

Diagnóstico de Previsão da Degradação de Estruturas de Concreto Devido a Reação Álcali-Agregado na UHE Mascarenhas

P. H. Pedrozo, LACTEC; J. A. Sava, ESCELSA; A. C. Cruzeiro, ESCELSA; L. A. Lacerda, LACTEC; V. Paulon, Unicanp/LACTEC; A. F. Sabbag, UFPR/LACTEC; R. Carrazedo, UFPR/LACTEC

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados referente ao primeiro ciclo 2001/2002 do projeto Diagnóstico de Previsão da Degradação de Estruturas de Concreto Devido a Reação Álcali-Agregado realizado pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC apresentado a Espírito Santo Centrais Elétricas S. A. - ESCELSA. Foram realizados ensaios de laboratório com corpos de prova extraídos da barragem de UHE Mascarenhas, Rio Doce, para verificação da existência de Reação Álcali-Agregado. Foi desenvolvida uma metodologia para medir as expansões dos cp's simulando-se a pior situação no concreto, ou seja, os cp's foram imersos em solução de NaOH, água deionizada e estufa, todos a 80°C. Além deste ensaio também foram realizados ensaios de compressão simples e módulo de elasticidade para verificação das condições físicas do concreto.

PALAVRAS-CHAVE

Barragem, Ensaio de laboratório, Modelagem, Reação álcali-agregado.

I. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta uma metodologia para avaliação da existência de reação álcali-agregado em uma barragem de concreto. Será desenvolvido modelo matemático de expansão do concreto, para previsão do comportamento de fissuras devido à reação álcali-agregado, em função da instrumentação e validação deste modelo com dados de laboratório. Este trabalho contemplará somente os resultados obtidos em laboratório, visto que os dados para obtenção do modelo matemático encontram-se em fase de obtenção.

A reação álcali-agregado se manifesta em estruturas de concreto quando os álcalis presentes nas soluções de poros da pasta do concreto reagem com alguns componentes mineralógicos dos agregados, formando compostos expansivos que causam fissuração e, conseqüentemente, influenciam a durabilidade das estruturas.

As barragens de concreto estão mais suscetíveis à reação álcali-agregado por serem constituídas por uma grande massa de concreto submetida constantemente à ação da água, que é o principal catalisador desta reação.

Segundo SILVEIRA (1996) as principais evidências que apontam para a existência de RAA em estruturas de concreto são:

- Fissuras orientadas em forma de mapa;
- Eflorescência e exsudação de gel;
- Descoloração do concreto;

- Agregados graúdos com bordas de reação;
- Poros do concreto preenchidos total ou parcialmente esbranquiçado com composição do gel;
- Microfissuração da argamassa com preenchimento de material branco.

II. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Através da visita realizada pela coordenadora do projeto, Patrícia H. Pedrozo, e pelos consultores do assunto sobre Reação Álcali-Agregado, Professor Vladimir Paulon e João Francisco Silveira, à barragem em estudo, definiram-se 04 pontos para inserção dos equipamentos (extensômetros múltiplos), os quais foram locados na galeria de inspeção da barragem e foram identificados com a inicial "E". Os mesmos furos executados para instalar os instrumentos de monitoramento da expansão volumétrica do concreto foram utilizados para a retirada de testemunhos de concreto para realização dos ensaios de laboratório a fim de fornecer os dados necessários para a modelagem matemática e comparação com as leituras realizadas na UHE Mascarenhas. Além destes 04 furos realizados na galeria de inspeção da barragem, também foram realizados outros 05 furos com uma pequena extratora de concreto, com profundidades entre 1,0 e 1,5 m, na galeria de drenagem, identificados com a inicial "F", conforme figura 1.



FIGURA 1 - Extração de corpos de prova.

A. Preparação dos Corpos de Prova

Com a chegada dos corpos de prova extraídos da barragem deu-se início à preparação destes para realização dos ensaios de laboratório.

Primeiramente os corpos de prova foram separados e identificados conforme o furo de sondagem e a profundidade da amostra. A figura 2 mostra as caixas com os corpos de prova e a marcação nos mesmos.



FIGURA 2 - Corpos de prova extraídos e marcação dos mesmos.

Depois de identificados os corpos de prova foram serrados com disco de diamante com 11 e 15 cm de comprimento, e retificados para tornar as superfícies serradas planas e paralelas.

B. Ensaio de Reatividade através do Método de Imersão em Solução de Hidróxido De Sódio (NaOH), Água Deionizada e Estufa todos a 80°C.

Este ensaio teve como objetivo verificar a potencialidade reativa do concreto, através dos corpos de prova retirados da barragem, com relação à reação álcali-agregado, levando em consideração a situação péssima de agressividade de exposição destes corpos de prova, ou seja, os cp's foram imersos em solução de hidróxido de sódio (NaOH na concentração de 1N) e água deionizada, em recipientes apropriados dentro de uma "banheira" com água a 80 °C (fig. 3), e em estufa também a 80°C.



FIGURA 3 - Corpos de prova imersos em solução de NaOH, água e estufa a temperatura de 80°C

Foram utilizados para este ensaio 29 corpos de prova retirados da galeria de inspeção e 15 cp's retirados da galeria de drenagem da barragem.

Realizou-se as medidas iniciais dos corpos de prova através de micrômetro com leitura digital de 3 casas decimais (fig. 4), em suporte especial para apoio dos cp's afim de mantê-los sempre na mesma posição de leitura (fig. 5).



FIGURA 4 - Micrômetro adaptado com leitura digital.



FIGURA 5 - Leitura inicial do cp em suporte especial.

As medições foram realizadas periodicamente com leituras diárias no primeiro mês e semanais a partir do segundo mês. Os valores obtidos no ensaio através do micrômetro digital foram transportados para uma planilha especial, para obtenção dos resultados e gráficos das expansões (fig. 6). A nomenclatura dada aos cp's, como, por exemplo, E2 2-3 c2, significa que este é um cp do furo 02 (E2 - retirados da galeria de inspeção), esta compreendido entre 2 e 3 metros de profundidade (2-3) e é o segundo cp desta profundidade (c2). A nomenclatura dada aos cp's como F 01 a F 05, identifica os cp's que foram retirados da galeria de drenagem.

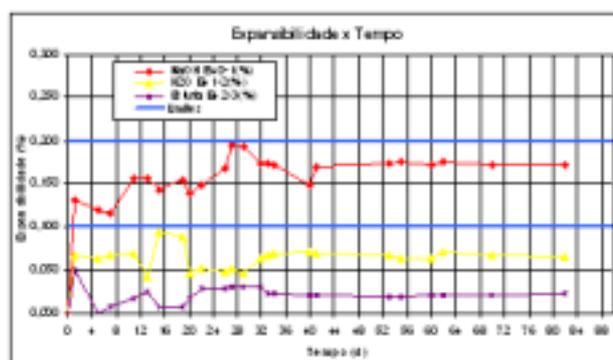


FIGURA 6. Gráfico mostrando as expansões.

Neste exemplo mostrado acima, referente aos cp's do furo 4 da galeria de inspeção (E4), verificam-se as expansões do cp E4 0-1 c2 em solução de hidróxido de sódio (curva em vermelho), do cp E4 1-2 c2 em água deionizada (curva em amarelo) e do cp E4 2-3 c2 em estufa (curva em violeta). As retas em azul significam os limites de expansibilidade entre 0,1 e 0,2%.

Observa-se que a expansão devido a solução de NaOH a 80°C, encontra-se em um estágio discutível de expansão deletéria, entre 0,1 e 0,2% . Já as expansões devido a água

deionizada e estufa, ambos a 80°C, apresentaram valores de expansão abaixo de 0,1%, sendo consideradas expansões não deletérias.

Será apresentado na tabela 1 o resultado obtido com todos os cp's submetidos a este ensaio de reatividade.

TABELA 1
Resultados dos ensaios de reatividade

Local de Ensaio	Nº de cp's	Cp's c/ expansão	
		abaixo de 0,1%	entre 0,1 e 0,2%
Solução NaOH (80 °C)	16	8 (50%)	8 (50%)
Água Deionizada (80 °C)	15	13 (87%)	2 (13%)
Estufa (80 °C)	13	13 (100%)	

Nota-se que não ocorreram expansões superiores a 2%, consideradas deletérias, em nenhum dos cp's.

C. Ensaio de Compressão Simples

Foi realizado ensaio de compressão simples, segundo a norma NBR 5739/94, com 18 corpos de prova provenientes da instalação dos extensômetros na barragem. Os cp's, suas identificações e resultados encontram na tabela 2. A nomenclatura dada aos cp's, como, por exemplo, E2 2-3 c2, significa que este é um cp do furo 02 (E2), esta compreendido entre 2 e 3 metros de profundidade (2-3) e é o segundo cp desta profundidade (c2).

TABELA 2
Resultados do ensaio de compressão simples

CP'S	Registro	Tensão Máxima (MPa)
CP1	E1 1-2 c2	27,9
CP2	E1 7-8	25,2
CP3	E2 0-2 c1	29,4
CP4	E2 2-3 c2	23,7
CP5	E3 0-1	29,2
CP6	E3 2-3 c1	27,0
CP7	E4 0-1	21,7
CP8	E4 1-2 c1	31,7
CP9	E4 3-4 c1	21,2
CP10	E4 3-4 c2	20,7
CP11	E4 3-4 c3	36,9
CP12	E4 4-5 c2	25,5
CP13	E4 4-5 c3	22,2
CP14	E4 5-6 c?	27,4
CP15	E4 5-6 c2	27,0
CP16	E4 6-7 c1	22,8
CP17	E4 6-7 c3	24,7
CP18	E4 9-10 c1	27,2

Nota-se que os resultados variaram conforme o local e a profundidade de cada furo, sendo a média dos valores igual a 26,2 MPa.

D. Ensaio de Módulo de Elasticidade

Foi realizado ensaio para determinação de Módulo de Deformação Estática (Módulo Secante - Plano III - NBR 8522/84), com 08 corpos de prova provenientes da instalação dos extensômetros na barragem sendo ensaiados 02 cp's de cada furo da galeria de inspeção.

Para realização deste ensaio, tomou-se o cuidado de lixar os cp's antes da colagem dos strain gages, em lixadeira especial, para que a superfície do cp para colagem encontrasse plana e lisa. Depois de lixadas e limpas, aplicou-se adesivo estrutural, fluido à base de resina epóxi para corrigir as imperfeições na superfície e servir de base para colagem dos strain gages. Após, lixou-se novamente a superfície para a colagem definitiva dos gages, sendo 02 em cada cp. As extremidades dos gages foram soldados em um cabo especial para ligação à ponte de leitura. Utilizou-se prensa de 10 tf para realização do ensaio (fig 7).



FIGURA 7. Ensaio de Módulo de Elasticidade.

Os resultados variaram conforme o local e a profundidade de cada furo, sendo a média dos valores igual a 25,0 GPa.

III. PETROGRAFIA E MICROSCOPIA ELETRÔNICA

Com a realização de petrografia de amostras dos corpos de prova trazidos da barragem, pode-se notar a presença nas bordas do agregado com material esbranquiçado e com presença de gel, conforme indicado na figura 8.

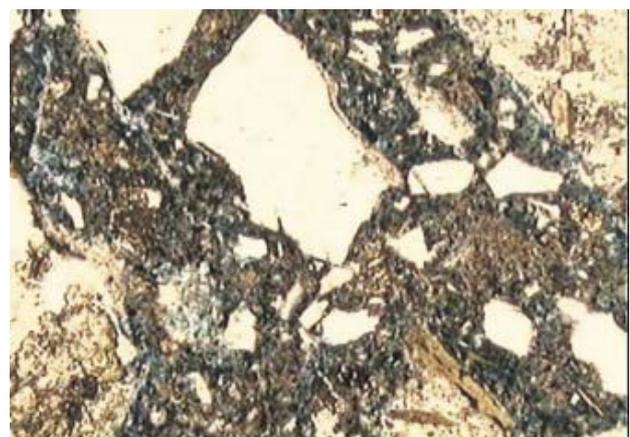


FIGURA 8 - Bordas no agregado em petrografia

Outra técnica utilizada para verificação de reação álcali-agregado foi a microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários, onde pode-se identificar microfissuras no gel gretado e morfologia típica de reação álcali-agregado, conforme figura 9.

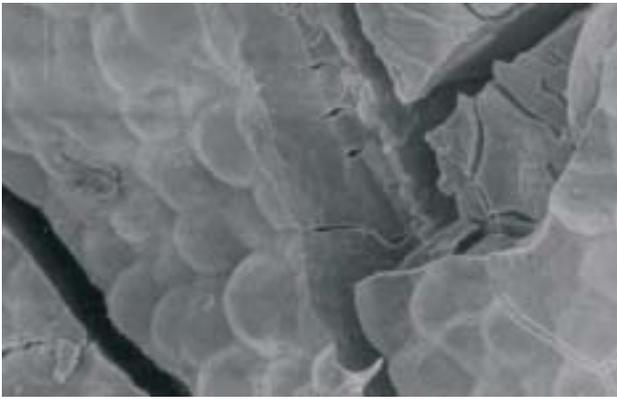


Figura 9 - Poros no agregado em função da reação álcali-agregado

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como se pode verificar através das análises por petrografia e microscopia, o concreto apresenta materiais que identificam a ocorrência anterior de Reação Álcali-Agregado.

Já os ensaios de reatividade com os corpos de prova extraídos da barragem, os quais foram levados a pior uma situação de agressividade, demonstraram que uma provável expansão no concreto não ocorrerá devido a RAA, se o concreto da barragem for submetido às situações similares as dos ensaios de reatividade.

Os ensaios de compressão e módulo de elasticidade com corpos de prova extraídos demonstraram valores aceitáveis para concretos utilizados em barragens de mesma idade e características.

Para uma melhor avaliação da evolução da RAA deverão ser analisadas as leituras dos extensômetros instalados no corpo da barragem, juntamente com a modelagem matemática, concluindo-se até que ponto a reação potencial remanescente poderá causar problemas estruturais ou confirmará os resultados preliminares obtidos com os ensaios de laboratório.

V. AGRADECIMENTOS

Agradecemos de todo coração a atenção de Ângela, da Escelsa, que prontamente nos ajudou em todas as providências necessárias para o andamento deste estudo.

Aos Técnicos Joãozinho e Amaurizão pela paciência na instalação dos instrumentos e nos problemas "de última hora" sempre presentes neste caso. Pela paciência em instalar os instrumentos mesmo longe de suas famílias e com uma enchente eminente.

Ao Prof. Chamecki pelo incentivo, apoio e amizade durante os melhores e piores momentos.

Ao Ruy por sua constante presença, apoio e incentivo mesmo após seu "desligamento".

Ao apoio da Escelsa, do Lactec e da Aneel que permitiram o desenvolvimento deste trabalho.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PEDROZO, P. H.; SABBAG, A. F.; LACERDA, L. A.; CARRAZEDO, R.; "Diagnóstico de Previsão da Degradação de Estruturas de Concreto Devido a Reação Álcali-Agregado", LACTEC, Curitiba, PR, Relatório Técnico. RT LAME 4.025.2003-RO, jun. 2003.
- [2] PAULON, V. A.; CAVALCANTI, A. J. Alkali-aggregate reaction at Moxotó Dam. In: 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION, 1986, Ottawa/Canada. Proceedings... 1986, p.1-5.
- [3] SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1.997, Goiânia. Anais... Goiânia: CBGB/FURNAS/IBRACON, 1997.
- [4] HASPARYK, N. P. Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado - efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa. Goiânia, 1999. 257p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil.
- [5] PAPPALARDO JUNIOR, A. Uma metodologia para a modelagem matemática de barragens de concreto afetadas pela reação álcali-agregado. São Paulo, 1998. 180p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- [6] PAULON, V. A. Reações álcali-agregado em concreto. São Paulo, 1981. 114p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.
- [7] SILVEIRA, J. F. A. Parecer técnico sobre as estruturas de concreto da Usina Hidroelétrica de Furnas - Relatório FR-01/96-RO, Goiânia: FURNAS Centrais Elétricas S. A., 1996.