



# SIMPÓSIO

DE OBRAS EM CONCRETO  
COMPACTADO COM ROLO

SÃO PAULO, 25 E 26 DE ABRIL DE 1995

Procedimento para Execução de Aterro  
Experimental de Concreto Compactado  
a Rolo para a Barragem da Derivação  
do Rio Jordão

# PROCEDIMENTO PARA EXECUÇÃO DE ATERRO EXPERIMENTAL DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO PARA A BARRAGEM DA DERIVAÇÃO DO RIO JORDÃO

FRANCISCO GLADSTON HOLANDA	Consórcio Ivai-Del Fávero - Consultor
FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO	COPEL - Companhia Paranaense de Energia - Consultor
ANTONIO FERNANDO KREMPEL	COPEL - Companhia Paranaense de Energia
CELSO CHINELLI CREVILARO	COPEL - Companhia Paranaense de Energia
MARCOS AURÉLIO CASSIAS PEREIRA	COPEL - Companhia Paranaense de Energia

**RESUMO:** São apresentados os métodos para execução do aterro experimental para a barragem em Concreto Compactado a Rolo (CCR) da Derivação do Rio Jordão.

Também são abordados os materiais e equipamentos utilizados, os ensaios programados, bem como os pontos de investigação durante e após a execução do aterro.

## 1. INTRODUÇÃO:

A construção de uma barragem e a derivação do Rio Jordão visam completar o aproveitamento para a Usina Hidrelétrica Segredo.

As obras estão localizadas na divisa entre os municípios de Candói e Pinhão, no estado do Paraná, distando aproximadamente 5 km da confluência entre os rios Jordão e Iguaçu.

## 2. FINALIDADE

O aterro experimental para a barragem em Concreto Compactado a Rolo (CCR) visa fornecer um conjunto de informações referentes a conceitos e metodologias para a execução da obra.

Em uma avaliação resumida poder-se-ia entender o aterro teste como um modelo reduzido da barragem, onde são avaliadas as técnicas previstas para uso na praça definitiva. Representa, ainda, um campo fundamental para treinamento das equipes de construção e controle de qualidade, permitindo um contato com este sistema construtivo ainda pouco aplicado em obras de porte similar.

O CCR será utilizado para construção das principais estruturas de concreto, justificando a necessidade de construção do maciço experimental, no sentido de antecipar subsídios para otimização do processo de construção e controle de qualidade da obra.

O maciço foi planejado para ser construído com altura mínima equivalente a seis camadas de CCR, correspondendo a um volume de, no mínimo, 450 m<sup>3</sup> de concreto. Destas seis camadas, as quatro primeiras têm espessura final compactada de 0,40 m e as duas últimas de 0,30 m.

Estas condições mínimas visam garantir uma praça de lançamento capaz de poder refletir, em condições experimentais, a metodologia de execução da barragem na prática, considerando detalhes e arranjos do projeto.

Na escolha do local de implantação o foco foi voltado para a busca de condições similares, sob o ponto de vista de fundação, com a litologia de rocha de ocorrência na área do eixo do projeto.

## 3. FATORES DE AVALIAÇÃO

A coleta de dados busca abranger os seguintes aspectos principais:

- desempenho das misturas de Concreto Convencional (CCV) e CCR;
- tratamento de fundação e das juntas de construção;
- lançamento e espalhamento do CCR e do CCV;
- adensamento do CCR e do CCV, bem como da ligação entre eles;
- determinação do número de passadas do rolo compactador para atingir a densidade especificada;
- verificação da relação entre a compactação e a altura das camadas;
- comprimento de ancoragem e tipos de envolvimento das barras de ancoragem previstas para a ligação entre o CCR e CCV na região do vertedouro;
- sistema de forma dos paramentos de montante e jusante;
- utilização de peças pré-moldadas para conformação da galeria de drenagem;

- método de indução de juntas;
- sistema de produção e transporte do CCR e CCV;
- sistema de cura.

#### 4. ENSAIOS PROGRAMADOS

Para cada camada e lançamento de concretos no aterro teste são programados ensaios de:

- ar incorporado;
- verificação da densidade "in situ" pelo método do anel;
- grau de compactação do CCR, calculado pela comparação da densidade no campo com a densidade teórica obtida através da soma dos materiais constituintes do CCR;
- temperatura do CCR e do CCV;
- determinação do teor de cimento da mistura fresca de CCR pelo método do calor de neutralização.
- trabalhabilidade do CCR através do índice VeBe modificado e do CCV pelo slump test;
- teor de umidade do CCR integral e peneirado, determinadas pelo método do fogareiro;
- granulometria do concreto.

Os corpos de prova moldados durante a execução do maciço em formas cilíndricas de 150 x 300mm e 200 x 400mm, com ajuda de mesa vibratória ou adensador pneumático manual no caso do CCR, devem ser submetidos a ensaios de:

- compressão axial;
- compressão diametral;
- módulo de elasticidade;

Pelo menos seis furos de sondagem rotativa no diâmetro mínimo de 200mm, com recuperação de amostras, são programados de modo a caracterizar os seguintes tipos de ligação entre os elementos que se formam:

- ligação do CCR com a rocha de fundação;
- ligação CCR/CCV com diferentes tipos de tratamento de junta e tempos de retomada;
- ligação CCR/CCV de face;
- ligação CCR/CCV de selo ou argamassa de selo pela extração de testemunho horizontal ao longo da junta formada entre camadas.

Ensaio de perda de água permitirão avaliar, para cada um dos furos e diferentes estágios das camadas, as características de permeabilidade de cada tipo de ligação.

Os testemunhos de concreto assim obtidos, serão submetidos a ensaios de permeabilidade, tração direta, tensão de cisalhamento e resistência à compressão, conduzidas nas idades mínimas de 90 e 180 dias.

## 5. COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS DE CCR e CCV

O cimento utilizado é do tipo CP IV-32 com adição de, aproximadamente, 20% de cinza incorporada no processo de fabricação.

Os agregados graúdos e miúdos provêm da mesma pedra destinada a servir de origem para os agregados da obra.

Os quadros 1 e 2 mostram, respectivamente, as características do concreto estudado para aplicação no aterro, conforme dosagens elaboradas pela Empreiteira e ensaiadas no laboratório da COPEL.

QUADRO 1					
ATERRO EXPERIMENTAL - DOSAGENS CCV					
CARACTERÍSTICA DA MISTURA	A. 0. e. 1.	A. 1. e. 1.	B. 1. e. 1.	C. 1. e. 1.	C. 2. e. 1.
fck/Idade (MPa/Dias)	8,5 / 180	8,5 / 180	12,0 / 180	16,0 / 180	16,0 / 180
SLUMP (cm)	16 ± 2	8 ± 1	8 ± 1	8 ± 1	8 ± 1
AR INCORPORADO (%)	4,0 ± 0,5	4,0 ± 0,5	4,0 ± 0,5	4,0 ± 0,5	4,0 ± 0,5
CIMENTO (kg/m <sup>3</sup> )	272	199	216	270	224
ÁGUA (kg/m <sup>3</sup> )	230	175	175	175	146
AREIA ARTIFICIAL (kg/m <sup>3</sup> )	1790	1342	1264	1212	1103
BRITA 25mm (kg/m <sup>3</sup> )		738	797	797	521
BRITA 50mm (kg/m <sup>3</sup> )					521
PLASBETON - FG (kg/m <sup>3</sup> )	0,168	0,126	0,13	0,16	0,148
LUBRIMIX 283-N (kg/m <sup>3</sup> )		1,607	1,744	2,16	1,79
RHEOBUILD - 543 (kg/m <sup>3</sup> )	2,176	1,607	1,744	2,16	1,79

QUADRO 2				
ATERRO EXPERIMENTAL - DOSAGENS CCR				
CARACTERÍSTICA DA MISTURA		A. 2. e. 3.	A. 2. e. 2.	A. 2. e. 1.
fck / idade (MPa / Dias)		8,5/180		
ESPECI-	VEBE (seg)	25 ± 5		
FICAÇÃO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	2600 (mínimo de 2550)		
CIMENTO (kg/m³)		60	70	75
ÁGUA (kg/m³)		114	114	114
AREIA ARTIFICIAL(kg/m³)		1490	1478	1473
BRITA 25mm (kg/m³)		498	498	498
BRITA 50mm (kg/m³)		498	498	498
PESO UNIT. TEÓRICO (kgf/m3)		2660	2658	2658
APLICAÇÃO (camada)		5 e 6	3 e 4	1 e 2

## 6.EQUIPAMENTOS ENVOLVIDOS

Os agregados para o aterro foram produzidos em uma central de britagem móvel, modelo AZTECA, da FAÇO, equipada com um britador primário de mandíbulas mod. 8050 e um secundário do tipo giroférico mod. 90s. Associado a esta instalação, para ajustar a qualidade e quantidade de finos, foi instalado um britador de impacto rocha contra rocha BARMAC mod. 6900.

A produção do CCV foi realizada em uma central dosadora da CIBI mod. Loreto 4, com capacidade horária de 45 m³.

O conjunto de produção de CCR contempla misturadores contínuos do tipo KS-60 da Barber Greene e HC-11 da Cifali, associados a silos de dosagem de cimento e agregados, correias transportadoras e cabines de comando, operando volumétrica e gravimetricamente.

Nas tarefas de transporte, espalhamento e adensamento, dimensionou-se os seguintes equipamentos principais:

- dois tratores de esteiras CAT D-6;
- dois rolos compactadores vibratórios Dynapac CA-35;
- duas placas vibratórias Dynapac CM 20;
- três caminhões basculantes com capacidade de 6 m³ cada;
- dois caminhões betoneira para 6 m³ cada.

Além destes, compunham a relação geral, além de ferramentas e equipamentos de pequeno porte, uma pá-carregadeira CAT 930, um compressor de ar ATLAS COPCO XA-350 e dois caminhões abastecedores pipa.

## 7. SEQUÊNCIA EXECUTIVA

Foram consideradas seis camadas de CCR além da regularização, incluindo um lançamento parcial de CCR, denominado camada 0 (zero).

O quadro a seguir mostra as características de execução de cada uma delas.

CAMADA	RESUMO DAS ATIVIDADES	TRAÇOS DE CONCRETO
0	• Regularização, dividindo-se a praça em três áreas distintas	A.1.e.1, B.1.e.1, C.1.e.1
	• Concreto de Face de Montante	C.2.e.1
	• CCR (Espessura de 0,40 m) • Limpeza com jato úmido	A.2.e.1
1	• Antes da aplicação do CCR, com três tipos de tratamento distintos: argamassa de ligação, concreto de selo e o último terço sem uso de mistura de berço	A.0.e.1 e A.1.e.1
	• Concreto de Face de Montante	C.2.e.1
	• CCR (Espessura de 0,40 m) • Limpeza com jato úmido	A.2.e.1
2	• Executada nos mesmos moldes da camada 1, com inserção de barras de ancoragem no paramento de jusante (comprimento = 1,00 m) para ensaios de arrancamento Início da Galeria de Drenagem	
3	• Tratamentos superficiais, como na camada 2. Barras de ancoragem embutidas com comprimento de 1,25 m	A.0.e.1 e A.1.e.1
	• Concreto de Face de Montante	C.2.e.1
	• CCR (Espessura de 0,40 m) • Limpeza com jato úmido	A.2.e.2
4	• Executada como a camada 3, exceto quanto ao comprimento de ancoragem das barras que passa para 1,50 m	
	• Execução do teto da galeria com emprego de elementos pré-moldados	
5	• Tratamentos de ligações, como na camada anterior	A.0.e.1 e A.1.e.1
	• Concreto de Face de Montante	C.2.e.1
	• CCR (Espessura de 0,30 m) • Limpeza com jato úmido	A.2.e.3
6	• Executada de modo idêntico ao da camada 5	

## 8. COMENTÁRIOS FINAIS

Os trabalhos de execução do maciço foram realizados em duas etapas, uma na primeira quinzena do mês de setembro e outra na segunda quinzena do mês de novembro em 1994.

Na primeira etapa foram realizados os lançamentos até a camada 2 com a central de CCR operando volumetricamente, sendo o saldo do aterro, correspondente à segunda etapa, com operação gravimétrica por sistema semi-automatizado de controle de pesagem e produção.

Os dados de campo foram coletados a contento e estão sendo avaliados pelas equipes da COPEL e da Empreiteira, fornecendo elementos para início dos trabalhos na própria barragem e para o grupo da própria COPEL que está desenvolvendo o projeto da Derivação do Rio Jordão.

Os resultados de densidade de campo mostraram a factibilidade de se obter densidade da ordem de  $2650 \text{ kg/m}^3$  para o CCR compactado. Além disso comprovou-se o bom desempenho das misturas, tanto de CCR como de CCV, utilizando-se somente agregado miúdo produzido a partir de rocha basáltica.

Para maximizar o aproveitamento do aterro teste foram elaborados documentos preliminares visando orientar e esclarecer às pessoas envolvidas os objetivos do trabalho, além da realização de palestras com apresentação de slides e vídeo sobre a execução de CCR.

Os problemas ocorridos foram tabulados pelas equipes, tanto nas centrais de concreto como na frente de serviço, visando aplicar procedimentos de TQC (Total Quality Control) ao processo. A forma utilizada foi a utilização do ciclo PDCA, ou seja:

P - Procedimentos para aterro experimental (texto com descrição das fases e objetivos);

D - Execução do aterro nas duas etapas;

C - Lista de não conformidades realizada pelos engenheiros, técnicos e equipes de campo;

A - Aplicação das correções diagnosticadas.

A proposta de aplicação do PDCA no aterro levará a um aperfeiçoamento constante na execução da obra.