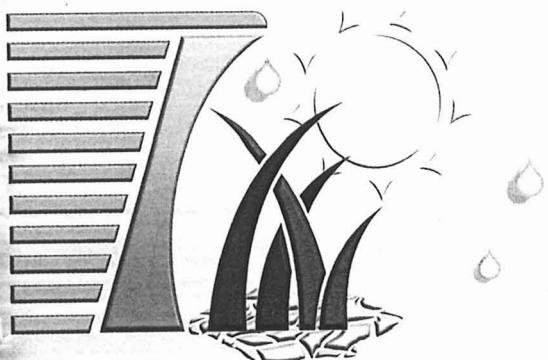


KINARA, Y.

# XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens



Fortaleza, CE  
04 a 07 novembro 2001

## ANAIIS Volume II

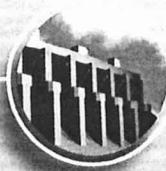
ASPECTOS INSTITUCIONAIS



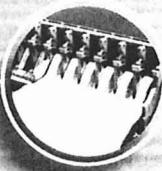
MEIO AMBIENTE



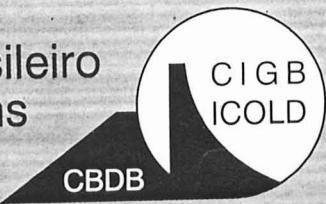
PROJETO E CONSTRUÇÃO



DESEMPENHO, SEGURANÇA, RECUPERAÇÃO E MODERNIZAÇÃO



Comitê Brasileiro  
de Barragens



Coordenação



# ESTUDOS DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM OBRAS BRASILEIRAS

LUÉRCIO SCANDIUZZI

ARNALDO FORTI BATTAGIN

YUSHIRO KIHARA

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND**

## RESUMO

A durabilidade do concreto frente à reação álcali-agregado vem sendo motivo de preocupação presente entre os tecnologistas de concreto. No Brasil, os exemplos de estruturas de concreto com a ocorrência da reação álcali-agregado vêm aumentando de forma quase que geométrica, provocando, portanto, problemas também crescentes.

As pesquisas e os trabalhos publicados são, no entanto, ainda de pequena monta frente às dimensões dos problemas. A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP e alguns poucos organismos nacionais têm se destacado como entidades que vêm se dedicando sistematicamente ao estudo de concretos com suspeita da presença da reação. Apresenta-se neste trabalho um resumo dos resultados de investigações de amostras de concretos extraídos de obras brasileiras principalmente daquelas estudadas na ABCP.

## ABSTRACT

Concrete durability to alkali-aggregate reaction has been a matter of concern among technologists. In Brazil, examples of alkali-aggregate reaction in concrete structures have increased almost geometrically. In consequence numerous problems have brought out. Nevertheless few researches have been carried out on the subject and few papers published.

The Brazilian Portland Cement Association (ABCP) and some national organizations have stood out on this field by systematically dedicating to the studies of concrete likely to bear alkali-aggregate reaction. The present paper shows a brief discussion on results of investigations on concrete samples of Brazilian works, mainly those studied at ABCP.

## 1. INTRODUÇÃO

Sobre a reação álcali-agregado são conhecidos métodos de prevenção (uso de pozolanas, por exemplo), indícios (fissuração típica e deformações estruturais) e métodos de comprovação de sua presença (análise macro e microscópica). Porém, uma vez instalada, a sua paralisação é praticamente impossível em que pesem todas as tentativas nos níveis de conhecimento atual.

No Brasil, os primeiros trabalhos abordando a reação álcali-agregado datam da década de 60, quando dos estudos dos agregados naturais para construção da Barragem de Jupiá, nos quais foi constatada a presença de minerais potencialmente reativos.

Em 1985, no 16º Seminário Nacional de Grandes Barragens, foi divulgado o primeiro caso de barragem, no Brasil, com suspeita de reação álcali-agregado: a Usina Hidrelétrica de Moxotó, da CHESF. Em 1988, foi confirmada por estudos desenvolvidos na ABCP a presença da reação no Vertedouro Barragem de Abastecimento de Joanes II (BA).

Desde então o número de casos comprovados da existência da reação vem crescendo consideravelmente no Brasil.

Este trabalho tece comentários básicos sobre os mecanismos da reação álcali-agregado e mostra metodologias de diagnose e medidas preventivas na construção de novas obras. Complementarmente, apresenta resultados de estudos desenvolvidos nos laboratórios da ABCP, em amostras de concreto extraídas de estruturas com suspeita de reação álcali-agregado, principalmente barragens.

## 2. TIPOS DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

A reação álcali-agregado é uma reação lenta e complexa, que ocorre entre os álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) solúveis presentes no concreto e algumas espécies de minerais presentes em algumas rochas e que, dependendo de sua intensidade e meio ambiente, pode provocar a deterioração do concreto. A reação manifesta-se através de um padrão típico de fissuração no concreto, deslocamentos estruturais, exsudação de gel e bordas escuras ao redor dos agregados.

Os mecanismos da reação são ainda pouco conhecidos devido à interação de vários fatores na própria reação e de outros fatores que podem atuar como catalisadores ou inibidores.

As manifestações de sua presença no concreto ocorrem em freqüências variáveis, que dependem dos elementos que interagem no fenômeno e do meio ambiente a que o concreto está exposto. Há casos constatados de manifestações que ocorreram em poucos meses após a concretagem e outros até 30 anos após a construção da estrutura. Como média, as primeiras evidências de deterioração do concreto são observadas no período de quatro a sete anos.

Atualmente são reconhecidos três tipos deletérios de reação: álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato.

### 2.1. Reação Álcali-Sílica

A reação álcali-sílica é o tipo de reação expansiva mais rápida conhecida. Foi detectada pela primeira vez em 1940 e compreende a reação entre os álcalis solúveis presentes e alguns minerais do

grupo da sílica (opala, calcedônia, cristobalita e tridimita) e certos tipos de vidros naturais (vulcânicos) e artificiais.

A deterioração do concreto pela reação álcali-sílica é decorrente do ataque do agregado reativo pelas soluções alcalinas presentes nos poros do concreto. Os álcalis atuam na basicidade das soluções dos poros, aumentando significativamente a alcalinidade ( $\text{pH} > 13$ ), cabendo aos íons  $\text{OH}^-$  o papel ativo nas reações com os agregados reativos. Na borda dos agregados ocorre uma reação com formação de géis de silicatos alcalinos que em contato com a água se expandem e podem exercer pressões hidráulicas superiores à resistência à tração do concreto.

## 2.2. Reação Álcali-Silicato

A reação álcali-silicato é de natureza mais lenta e mais complexa que a reação álcali-sílica. Compreende a reação entre os álcalis solúveis e alguns tipos de silicatos eventualmente presentes em certas rochas sedimentares, metamórficas e ígneas.

A lista de agregados rochosos susceptíveis de reatividade é longa e envolve fundamentalmente a presença de quartzo tensionado por processos tectônicos ou de minerais da classe dos filossilicatos, sendo comuns em ardósias, filitos, xistos, gnaises, granulitos, quartzitos, etc.

## 2.3. Reação Álcali-Carbonato

A reação álcali-carbonato é mais rara e ocorre entre os álcalis disponíveis e alguns agregados rochosos carbonáticos, como calcários dolomíticos argilosos. Caracteriza-se por não apresentar a formação de um gel expansivo e foi descrita pela primeira vez por SWENSON (1957) em Kingston/Canadá.

A deterioração do concreto pela reação álcali-carbonato é devida à desdolomitização do calcário e consequente enfraquecimento da ligação pasta-agregado.

Neste tipo de reação não se forma o gel expansivo como na reação álcali-silicato e admite-se que a ilita (argilomineral), sempre presente nesse tipo de reação, contribua para o desenvolvimento de fenômenos de expansão. O mecanismo de expansão é uma ação combinada entre as reações de desdolomitização, que provocam a desestruturação da textura do calcário e a presença de argilominerais que facilita a desagregação do agregado.

Dada a complexidade da reação e a inexistência de ensaios seguros para a avaliação da reatividade deste tipo de agregado, tem-se constatado que os ensaios mineralógicos e petrográficos são de grande valia, indicando que os calcários mais reativos são aqueles que apresentam textura fina característica, relação calcita-dolomita próxima a 1 e presença de argilominerais na sua composição. Desconhece-se a ocorrência desse tipo de reação no Brasil.

## 3. FATORES QUE INTERAGEM NA REAÇÃO

Diferentes são os fatores que interagem no mecanismo da reação álcali-agregado e para esta ocorrer há necessidade da presença simultânea do agregado reativo, dos álcalis e da interação com o meio ambiente, fornecendo a umidade e catalisando a reação pelo aumento da temperatura.

### 3.1. Teor de Agregados Reativos

Uma característica peculiar que regula a intensidade da reação é o conceito de

proporção péssima. Segundo este conceito, para cada agregado reativo existe um conteúdo definido de álcalis que produzirá uma expansão máxima. Fora desse limite, as expansões serão progressivamente menores.

### 3.2. Características dos Agregados Reativos

Os agregados reativos são aqueles que possuem na sua composição fases mineralógicas silicosas que reagem com os álcalis solúveis, provocando reações deletérias de expansão no concreto.

A reatividade dos componentes silicosos com os álcalis depende:

- das dimensões dos grãos: quanto mais finos os agregados, maior a superfície de reação sendo, portanto, mais reativos;
- da estrutura cristalina: quanto mais desorganizada e instável a estrutura cristalina do componente mineralógico, mais reativa é a fase. A reatividade, por exemplo, dos vidros, da opala, da calcedônia e do quartzo tensionado, é maior que a do quartzo de estrutura bem organizada (cristalina); e
- do conteúdo de água de cristalização: ou mais precisamente de silanóis (grupos de SiOH) que conferem maior reatividade às fases, como por exemplo, as opalas e os filossilicatos de argila.

As fases mineralógicas reativas encontram-se distribuídas em diferentes proporções nas rochas e sedimentos (areia e cascalho) usados na construção, conferindo diferentes graus de reatividade para materiais de

mesmas características, mas de procedências distintas.

Dentre os agregados comumente utilizados do Brasil, passíveis de reatividade com os álcalis, merecem maior atenção os cascalhos com calcedônia, granitos milonitzados, basaltos mais ricos em vidros, calcários silicosos, quartzitos, granulitos e gnaisses.

### 3.3. Conteúdo Total de Álcalis no Concreto

Embora o cimento seja a principal fonte de álcalis, estes podem também ser originários de águas superficiais ou subterrâneas, da dissolução de componentes alcalinos dos agregados e das adições ao cimento (pozolanas e escórias).

Os álcalis do cimento ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) podem estar presentes sob a forma de sulfatos ou de soluções sólidas nas fases mineralógicas do clínquer portland. No entanto, os álcalis que participam da reação são os solúveis em água, correspondendo a uma parcela dos álcalis totais. Geralmente o valor de 0,6% para o equivalente alcalino é considerado como valor limite para classificar um cimento como de alto a baixo teor alcalino em  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Em concretos com agregados reativos, a ASTM (C-150) recomenda o uso de cimentos com no máximo 0,6% de equivalente em sódio. A limitação do teor de álcalis no cimento, sem considerar a quantidade de álcalis incorporada por outras fontes, tem-se mostrado inadequada, pois há relatos de estruturas de concreto deterioradas mesmo com o uso de cimentos com baixo teor de álcalis. A tendência atual é limitar o conteúdo de álcalis totais ou solúveis por metro cúbico de concreto. Na Alemanha, recomenda-se que o conteúdo

de cimento no concreto não exceda a 500 kg/m<sup>3</sup>, para um cimento com limite superior de 0,6% em equivalente em sódio, o que corresponde a um conteúdo limite de equivalência em sódio de 3 kg/m<sup>3</sup> de concreto. OBERHOLSTER e colaboradores, ainda nos anos 80, fundamentados em estudos dos agregados reativos da África do Sul, estabeleceram os seguintes parâmetros:

- a) acima de 3,8 kg/m<sup>3</sup> de equivalente em sódio, ocorrem reações;
- b) abaixo de 1,8 kg/m<sup>3</sup> de equivalente em sódio, não ocorrem reações; e
- c) entre 1,8 kg/m<sup>3</sup> e 3,8 kg/m<sup>3</sup> de equivalente em sódio, podem ocorrer reações.

### 3.4. Condições Ambientais

As condições ambientais, representadas por variações de temperatura e umidade, têm influência significativa no desenvolvimento da reação álcali-agregado. A exposição contínua ou cíclica à umidade favorece a solubilização e a migração dos íons alcalinos na solução dos poros, aumentando a agressividade das soluções nos agregados. Condições de alta temperatura aceleram a hidratação do cimento e intensificam a agressividade das soluções alcalinas.

O concreto mantido em ambiente de baixa umidade não é suscetível à expansão devida à reação álcali-agregado, mesmo que contenha agregados reativos combinados com cimento com alto conteúdo de álcalis. Pesquisadores japoneses, estudando a influência das condições de umidade na reação álcali-agregado, observaram que, em condições de umidade relativa de 75 a 80%, as expansões

observadas nos ensaios eram praticamente nulas e, entre 80 e 90%, as expansões verificadas foram metade daquelas a 100%. Portanto, estruturas de concreto em contato com a água são mais vulneráveis à expansão devido à reação álcali-agregado.

A exposição cíclica à umidade pode por outro lado condicionar a concentração de álcalis em regiões localizadas da estrutura, propiciando teores próximos à proporção péssima, permitindo a intensificação das reações.

## 4. DIAGNOSE DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

No exame de uma estrutura de concreto deteriorado deve-se investigar todos os fatores que possam ter ocasionado os danos no concreto. As recomendações, a seguir, são válidas:

- a) no início de uma investigação, todos os mecanismos que poderiam provocar a deterioração do concreto devem ser considerados;
- b) nenhuma causa simples ou comum pode ser eliminada até que todas as investigações concluam que não há nenhuma influência na deterioração;
- c) evidências de reação álcali-agregado são encontradas em concretos onde a totalidade ou parte dos agregados são silicosos.

### 4.1. Evidências de Campo

- Deterioração do concreto devida à sua deformação e fraturamento;
- Padrão de fissuramento não orientado, formando desenhos com formas quadrangulares a hexagonais. Em

- concretos protendidos e armados, as fissuras tendem a ser orientadas.
- Ocorrência de eflorescência e exsudação de gel.
  - Deslocamentos e dificuldades de funcionamento de equipamentos fixados no concreto.

#### **4.2. Ensaios Laboratoriais**

- Observação de grãos de agregados com bordas de reação.
- Observação de poros preenchidos total ou parcialmente com material de coloração branca.
- Microfissuramento da argamassa.
- Agregados com fases mineralógicas potencialmente reativas.
- Produtos de reação álcali-agregado, de composição álcali-silicática, constituídos de gel expansivo e compostos cristalizados.

Esses trabalhos laboratoriais objetivam comprovar a ocorrência das feições relacionadas à reação álcali-agregado através de métodos analíticos tais como: a microscopia de luz polarizada, a difratometria de raios X, a microscopia eletrônica de varredura e a análise por espectrometria de dispersão de energia.

### **5. MEDIDAS PREVENTIVAS**

A única forma segura até agora conhecida para evitar a deterioração de estruturas de concreto em consequência da reação álcali-agregado é a tomada de medidas preventivas baseadas em estudos dos materiais e de dosagem dos concretos que serão utilizados na obra.

#### **5.1. Estudo dos Agregados**

Todas as possíveis fontes de rocha e/ou agregados passíveis de serem utilizadas nos concretos deverão ser submetidas a ensaios de verificação de sua potencialidade de reação com os álcalis:

##### **5.1.1. Análises Petrográficas e Mineralógicas**

Indicarão se a composição mineralógica das rochas e/ou seu estado de deformação as classificam como potencialmente reativas frente aos álcalis. Os métodos mais utilizados são o ASTM C-295 e a NBR 7389.

##### **5.1.2. Ensaios Acelerados em Barras de Argamassa e/ou Concreto**

São ensaios que indicam, de forma bastante promissora, através de medidas de expansão ao longo do tempo, de barras de argamassa e/ou concreto preparadas com o agregado em estudo, se ele é reativo com os álcalis. Os métodos mais adotados são o ASTM C-227, NBR 9773, ASTM C-1260, ASTM C-586 e NBR 10340.

##### **5.1.3. Ensaios Químicos**

Embora ainda utilizados e normalizados, são ensaios com tendência a ser descartados em razão de sua pouca confiabilidade. Os métodos adotados são o ASTM C-289 e NBR 9774.

#### **5.2. Caracterização do Cimento**

Como é o produto que mais contribui com álcalis para o concreto, deverá ser dada preferência ao uso de cimentos com menores teores de álcalis-solúveis. O

método de ensaio correspondente é o ASTM C-114.

### **5.3. Uso de Materiais Pozolânicos ou Escórias Granuladas de Alto-Forno**

A utilização de materiais pozolânicos ou escórias granuladas de alto-forno misturados ao cimento tem se mostrado a forma mais eficaz de se evitar a deterioração do concreto devida à reação álcali-agregado. O teor adequado de adição ao cimento que garanta a inibição da reação pode ser determinado através do ensaio ASTM C-441.

### **5.4. Uso de Aditivos**

O uso de aditivos que contribuam para o aumento da compacidade do concreto é também um fator que minora a intensidade da expansão, já que a disponibilidade de água é indispensável para o seu desenvolvimento.

Concretos com ar incorporado têm se mostrado também mais duráveis frente à reação, já que as micro-bolhas trabalham como pulmões para absorver o aumento de volume de gel, minimizando os esforços internos.

## **6. OCORRÊNCIA DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO NO BRASIL**

No Brasil, o estudo da ocorrência da reação álcali-agregado não é ainda sistemático,

ficando restrito a poucos centros de pesquisas nacionais. Apenas a partir de 1985 foi que o meio técnico brasileiro tomou conhecimento da ocorrência desse fenômeno nas barragens de Moxotó e Joanes II, ambas localizadas na região nordeste do País. Por reunirem as condições que favorecem a reação, essa patologia aparece preferencialmente nas obras hidráulicas, porém isso não significa que não apareça em outros tipos de obras como pavimentos, instalações industriais, obras residenciais, etc, com alguns casos já relatados ou estudados na ABCP.

A adoção de medidas sistemáticas de prevenção vem atualmente evitando a ocorrência dessa patologia mas no passado essa iniciativa não era comum. Constituem exemplos de prevenção as barragens de Jupiá (concluída em 1963), Água Vermelha (construída entre 1975 e 1979) e Salto Osório (construída entre 1971 e 1975) dentre outras, onde foram utilizados materiais pozolânicos para inibir a expansão com o uso local de agregados reativos e que se tornaram exemplos de sucesso de prevenção de danos causados pela reação álcali -agregado.

A Tabela 1 apresenta uma tentativa de sintetizar casos comprovados de ocorrência de reação álcali-agregado em estruturas de concreto de barragens no Brasil e de algumas outras estruturas. A maior parte dos casos se refere a estudos efetuados na ABCP, sendo que algumas estruturas foram estudadas várias vezes em diferentes períodos.

**TABELA 1 - ESTRUTURAS DE CONCRETO COM EVIDÊNCIAS DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO**

Estrutura de Concreto	Estado	Ano de Construção	Natureza do Agregado	Natureza da Reação
Barragem de Tapacurá/DNOS	PE	1975	Granito e gnaisse cataclasados	Álcali-silicato
Base de concreto de Instalação Industrial da White-Martins	PE	1982	Granito e gnaisse cataclasados	Álcali-silicato
Base de concreto/Angelin	PE	-	Rocha granítóide deformada e milonito	Álcali-silicato
Base de concreto Mirueira	PE	-	Biotita hornblendita gnaisse	Álcali-silicato
Base de concreto Benji	PE	-	Biotita, gnaisse	Álcali-silicato
Base de concreto Pirapama	PE	-	Hornblendita, biotita, gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Paulo Afonso I a IV	BA/AL	1955 1979	Granito, gnaisse e migmatito	Álcali-silicato
Barragem de Pedras	BA	1970	Granito	Álcali-silicato
Barragem de Joanes II	BA	1969-1971	Gnaisse, migmatito e granulito	Álcali-silicato
Barragem de Moxotó	BA/AL	1972-1977	Granito, gnaisse e migmatito	Álcali-silicato
Barragem de Sobradinho	BA	1979	Quartzito	Álcali-silicato
Barragem de Ilha dos Pombos	RJ/MG	1920	Gnaisse milonítico, biotita e gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Peti	MG	1946	Gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Furnas	MG	1958-1963	Quartzito	Álcali-silicato
Barragem de Billings/Pedras	SP	1926	Granito	Álcali-silicato
Barragem de Pedro Beicht	SP	1932	Granito-gnaisse	Álcali-silicato

<b>Estrutura de Concreto</b>	<b>Estado</b>	<b>Ano de Construção</b>	<b>Natureza do Agregado</b>	<b>Natureza da Reação</b>
Barragem Santa Branca	SP	1960	Biotita, gnaisse cataclástico	Álcali-silicato
Barra Bonita	SP	1963	Basalto	Álcali-silicato
Usina Traição	SP	> 50 anos	Milonito	Álcali-silicato
Barragem de Rio das Pedras	SP	-	Mica-xisto e gnaisse	Álcali-silicato
Tomada d'Água/Sistema Cantareira	SP	-	Gnaisse cataclástico	Álcali-silicato
UHE Salto do Meio	PR	-	Basalto	Álcali-silicato
UHE Guaricana	PR	-	Milonito, basalto e granito	Álcali-silicato
Usina Elevatória de Pedreira	SP	-	Granito gnássico	Álcali-silicato
Barragem Paiva de Castro	SP	-	Granito gnássico	Álcali-silicato
Barragem de Ribeirão do Campo	SP	-	Milonito	Álcali-silicato
Barragem de Cascata	SP	-	Granito/gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Atibainha	SP	-	Milonito	Álcali-silicato
Reservatório de Paraibuna	SP	-	Milonito	Álcali-silicato
Barragem de Jaguari	SP	-	gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Vassoroca	PR	-	gnaisse	Álcali-silicato

#### USINA HIDRELÉTRICA DE GUARICANA

Os estudos desenvolvidos mostraram evidências inequívocas de reação álcali-agregado nas 5 amostragens ensaiadas, caracterizadas pela presença de grandes quantidades de gel expansivo observadas em vazios e poros do concreto, nas bordas dos agregados e preenchendo microfissuras, estas decorrentes dos processos expansivos (Foto1).

#### BARRAGEM DE JAGUARI

Da amostras extraídas no vertedouro (galeria central, paramento de montante e crista) somente esta última apresentou feições sugestivas da ocorrência da reação, sendo observadas bordas em torno dos agregados e poros preenchidos por material branco, com aspecto vítreo, constituído por gel maciço expansivo, com composição silico-calcário-potássico, com  $K/Ca < 1$ .

Apresenta também produtos cristalizados fibrosos mais ricos em potássio, também decorrentes da reação álcali-agregado(Foto2).

### **Barragem de Atibainha**

Das quatro amostragens realizadas no muro lateral da Bacia de Decantação e no muro da Tulipa, apenas uma da Tulipa apresentou evidências efetivas de ocorrência de reação álcali-agregado, com presença de gel expansivo silico-cálcico-potássico.

### **Reservatório de Paraibuna/ São Luis do Paraitinga**

Foram feitas duas amostragens e os resultados dos estudos revelaram estágios distintos da evolução da reação álcali-agregado. Numa delas a presença do gel silico-calcário-potássio é generalizada ,enquanto que na outra a ocorrência é mais restrita. Curiosamente em ambas as amostras não foram observadas bordas típicas de reação.

### **Usina Hidrelétrica Salto do Meio /PR**

Dois corpos-de-prova amostrados revelaram a ocorrência generalizada de reação alcali-silicato, com grande quantidade de gel expansivo disposto em vazios e poros do concreto, nas bordas dos agregados e preenchendo raras fissuras dos agregados e argamassa. Parte do gel está carbonatada o que confere uma composição diferente daquela típica de geis expansivos.

### **Barragem da Cascata**

Os estudos realizados permitiram confirmar a ocorrência de reações expansivas do tipo álcali-silicato, por meio de presença de géis amorfos e gretados, com composição sílico-calcário-potássica (Foto 3).

### **Barragem de Pedro Beicht**

Esta estrutura já havia sido estudada no início dos anos 90. Estudos recentes

realizados a partir de amostras coletadas do paramento de montante e da crista revelaram bordas típicas de reação com formação de gel expansivo apenas nas primeiras, fato que pode estar relacionado à amostragem.

### **Usina Elevatória de Pedreira**

Produtos de reação álcali-agregado foram identificados em amostras retiradas de pilares de montantes e jusante, da casa de força – unidades 3 e 7, exceto casa de força unidade 8 ,onde não se verificou nenhuma evidência da reação (Foto 4).

### **Barragem de Vassoroca**

As amostras analisadas foram retiradas a 4,50 m e 7,65 m de profundidade e a reação alcali-silicato aparece de forma pouco pronunciada e que não permite apontá-la como causa de uma eventual perda de qualidade do concreto.

### **Usina Elevatória de Traição**

Estudada por amostragens realizadas em 1994 e 1999, verificou-se que a reação não se desenvolveu de maneira uniforme pela estrutura, sendo mais intensa nas amostras da clausa e da unidade 2 do descarregador. Na unidade 4 é pouco pronunciada. Considerando-se a idade da obra ,supõe-se que a reação tende para a estabilização (Foto 5).

### **Barragem de Ribeirão do Campo**

Amostragens realizadas na galeria do corpo da barragem mostraram evidências da reação álcali-agregado através do gel branco na borda dos agregados e disperso pela pasta de cimento.

### **Barragem de Paiva Castro**

Amostragens realizadas no muro lateral esquerdo da Bacia de Decantação e no muro lateral direito do dique mostram

evidências de reação álcali-agregado generalizadas, com presença de gel expansivo e microfissuração (Foto6).

### Barragem de Paulo Afonso

Novos estudos realizados nas subestações de Zebu e Paulo Afonso III e IV mostraram evolução maior da reação nas amostras da subestação de Zebu e Paulo Afonso IV, em relação a Paulo Afonso III.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos estudos desenvolvidos dois aspectos merecem ser detalhados e analisados.

### 7.1. Tipo de Reação

As reações estudadas são todas, sem exceção, do tipo álcali – silicato e, portanto de desenvolvimento mais lento. Esse fato deve levar o meio técnico brasileiro a se preocupar com dois aspectos ligados a essa constatação:

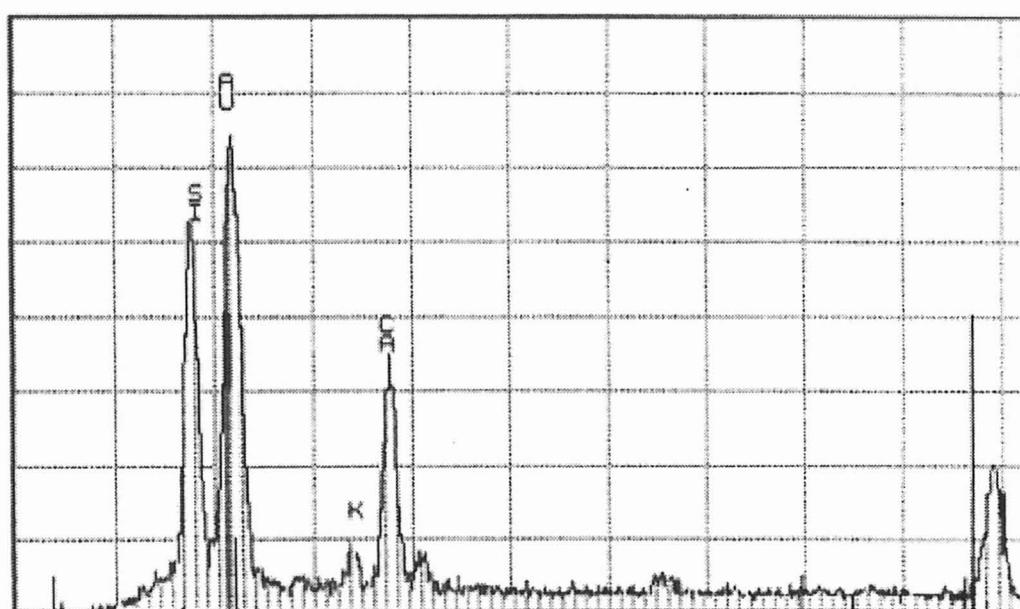
- As barragens e obras construídas em

ambiente úmido, sem medidas preventivas, principalmente a partir da década de 1960 estão “no ponto” para apresentação de problemas relacionados à reação álcali-agregado.

- Os métodos de ensaios acelerados de expansão de barras devem ser vistos com reservas quanto à idade considerada na interpretação dos resultados. Julga-se recomendável analisar a curva de tendência dos resultados em idades mais avançadas (até no mínimo 30 dias) para uma tomada de decisão para a necessidade ou não do uso de medidas preventivas.

### 7.2. Álcalis mais Ativos

As análises dos principais elementos químicos dos géis estudados na ABCP mostraram uma prevalência da presença do Potássio (K) em detrimento do Sódio (Na) como ilustrado na FIGURA 1.



**FIGURA 1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA, OBTIDA POR EDS, PARA O GEL AMORFO. NOTAR A RELAÇÃO K/CA MENOR QUE 1, CARACTERIZANDO-O COMO EXPANSIVO. O OURO IDENTIFICADO DECORRE DO PROCESSO DE PREPARAÇÃO DA AMOSTRA.**

## FOTOMICROGRAFIAS



Foto 1-Gel branco e bordas de reação nos agregados  
Hidrelétrica.Guaricana.Microscópio estereoscópico.Ampliação 6X



Foto2-Gel expansivo gretado de composição silico-cálcica-potássica.  
Barragem de Jaguari.Microscópio eletrônico de varredura. Ampliação 750X



Foto3-Gel expansivo gretado em concreto da Barragem de Cascata.  
Microscópio eletrônico de varredura  
Ampliação750X



Foto4-Gel amorfo e produto cristalizado em concreto da Usina Elevatoria de Pedreira.Microscópio eletrônico de varredura.Ampliação 750X



Foto5- Gel branco e azulado,típico de reação alcali-agregado em poro de concreto da Usina de Traição.Estereoscopia10X

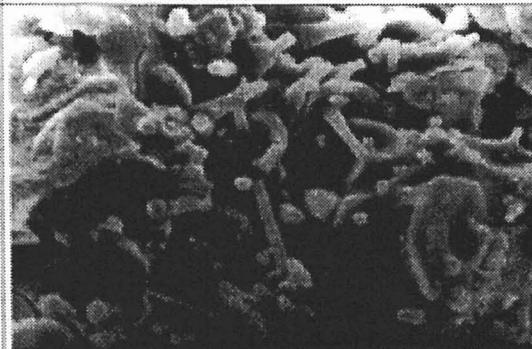


Foto6- Gel gretado e produto cristalizado formado a partir do material amorfo  
Concreto da Barragem Paiva Castro  
Microscopia Varredura. Ampliação1500X

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO  
PORTLAND -- Apreciação da durabilidade do concreto, com ênfase na reação álcali-agregado. Relatórios Técnicos de números: 4966, 5012, 6950, 10587, 10640, 13113, 13318, 13484, 16148, 16384, 16740, 16741, 16742 e 16789 — São Paulo, junho/1996 a março/2001.

KIHARA, Y. e SCANDIUZZI, L. Reação álcali-agregado: mecanismos, diagnose e casos brasileiros, 3º.

Congresso Brasileiro de Cimento, São Paulo, ABCP, novembro/1993, vol.1, pág. 319-338.

OBERHOLSTER, R.E., VAN AARDT, J.M.P., BRANDT, M.P. Durability of cementitious systems. In: BARNES, P. Structure and performance of cements. London: Applied Science, 1983, p. 380-397.

SWENSON, E.G. A reactive aggregate undetected by ASTM tests. American Society for Testing and Materials, Bulletin, Philadelphia, v. 57, n. 226, p. 48-51, Dec. 1957.