

BARRAGENS EM CCR

- Concreto Compactado a Rolo -

- ESTADO DA ARTE -

MATERIAIS, PROJETO E CONSTRUÇÃO

Francisco Rodrigues Andriolo

Andriolo Ito Engenharia SC Ltda
 Rua Cristalândia 134- 05465-000- São Paulo- Brasil
 Fone: ++55-11- 3022 5613 Fax: ++55-11- 3022 7069
 e-mail: fandrio@attglobal.net site: www.andriolo.com.br



Data 9 março 2004

Local Auditório da SRH
Itaigara - Salvador/BA

Horário 8:00 às 18:30 horas

1º ENCONTRO TÉCNICO SOBRE O USO DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO - CCR, NA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS

OBJETIVO

Discutir a prática atual e perspectivas para os próximos anos da tecnologia de **Concreto Compactado com Rolo – CCR**; os tipos de CCR utilizados atualmente em termos mundiais e os recursos executivos mais modernos, por meio de uma abordagem técnica por parte de especialistas de renome nacional e internacional, aspectos decisórios de ordem tecnológica, de planejamento e de custos para a execução de obras de CCR; com ênfase para sua aplicação em obras de barragens.

Nortear os participantes sobre as decisões técnicas para a seleção do método construtivo, indicando concepções de arranjos, critérios de dimensionamento e estimativa de custos.

REALIZAÇÃO



Associação
Brasileira de
Cimento Portland



APOIO



RESUMO**1- APRESENTAÇÃO**

- 1.1- Generalidades
- 1.2- Origem Conceitual

2- ASPECTOS DE BARRAGEM DE CCR EM OUTROS PAÍSES (Referência 2003)

- 2.1- Generalidades
- 2.2- Aspectos de Projetos
 - 2.2.1- Geometria da Seção das Barragens Gravidade
 - 2.2.2- Geometria da Seção das Barragens em Arco
 - 2.2.3- Sistema de Estanqueidade e Drenagem
 - 2.2.4- Juntas de Contração
- 2.3- Aspectos de Materiais
- 2.4- Aspectos de Construtibilidade
 - 2.4.1- Sistemas de Processamento de Agregados
 - 2.4.2- Sistemas de Produção do CCR
 - 2.4.3- Sistemas de Transporte do CCR
 - 2.4.4- Espalhamento
 - 2.4.5- Altura das Camadas
 - 2.4.6- Tratamento das Juntas de Construção
 - 2.4.7- Juntas de Contração
- 2.5- Aspectos de Custos
- 2.6- Aspectos Ambientais
- 2.7- Continuidade
- 2.8- Propriedades
 - 2.8.1- Generalidades
 - 2.8.2- Novidades
- 2.9- Controle de Qualidade
- 2.10- Desempenho
 - 2.10.1- Generalidades
 - 2.10.2- Monitoramento
 - 2.10.3- Controle Térmico
 - 2.10.4- Fissuração e Percolação

3- ASPECTOS DE BARRAGEM NO BRASIL

- 3.1- Generalidades
- 3.2- Instrumentação de Auscultação

4- ASPECTOS RELEVANTES PARA O PROJETO

- 4.1- Evolução da Resistência do Concreto
- 4.2- Barragens em Arco Dupla Curvatura e Arco Gravidade
- 4.3- Sistema de Estanqueidade e Drenagem
- 4.4- Juntas de Contração
- 4.5- Arranjos
- 4.6- Aspectos de Construtibilidade
- 4.7- Aspectos de Custos

RESUMO

Nesta apresentação é debatida a Situação Atual de Projetos e de Construção de Barragens em CCR- Concreto Compactado a Rolo, considerando os aspectos no Brasil e em algumas partes no Mundo.

São considerados os aspectos relacionados às Concepções de Projeto, as disponibilidades e condições de mercado e custo dos materiais de construção, os aspectos da metodologia de construção, disponibilidades e aspectos de investimentos em equipamentos para a construção de Barragens, bem como experiências recentes e a competitividade do CCR na atual conjuntura de preços de Cimento e Mão de Obra.

As informações possibilitam os debates quanto às perspectivas da aplicação de CCR em Barragens

São apresentados aspectos quanto às Tendências, Simplificações e Otimizações.

É muito importante lembrar que o CCR é uma METODOLOGIA de CONSTRUÇÃO e Não uma condicionante de PROJETO!!

1- APRESENTAÇÃO

1.1- Generalidades

- Não existe “**um único**” tipo de Barragem para um local!;
- Há um tipo e arranjo, que se adequa ao local de um barramento- aproveitamento, que “mais” se enquadra às condições de:
 - Momento (Custos praticados à época);
 - Cronologia;
 - Condições Topográfica-Geológicas;
 - Disponibilidade de Materiais;
 - Segurança;
 - Conhecimento (das várias partes envolvidas)

- Há, então, um tipo de barramento que convem àquela obra, àquela época.

O importante é que os Profissionais envolvidos, as Comunidades Técnicas e Representativas e Empresas de Projeto e Construção, disponibilizem soluções econômicas- seguras- rápidas- vantajosas aos interesses do País e da Comunidade!

Não se deve, prioristicamente, eliminar uma eventual solução por questões individuais, ou de âmbito restrito-confinado.

A Metodologia de Construção pelo uso do CCR, é uma das disponibilidades técnicas, que pode- e- (na opinião do autor) deve ser considerada.

Assim como Projetos em Arcos- Gravidade e Dupla Curvatura- também se constituem em opções para a construção de um barramento.

Outros tipos de barragem, conhecidos e disponíveis, devem ser base para a PROVOCAÇÃO sadia e objetiva na busca da solução mais adequada.

A Inteligência, o desenvolvimento e a disponibilidade de materiais constituem um cenário para a montagem de um quadro de opções de interesse e de necessidades às dimensões territoriais Brasileiras.

1.2- Origem Conceitual

O conceito do CCR- anteriormente popularmente chamado de Concreto Rolado (até mais simples!!) provavelmente teve um grande impulso nas Conferências de Asilomar- Califórnia- EUA- em Março de 1970.

Nessas conferências foram apresentados trabalhos comentando a aplicação de equipamentos de construção de maciços de terra e rocha para a construção de maciços de concreto.

O conceito postulado originalmente, na Publicação do Prof, Jerome Raphael (UCBerkeley) [“*The Optimum Gravity Dam*”] era que “*a barragem de gravidade ótima e a solução mais econômica, seria a de uma estrutura entre os extremos de um grande volume do maciço de enrocamento/solo (sem aglomerante) e o do outro extremo, de um volume menor, como uma barragem de gravidade em concreto*”. Prof. Raphael induzia “*que o incremento na Resistência ao Cisalhamento, de um Material Estabilizado com Cimento, poderia resultar em significativa redução da seção transversal, ao se comparar com os maciços de terra/rocha*”. E, ainda, “*a adoção de uma metodologia de lançamento contínuo como os utilizados em maciços de terra/rocha poderia reduzir prazos e custo, quando comparados com os métodos tradicionais de construção de barragens de concreto*”.

No Brasil, muitos estudos e algumas aplicações (voluntariosas e individualizadas) foram desenvolvidos a partir de 1975, pelos Laboratórios e Profissionais abnegados, procurando mostrar os potenciais e propriedades do Concreto Rolado. No Brasil a primeira aplicação do Concreto Rolado se deu na construção do piso do Almojarifado da Construtora (UNICON) de Itaipu, em 1976. Entretanto, somente a partir de meados de 80 é que se começou aplicar amplamente na construção de barragens.

O marco básico para a consolidação do emprego do CCR se deu através das licitações, pela COPEL, da barragem da Derivação do Rio Jordão. Nessas licitações a COPEL colocou em licitação, para a mesma Obra a menor custo, duas versões: Barragem de CCR e/ou Barragem de Enrocamento com Face de Concreto, sendo que o Proponente deveria optar por apenas uma das opções.

Notou-se que:

- ✚ Apresentaram-se para a Oferta cerca de 14 Proponentes;
- ✚ Nove ofertaram a Barragem em CCR, e;
- ✚ Os cinco, menores preços foram de CCR.

De outro modo, também, evidencia-se:

Barragens Tipo	Quantidade	Altura (m)	Início no Mundo	Início no Brasil
Enrocamento com Face de Concreto	10	200 (Campos Novos)	1931	1975
Concreto Compactado com Rolo	49	95 (Jordão)	1982	1986

Chama-se a atenção aos conceitos de engenharia para o que deva ser entendido em termos de **QUALIDADE, SEGURANÇA e ECONOMIA (PRAZO e CUSTO)**, que pode ser obtido pelo CCR.

É muito importante também lembrar que, a prática de construção de Barragens em Concreto Massa no Brasil é a única no Mundo, que utiliza concretos com teores de aglomerante inferior a 100kg/m^3 (Ilha Solteira- 1972- Cimento 61 kg/m^3 + Pozolana de Argila Calcificada 23Kg/m^3).

É também notório, que no Brasil se pratica o Zoneamento de Classes de Concreto, com Requerimento de resistências à idades de 180 dias e 365 dias. O Japão começou a adotar essa prática no final da década de 90.

2- ASPECTOS DE BARRAGEM DE CCR EM OUTROS PAÍSES (Referência 2003)

2.1- Generalidades

Quem é quem?

Item	Barragem	País	Dimensão
Maior altura construída	Miel I	Colombia	195m
Maior altura em construção	Longtam	China	216m
Maior Volume construído em uma única Barragem	Beni Haroun	Argélia	1.690.000m ³
Maior Volume em construção	Longtam	China	6.800.000 m ³
Maior número de Barragens		China	56
Maior volume de CCR		Japão	15.465.000m ³
Menor consumo (médio) de aglomerante		Brasil	83 kg/m ³
Menor consumo (individual) de aglomerante	Urugua-i	Argentina	60 kg/m ³
Maior Hidroelétrica com Barragem em CCR	Salto Caxias	Brasil	1.240.MW
Maior velocidade de construção	Olivenhain	Estados Unidos	97m em 9 meses
Pioneiro no uso de CCR	Shimajigawa	Japão	1978
Pioneira no emprego de CCR em Arco Gravidade	Knellport	África do Sul	1988

2.2- Aspectos de Projetos

2.2.1- Geometria da Seção Gravidade

País	Sismicidade	Talude Montante	Talude Jusante	Citações Relevantes
Japão	Alta	Vertical com pé (0,10 a 0,30) montante	Ao redor de 0,8:1,0	Prevenção contra o Sismo durante a construção
USA	Considerada	Vertical	0,6:1,0 a 0,8:1,0	Upper Stilwater (0,6:1,0) e taludes naturais
Espanha	Moderada	Vertical e pé a montante	Ao redor de 0,75:1,0	
China	Sim		0,75:1,00 a 0,8:1,0	Arcos: 0,3:1,0
Brasil	Não	Vertical	Ao redor de 0,75:1,0	

Há situações, onde a fundação para uma barragem gravidade, não possibilita um suporte geomecânico suficiente para os carregamentos impostos por uma seção comum (0,70- 0,80:1,0), e a implantação do vertedouro também causa algum transtorno. Nessas situações tem sido válida a adoção de uma seção trapezoidal, como a sugerida por Pierre Londe (1992), com a massa dosada com baixo teor de aglomerante (inferior a 100kg/m³)

Os Japoneses, recentemente adotaram, recentemente, o “*C-S-G: Cemented Soil and Gravel*”. Tem sido aplicado em ensecadeiras e mais recentemente na barragem de Nagashima (com cerca de 30m de altura) com uma seção de 0,6:1,0 (montante) e 0,7:1,0 (jusante).

Barramentos	Nagashima (Ensecadeira executada)	Okukubi (H=39m) (a executar)	Sanru (H=50m) (a executar)	Hommyogawa (H=64m) (a executar)
Volume de CSG (m ³)	50.000	300.000		
Teor de Aglomerante (kg/m ³)	60			

2.2.2- Geometria da Seção das Barragens em Arco

A África do Sul foi a primeira a aplicar a metodologia do CCR em uma barragem em Arco - Knellport-0,6:1,0 em 1988 e logo em seguida Woweldam- 0,5:1,0 também em 1988. Os Chineses, logo depois (Puding-0,35:1,00), adotaram a ideia e estão usando em várias obras, sendo:

Barragem	Ano	Altura (m)	Crista (m)	Base (m)	Relação Base: Altura	Volume CCR (m3)	Volume CVC (m3)	Cimento kg/m3	Material Pozolânico (kg/m3)	Total (kg/m3)
Puding	1993	75	196	28,2	0,376	103.000	34.000	85	100	185
Wenquanpu	1994	49	188	13,8	0,281	85.000	25.000	110	70	180
Xibinxi	1996	63	93	12,0	0,190	25.000	8.000	80	120	200
Hongpo	1998	55	244	26	0,473	67.000	11.000	52	97	149
Shapai	1999	132	238	28	0,212	365.000	48.000	85 (*)	120	205
Shimenzi	1999	109	187	30	0,275	161.000	39.000	80 (*)	120	200
Linhekou	2004	100	311	27,2	0,272	220.000		60- 65	100- 120	
Zhaolaihe	2006	107	206	18,5	0,170	153.000		85- 125	125- 105	
Xuanmiaoguan	2006	62,5	192	16	0,25	68.000(*)				
Maobaguan	2006	64	156	27	0,42					

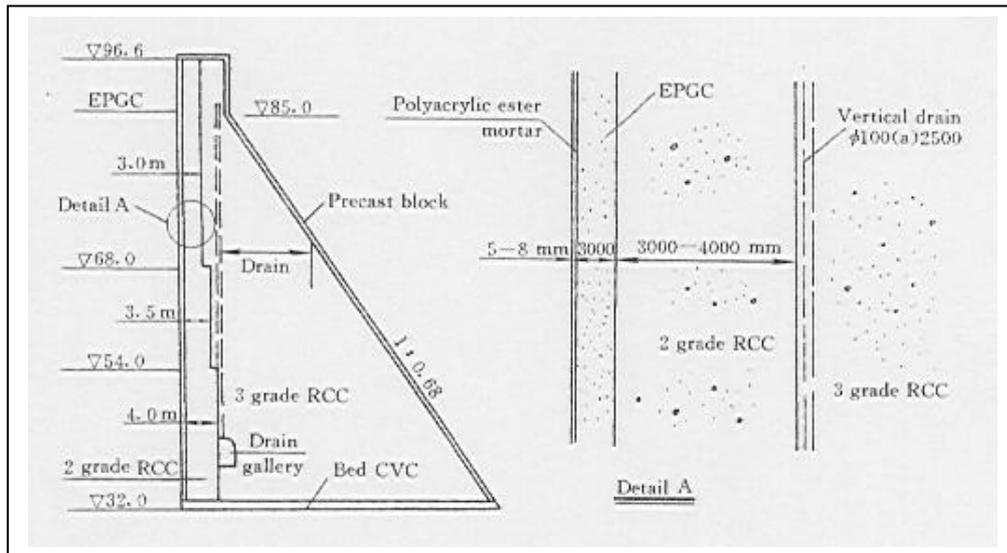
Vale comentar que, além de adotarem a solução, introduziram outras metodologias como se vê mais à frente. Para garantir a monoliticidade da barragem em arco, adotaram o emprego de cimento expansivo (*Nota:com determinado teor de Óxido de Magnésio) de tal sorte a provocar a expansão controlada e garantir o efeito arco.

Publicou-se (Andriolo, Sarkaria e Marco Juliani) um texto sobre uma metodologia onde se considera a aplicação de uma câmara de compensação de pressão nas juntas de contração para, através do Módulo de Elasticidade, provocar a abertura da junta e possibilitar ou controlar a necessidade da injeção.

2.2.3- Sistema de Estanqueidade e Drenagem

Tipo de Face a Montante, considerando os Países de maior número de Barragens (Divulgadas- 270)

Tipo de Face a Montante/ País	Japão	China	USA	Espanha	Brasil	África do Sul	Austrália	Geral
CVC contra a forma	100%	57%	47%	25%	84%	93%	22%	64,6%
CVC + Membrana externa								
CCR contra a forma		19%	7%	60%			22%	14,7%
CCR + Membrana externa		5%						1,2%
CVC contra painéis premoldados								
CVC contra painéis premoldados com Membrana		2%	17%					3,5%
CCR contra painéis premoldados		5%	10%				33%	4,7%
CCR contra painéis premoldados com Membrana			7%				11%	1,8%
CCR contra painéis premoldados com Membrana aplicada a quente		10%						2,4%
CCR contra blocos premoldados								
CVC armado moldado previamente								
CVC armado moldado posteriormente		2%	3%		11%			2,4%
CVC armado extrudado			3%		5%			1,2%
CVC extrudado			7%	15%			11%	3,5%
CCR como terra armada								
CCR compactado								
CCR talude de repouso natural								

**Shanzi Imperbeable System**

2.2.4- Juntas de Contração

As Juntas de Contração, nas Barragens de CCR, tem sido espaçadas entre 10 a 80m. A experiência, **e teimosia**, de se executar barragem de concreto, sem Juntas de Contração, como a de Upper Stillwater, não se mostrou uma boa prática.

A adoção de Juntas de Contração, espaçadas ao redor de 15m a 25m, e preponderantemente, 20m tem sido a prática.

2.3- Aspectos de Materiais

País	Cimento		Material Pozolânico	Aditivo	Agregado	Informação Relevante
Japão	Cimento (90)	Comum	Cinza (30)	Sim	150mm	Zoneamento das Clses de CCR-1998; CSG- Cimento + Solo+ Cascalho
USA	Cimento (90)	Comum	Cinza (50)	Não	< 75mm	
Espanha	Cimento (70)	Comum	Cinza (150)	Após 1997	< 75mm	Apoio da Industria Cementeira
China	Cimento (75)	Comum	Cinza e Microsilica (95)	Retardador+ Plastificante	< 75mm	Uso de cimento Expansivo (MgO)
Turquia	Cimento Barato					40 US\$/ton

Particularidade Relevante: O desenvolvimento do CCR na Espanha contou com grande apoio da Associação dos Cimenteiros.

2.4- Aspectos de Construtibilidade

País	Exemplo
Japão	Padronização na dosagem; Formas como equipamento e muita automação; Redução da mão de Obra com grande utilização de Equipamentos

USA	Diversidade e intenso uso de equipamentos. Redução de prazo, devido aos custos dos Profissionais e Encargos Sociais
Espanha	Uso intenso de equipamentos
China	Processo Rampado; GERCC- CCR enriquecido com Calda, na face; Cimento Expansivo; Vacuum Chute

2.4.1- Sistemas de Processamento de Agregados

- Semelhante aos adotados para as obras de CVC.
- Cuidados adicionais no sistema de produção de areia, por ter um uso maior que no CVC.
- Atenção adicional deve ser dada quando se requer uma maior produção de Finos.

2.4.2- Sistemas de Produção do CCR

Uso de Centrais de Baixo Perfil, de fácil montagem e desmontagem, com adoção de misturadores forçados de eixo horizontal, simples ou duplo.

Esses equipamentos permitem efetuar a mistura em cerca de 45 a 50 segundos.

2.4.3- Sistemas de Transporte do CCR

Os mais variados, desde os caminhões basculantes até correias, chutes, correias adaptadas à guindastes.

2.4.4- Espalhamento

- Prevalece o uso de tratores com lâmina frontal, semelhantes ao Cat- D-5.
- Algumas vezes tem sido usada motoniveladora, como equipamento complementar

2.4.5- Altura das Camadas

Prevalece o uso de camadas de altura de 30cm.

2.4.6- Tratamento das Juntas de Construção

- Prevalece o emprego do Jateamento a Baixa Pressão e o emprego de argamassa, quando se requer Coesão.
- A adoção do Camada Inclinada possibilita reduzir o número de camadas a serem tratadas (redução da área exposta).

2.4.7- Conformação das Juntas de Contração

Prevalece o maior uso de sistemas de indução, pela inserção de lâminas (plásticas ou metálicas).

2.5- Aspectos de Custos

Nos vários países os custos praticados levam a um crescente uso do CCR.

2.6- Aspectos Ambientais

<i>País</i>	<i>Informação Relevante</i>
Japão	Preocupação em ter a obra como um ambiente turístico

2.7- Continuidade

<i>País</i>	<i>Aspectos Relevantes</i>
Japão	Busca de materiais alternativos- Redução dos consumos na face e no CCR; CSG
China	A quantidade de obras induz à diversificação e ao surgimento de novidades
Países Asiáticos	Desenvolvimento (Índia; Paquistão, Laos; Coreias; Vietnam, etc..)
Países Árabes e Oriente Médio	Necessidade de Água
Brasil	Desenvolvimento (Hidrelétricas + Abatecimento + Irrigação + Perenização)

2.8- Propriedades

2.8.1- Generalidades

As diversas propriedades do CCR são equivalentes às mesmas do CVC produzido com os mesmos agregados e mesmo níveis de aglomerante. Pode-se resumir:

<i>Propriedade</i>	<i>Comentários</i>
Massa Específica	Depende fundamentalmente da Massa Específica dos Agregados. CCR cerca de 2 a 4% maior devido ao menor teor de água
Resistência à Compressão Axial	Depende basicamente do Teor de Aglomerante e da Densidade obtida pela densificação (vibração – compactação). Na máxima densidade praticamente iguais, à mesma idade.
Resistências à Tração (Compressão Diametral; Tração Direta)	Mesma proporcionalidade Tração/Compressão
Cisalhamento (Monolítico)	Depende basicamente do Teor de Aglomerante e da Densidade obtida pela densificação (vibração – compactação). Na máxima densidade praticamente iguais, à mesma idade.
Módulo de Elasticidade	Depende basicamente do Teor de Aglomerante, da Densidade obtida pela densificação (vibração – compactação) e da Característica Elástica dos Agregados. Na máxima densidade praticamente iguais, à mesma idade. Baixo Teor de Aglomerante: Menor Módulo à baixas idades, resultadno em dupla vantagem térmica- Menor Geração de Calor e Maior relaxação
Coefficiente de Poisson	Valores praticamente iguais
Capacidade de Alongamento	Depende basicamente do Teor de Aglomerante, da Densidade obtida pela densificação (vibração – compactação) e da Característica Elástica dos Agregados. Na máxima densidade praticamente iguais, à mesma idade.
Fluência	Depende basicamente do Teor de Aglomerante, da Densidade obtida pela densificação (vibração – compactação) e da Característica Elástica dos Agregados. Na máxima densidade praticamente iguais, à mesma idade.
Permeabilidade	Depende basicamente do teor de Finos. Com quantidade de Finos Equivalentes a Permeabilidade é praticamente igual.
Adiabática	Depende do Teor de Aglomerante. Praticamente igual para o mesmo teor
Calor Específico	Depende fundamentalmente das características mineralógicas dos Agregados. Praticamente Igual
Coefficiente de Expansão Térmica	Depende fundamentalmente das características mineralógicas dos Agregados. Praticamente Igual
Condutividade Térmica	Depende fundamentalmente das características mineralógicas dos Agregados. Praticamente Igual
Difusividade Térmica	Depende fundamentalmente das características mineralógicas dos Agregados. Praticamente Igual

2.8.2- Novidades

- **TEOR DE ÁGUA & MASSA ESPECÍFICA:** Desenvolvimento do Laboratório de FURNAS, simplificando os controles da Mistura Fresca.
- **TEMPOS DE INÍCIO E FIM DE PEGA:** Desenvolvido pelo Eng. German Hermida (Sika da Colombia) para tomadas dos Tempos de Início e Fim de Pega. Vem a facilitar o conhecimento e compreensão da necessidade do tratamento das Juntas de Construção

2.9- Controle de Qualidade

O Controle de Qualidade do CCR, quando exercido de acordo com um Sistema de Qualidade análogo ao das obras de CVC, ajustado para se ter ações à mesma velocidade da construção, apresenta parâmetros tão bom quanto àqueles do CVC Massa.

2.10- Desempenho

2.10.1- Generalidades

É importante aqui, lembrar:

- ❖ *Simplificidade não que dizer Eliminar!Deixar de fazer!!;*
- ❖ *Otimização também não significa Eliminar!*
- ❖ *Ser Arrojado, Inovador não significa criar Insegurança;*

2.10.2- Monitoramento

Uso de Fibra Ótica para monitoramento.

2.10.3- Controle Térmico

O CCR objetiva a Simplicidade!

Diante disso a Engenharia deve buscar soluções que viabilizem construir as obras de CCR sem a necessidade do Controle da Temperatura de Colocação.

Isso pode ser conseguido pelo uso do adequado consumo de aglomerante, altura de camadas, intervalo de tempo entre camadas e espaçamento das juntas de contração.

2.10.4- Fissuração e Percolação

Barragem	País	Ano de Término	Altura (m)	Teor de Aglomerante (kg/m ³)	Sistema de Estanqueidade	Vazão Percolada (l/s)	Reparos	Fissuras
Shimajigawa	Japão	1982	89	120	CVC (>200kg/m ³)	0,5	Não	Não
Willow Creek	Estados Unidos	1984	52	76	Não adotado	189	Um	Sim
Copperfield	Austrália	1984	40	110	CVC	24,7	Não	Não
Middle Fork	Estados Unidos	1984	38	66	CVC	9,5	Não	Não
Winchester	Estados Unidos	1985	74	104	Pré-Moldado +Membrana PVC	0	Não	Não
Galesville	Estados Unidos	1986	50	104	CVC	60	Um	7
Craigbourne	Austrália	1986	25	130	Pré-Moldado	8,8	Não	Não
Grindstone	Estados Unidos	1986	42	88	CVC	88	Após esvaziamento	Sim
Monksville	Estados Unidos	1986	48	111	CVC	18,3	Não	Não
Arabie	África do Sul	1986	36	110	CVC	< 1	Não	Não
Upper Stillwater	Estados Unidos	1987	90	295	CVC	240	Um	Sim (até 6mm)
Santa Eugênia	Espanha	1988	86	215	CCR mais rico (240 kg/m ³)	1,5	Um	Sim
Urugua-i	Argentina	1989	76	60	Pré-Moldado com Membrana PVC e CVC	56,7	Não Informado	
Maroño	Espanha	1990	53	235	CCR mais rico (240 kg/m ³)	100	Um	Sim - Juntas a 60m
Trigomil	México	1992	107	148	CVC	100	Não	Sim
Puebla de Cazalla	Espanha	1992	71			20	Não Informado	
Urdalur	Espanha	1993	58	182	CVC	13	Um	Sim- Juntas a 60m
Arriarán	Espanha	1993	58	220	CVC	11	Um	Sim - Juntas a 60m
Cenza	Espanha	1993	49	200	CCR	48,3	Um	Não
Pudíng	China	1993	75	195	CCR	Não Informado		9
Peti Saut	Guiana Francêsa	1994	50		CVC Armado antes	4,2	Um	Sim
Guadalemar	Espanha	1994	13	185	CCR			A cada 30-40m
Sierra Brava	Espanha	1994	47	200	CVC	1,7	Um	Sim
Wolwedans	África do Sul	1995	73	194	CVC	3,5	Não	
Jordão	Brasil	1996	95	75	CVC	7	Tres	Sim
Salto Caxias	Brasil	1998	67	100	CVC	48,2	Um	3
Attance	Espanha	1998	45	190	CCR	1,7	Um	Sim
Rialb	Espanha	1999	101	195	CCR mais rico (200 kg/m ³)	7,5	Um	Sim
Val	Espanha	2000	90	180	CVC	3,4	Um	Sim
Miel I	Colombia	2002	190	85 a 160	GE-RCC+ Membrana PVC	2,5	Não	Não
Platanovrisy	Grécia	1998	95	190	Extrudado	> 30	Membrana PVC	Sim
Porce II	Colombia	2001	123	220	Extrudado	41	Membrana PVC	

3- ASPECTOS DE BARRAGEM NO BRASIL

3.1- Generalidades

O Brasil possui, atualmente (2003-2004) construídas e/ou em construção, **50** barragens de CCR, com um volume total ao redor de **10.000.000m³**, situando-se em **segundo lugar**, logo após da China com 56 barragens, **tendo superado o Japão** (atualmente com 44 barragens, porém com maior volume- 15.465.000m³ que é o maior volume de todos).

Quem é quem?

<i>Item</i>	<i>Barragem</i>	<i>Dimensão</i>
Maior altura	Jordão	95m
Maior volume de CCR	Santa Cruz do Apodi	1.063.000m ³
Menor consumo de aglomerante	Gameleira	65 kg/m ³
Maior Hidroelétrica com Barragem em CCR	Salto Caxias	1.240 MW
Maior velocidade de construção	Saco de Nova Olinda	138.000m ³ em 110 dias
Pioneira no uso de CCR, em Projeto de Barragem	Saco de Nova Olinda	1986

O início das barragens de CCR no Brasil deu-se na região de implantação de obras para perenização, abastecimento e/ou irrigação, e não no setor hidrelétrico. Essa oportunidade de implantação da metodologia se deu em um cenário onde as Entidades se apoiavam mais no pioneirismo, do que em estabelecer um aprendizado técnico, de propriedades, de comportamento, isso sem desmérito nenhum aos Profissionais e Equipes envolvidos. **Contemporaneamente, à época, algumas deficiências observadas, particularmente, nas obras de Willow Creek e Upper Stillwater, impuseram um aspecto negativo à metodologia.**

Os bom exemplos referendados pelas obras Japonêsas sempre eram respondidos como:

“Oh! Mas lá no Japão é diferente, é outro tipo de Obra (!).”

A realidade técnica não era, e continua não sendo essa. Havia, e há, a necessidade de entender os procedimentos, fato nem sempre praticado por alguns Profissionais.

Esse “status-quo” induziu uma demora de mais de 15 anos na absorção da técnica. Vive-se hoje um panorama mais amplo.

Há a oportunidade de troca de experiência através das obras dos 2 setores – Hidrelétrico e Obras Contra a Seca. Como por exemplo o uso de baixo teor de aglomerante, muito mais adequado à altura (50m ± 10m) e aos níveis de tensões requeridas das nossas obras (como será visto à frente).

Em algumas barragens tem ocorrido uma busca exacerbada de eliminar Detalhes e Reservas de Projeto. Deve-se re-lembrar, novamente, que:

- ❖ *Simplificidade não que dizer Eliminar!;*
- ❖ *Otimização também não significa eliminar!*
- ❖ *Ser Arrojado, Inovador não significa criar Insegurança;*

13/03/05

Salvador - Bahia – Março 2004

Ordem	Nome	Proprietário	Altura (m)	Crista (m)	Volume (x 10 ³ m ³)			Material Cimentício Teor (Kg/m ³)		
					RCC	CVC	Total	Ciment	Material	
									Pozolânico	Total
1	Acauã	DNOCS	79	375	674			70	0	70
2	Belo Jardim	DNOCS	43	420	81	12	93	80	0	80
3	Bertarello	Corsan	29	210	60	10	70	100	0	100
4	Cana Brava	Companhia Energética Mercosul	65	510	550	220	770	100	0	100
5	Candongá	Companhia Vale Rio Doce	53	311	236	120	356	70	0	70
6	Canóas	Secretaria de Recursos Hídricos (SRH/CE)	51	116	87	6	93	64	16	80
7	Caraibas	Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG)	26	160	18	4	22	74	0	74
8	Castanhão	DNOCS	60	668	890	140	1030			
9	Cova da Mandioca	CODEVASF	32	360	71	4	75	80	0	80
10	Dona Francisca	Dona Francisca Energética	62,5	670	485	180	665	100		100
11	Estreito	CONDEPI	21,5	300	12	3	15			
12	Gameleira	CODEVASF	29	150	27	2	29	65	0	65
13	Guararema	Usina Olho D'Água	27		50					
14	Guilman Amorim	Belgo Mineira	41	143	23	49	72	100	0	100
15	Jordão	Companhia Paranaense de Energia (COPEL)	95	550	570	77	647	65	10	75
16	Juba I	Itamarati Centrais Elétricas	21	238	17	96	113			75
17	Juba II	Itamarati Centrais Elétricas	21	250	9	105	114			75
18	Jucazinho	DNOCS	63	442	472	28	500	64	16	80
19	Lajeado	INVESTCO	43	2100	210	1120	1330	80	0	80
20	Malhada das Pedras	CERB			12					80
21	Mocotó	CERB	12	117	8					80
22	Pedras Altas	CERB	24,2	1090	172	50	192	80	0	80
23	Pelo Sinal	SUPLAN/RN	34	296	69	11	80	100		100
24	Pirapama	CAGEPE	42	300	87	50	137	90	0	90
25	Ponto Novo	CERB	26	266	90	15	105	90	0	90
26	Rio da Dona				12					80
27	Rio da Prata				70					80
28	Rio do Peixe	Cia Paulista de Energia	20	300	20	14	34	90	0	90
29	Rosal		37	212	45	30	75			100
30	Saco de Nova Olinda	SRH (Secretaria de Recursos Hídricos)	56	230	132	11	143	70	0	70
31	Salto Caxias	Companhia Paranaense de Energia (COPEL)	67	1900	912	526	1438	60	20	80
32	Santa Clara	CEMIG	68	354	75	170	245			80
33	Santa Cruz do Apodi	DNOCS	57,5	1660	1023					80
34	Sítio Trairas	Emater	11,7	116,5	4,33	0,55	4,78			80
35	Trairas	DER/RN	25	440	59	1	28			80
36	Tucuruí	ELETRONORIE	78	1541	76	8800		100	0	100
37	Umari	DNOCS	42	2308	655			70	0	70
38	Val de Serra	Corsan	36,5	675	69	26	95	60	30	90
38	Varzea Grande	SUPLAN/PB	31	135	27	1	28			
39	Santa Clara- Jordão	ENERJOR	67	540	520	80	600			90
40	Fundão	ENERJOR	49	445	180	30	210			80
41	Serra do Facão	GEFAC	80	326	600	100	700			90
42	Pindobaçu	CERB	44	210	75	10	85			70
43	Bandeira de Melo	CERB	20	320	75	12	87			70
44	João Leite	SANEAGO	55	380	270	20	290			
45	Passo do Meio	BRASCAN			40					
46	Aimorés				200					
47	Poço do Maruá		42		580					
48	Barra do Camará		50							
49	Rio São Bento		49							
50	Porto Belo		17		23					
51	Barragem de Montanha		12,3							
52	Peixe	INVESTCO	50							
	Estatística aproximada		43,8		10.722					82,6

3.2- Instrumentação de Auscultação (Qual a razão para chamar a atenção sobre a Instrumentação)

Nas diversas barragens dos setores elétrico e de aproveitamento hidrico, foram instalados cerca de 23.895 instrumentos, em um total de 66 barragens de concreto, correspondente a 47.297.000m³ de concreto, alcançando a razão de 1 aparelho a cada 1979 m³ de concreto.

Muitos desses aparelhos foram instalados com o caráter científico de aprendizado, de avaliação do comportamento. Outros foram instalados com o caráter de segurança, para acompanhar o desempenho das estruturas.

A instrumentação de auscultação é uma ferramenta de grande valia na reciclagem das informações, no aprimoramento dos projetos, no emprego dos materiais com propriedades mais próximas da necessidade. Disso cabe uma outra indagação:

Quantos dos Profissionais envolvidos em Projetos, fizeram uma retro-análise das hipóteses admitidas e dos dados obtidos pela monitoração?

Quem olha e recicla? Qual o aprendizado?

Ou só serve para fazer Trabalho para Congresso ?

Um dado que pode ser citado, como exemplo, é o da auscultação da CESP em Ilha Solteira, como por exemplo nas estruturas do vertedouro, onde se observa em uma determinada roseta extensométrica valores de tensões de compressão ao redor de 10 a 15 kgf/cm², bastante próximos das previsões do modelo estrutural do Projeto (adotado à época), e que o concreto especificado para o local (mistura 76 CT 37), com 111 kg/m³ de cimento e 37 kg/m³ de pozolana, apresentou os seguintes dados de resistência média (para um universo de 330 amostras):

Idade (dias)	7	28	90	180
Resistência Média à Compressão (kgf/cm ²)	132	228	256	263
Coefficiente de Variação (%)				10,3
Resistência Mínima obtida (f _{ck} obtido) (kgf/cm ²)				215

Admitindo um **Coefficiente de Segurança de 3,0** para os carregamentos normais haveria uma necessidade de:

$$f_{ck} \geq 3,0 \times 15 \text{ kgf/cm}^2 = 45 \text{ kgf/cm}^2.$$

Observa-se, então, que o material (concreto) utilizado tem propriedade resistente de sobra (215/45 = 4,8 vezes). Isso significa um grande desperdício do material.

Essa auscultação ratifica as ponderações precedentes quanto às tensões efetivas e resistência mínima requerida.

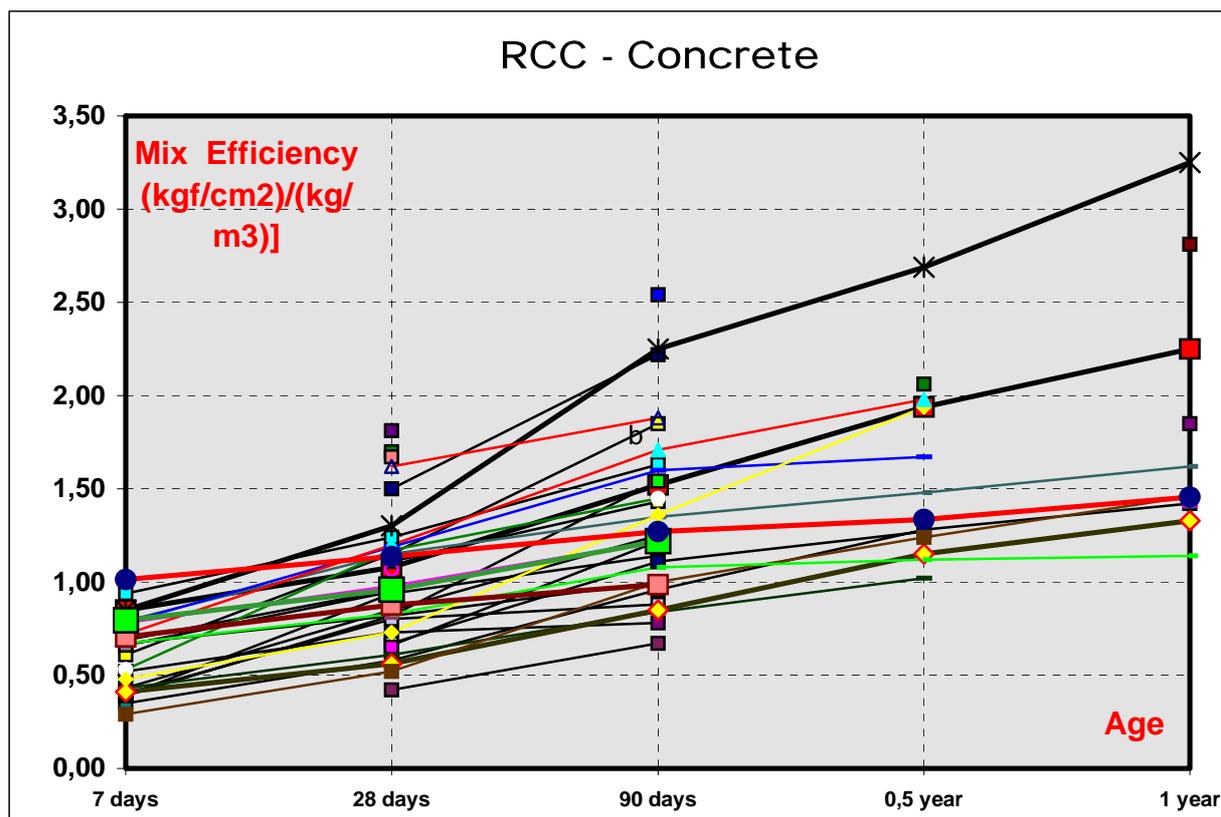
Salienta-se, paradoxalmente, que Ilha Solteira foi a pioneira em adotar o zoneamento de classes de concreto, nas estruturas.

4- ASPECTOS RELEVANTES PARA O PROJETO

4.1- Evolução da Resistência do Concreto

É evidente que a Resistência a Compressão do concreto não é a única Propriedade do Concreto a ser gerenciada em um Projeto.

Entretanto é oportuno lembrar que várias propriedades do concreto são evolutivas com a idade, dentre as quais pode-se citar a Resistência a Compressão.



4.2- Barragens em Arco Dupla Curvatura e Arco Gravidade

A leitura de Documentos para a Licitação de uma determinada obra, recente, fez-se deparar com a seguinte citação:

“... A opção de barragem de concreto em arco, mesmo que a primeira vista, levando em conta apenas as características topomorfológicas, apresentasse favoráveis ao seu estudo, foi descartada devido a pouca experiência brasileira na execução de obras deste tipo...”

Disso pode-se indagar:

Que experiência, na atualidade, seria necessária?

Quanto custaria para trazer um Profissional com a citada experiência, no tema ?

O que o País, a Comunidade Técnica, as Empresas de Consultoria, os Construtores, capitalizariam com isso?

4.3- Sistema de Estanqueidade e Drenagem

O sistema de estanqueidade mais utilizado nas obras brasileiras de CCR é o do uso de Concreto Convencional Vibrado (CVC) (aplicado em 84% das obras) junto a forma, constituído-se no Concreto de Face. Essa prática é consistente com a maioria aplicada nos Países de maior uso do CCR, bem como com as defesas de Projeto nas grandes de Concreto Massa no Brasil, desde os anos 60.

Cuidado especial deve ser mencionado quanto a dosagem desse concreto de face. Consumos de aglomerante acima de 180 kg/m^3 , normalmente levam à fissuração.

Complementando o sistema de estanqueidade, uma rede de drenagem conectando às galerias, normalmente tem sido a prática adotada.

4.4- Juntas de Contração

As Juntas de Contração, normalmente são espaçadas ao redor de 20m a 25m, sendo preponderante a adoção de 20m.

4.5- Arranjos

Uma particularidade que deve ser considerada nas obras de barragens no Brasil, é que nas Hidroelétricas, diferentemente de outros tipos de barramentos, pode haver a necessidade de se colocar vertedouros com comportas sobre a barragem (para controle de grandes vazões, como no caso de Salto Caxias, que possui um vertedouro com capacidade para $49,000 \text{ m}^3/\text{s}$)

A colocação do Vertedouro, com comportas de controle sobre uma barragem, tem implicações de ordem cronológica, devido ao tempo requerido para a construção dos Pilares em CVC, bem como as respectivas montagens hidromecânicas, criando então um conflito programático.

Complementarmente a existência de pilares, comportas, etapas de construção implicam em:

- ✓ Cuidados na otimização dos acessos;
- ✓ Cuidados no dimensionamento de recursos (equipamentos e mão de obra);
- ✓ Cuidados na otimização de formas;
- ✓ Cuidados nas etapas construtivas;
- ✓ Cuidados na qualificação das equipes (devido à atividades distintas);
- ✓ Cuidados em planejar o uso de materiais para todas finalidades –CVC e CCR, e outras aplicações (enseadeiras, aterros, etc..)

Todas essas dificuldades, sem dúvida alguma, introduzem custos adicionais e dificuldades cronológicas. Há a necessidade de se buscar uma “ **Melhor Engenharia**” nesse aspecto. O uso de RCC nessas situações requer uma maior reflexão.

De outro modo, porem, as barragens de controle de cheias, como as construídas no Nordeste, geralmente possuem vertedouro de soleira livre, facilitando a construção.

4.6- Aspectos de Construtibilidade

Os aspectos de Construtibilidade estão intimamente ligados às condicionantes de Prazo e Custos.

Assim é que países como os Estados Unidos e Japão, onde a Mão de Obra é “cara” há a tendência de se valer dos equipamentos.

Nos Estados Unidos, vê-se também a busca da execução Rápida, o que não é muito rotineiramente visto no Japão.

A padronização é, entretanto, mais rotineiramente vista no Japão, e não nos Estados Unidos, onde se caracteriza por uma preferência pela diversificação.

As obras executadas pelos Construtores da Espanha, que na Espanha como fora de lá, se caracterizam também por uma maior intensidade de equipamentos.

Nas obras da China não se vê uma tendência clara, observando-se todos os panoramas.

No Brasil, há ainda o conceito da Mão de Obra barata, e há uma carência de Planejamento, com a maioria dos Construtores acostumados a exercer, ainda, Preços e não Custos.

O emprego do sistema rampado que agora se transfere para o CCR, também contribui para a otimização da metodologia e redução de custos.

4.7- Aspectos de Custos

Os aspectos de custos nas obras de CCR no Brasil englobam:

- ❑ O investimento em equipamentos para produção dos agregados;
- ❑ O investimento em equipamentos para produção dos concretos
- ❑ Custo do aglomerante;
- ❑ Projetos conservadores.