

15



**INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO**

**REUNIÃO DE 1983**

São Paulo, 27 de junho a 2 de julho

**Colóquio Sobre Concreto Massa**

CONCRETOS EM PARAMENTOS HIDRÁULICOS

**T18**

Engº Francisco R. Andriolo (\*)

(\*) THEMAG Engenharia Ltda.

## CONCRETOS EM PARAMENTOS HIDRÁULICOS

Eng<sup>o</sup> Francisco Rodrigues Andriolo (\*)

### RESUMO

Uma das preocupações quanto a integridade das estruturas de barramentos hidráulicos é a ocorrência de fissuras em seu paramento.

Várias dessas fissuras podem decorrer do comportamento térmico do concreto. Esse comportamento térmico está, entre outros fatores, intimamente ligado ao consumo de aglomerante do concreto utilizado para a construção da estrutura.

Uma das maneiras de evitar o aparecimento das fissuras é minimizar o consumo de aglomerantes. Isso tem sido uma das principais buscas da Tecnologia do concreto, na atualidade.

O trabalho, apresentado, procura estabelecer uma discussão sobre as condições de uso de classes de concreto nos paramentos de estruturas de barramentos hidráulicos, com intuito de minimizar o surgimento de fissuras, mantendo a integridade e segurança da estrutura.

(\*) THEMAG - Engenharia Ltda.

## 1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVO

Um dos fenômenos mais preocupantes em estruturas hidráulicas, principalmente nos barramentos de concreto, é o aparecimento de fissuras.

Essas fissuras, além de causar danos como vazamentos, corrosão de armaduras, provocam transtornos indesejáveis.

Grande parte dessas fissuras é inerente ao histórico térmico do concreto, decorrente da reação exotérmica de hidratação, e que por sua vez está ligada ao consumo de aglomerante do concreto.

É, então, de suma importância a escolha das classes de concreto para as diversas regiões da estrutura.

Este trabalho procura discutir os critérios para escolha dos tipos de concretos para os paramentos hidráulicos, não incluindo, entretanto, nesta oportunidade, os paramentos destinados a escoamento hidráulico (superfícies de adução, sucção ou vertentes), sob alta velocidade.

Através dessa discussão procura-se sugerir a adequação da tipologia do concreto às necessidades de uso e de solicitação da estrutura, dentro dos limites econômicos, seguro e duráveis.

## 2 CRITÉRIOS

É importante lembrar que de uma maneira geral, as especificações técnicas ainda em uso nas obras do Brasil foram, e são, fundamentadas em especificações européias e, principalmente, norte-americanas. Considerando isto, é conveniente que seja feita uma análise procurando observar os conceitos e critérios adotados nas situações de origem.

Sobre esse aspecto é valiosa a colaboração do documento [1] "Investigation of Maximum Allowable Water - Cement Ratios for Mass Concrete", emitido pelo U.S. Army Engineer - Waterways Experiment Station - Corps of Engineers, contendo informações que serão citadas neste texto.

Estas informações são resultantes de pesquisa bibliográfica complementada por ensaios de Laboratório. Da pesquisa bibliográfica efetuada, as principais observações são:

(Traduzido livre do original)... "O Corps of Engineers Standard Practice for Concrete indica que o máximo fator a/c permitido para as seções massa é de 6,5 gal/bag (0,58 em peso) para o concreto externo e de 9,0 gal/bag (0,80 em peso) para o concreto interno,...

... Testes de exposição de concreto para ciclagem ao tempo feitos em Treat Island Maine mostraram, através de observações visuais, que concretos com fator a/c superior a 0,58, apresentam grande resistência à ação de gelo-degelo e que outras experiências de Laboratório feitas para determinar a resistência e a permeabilidade de concretos massa para núcleos, mostraram em muitos casos, que mesmo fatores a/c superiores a 0,8 proporcionam concretos de baixa permeabilidade e alta resistência...

... A fixação desses limites (0,80 para o núcleo e 0,58 para paramentos) foi baseada na experiência ganha antes do uso generalizado de incorporação de ar e de material pozolânico. Estes limites estão relacionados com o extenso trabalho executado para a Barragem de Hoover, quando a permeabilidade mostrou um acréscimo inaceitável para misturas com a/c superiores a 0,80. Trabalhos recentes, entretanto, indicam que concretos que são aparentemente duráveis para uso em paramentos podem ser produzidos com a/c de 0,8. Outros trabalhos indicam que resistência de  $140 \text{ kgf/cm}^2$ , para concretos de estruturas tipo gravidade, podem ser atingidas com a/c superior a 0,80...

... O Bureau of Reclamation estabelece que seus projetos normalmente são feitos com base na resistência à compressão.

Notando entretanto, que ...

... um limite é imposto para as relações água-cimento e/ou água-cimento mais pozolana. Não há uma relação pré-estabelecida entre a resistência de projeto e a máxima relação água-cimento especificada, mas é o fator água/cimento usado que assegura a obediência à resistência de projeto e este tem sido sintomaticamente menor que o especificado. Um controle suplementar é imposto ao controle de qualidade do concreto requerendo-se adicionalmente outros ensaios para as propriedades físicas, como para o agregado, que usado no concreto ..., resiste pelo menos 500 ciclos de gelo-degelo ...

... As últimas especificações do T.V.A. (Tennessee Valley Authority) têm omitido todas as referências ao fator a/c, e o concreto é classificado em termos de resistência e diâmetro máximo do agregado com limitações de tolerâncias das variações na resistência e trabalhabilidade. Do ponto de vista do controle do concreto, sentiu-se que a ênfase dada ao fator a/c era imprópria, e quase sempre levando a errôneas tomadas de posição na produção do concreto. O uso do fator 2/c para compensar variações dos materiais e das condições de lançamento pode ser muito prejudicial para uma estrutura hidráulica. Por esta razão, e pela imprecisão associada ao termo quando do uso de materiais pozolânicos, as especificações atuais do T.V.A. são baseadas nos resultados da produção de concreto, e não em modo particular de se obter esses resultados ...

... A Hydroelectric Power Commission of Ontario relata que nas construções no período da guerra e do pós-guerra (1940 - 1950) ...

... o controle de qualidade foi baseado principalmente em uma ampla margem de resistência; o fator a/c, não era fixado. Então, em algumas barragens o fator a/c dos concretos de paramentos superam 0.70 e algumas vezes, excedendo até 0,80 ...

... Entretanto, examinando-se os resultados observa-se que, se o limite de  $50 K_c^*$  é considerado para um concreto praticamente impermeável, as misturas à idade de 365 dias podem ser dadas como aprovadas, exceto a mistura 6, com fator a/c = 1,1 e somente com cimento portland.

... Um concreto deve ter suficiente trabalhabilidade para ser possível compactá-lo, econômica e adequadamente, na estrutura em que está sendo usado e o menor teor de cimento possível deve ser usado com intuito de minimizar a evolução de temperatura, causada pela hidratação do cimento. O concreto, após endurecido, deve ter suficiente resistência, estanqueidade, durabilidade volumétrica para desempenhar as funções desejadas. A estabilidade volumétrica pode ser assegurada pelo uso de um critério apropriado na seleção e uso de agregados de modo que não sejam adversamente afetados por reações físicas ou químicas durante as solicitações e pela atuação do sistema de vazios (de ar) na pasta de cimento, suficiente para torná-lo invulnerável à ação gelo-degelo. Adequada resistência e estanqueidade podem ser asseguradas pelo uso de um máximo fator a/c escolhido ...

... Então, o fator controlador que afeta a "qualidade" do ponto de vista de escolha na dosagem do concreto é a relação a/c ...

... A literatura consultada revela que fatores a/c maior

$$(*) K_c = PE^3/S/PE^2/PE/PE \text{ COLUNA} \times 10^{12}$$

res que aqueles normalmente especificados tem sido usados em alguns casos. Entretanto, é difícil avaliar os efeitos de fatores a/c elevados, por si sô, desde que uma vez que as pessoas envolvidas não estavam interessadas especificamente nesse aspecto, ou não registraram os valores exatos dos fatores a/c das misturas usadas. Comunicações internas de várias organizações responsáveis pela aplicação de grande parte do concreto massa na América do Norte indicam que essas organizações não consideram os limites especificados como um dogma. Ao contrário, procuram dar idéia de ter a importância em alcançar certos níveis de desempenho, ou seja durabilidade, resistência, etc, em lugar de manter as misturas dentro dos limites especificados. ...

... para o concreto de paramentos, a durabilidade deve ser considerada juntamente com a resistência e a permeabilidade... Os dados de permeabilidade ...

... indicam que um concreto suficientemente estanque pode ser dosado com a/c até 1,00; todos os resultados de ensaios a idade de 365 dias, exceto aqueles para a mistura 6 (a/c = 1,10 - e somente cimento portland) estão dentro da faixa requerida para a estanqueidade. Uma resistência a compressão de 140 kgf/cm<sup>2</sup> é considerada como mínima para estruturas em concreto massa ...

... Muitas das principais entidades de construção de barragens, responsáveis por grande parte do concreto massa utilizado no continente tem indicado que os valores limites para os fatores a/c especificados (0,80 para o concreto de núcleo e 0,58 para o paramento) podem ser ultrapassados, por uma mistura bem dosada com materiais de qualidade, e ainda resultar em um concreto suficientemente resistente, impermeável, e durável, para uso variado.

Concreto com a/c superior ao especificado tem sido usa-

do em casos isolados, nos Estados Unidos e fora dele, com aparente sucesso ...

... Baseado nos resultados das investigações citadas anteriormente, onde se usou somente agregados calcários, pode-se concluir que é praticamente possível dosar o concreto massa com diâmetro máximo de 152 mm (com ou sem pozolana) com a/c até 1,10 em peso em condições semelhantes de consolidação àqueles com a/c dentro dos limites atualmente especificados. Concreto massa com a/c = 1,0 aparentemente possui suficiente resistência e impermeabilidade para ser usado nas seções massa de estruturas de concreto ..."

De [2] - "Engineering and Design Standard Practice for Concrete" - Department of the Army - pode-se observar:

"Máximos fatores a/c permitidos				
Localização da Estrutura	Fatores a/c gal/bag (kg/kg)			
	Clima Severo ou Moderado		Clima Suave Pouca Neve ou Gelo	
	Seções Delgadas	Seções Massa	Seções Delgadas	Seções Massa
ao nível d'água em estruturas hidráulicas ou de barramento onde saturação; intermitente é possível (incluindo paramento de montante ou de jusante onde há condições de transbordamento, e superfícies expostas de eclusas	5.5 (0.49)	6.0 (0.53)	6.0 (0.53)	6.5 (0.58)



De [ 3 ] "Concrete Manual - Bureau of Reclamation - pode-se extrair, semelhantemente, ao citado anteriormente:

"Fatores água/cimento para Concreto

Tipo ou localização da estrutura e grau de exposição	Fator a/c em Peso	
	Clima severo, grande faixa de temperatura, longos períodos de gelo-degelo ou gelo-degelo frequente	Clima suave, chuvoso, ou árido, rara neve e gelo
A Concreto em partes submetidos a condições severas. Partes de barragens, vertedouros, aduções, canais, etc...	0,45 $\pm$ 0,02	0,55 $\pm$ 0,02
B Concreto em partes submetidos a condições menos severas que A exteriores de concreto massa, etc...	0,50 $\pm$ 0,02	0,55 $\pm$ 0,02
C Concreto em estruturas a serem cobertas por enchimento, ou para ser continuamente submersa	0,58 $\pm$ 0,02	0,58 $\pm$ 0,02

Deve-se salientar que as especificações Norte Americanas evidenciam grande preocupação através do critério de durabilidade, especificamente, com vista a ação de gelo e degelo (Freezing and Thawing), sendo considerada mesmo na situação mais branda (Mild Climate) o valor máximo de A/C = 0,58.

As informações da publicação [1], por outro lado, mostram razoável segurança em se permitir elevar o fator A/C para as regiões exteriores de obras em concreto mas sa e isso ficou evidenciado, pelas considerações de que:

- os baixos valores de permeabilidade para concretos com A/C até 1,0, permitem considerar o concreto "são".

Para ilustrar ainda mais a associação do critério de durabilidade à permeabilidade pode-se citar [4] "ESPECIFICAÇÃO GERAL PARA CONCRETO - USINA DE ILHA SOLTEIRA".

"2.5 - Requisitos quanto ao grau de impermeabilidade.

De acordo com as hipóteses do projeto serão assinalados nos desenhos executivos os locais onde será aplicado um concreto de maior ou menor grau de impermeabilidade. Assim, do ponto de vista de impermeabilidade distinguir-se-ão dois tipos de concreto:

Tabela nº 4

Grau de Impermeabilidade	Limites (cm/s)
a - com requisito de impermeabilidade	$K \leq 10^{-9}$
B - sem requisito de impermeabilidade	$K \geq 10^{-9}$
Nenhum concreto, salvo o poroso, poderá ter $K > 10^{-7}$	

Os valores de K indicados referem-se a uma idade não inferior a 180 dias

O concreto  $\alpha$  com alto grau de impermeabilidade será aplicado nas estruturas cujas faces ficarão em contanto permanente com água e sujeitas a gradientes hidráulicos apreciáveis (constantes ou variáveis).

O concreto  $\beta$  com baixo grau de impermeabilidade será aplicado nas faces ou nos interiores de estruturas permanentemente submersas ou não, e sem gradientes hidráulicos apreciáveis.

Para os concretos  $\alpha$ , a espessura mínima a partir da face considerada será de 2,00 metros".

Observa-se, então que para essa obra as especificações previam uma diferenciação entre o concreto de interiores e o de exteriores (paramentos) com base no valor da permeabilidade.

### 3

#### VALORES DE ENSAIOS

Durante os anos 70 a 74 o Laboratório de Concreto da CESP em Ilha Solteira efetuou uma ampla e profunda campanha de estudos e ensaios de permeabilidade visando esclarecer e dar suporte experimental ao critério. Dos estudos e ensaios pode-se resumir o conjunto de valores apresentados no documento 5 "CONCRETOS PARA A OBRA DA USINA DE ÁGUA VERMELHA" - CESP - AGOSTO/73, mostrando:

DOSAGEM	$\phi_{m\bar{a}x}$ (mm)	ÁGUA	PERMEABILIDADE
		CIMENTO (EQ)	BUREAU (cm/s)
AV.01	19	0.60	$0.23 \times 10^{-10}$
AV.02	19	0.50	$0.05 \times 10^{-10}$
AV.03	38	0.60	$0.23 \times 10^{-10}$
AV.05	38	0.60	$0.29 \times 10^{-10}$
AV.06	76	0.55	$1.00 \times 10^{-10}$
AV.06	76	0.70	$1.00 \times 10^{-10}$
AV.06	76	0.85	$1.00 \times 10^{-10}$
AV.08	76	0.55	$1.20 \times 10^{-10}$
AV.08	76	0.70	$1.00 \times 10^{-10}$
AV.08	76	0.85	$0.90 \times 10^{-10}$
AV.12	152	0.55	$0.45 \times 10^{-10}$
AV.12	152	0.70	$1.40 \times 10^{-10}$
AV.12	152	0.85	$1.50 \times 10^{-10}$

Pelos valores obtidos nota-se que mesmo a mistura AV-12, com  $\phi$  máx. 152 mm, com fator água/cimento (eq) = 0,85, com um consumo de  $67,6 \text{ kg/m}^3$  de cimento e  $22,7 \text{ kg/m}^3$  de pozolana, apresentou-se dentro do limite considerado "impermeável" ( $K \leq 10^{-9} \text{ cm/s}$ ).

Há de se considerar, adicionalmente, que com o desenvolvimento da técnica de uso da incorporação de ar, bem como dos materiais pozolânicos, praticamente os concretos massa com fatores A/C menores que 1,0 enquadram na faixa de "impermeáveis" (ver referência [1]).

É importante lembrar ainda que um dos pontos vulneráveis, sob aspecto de permeabilidade, de uma estrutura é a junta de construção. Analisando sob esse prisma é interessante citar uma pesquisa desenvolvida em Itaipu,

pela Divisão de Controle de Concreto, com respeito à permeabilidade na direção do plano da junta de construção, realizada com ensaios sobre testemunhos extraídos da Estrutura de Controle de Desvio, e reportada no [6] [7] "RELATÓRIOS C-24/78 - EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHO NAS JUNTAS DE CONCRETAGEM" e "RE-02/79 - IIIº RESUMO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO" - ITAIPU BINACIONAL, onde se observa:

... "Os valores de permeabilidade para concreto com  $\phi$  máx. 152 mm mostraram-se bastante próximos dos valores encontrados nos estudos para a Obra de Água Vermelha, para  $\phi$  máx. 152 e 76 mm ( $K \approx 10^{-9}$  cm/seg)...

... A fim de se avaliar a permeabilidade do concreto massa classe A - 140 - f (Nota 1) foram executados ensaios com corpos de prova moldados na Central de Concreto...

... Ainda, para se avaliar a permeabilidade das juntas de construção, foram executados ensaios em testemunhos extraídos...

... Os resultados obtidos são fornecidos abaixo:

MISTURA	LOCAL DE MOLDAGEM	PERMEABILIDADE K (cm/seg)	PENETRAÇÃO (cm)	IDADE (dias)
152 E 01	Central de concreto	$11,6 \times 10^{-10}$	11.5	180
152 E 01	Central de concreto	$7,5 \times 10^{-11}$	8.8	180
152E01/152E01	Extração de junta	$5,3 \times 10^{-11}$	6.3	150
152E01/152E01	Extração de junta	$5,2 \times 10^{-11}$	10.3	150
152E01/152F01	Extração de junta	$2,2 \times 10^{-9}$	-	180
152E01/152F01	Extração de junta	$3,2 \times 10^{-9}$	-	180
152E01/152F02	Extração de junta	$6,7 \times 10^{-9}$	10,8	180

Pode-se notar pelos valores encontrados, tratar-se de concretos normalmente considerados impermeáveis, chamam

do-se atenção, principalmente, para os baixos coeficientes de permeabilidade apresentados pelas juntas de construção..."

NOTA 1: Os ensaios foram efetuados sobre concretos da classe A-140-f, que corresponde a  $\emptyset$  máx. 152mm, com  $f_{ck} = 140 \text{ kgf/cm}^2$  aos 365 dias, com as misturas 152E01 e 152F01, com  $\emptyset$  máx. 152 mm e consumos de:

152E01 -  $109 \text{ kg/m}^3$  CIMENTO e  $31 \text{ kg/m}^3$  FLY-ASH  
 152F01 -  $100 \text{ kg/m}^3$  CIMENTO e  $29 \text{ kg/m}^3$  FLY-ASH

É de se notar, portanto, que mesmo tendo sido considerado o critério de durabilidade adotado para regiões com climas mais severos (ação de gelo-degelo), que os normalmente observados no Brasil, os valores obtidos para os concretos massa enquandram-se no critério de durabilidade, (para paramentos) mesmo com fatores A/C superiores a 0,58, confirmando mais uma vez a pesquisa citada em [1].

Por outro lado o uso de concretos com fatores A/C menores que os desejáveis e adequados para os diversos locais das estruturas, proporciona indesejáveis problemas térmicos, decorrente do uso indevido de um teor maior de aglomerante.

Sob esse aspecto é interessante utilizar as informações contidas em [8].

"Parâmetros de Concretos Destinados à Fundação de Obras em Concreto Massa" - IBRACON - 1982 onde se observa:

... Pelos valores da ... .. nota-se que as evoluções unitárias de temperatura não apresentam diferenças significativas, para os diversos diâmetros máximos dos agregados nos concretos. Os valores de  $l_u$  28 dias esti-

veram entre 0,13 e 0,14 °C/Kg/m<sup>3</sup>, para os diversos diâmetros máximos de concretos estudados ...

Dessa forma, considerando um valor médio de 0,135 °C/kg/m<sup>3</sup> para a evolução unitária de temperatura ( $\ell_u$ ) tem-se para exemplificar, a cada 10 kg/m<sup>3</sup> de incremento do teor de aglomerante de uma mistura, um respectivo aumento de 1,35 °C em sua elevação de temperatura, o que corresponde posteriormente, quando da estabilização térmica um decrescimo de 1,35 °C na temperatura.

Esse gradiente de temperatura implica em uma solicitação à tração no concreto ao equivalente a aproximadamente 4 kgf/cm<sup>2</sup> (para um Módulo de Elasticidade de 300.000 kgf/cm<sup>2</sup> e coeficiente de expansão térmica de 10<sup>-5</sup>/°C). Isso torna-se preocupante a medida que o aumento da resistência do concreto à tração é razoavelmente limitado.

Dessa forma, sob o aspecto de permeabilidade e estanqueidade do concreto há um prejuízo significativo pois o concreto torna-se potencialmente fissurável, devido às condições de geração térmica, pelo aumento do aglomerante.

## 4

## SUGESTÕES E COMENTÁRIOS

Mesmo levando em consideração que o critério de durabilidade - permeabilidade vem sendo atendido por concretos massa, com fatores A/C superiores a 0,58 é aconselhável procurar adaptar esse conceito às condições reais do local da obra, com base nos desenvolvimentos técnicos e da tecnologia dos materiais. Como exemplo, cita-se a compatibilidade desse critério às características climáticas da região e às propriedades termoelásticas e mecânicas do concreto, pois de nada valeria ter-se um concreto "durável", com fissuras decorrentes de eventual estado térmico de tensões. Essa adaptação é que o T.V.A. sugere, de certo modo no documento [1].

Dessa forma sugere-se que a escolha das classes dos concretos para os diversos locais e tipos de estruturas se ja feita com base nas propriedades e valores efetivamente solicitantes nesses locais e estruturas, e não nas eventuais correlações com fatores A/C, ou outras correlações de validade duvidosa ou superada.



## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - Investigation of Maximum Allowable Water - Cement Ratios for Mass Concrete - Corps of Engineers - U.S.A. - 1967.
- [2] - Engineering and Design Standard Practice for Concrete - Department of the Army - Office of the Chief of Engineers - Washington - DC.
- [3] - "Concrete Manual" - Bureau of Reclamation - USA.
- [4] - Especificação Geral para Concreto - Usina de Ilha Solteira - CESP - THEMAG.
- [5] - Concretos para a Obra da Usina de Água Vermelha - CESP - Agosto/1974 - Francisco Rodrigues Andriolo - Bento Carlos Sgarboza.
- [6] - Relatório C-24/78 - Extração de Testemunhos nas Juntas de Concretagem - Itaipu Binacional - 1978.
- [7] - Relatório RE-02/79 - IIIº Resumo do Controle Tecnológico do Concreto - Itaipu Binacional - 1979.
- [8] - Parâmetros de Concretos Destinados à Fundação de Obras em Concreto Massa - IBRACON - 1982 - Francisco Rodrigues Andriolo - Luércio Scandiuzzi.