

**SIMPÓSIO SOBRE  
REATIVIDADE  
ÁLCALI-AGREGADO  
EM ESTRUTURAS  
DE CONCRETO**

***Goiânia, novembro de 1997***

***ANAIS***

**Proposições para Conservação de Estruturas  
Afetadas Pela Reação Álcali-Agregado**

**REALIZAÇÃO:**



**Comitê Brasileiro de  
Grandes Barragens**

FURNAS  CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

**Apoio:**



**IBRACON**

# Proposições para Conservação de Estruturas Afetadas Pela Reação Álcali-Agregado

*Francisco Rodrigues Andriolo*

Engenheiro Consultor – Andriolo Ito Engenharia S/C Ltda

Rua Cristalândia 181-São Paulo- CEP-05465-000- Tel: ++55-11-3022-5613- Fax:++55-11-3022-7069

## RESUMO

A Reação Álcali-Agregado, em vários casos, tem apresentado sinais visíveis ao olho nú, vários anos após a construção da estrutura de concreto. Em muitas situações, essas “percepções” ocorrem em época em que as reações ainda estão em andamento, sem haver se esgotado os compostos disponíveis para o fenômeno.

Nessa oportunidade, estando a obra em sua fase operacional, o que fazer para impedir ou “minorar” os efeitos expansivos?

Tentativas e pesquisas têm sido feitas. Algumas dessas proposições são citadas, sendo que os desempenhos ainda são carentes de confirmação plena.

A partir disso é válido se estabelecer o debate para a tentativa de se estreitar o caminho para essas soluções.

## 1- INTRODUÇÃO

As medidas preventivas preconizadas para a minimização da RAA são conhecidas e o uso tem sido ampliado, não sendo necessária a menção nesta publicação.

O aspecto e necessidade de adoção de medidas para minimizar os efeitos danosos, *após o aparecimento do fenômeno* é que tem se tornado importante e chamado a atenção.

Pode-se citar que até a realização do “*The 9<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*”- Londres/Julho/1992, o espaço nesses eventos (realizados com periodicidade de cerca de 3 anos) para o assunto da Manutenção - Reabilitação e Reparos de Estruturas era insignificante.

Durante a realização do “*Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams*”- Chattanooga/Outubro/1995, cerca de 45% das 34 publicações apresentadas fizeram referência ao tema de Manutenção- Reabilitação e Reparos. É de se ressaltar, entretanto, que o fato das conferências focarem obras hidroelétricas, o tema torna-se mais contundente, tendo em vista a relação custo/ benefício (ou prejuízo causado pelo fenômeno) dos reparos.

Por outro lado, a realização da “*10<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction on Concrete*”- Melbourne/ Agosto/ 1996, fez contar com um temário específico sobre o assunto.

Nota-se, então, a necessária e importante busca de soluções para o fenômeno da RAA, após a observação do início dos danos.

Nesta publicação são citadas algumas das soluções propostas e o debate sobre os desempenhos observados.

## **2- DIAGNÓSTICO E SITUAÇÃO DA ESTRUTURA**

Para se estabelecer o plano de ações remediais deve-se estabelecer o diagnóstico e o “estado de coisas” da estrutura. É recomendável que se considere, no mínimo, a seguinte rotina:

- ◆ Observação geral da(s) estrutura(s), por inspeções visuais;
- ◆ Histórico e levantamento de dados dos materiais (cimentos, agregados, aditivos) e dosagens dos concretos usados;
- ◆ Interpretação inicial dos dados;
- ◆ Análise da instrumentação de auscultação existente;
- ◆ Obtenção de amostras dos concretos, para análise petrográfica, bem como à exposição a ensaios acelerados, para a possível avaliação da intensidade e longevidade da RAA, ;
- ◆ Adoção (eventual) de modelagem matemática para estabelecer níveis de previsão da continuidade do fenômeno e extensão dos danos;
- ◆ Implantação de sistema de auscultação (quando possível) para verificar o andamento (amplitude e velocidade) das deformações-expansões.

### **3- MATERIAIS, TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DISPONÍVEIS PARA REPAROS**

As ações reparos que têm sido adotadas, contemporaneamente, praticamente podem ser resumidas nos seguintes tipos:

- ✓ Aplicação de impregnantes, penetrantes, selantes e membranas;
- ✓ Reforços estruturais;
- ✓ Liberação de deformações;
- ✓ Demolição e reconstrução.

De maneira geral as ações têm sido feitas com base em critério de economicidade (nem sempre o mais adequado), ou seja a adoção de uma providência **simplificada e na superfície**.

#### **3.1- Agentes Impregnantes, Penetrantes, Selantes e Membranas**

##### **3.1.1- Impregnantes e Penetrantes**

Consiste na utilização de agentes impregnantes hidrófobos, pois esse processo conceitua que um dos mecanismos de deterioração é ação da umidade, fazendo restringir a penetração da água no concreto. Dentre esses agentes pode-se citar:

- Os silanos (grupos de compostos de Hidrogênio e Silício, análogos aos hidrocarbonetos) de vários tipos <sup>[1][2][3]</sup>;
- Compostos de Lítio (Li) de certa relação molar de Li/Na <sup>[4][5]</sup>;
- Gas carbônico (CO<sub>2</sub>) <sup>[6]</sup>

##### **3.1.2- Selantes**

Consiste na utilização de aplicação de selantes por pintura, injeção ou emboço, fazendo restringir a penetração da água no concreto, de mesma maneira que o anterior, baseando em que um dos mecanismos de deterioração é ação da umidade,. Dentre esses agentes pode-se citar:

- Pastas, argamassas e concretos de Cimento Portland <sup>[6]</sup>;
- Pinturas e/ou argamassas poliméricas <sup>[7][8]</sup>;

### **3.1.3- Membranas**

Consiste na aplicação de uma membrana elastica, impermeabilizante, sobre o concreto, também sob a conceituação de reduzir a ação da umidade<sup>[9][10][11]</sup>.

### **3.2- Reforços Estruturais**

Consiste em proceder determinado confinamento e restrição na estrutura de tal sorte a procurar a impedir a deformação<sup>[12]</sup>.

### **3.3- Liberação de Deformações**

Consiste em criar vazios na estrutura, simulando juntas, de tal modo a permitir que as deformações-expansões se processem em determinadas direções<sup>[13][14][15][16]</sup>.

### **3.4- Demolição e Reconstrução**

Consiste em proceder à demolição e a reconstrução da estrutura<sup>[17]</sup>.

## **4- DESEMPENHOS E CRÍTICAS**

A seguir é feita uma síntese dos desempenhos citados, a partir da adoção das medidas de reparos.

### **4.1- Impregnantes e Penetrantes**

#### **4.1.1-Silanos<sup>[1][2][3]</sup>**

Os vários silanos avaliados foram aplicados em corpos de prova de estudos, verificando a permeabilidade ao vapor e as deformações de expansão, tendo sido observado que:

- Os corpos de prova protegidos com silanos, apresentaram menores expansões (decorrentes da RAA) que os padrões, sem proteção;
- Os silanos de maior peso molecular são mais resistentes à penetração de vapor de água.

#### **4.1.2- Compostos de Lítio (Li) <sup>[4][5]</sup>**

Os vários compostos de Lítio avaliados, foram aplicados em corpos de prova de estudos, verificando a permeabilidade ao vapor e as deformações de expansão, tendo sido observado que:

- Os corpos de prova protegidos com compostos de Lítio, apresentaram menores expansões que os padrões sem proteção;
- Os silanos se apresentaram mais eficientes na redução da expansão que os compostos de Lítio.

#### **4.1.3- Gas carbônico (CO<sub>2</sub>) <sup>[6][18]</sup>**

A aplicação de CO<sub>2</sub> , nos ensaios efetuados, também se constituiu em inibidor da RAA por ser um redutor de temperatura, e devido à carbonatação que produz. Pode, porem, causar efeitos danosos às armaduras .

### **4.2- Selantes**

#### **4.2.1- Pastas, argamassas e concretos de Cimento Portland <sup>[6]</sup>**

As pastas, argamassas e concretos de Cimento Portland, aplicados na estruturas com RAA, se tornam menos eficazes à medida que resta expansão a se desenvolver pela reação, ou seja, nos casos em que o fenômeno ainda pode prosseguir. Devido ao elevado Módulo de Elasticidade e baixa resistência à tração desses materiais, a continuidade das expansões pode

solicitar o reparo, que por sua vez pode também fissurar, permitindo a entrada de umidade e água, permitindo o prosseguimento do fenômeno.

De outra maneira, também, as dificuldades ou procedimentos de aplicação desses materiais, normalmente, levam a um reparo pouco eficiente no aspecto de estanqueidade, o que torna o reparo vulnerável quanto a redução da penetração da umidade.

#### 4.2.2- Pinturas e/ou argamassas poliméricas [7][8]

À medida que as pinturas e argamassas poliméricas têm menor Módulo de Elasticidade (que o concreto), podem ser mais eficientes que as precedentes.

A adição de compostos de Lítio a essas argamassas ajudam, ainda mais, a reduzir as expansões devido à RAA. As Figuras 01 a 03 ilustram os desempenhos citados.

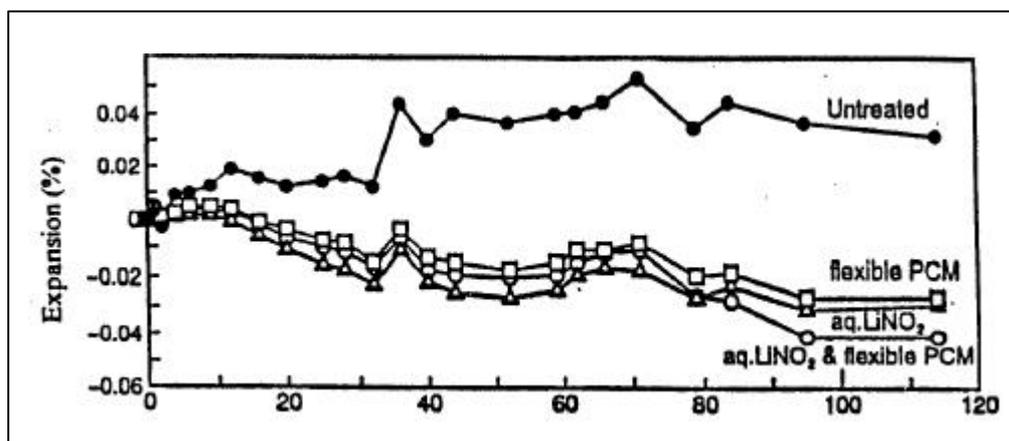


Figura 01- Desempenho da proteção de Lítio na redução da expansão devido à RAA [7]

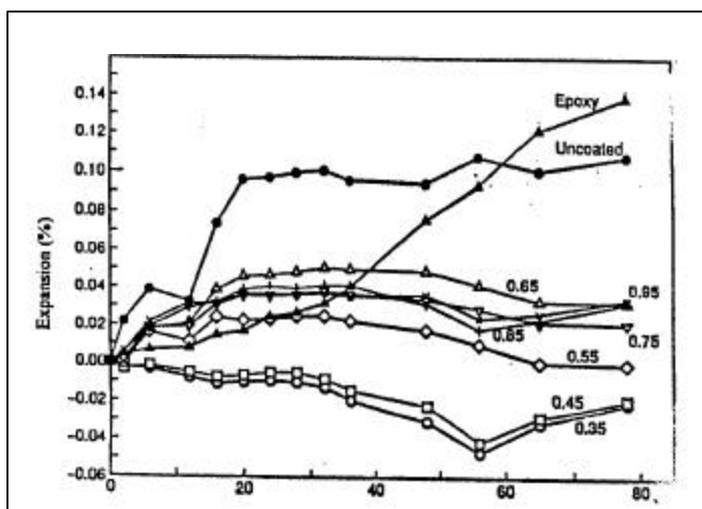


Figura 02- Atuação da argamassa epoxidica na redução da expansão devido à RAA [7]

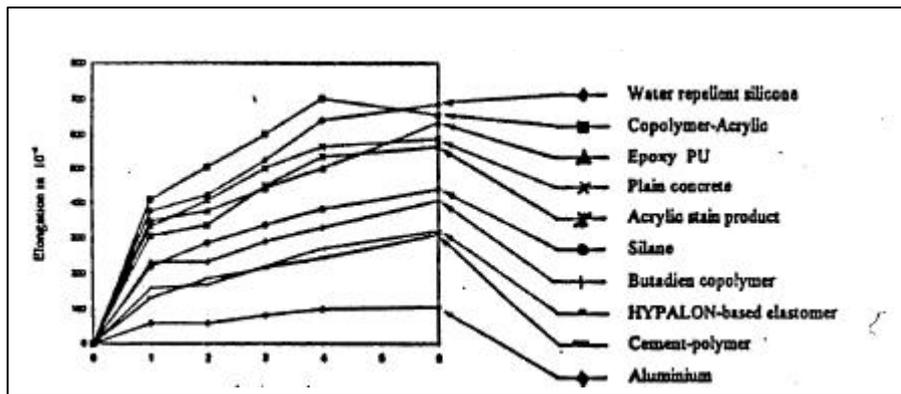


Figura 03- Atuação de vários materiais na redução da expansão da RAA<sup>[21]</sup>



Figura 04- Execução de reparos na Barragem de Hiwassee- Estados Unidos

### 4.3- Membranas<sup>[9][10][11]</sup>

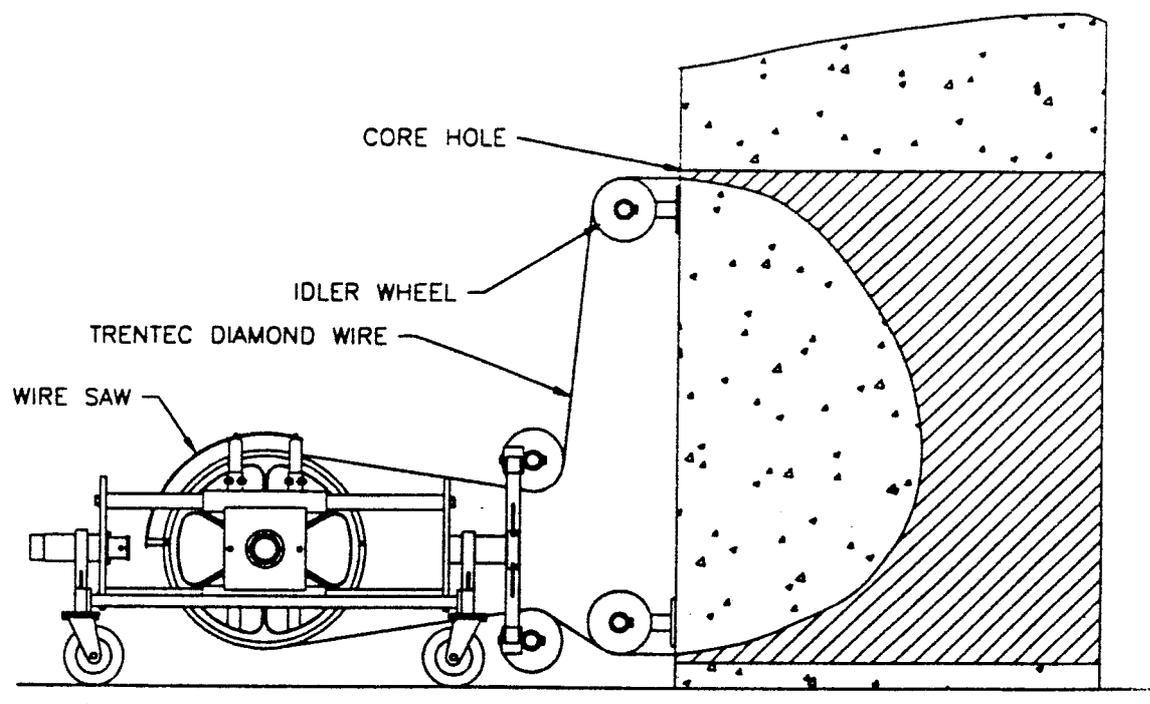
Pelo fato de as membranas minimizarem (ou praticamente impedirem) a penetração de umidade, e alguma delas possibilitarem à drenagem, e possuírem baixo Módulo de Elasticidade (relativamente ao concreto) se comportam como um material de bom desempenho à redução das expansões devidas à RAA.

### 4.4- Reforços Estruturais<sup>[12][19]</sup>

Há uma relativa ação benéfica desse procedimento, que se restringe à estruturas de pequeno porte, sendo que nos casos de obras de grande porte, o domínio das ações é precário e os benefícios questionáveis.

#### 4.5- Liberação de Deformações <sup>[13][14][15][16][18]</sup>.

A liberação das deformações (esquema mostrado na Figura 05) tem sido uma das soluções preconizadas, contemporaneamente, por permitir uma longevidade à estrutura.



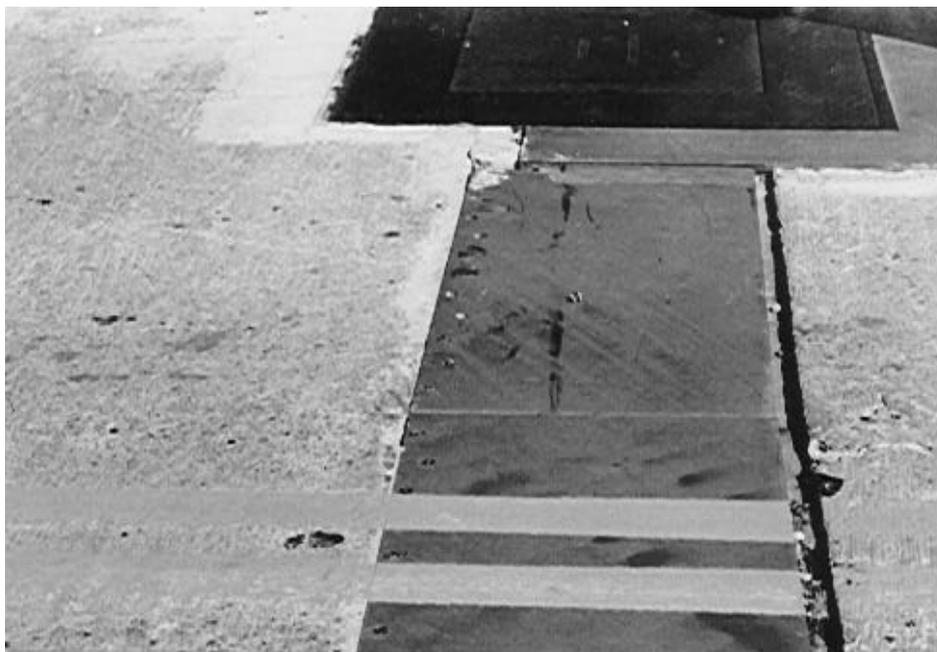
**Figura 05- Esquema para o uso de fio diamantado para corte do concreto e liberação de deformações [Trentec Inc.]**

#### 4.6- Demolição e Reconstrução <sup>[17][20]</sup>

Há um certo número de obras de hidroelétricas e um grande número de obras urbanas (pontes, estradas, edifícios) que foram demolidos parcial ou totalmente, devido à RAA, causando danos e ônus. É uma medida, cuja aplicação, tem sido postergada ao máximo, devido aos impactos que podem causar.



**Figura 06- Junta aberta, após o corte e liberação das deformações – Estados Unidos**



**Figura 07- Proteções da junta cortada para liberação das deformações – Estados Unidos**

## 5- COMENTÁRIOS

É importante considerar a crescente atenção que tem sido dada à questão da Manutenção, Reparo e Reabilitação de obras afetadas pela RAA, nos encontros técnicos sobre o tema.

Isso evidencia o campo de exploração científica existente e que deve ser vasculhado com detalhes técnicos e econômicos.

O crescente “aumento” (por novos aparecimentos ou por novas observações) de casos de estruturas de obras brasileiras afetadas pela RAA, torna premente incentivar a busca de soluções não só preventivas (para novas estruturas a serem construídas), mas também, e muito mais, de reparos para as estruturas afetadas.

## 6- REFERÊNCIAS

- [1]- Ohama, Y.; Demura, K.; Wada, I.- **“Inhibiting Alkali-Aggregate Reaction With Alkyl Alkoxy Silanes”**- 9<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete- Londres/Julho/1992;
- [2]- Miyagawa, T.; Hattori, A.; Fujii, M.- **“Effect of Various Types of Silanes on Expansion Due to Alkali-Silica Reaction”**-10<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction on Concrete- Melbourne/ Agosto/ 1996;
- [3]- Salome, F.- **“Field Evaluation on the Mitigating Effect of Silane Treatment on AAR in Concrete Raylway Sleepers”**- 10<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction on Concrete- Melbourne/ Agosto/ 1996;
- [4]- Diamond, S.; Ong, S.- **“The Mechanism of Lithium Effects on ASR”**- 9<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete- Londres/Julho/1992;
- [5]- Qingham, B.; Nishibayashi, S.; Kuroda, T.- **“Various Chemical in Supressing Expansion Due to Alkali-Silica Reaction”**- 10<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction on Concrete- Melbourne/ Agosto/ 1996;
- [6]- **“Alkali-Aggregate Reaction in Concrete Dams- Review and Recommendations”**- Bulletin 79- ICOLD/1991;

- [7]- Wakasugi, M.; Kamimoto, H.; Miyagawa, T.; Tamura, H.; Hori, T.; Okabayashi, S.- **“Effect of Concrete Surface Coating on Prevention of Alkali Silica Reaction”**- 10<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction on Concrete- Melbourne/ Agosto/ 1996;
- [8]- Tanikawa, S.; Laiw, J.C.; Swamy, R.N.- **“A Flexible Acrylic Rubber Surface Coating a Cure for ASR Expansion”**- 10<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction on Concrete- Melbourne/ Agosto/ 1996;
- [9]- Beauchamp, T.- **“The Progress of Remedial Measures at Chambon Dam”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;
- [10]- Matos, D.S.; Silva, H.S.; Pinho, J.S.; Camelo, A.- **“Deterioration of Pracana Dam Due to ASR – Main Features and Repairs Works”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;
- [11]- Scuero, A.- **“PVC Waterproofing Membranes and Alkali-Aggregate Reaction in Dams”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;
- [12]- Gocevski, V.- **“Monitoring, Testing and Remedial Work at Beauharnois Powerplant”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;
- [13]- Newell, V.A.; Wagner, C.D.- **“Modifications to Hiwassee Dam and Planned Modification to Fontana and Chickamauga Dams by the Tennessee Valley Authority to Manage Alkali-Aggregate Reaction”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;
- [14]- Silveira, J.F.A. –**“AAR- Moxotó- Tem Years of Monitoring and Remedial Measures”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;
- [15]- Thompson, G.A.; Steele, R.R.; Coulson, D.M.-**“Management of Concrete Growth at Mactaquac Generating Station”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;
- [16]- Veilleux, M.- **“Hydro-Québec’s Experience Using Deep Slot Cutting to Rehabilitate Concrete Gravity Dams Affected by Alkali-Aggregate Reaction”**- Second International

Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;

[17]- Charlwood, R.G.; Soymer, Z.V.- **“An International Perspective: AAR in Hydroelectric projects and Dams”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;

[18]- Lima, M.A.; **“Ocorrência de Reação Expansiva nos Concretos da Usina Apolônio Sales (Moxotó), com Repercussão no Comportamento das Máquinas”**- Simpósio sobre Casos Históricos de Deterioração de Barragens e Reservatórios- São Paulo/Agosto/1996;

[19]- Ballivy, G.; Bois, A.P.; Saleh, K.; Rivest, M.- **“Monitoring of the Stresses Induced By AAR in the Beauharnois Concrete Gravity Dam”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams- Chattanooga/Outubro/1995;

[20]- Oberholster, R.E.- **“Case Studies of the Practical and Economical Impact of Alkali-Silica Reaction in South Africa”**- 10<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction on Concrete- Melbourne/ Agosto/ 1996.

[21]- Godart, B.; Michel, M.; Fasseu, P.- **“Treatment of Structures by Waterproof Coating”**- 10<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction on Concrete- Melbourne/ Agosto/ 1996.