck) de 80 kgf/cm<sup>2</sup>, na idade de 180 dias, com um quantil deficiente de 20% (variável normal reduzida "t" = 0,84). Por segurança complementar, as avaliações de resistência se concentraram na idade de 90 dias. Os dados obtidos são mostrados na TABELA 7.3.

TABELA 7.3: CCR - Traços utilizados e resultados obtidos.

APLICAÇÃO		CCR-CENTRAL "BATCH"		CCR-CENTRAL "PUG-MILL"	
fck (kg/cm <sup>2</sup> )		80		80	
IDADE DE CONTROLE NOMENCLATURA		90 dias F-76-BT	180 dias G-76-BT	90 dias F-64-PM	180 dias G-64-PM
CONSUMO (kg/m <sup>3</sup> )					
. Cimento		80	70	80	70
. Água		102	102	102	102
. Agregados		2265	2275	2262	2248
teor de cimento (kg/cm <sup>3</sup> )	ensaios	115	25	28	237
	média	77,6	68,4	82,0	70,2
	desvio	4,9	3,8	8,4	10,1
	c.var.	6,3	5,6	10,3	14,4
fcj 28 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	ensaios	53	16	09	57
	média	86	78	93	78
	desvio	14,8	10,2	-	14,1
	c.var.	17,2	13,1	-	18,1
	c.v.am.	6,7	6,9	-	4,4
fcj 90 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	ensaios	141	51	26	152
	média	100	93	115	95
	desvio	15,9	8,7	17,1	13,3
	c.var.	15,9	9,3	14,9	14,0
	c.v.am.	5,8	5,1	4,1	4,1
fcj 180 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	ensaios	-	18	-	13
	média	-	95	-	101
	desvio	-	8,0	-	16,0
	c.var.	-	8,4	-	15,8
	c.v.am.	-	3,1	-	3,2

## 7.5 - ENSAIOS EM CORPOS DE PROVA DE CCR

Em cada turno de serviço, ou aproximadamente a cada 1000 m<sup>3</sup>, molda-se uma série de corpos de prova cilíndricos 025x50 cm com a mistura de CCR integral. O adensamento dos corpos de prova é realizado com compactador pneumático manual, do tipo "perereca", apiloando-se em quatro camadas no tempo de 25 segundos cada.

Foi especificado para o CCR da obra de Capanda a resistência característica (fck) de 80 kgf/cm<sup>2</sup>, na idade de 180 dias, com um quantil deficiente de 20% (variável normal reduzida "t" = 0,84). Por segurança complementar, as avaliações de resistência se concentraram na idade de 90 dias. Os dados obtidos são mostrados na TABELA 7.3.

TABELA 7.3: CCR - Traços utilizados e resultados obtidos.

APLICAÇÃO		CCR-CENTRAL "BATCH"		CCR-CENTRAL "PUG-MILL"	
fck (kg/cm <sup>2</sup> )		80		80	
IDADE DE CONTROLE		90 dias	180 dias	90 dias	180 dias
NOMENCLATURA		F-76-BT	G-76-BT	F-64-PM	G-64-PM
CONSUMO (kg/m <sup>3</sup> )					
. Cimento		80	70	80	70
. Água		102	102	102	102
. Agregados		2265	2275	2262	2248
teor de cimento (kg/cm <sup>3</sup> )	ensaios	115	25	28	237
	média	77,6	68,4	82,0	70,2
	desvio	4,9	3,8	8,4	10,1
	c.var.	6,3	5,6	10,3	14,4
fcj 28 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	ensaios	53	16	09	57
	média	86	78	93	78
	desvio	14,8	10,2	-	14,1
	c.var.	17,2	13,1	-	18,1
	c.v.am.	6,7	6,9	-	4,4
fcj 90 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	ensaios	141	51	26	152
	média	100	93	115	95
	desvio	15,9	8,7	17,1	13,3
	c.var.	15,9	9,3	14,9	14,0
	c.v.am.	5,8	5,1	4,1	4,1
fcj 180 dias (kg/cm <sup>2</sup> )	ensaios	-	18	-	13
	média	-	95	-	101
	desvio	-	8,0	-	16,0
	c.var.	-	8,4	-	15,8
	c.v.am.	-	3,1	-	3,2

A FIGURA 7.4 mostra os coeficientes de variação obtidos no controle do CCR de Capanda comparativamente com os parâmetros de CONCRETOS MASSA CONVENCIONAIS com consumo de aglomerante (cimento + material pozolânico) entre 84 kg/m<sup>3</sup> e 134 kg/m<sup>3</sup>, utilizados nas obras de Ilha Solteira, Tucuruí e Itaipu [3]. Os parâmetros de concretos massa convencionais referem-se a um universo de aproximadamente 25.000 amostras, representando ao redor de 8.800.000 m<sup>3</sup>.

## 8 - CONTROLE DE QUALIDADE NA COLOCAÇÃO DE CCR

A metodologia do CCR tem estabelecido a conveniência de se adotar controles adicionais na praça de lançamento, durante as etapas de colocação e adensamento, através da densidade de camadas e da resistência a compressão em testemunhos extraídos após seu endurecimento. Os resultados deste controle são apresentados nas TABELAS 8.1 e 8.2.

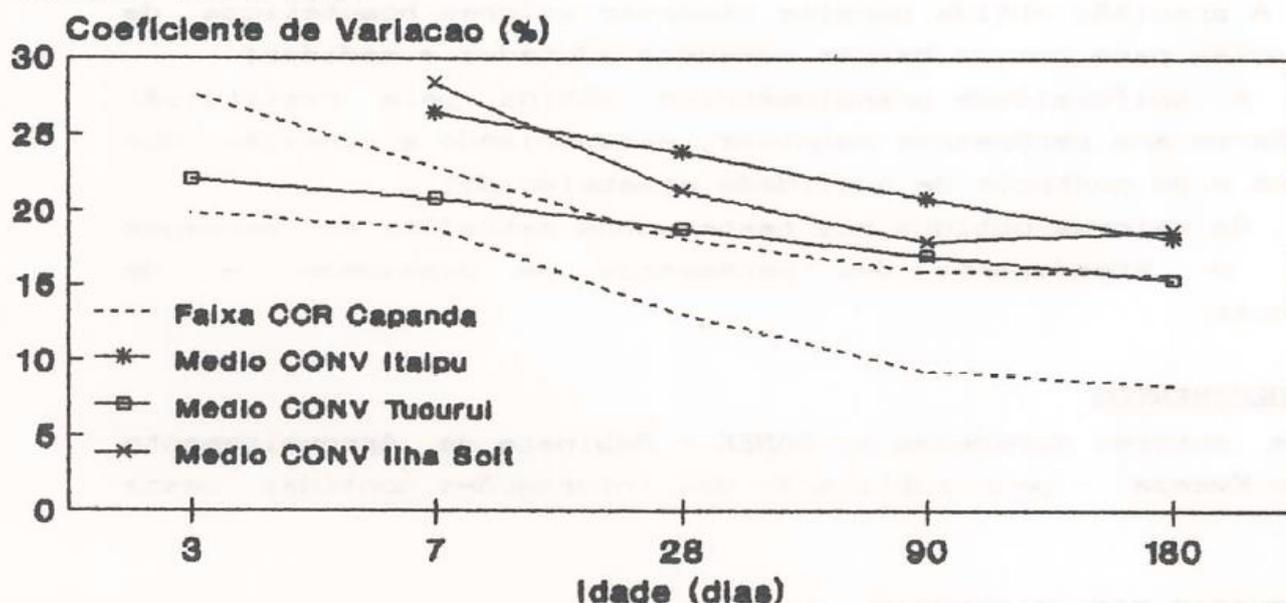


FIGURA 7.4: Coeficientes de variação obtidos no controle de CCR em Capanda, comparativamente com concretos massa convencionais de Ilha Solteira, Tucuruí e Itaipu.

TABELA 8.1: Ensaio de densidade nas camadas e em testemunhos.

METODOS DE ENSAIO	Nr. Ensaio	Média (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio (kg/m <sup>3</sup> )	Coefic. Var. (%)
Densímetro nuclear	3.175	2.409	11,9	0,5
Arquimedes (imersão)	26	2.414	13,8	0,6

TABELA 8.2: Ensaio de resistência a compressão em testemunhos.

CONSUMO DE CIMENTO	Idade Dias	Nr. Ensaio	Média (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desvio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefic. Var. (%)
80 kg/m <sup>3</sup>	128 a 223	35	139	27,1	19,5
70 kg/m <sup>3</sup>	180	12	114	29,8	26,1

## 9 - COMENTARIOS

Os dados e informações apresentados no texto permitem afirmar:

- Os equipamentos disponíveis permitem garantir a produção de CCR de baixo teor de cimento (ao redor de 70 a 80 kg/m<sup>3</sup>) com as mesmas dispersões observadas para concretos massa convencionais de obras controladas conforme padrões internacionais;

- A precisão obtida permite observar valores homotéticos de resistências para com os baixos consumos adotados e medidos;

- A uniformidade granulométrica obtida pela restituição assemelha-se aos parâmetros teóricos, evidenciando a condição dos dosadores e do controle de qualidade estabelecido;

- Os valores obtidos nos testemunhos extraídos da barragem atestam o atendimento dos parâmetros de densidade e de resistência.

### - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao GAMEK - Gabinete de Aproveitamento do Médio Kwanza - pela publicação das informações contidas neste informe.

### - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] ANDRIOLO, FR; BRAGA, J.A. (1991): "Uso do Concreto Rolado; Projeto Capanda-Angola; Ensaio especiais" - XIX SEMINARIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS-ARACAJU.

[2] ANDRIOLO, FR; (1991); "Desenvolvimento de Mantas de P.V.C.: Opção Técnica e Econômica para Impermeabilização de Barragens" - XIX SEMINARIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS-ARACAJU.

[3] GOLIK, M.A.; ANDRIOLO, FR; (1989): "Urugua-i (CCR) Controle de Qualidade do Concreto Lançado no Tramo Principal da Barragem" - XVIII S.N.G.B. - FOZ DO

[4] MODE, A.C.M.; PACELLI, W.A. (1989): "Construção e Controle do Concreto Compactado a Rolo para as Ensecadeiras Galgáveis da Usina da Serra da Mesa - Aproveitamento Hidroelétrico de São Felix" -