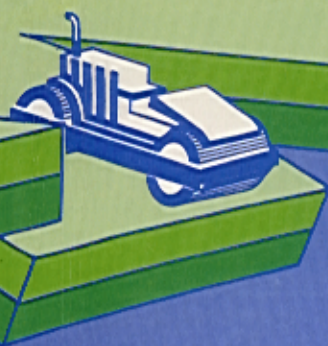


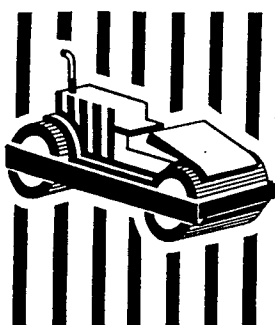


Barragens em CCR - Sistemas de
Impermeabilização : Discussões, Sugestões e Uso

II SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO

ANAIIS
1996





II SEMINÁRIO NACIONAL DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO

BARRAGENS EM CCR - SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO: DISCUSSÕES, SUGESTÕES E USO

WALTON PACELLI DE ANDRADE
FURNAS CENTRAIS ELETRICAS S/A

FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO
Consultor
Andriolo Ito Engenharia S/C Ltda

RESUMO

No trabalho discute-se os sistemas de impermeabilização utilizados em várias barragens construídas com o Concreto Compactado com Rolo. Faz uma análise e estabelece um debate sobre as tendências e práticas usuais.

O conceito de emprego de membranas de concreto massa convencional e de CCR é debatido com base nos resultados de permeabilidade.

1- INTRODUÇÃO

É de amplo conhecimento que o CCR é uma técnica de construção, e não uma conceituação de Projeto. Entretanto, no estabelecimento de Projetos que possam utilizar a técnica do CCR, várias vezes surge o debate sobre dois pontos básicos:

- tratamento e comportamento das juntas de construção entre camadas; e
- condições de estanqueidade-durabilidade, tipo da face de montante, condições de controle das infiltrações e drenagem.

O tratamento das juntas de construção entre camadas, já debatido em outros trabalhos, e dados de Aterros Experimentais leva à

conclusão de se efetuar ensaios visando avaliar, para cada condição requerida no Projeto as exigências a serem exigidas no tratamento de superfície.

Assim é que barragens em zonas não sísmicas, praticamente um Atrito correspondente a 45° , permite um equilíbrio com os esforços solicitantes. Em Barragens Arco-Gravidade, ou de grande altura (superiores a 100m) [1], ou obras em zonas a sismicidade vêm a ser fatores relevantes poderá haver a necessidade de se requerer além de Atrito superior a 45° , coesão acima de 5 Kg/cm².

Os parâmetros de Coesão e Atrito para esses Projetos Específicos devem ser conhecidos a

partir dos materiais e dosagens a serem utilizadas na obra em consideração.

Outra condição que é ponto de debate diz respeito à condição de estanqueidade-durabilidade e controle de infiltração e drenagem. Neste trabalho os autores fazem considerações sobre as características e condições da Face de Montante das Barragens em CCR.

É, também, de entendimento comum que o adequado projeto de uma Barragem deva ter cuidados na redução e no controle da infiltração, e na drenagem. Isso dentro de uma harmonia técnica e econômica.

Essa consideração é de âmbito geral para as Barragens, não só para as Barragens de Concreto nem somente para as de CCR.

2- PANORAMA GERAL

O número de obras em CCR, contruídas no âmbito mundial supera 165 [2]. Dessas barragens pode-se observar os tipos de condicionantes de projeto para reduzir a infiltração, ou de outra forma, para estabelecer a estanqueidade, como se mostra na Figura 2.1

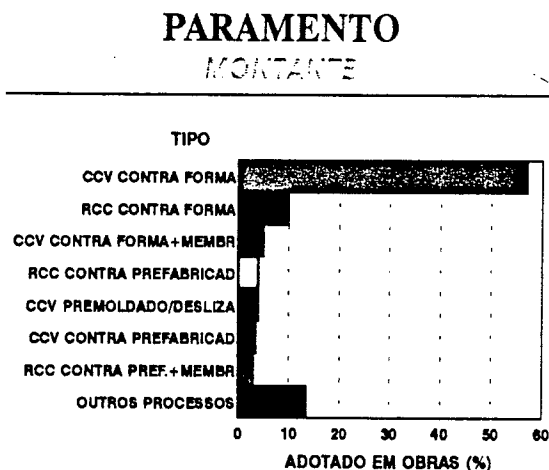


FIGURA 2.1- ESTATÍSTICA DOS TIPOS DE MEMBRANAS ADOTADAS NO PARAMENTO DE MONTANTE DAS BARRAGENS DE CCR.

O conjunto de dados mostra que a maioria (57%) das barragens de CCR tem uma membrana de Concreto Massa Convencional, construída juntamente com as camadas de CCR (representada potencialmente por obras no Japão, China, Estados Unidos e África do Sul).

A prática brasileira de construção- uma das maiores no mundo- de Barragens Gravidade, em CVC- concreto massa convencional mostra que a maioria de nossas barragens tem um concreto de durabilidade- impermeabilidade diferenciada na região do contato com água (Como exemplo pode-se citar: Ilha Solteira; Água Vermelha; Porto Primavera; Tres Irmãos; Nova Avanhandava; Itumbiara; Marimbondo; São Simão; Tucuruí, entre outras).

No caso particular de Ilha Solteira, o zoneamento das classes de concretos além de obedecer a um critério de resistências, seguia um requisito adicional de Permeabilidade de $K_{\alpha} < 10^{-9}$ cm/seg para os concretos de paramentos

Várias das obras de CCR executadas no Brasil (Jordão; Saco Nova Olinda; Caraíbas) adotaram essa conceituação.

Outra conceituação adotada, e com expressão estatística de seu emprego (10% das barragens executadas), é do emprego do próprio CCR como elemento de estanqueidade. Essa prática tem sido adotada na Espanha (em cerca de 60% das obras, e China) .

Deve-se ressaltar que essa prática tem sido incrementada, a partir dos conhecimentos adquiridos nas propriedades dos CCR, e também por considerar a adoção de uma salvaguarda adicional na dosagem do CCR, procurando incorporar uma maior quantidade de finos (material menor que 0,075 mm) não coesivos.

A utilização (5% das barragens) de concreto convencional contra forma e a adição de uma membrana sintética (normalmente PVC), teve aceitação em alguns projetos na China, Honduras, França e Estados Unidos .

O uso de CCR contra placas de concreto pré-fabricado (4% das barragens), teve aceitação em projetos na Austrália, China, Estados Unidos e Marrocos.

O emprego de máquinas moldadoras com deslizamento horizontal da face em concreto convencional (4% das barragens), foi empregado na Espanha, Estados Unidos e Grécia.

Outras soluções tiveram aplicações em menor uso (20% do total), ou buscaram resolver dúvidas ou condicionantes específicas de determinado projeto e se citam:

- CCR contra formas e membrana adicional;
- CVC contra painéis pré-fabricados com membrana adicional;
- CCR contra painéis pré-fabricados com membrana adicional;
- Concreto armado moldado antes do CCR;
- Concreto armado moldado depois do CCR;

As duas correntes técnicas que indicam:

- o uso de CVC , no paramento, executado simultaneamente com o CCR e ,
 - o uso do próprio CCR (dosado diferencialmente),
- são as linhas de tendência atuais mais usuais no presente.

De maneira conservadora a solução da Face em CVC tem variado quanto à dosagem do teor de aglomerante e quanto a espessura.

O uso de CCR como elemento de estanqueidade, com base em dosagens diferenciadas, atualmente tem crescido. Assim é que até 1990, com cerca de 77 barragens construídas, apenas 4 tinham adotado essa opção, ou seja ceca de 5%, até aquela oportunidade, e atualmente (levantamento até final de 1995) com 165 barragens a utilização passou para 10%.

Isso decorre do maior conhecimento sobre as propriedades de CCR, e a busca de economia.

Além da tendência observada nas obras executadas na Espanha essa opção tem sido adotada na China, sendo importante citar de [3]:

" 2.3- Upstream Face

For approving of impermeability os RCC dam, several kinds of anti-seepage structures were applied in practice. They are:

- *Asphalt mortar, aplied on Kengkou RCC dam;*
- *Expansive reinforced concrete, applied on Longmentan RCC dam;*
- *Precast concrete blocks bedding mortar and deeply pointed joint, applied on Shuidong RCC dam;*
- *Conventional concrete with 2 - 4m thickness, applied on Shuikou, Yantan, etc.*
- *Rich content of cementitious material with maximum aggregate size 40 mm within 6 to 2 m on upstream face, applied on Rongdi dam.*

Compare all these types the first two did not work very well, but the last one is more convenient to use 2 grade rich cementitious RCC, as RCC itself has high impermeability at least 10-6 to 10-10 m/s the problem is how to treat the surface of layers, if the technology of RCC approved good connection, no doubt the impermeability will be satisfied to the design specification"

3- CONCEITO BÁSICO

De maneira geral ao se conceituar o Projeto de uma barragem muito mais do que os parâmetros de resistência, a observância quanto a Durabilidade deve ter a sua importância. Essa condição é o que tem levado na maioria das barragens de concreto, em particular de concreto massa, o emprego de um zoneamento como se vê à Figura 3.1

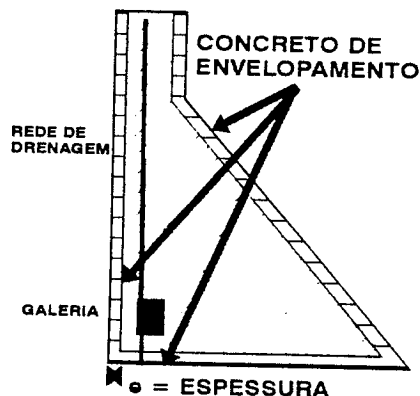
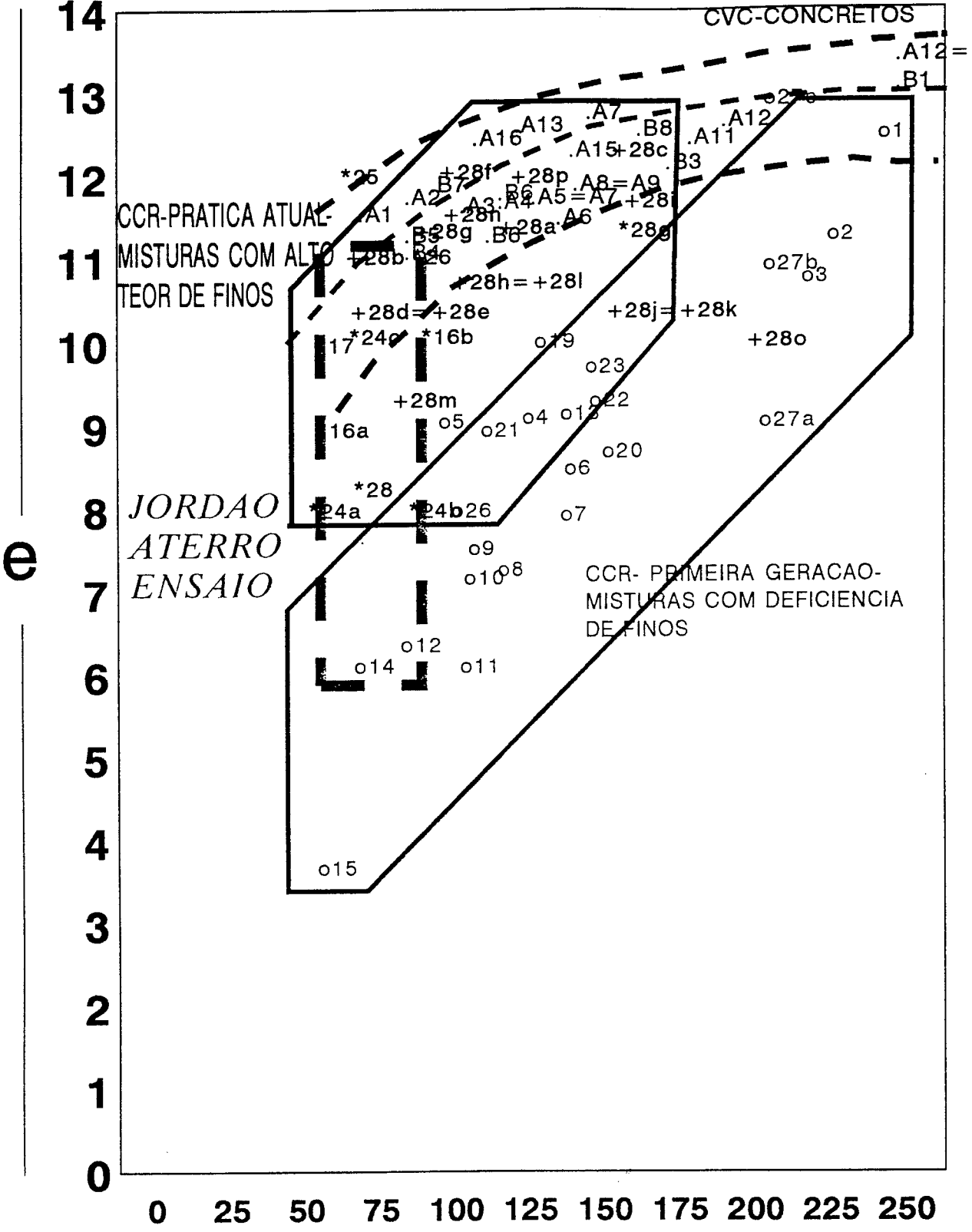


FIGURA 3.1- ZONEAMENTO ADOTADO EM VÁRIAS BARRAGENS BRASILEIRAS COM CONCRETO DE ESTANQUEIDADE À MONTANTE.

Os autores consideram que a utilização de uma membrana de estanqueidade, em concreto massa convencional levando em consideração a sua estanqueidade medida pela

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE $[(10^{-e})\text{m/s}]$



permeabilidade e a sua capacidade de deformação (capacidade de suportar as tensões térmicas), e que deve ser avaliada com base em ensaios, tem se revelado a mais atraente e a mais indicada, para as barragens de CCR.

Ao se dosar um concreto com estabilidade volumétrica, de baixa permeabilidade, e máxima densidade (menor índice de vazios) se obterá um concreto com maior "Durabilidade" que está caracterizada na capacidade de suportar os vários agentes que a solicitam, não apenas o mecânico.

Entretanto esses concretos, devem ter uma potencialidade de fissuração a mínima possível (máxima capacidade de alongamento), reduzindo a possibilidade de perder a estanqueidade por fissuras.

Além dos aspectos tecnológicos a Membrana da face deve ser de fácil execução, não trazendo complicações ao simples processo de execução do CCR.

Dessa maneira se estabelece a Segurança Funcional do Projeto com uma estrutura, com face impermeável, durável, com capacidade de suporte mecânico e elástico, segura e estável com condições drenantes devido à rede de drenagem.

4- PERMEABILIDADE DOS CONCRETOS

A Figura 4.1 [4] mostra um conjunto de valores de Coeficiente de Permeabilidade de obras e estudos de CCR, e de CVC, evidenciando a importância dos finos nas dosagens de CCR, que se adotou para a segunda geração de obras de CCR, praticamente, a partir do final da década de 80.

Os dados de CVC da Figura 4.1 referem-se a estudos da CESP (Ilha Solteira, Água Vermelha) [5] e de estudos no Laboratório da Itaipu Binacional (para as obras de Itaipu e Capanda) [6].

O Laboratório de Concreto de Furnas vem executando um amplo estudo sobre a permeabilidade dos concretos CCR e CVC, cujos valores de Coeficiente de Permeabilidade com consumos até 250 Kg/m³ são mostrados nas Figuras 4.2 e 4.3.

Pela figuras citadas pode-se notar:

- A incorporação de finos (pozolânicos ou não) reduziu a permeabilidade dos CCR de "segunda geração" ;
- O nível de permeabilidade dos CCR atuais, com a incorporação de finos, é análoga a dos CVC massa, para consumos equivalentes;

Salienta-se que a incorporação de finos torna-se mais vantajosa à medida que o "filler" utilizado tenha uma ação pozolânica. Com isso, além de reduzir a permeabilidade, pode-se reuzir o teor de aglomerante.

Das Figuras mostradas fica evidenciado que o aumento de consumo de aglomerante (cimento + material pozolânico) ou de cimento e adições, a partir de 150 Kg/m³ a redução da permeabilidade não é tão significativa tanto para o CVC como o CCR.

5- ESPESSURA DA FACE

No caso de paramentos de barragens, as espessuras de concreto que garantem a estanqueidade do núcleo eram adotadas, considerando a abertura de uma caçamba de 3m³ de concreto. Isso para sub-camadas de 0,5m de altura, resultavam em uma espessura (da face) de, aproximadamente, 2,5m. Isso é o que se observou para as barragens brasileiras em concreto massa (ver item 1), e as próprias barragens japonesas de CCR (ou RCD), independente da altura (respectiva carga hidrostática), tipo do concreto ou do período de exposição.

A busca de uma solução técnica- econômica, com segurança, fez com que se buscasse um critério mais próprio para a determinação da espessura. Assim é que a expressão de Bazant [8] :

$$e = (2 \cdot K \cdot H \cdot t/a)^{1/2}, \text{ onde:}$$

e= espessura (m);

K=Coeficiente de Permeabilidade (m/s);

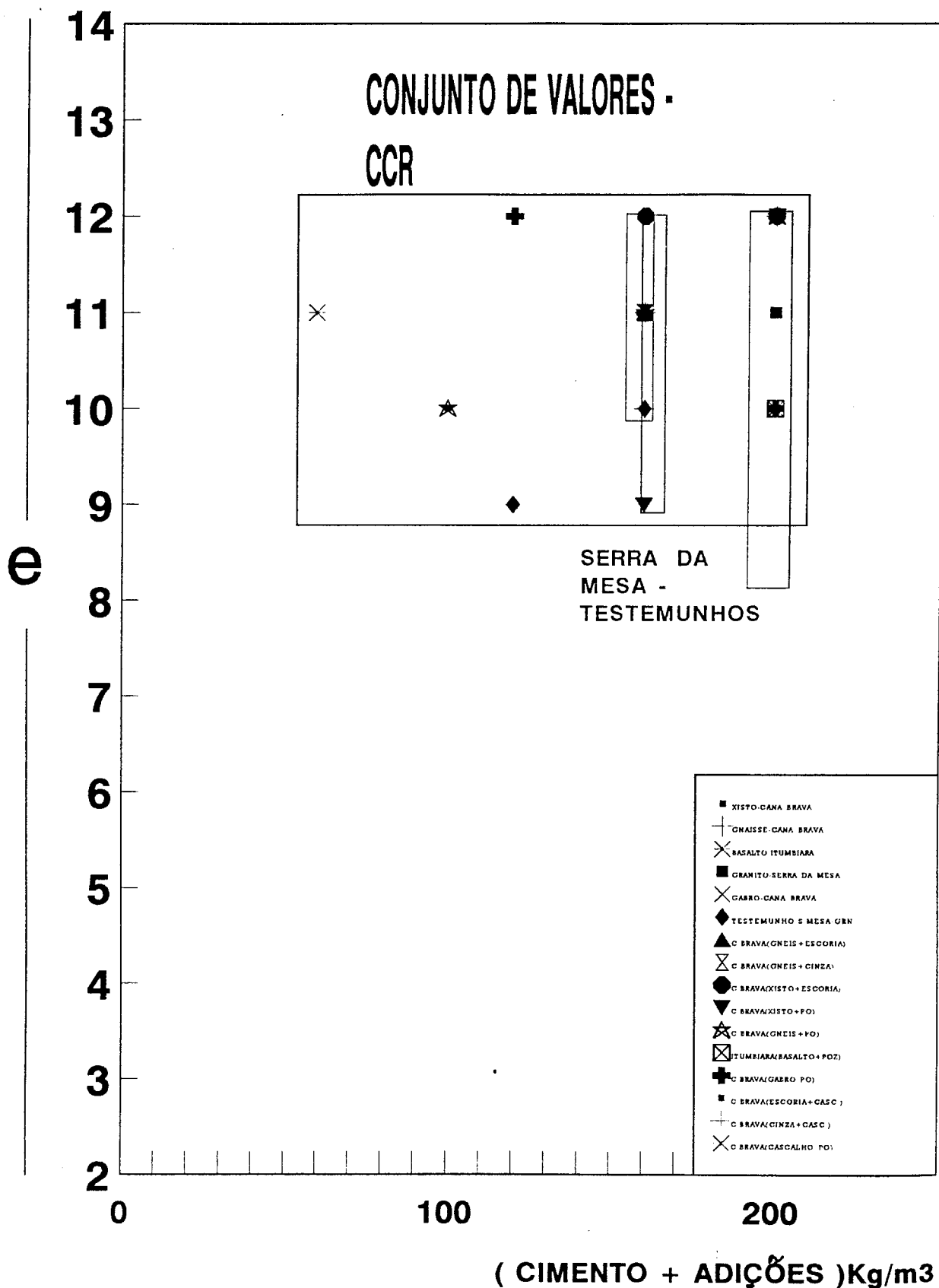
t= Período de exposição (s);

a= Absorção ou índice de vazios do concreto (%), tem sido sugerida [9] para auxiliar no dimensionamento da espessura da membrana da face.

Outra expressão que pode ser adotada, foi desenvolvida por Carlson [10] para permeabilidade ao redor de $5,66 \cdot 10^{-12}$ m/s, para uma barragem de 122m de altura da coluna d'água, e concreto com uma absorção de 5%:

$$D = (0,02574 \cdot T)^{1/2}, \text{ onde:}$$

COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE $[(10^{-e})\text{m/s}]$



COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE $[(10^{-e})\text{m/s}]$

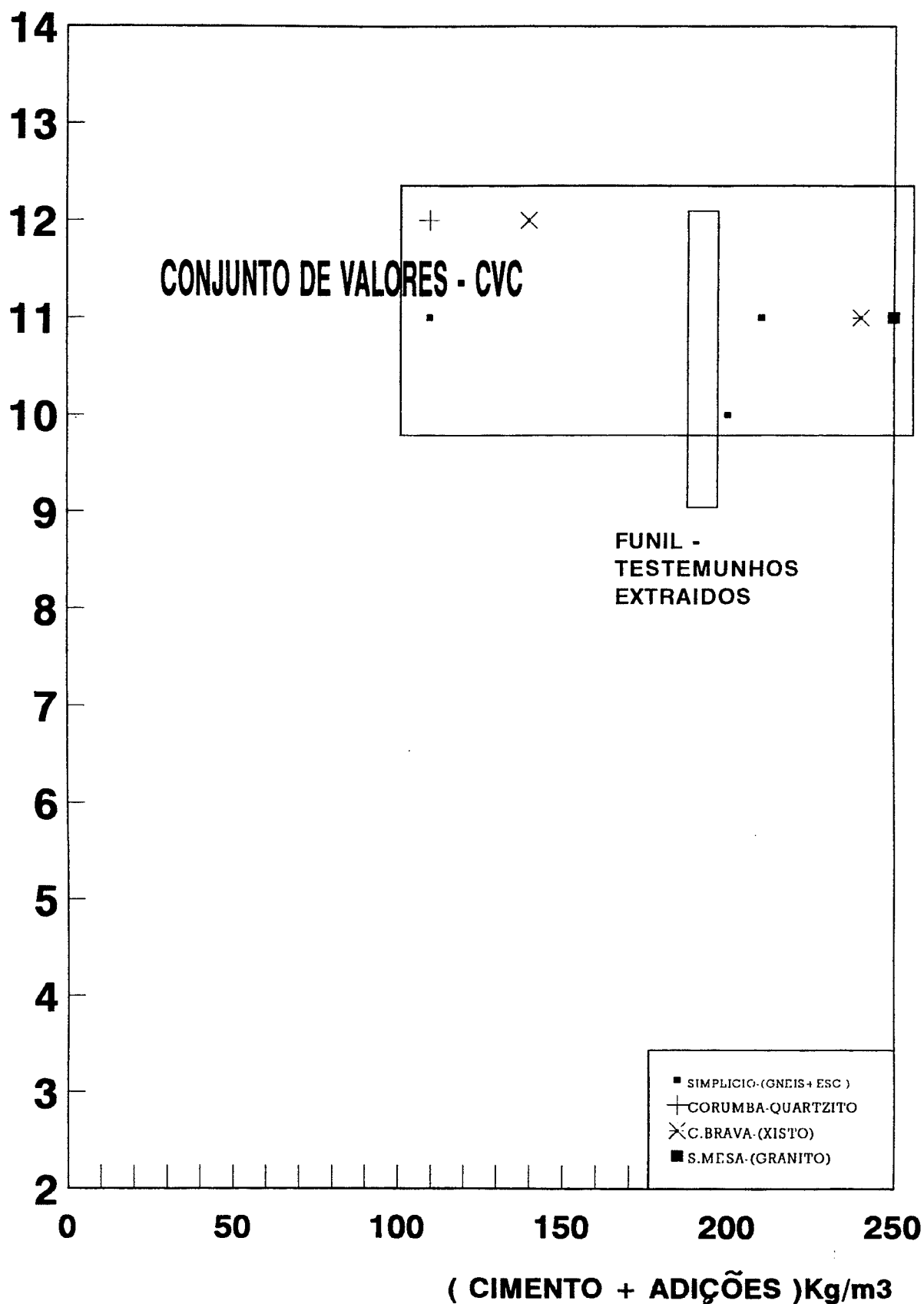


FIGURA 4.3- COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE DE OBRAS E ESTUDOS DE CVC [7].

D=Distância de penetração da água (m);
T= Tempo necessário para atingir a penetração D (dias).

Um questionamento poderia ser feito quanto a escolha do valor de T (ou t) das expressões. Para tanto poder-se-ia considerar que a percolação (ou seja o estabelecimento de um fluxo através dos poros permeáveis somente pudesse ocorrer após a estabilização das reações de hidratação do aglomerante da massa de concreto. Considerando como uma aproximação preliminar e uma correlação um pouco grosseira que as resistências dos concretos tem mostrado evolução sensível até 10 a 15 anos, seria plausível adotar um "T" entre 10 e 20 anos, para calcular a espessura da membrana (Figura 5.1).

Assim é que pela Figura 5.1 pode-se avaliar a espessura "e" por Bazant, ou "D" por Carlson.

Uma outra condicionante a ser considerada é quanto ao aspecto térmico, resultante do tipo de concreto adotado para a face (teor e tipo de cimento) espessura e condições térmicas de lançamento.

Como citado no item 4, o benefício de se aumentar o teor de material cimentício acima de 150 Kg/m³ é discutível. A dosagem do concreto de Face a ser utilizado contemplaria teores de material cimentício ao redor desse valor e resultaria em um ponto de debate técnico para a opção.

Os autores recomendam que a adoção dessas soluções seja feita com base em ensaios de permeabilidade e capacidade de alongamento, (considerando as variáveis de cimento, materiais pozolânicos, adição de finos, D max dos agregados), realizados com a adequada antecedência ao início da obra.

A nova geração de dosagens de CCR, com a incorporação de grandes quantidades de finos mostram também a validade da nova tendência, adotada pelos chineses e espanhóis para a adoção do CCR com dosagem diferenciada, para a conformação da Membrana de Estanqueidade.

ESPESSURA DA MEMBRANA DE ESTANQUEIDADE

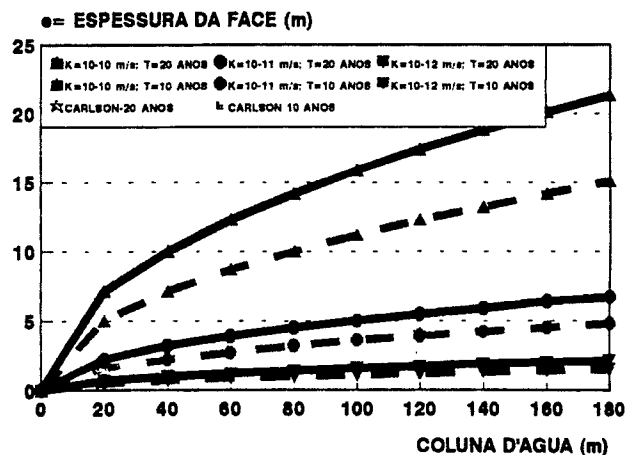


FIGURA 5.1- ESPESSURAS PARA A MEMBRANA DE ESTANQUEIDADE

6- SUGESTÕES

Com base nos ensaios de permeabilidade pode-se sugerir o dimensionamento da espessura da Membrana de Estanqueidade das Barragens em Concreto Massa ou de CCR, chamando-se a atenção para:

- a minimização do teor de aglomerante para se ter um concreto volumetricamente estável;
- a compatibilização dessas espessuras com o aspecto térmico, através de um estudo que avalie a necessidade ou não de precauções de controle de temperatura desse concreto de Face;
- a otimização do teor de finos (pozolânicos ou não, porém preferivelmente pozolânico) não coesivos na mistura;
- a busca de facilidades construtivas que minimizem erros e/ou falhas;
- a busca de economia com segurança e qualidade.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]- Sarkaria, G.S.; Andriolo, F.R.- "Special Factors in Design of High RCC Gravity Dams"- International Water Power & Dam Construction- April/1995;
- [2]- "RCC Dams (>15 m) - International water power & Dam Construction- 1995;

- [3]- Shen Chonggang- **"New Technical Progress of RCC Dam Construction in China"**- G. Report on -International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander- Spain- October-1995;
- [4]- Andriolò, F.R.- **" RCC Properties"**- International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams- Santander- Spain- October-1995;
- [5]- Andriolo, F.R.; Sgarboza, B.C.-**"Concretos Para a Obra de Agua Vermelha"**- CESP- Agosto/ 1974
- [6]-Braga,J.A.; Zanella, M.R.; Zaleski J. M. ; Andriolo F.R.- **"Uso do Concreto Rolado-Projeto Capanda (ANGOLA) - Ensaio Especiais"**- XIX Seminário Nacional de Grandes Barragens- Aracaju- 1991
- [7]- Equipe deFURNAS - Laboratório de Concreto- **"Concreto Massa, estrutural, Compactado com Rolo, Projetado- Ensaio e Propriedades"**- Livro em fase de Edição
- [8]- Bazant, Z. P.- **"Pore Pressure, Uplift and Failure Analysis of Concrete Dams- Criteria and Assumptions for Numerical Analysis of Dams"**- Swansea, Ed. D. J. Naylor, K. g. Stagg, O. C. Zienkiewicz- Setembro 1975 ;
- [9]- Andriolo, F.R.- **"Contribuições para Conhecimento e Desenvolvimento do Concreto Rolado"** - Editora Graphos- 1989;
- [10]- Carlson, R. W.- **"Permeability, Pore Pressure and Uplift in Gravity Dams"**- Berkeley- USA ASTM- 1955