

SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Goiânia, novembro de 1997

ANAIS

**Observação de Estruturas de Concreto : Validade
Quanto a Ocorrência da Reação Álcali-Agregado**

REALIZAÇÃO:



**Comitê Brasileiro de
Grandes Barragens**

FURNAS  **CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

Apoio:



IBRACON

Observação de Estruturas de Concreto : Validade Quanto a Ocorrência da Reação Álcali-Agregado

Francisco Rodrigues Andriolo

Engenheiro Consultor – Andriolo Ito Engenharia S/C Ltda

Rua Cristalândia 181-São Paulo- CEP-05465-000- Tel: ++55-11-2605613- Fax:++55-11-260 7069

RESUMO

Há crédito sobre os dados obtidos pela instrumentação de estruturas de concreto ?

Foi estabelecida para a obra, a ser considerada, um acervo técnico de informações e estudos, que possam permitir estabelecer correlações com os fenômenos ?

Foram previstas medidas e ações alternativas e “remediais” para a eventual falha das previsões ?

Partindo do princípio que o Engenheiro deve planejar as ações, a publicação procura debater questões referentes à administração dos fatos e dados, bem como provocar ao debate e a atenção para se precaver quanto ao fenômeno e avaliar o seu desempenho quando da eventual ocorrência.

1- INTRODUÇÃO

A RAA pode ser resumida como um tipo de degradação que afeta ao concreto através de um fenômeno de expansão. A expansão é causada pela reação química que se processa entre certos tipos de agregados e os álcalis de Sódio(Na) e de Potássio(K) existentes no cimento Portland, e cuja intensidade depende dos produtos formados pela reação.

Em escala microscópica, as conseqüências da expansão devido à RAA podem apresentar-se como microfissuras e descolamento do agregado, e sob o ponto de vista volumétrico, o desenvolvimento de esforços e decorrentes fissuras no concreto.

Na superfície do concreto um padrão de fissuramento característico se estabelece, com fissuras poligonais e a exsudação do gel de sílica. Algumas vezes outros componentes se fazem notar. Na superfície a ação cíclica de molhagem-secagem, e onde há gelo-degelo, potencializa a abertura das fissuras e a penetração das mesmas.

De outro modo também, a temperatura é um potencializador da reação.

Diante dessas condições diversas a interpretação dos dados de auscultação de estruturas com RAA, bem como a modelagem matemática para interpretação e previsão da continuidade do fenômeno, é tarefa delicada.

1- SINTOMAS DA RAA

Os principais sintomas decorrentes da RAA, podem ser notados por:

2.1- Aspectos em Pequena Escala

- Microfissuras no concreto, na argamassa que preenche os vazios entre os agregados graúdos (Figuras 01 e 02);
- Fissuras nas proximidades da superfície dos agregados, e na própria superfície (Figuras 03 e 04);
- Descolamento (perda de aderência) da argamassa junto à superfície dos agregados (Figura 01);
- Ocorrência de bordas de reação, ao redor dos agregados que reagiram com os álcalis (Figuras 05 a 11);
- Presença de gel exsudando ou preenchendo vazios no concreto (Figuras 13 a 16)

2.2- Aspectos em Grande Escala

- Presença de gel exsudando pelas fissuras do concreto (Figuras 17 a 20)
- Movimentação (abertura e/ou deslocamento relativo) de juntas de contração (Figura 21). Algumas vezes é confundida com movimentos de recalques de fundação;
- Travamento e/ou deslocamento de equipamentos e peças móveis (comportas, turbinas, eixos, pistões etc...);

- Fissuração característica na superfície, com panorama poligonal, havendo predominância na direção da maior dimensão (Figuras 22 a 26). Em vários casos é confundida com o panorama de “retração por secagem”(quando as fissuras são de pequena abertura), e com o panorama de fissuração de origem térmica (quando as fissuras são de grande abertura);
- Fissuração nas extremidades, com característica de esfoliamento, sendo que em algumas regiões (onde o clima é severo) se confunde com as fissuras do tipo gelo-degelo;
- Abertura de juntas de construção, com fissuras horizontais (e/ou sub horizontais) (Figuras 27 e 28) , algumas vezes induzindo a pensar em “junta-fria” ou junta tratada inadequadamente;
- Fissuras de grande abertura, transversais à maior dimensão da estrutura, induzindo ao pensamento da ausência de junta de contração;
- Fissuras de tipologia estrutural (assemelhando às de corte) em regiões de concentração de deformações;
- Movimentação das superfícies livres (alteamento de cristas de barragens, e soleiras de vertedouros, deflexões para montante nas estruturas de barragens). Algumas vezes essas medidas, quando observadas, criam certa desconfiança nos profissionais encarregados a interpreta-las, fazendo que essas medições sejam (infelizmente) descartadas.

A fissuração , ocorrida, pode levar à penetração de água e perda de estanqueidade. Por outro lado, também, a microfissuração junto à superfície dos agregados e perda de aderência podem levar à perda de Resistência e redução do Módulo de Elasticidade.

2.3- Período de “Maturação”

As ocorrências observadas, ainda carecem de uma base estatística, pois a época em que se “observou” o fenômeno, às vezes se confunde com o instante em que se “conseguiu ver”, o que não caracterizou o início do processo. Isso faz com que essa informação deva ser tomada com ressalvas. Há casos ^[1] em que a fissuração foi observada aos 6 meses, desde o início da moldagem (no caso exemplificado de um testemunho), mas há casos ^[2], onde se cita a

observação após 63 anos (Barragem de Canadea, nos Estados Unidos).

Sabe-se também que a velocidade de desenvolvimento e a expansão total dependem da:

- Temperatura → sendo maior a expansão quanto maior a temperatura;
- Umidade → sendo maior a expansão quanto maior a umidade;
- Teor ótimo de material que possa reagir → aumentando a intensidade da reação, quanto mais próximo do teor máximo;
- Granulometria → sendo maior a força de expansão à medida que diminui a superfície específica do material;
- Confinamento da estrutura → que significa, ações de redução de temperatura e umidade, e de esforços contrários à força de expansão;
- Meio Ambiente → presença ou não de álcalis externos.

Ou seja a maneira de se desenvolver a RAA depende da simultaneidade de mecanismos químicos, físicos, termodinâmicos, probabilísticos e cinéticos.

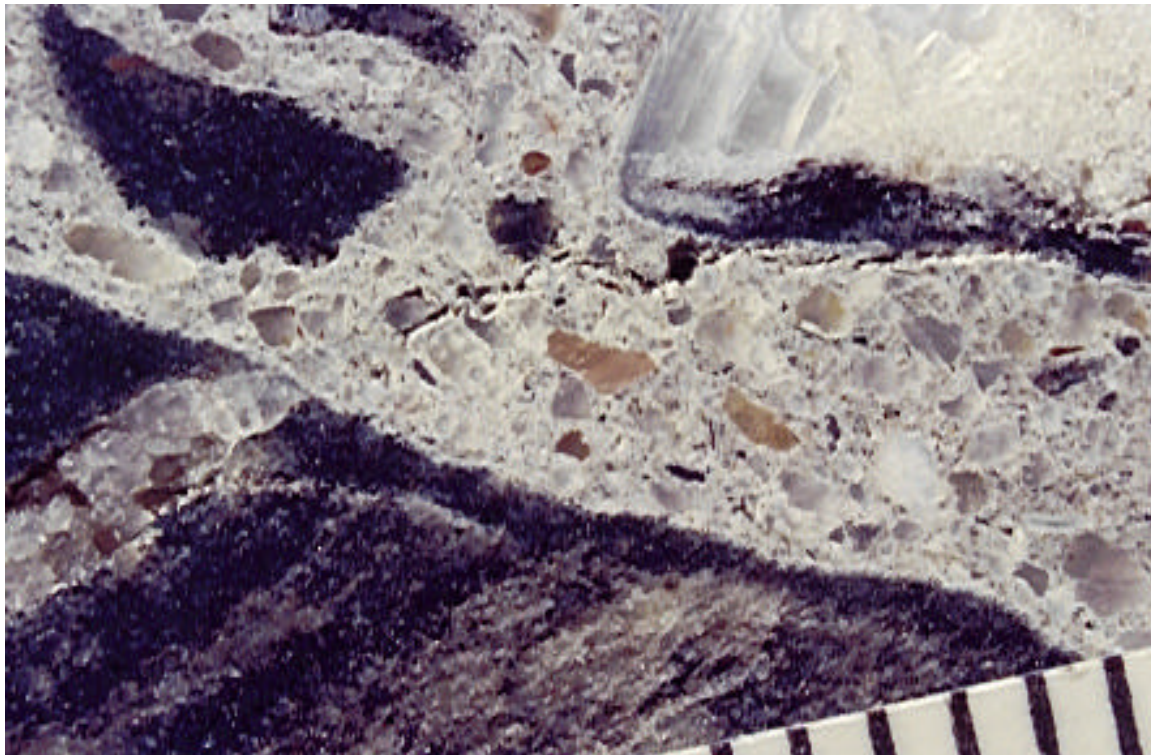


Figura 01 – Fissuras na superfície e no agregado – Obra no Brasil

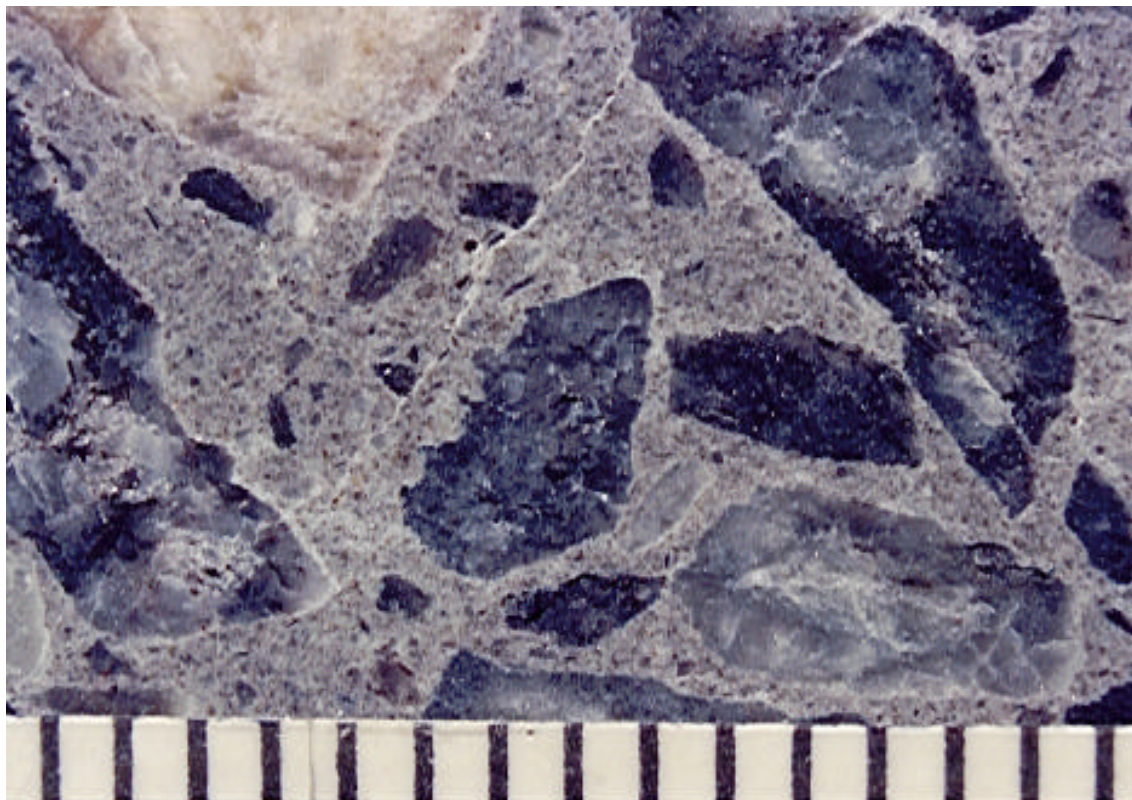


Figura 02- Fissura no Agregado – Obra no Brasil

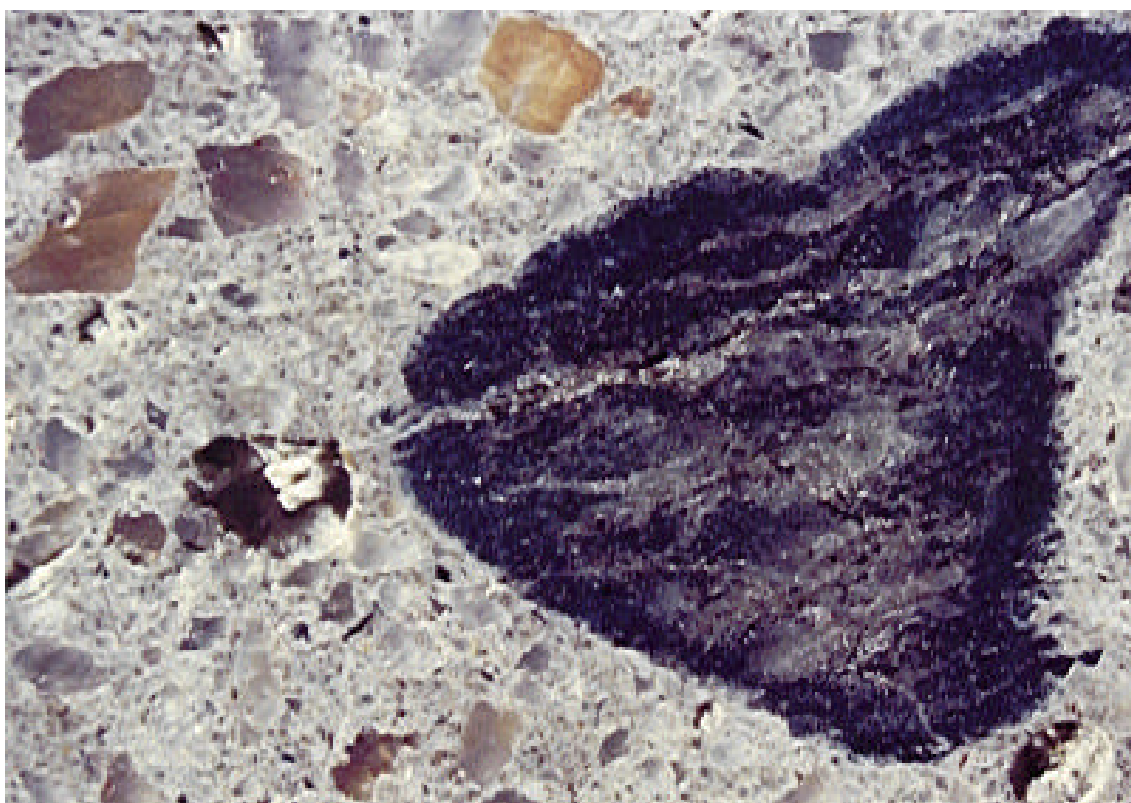


Figura 03 – Fissura no agregado – Obra no Brasil

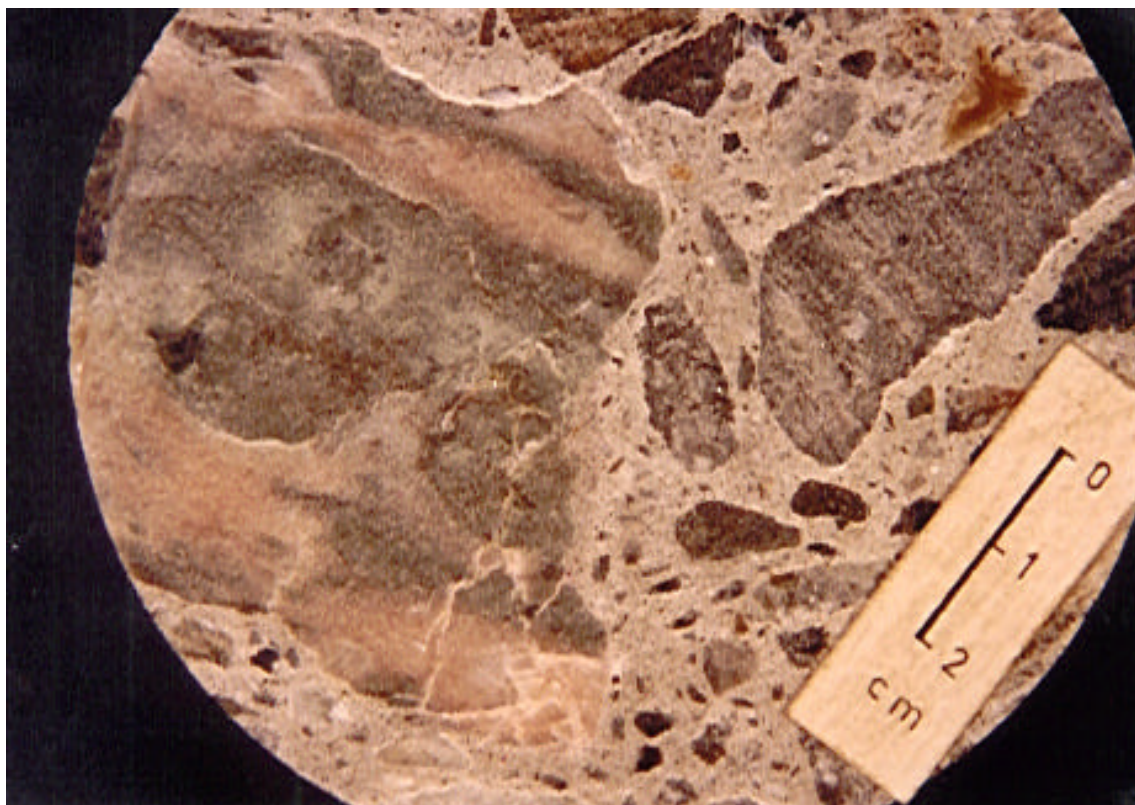


Figura 04- Fissuras na superfície do agregado e no próprio agregado – Obra no Brasil

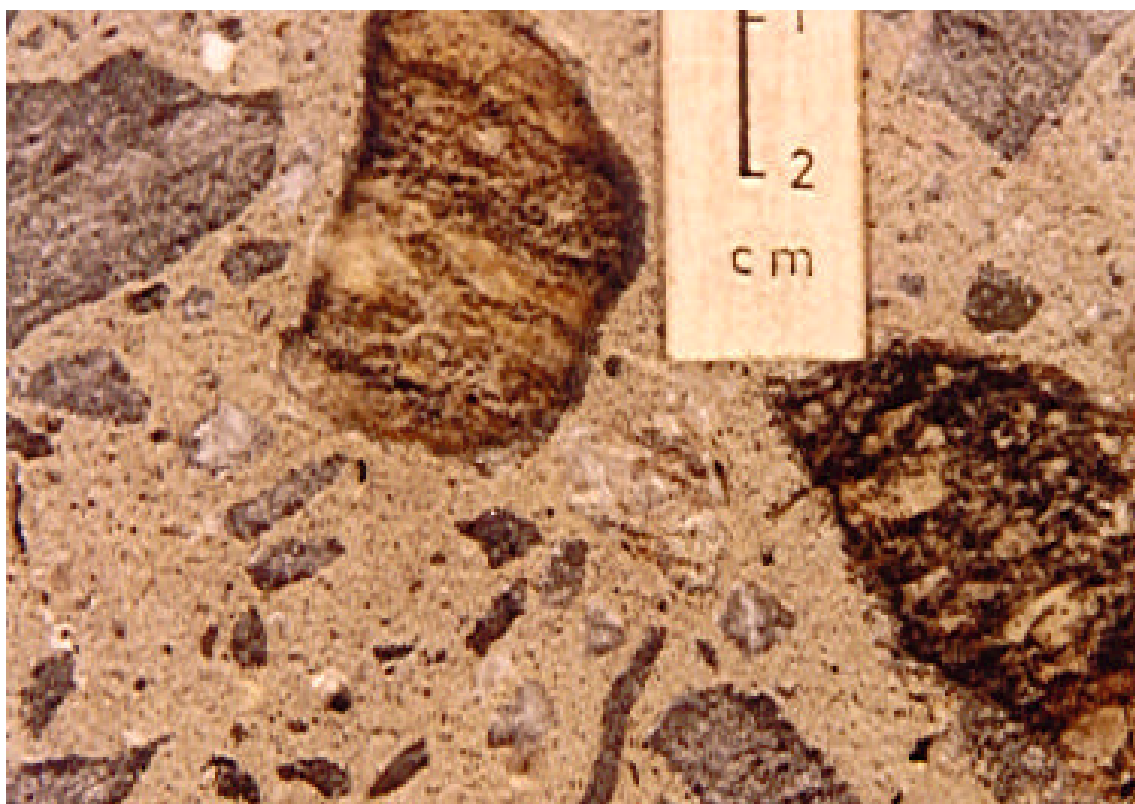


Figura 05 – Borda de RAA, junto aos agregados – Obra no Brasil

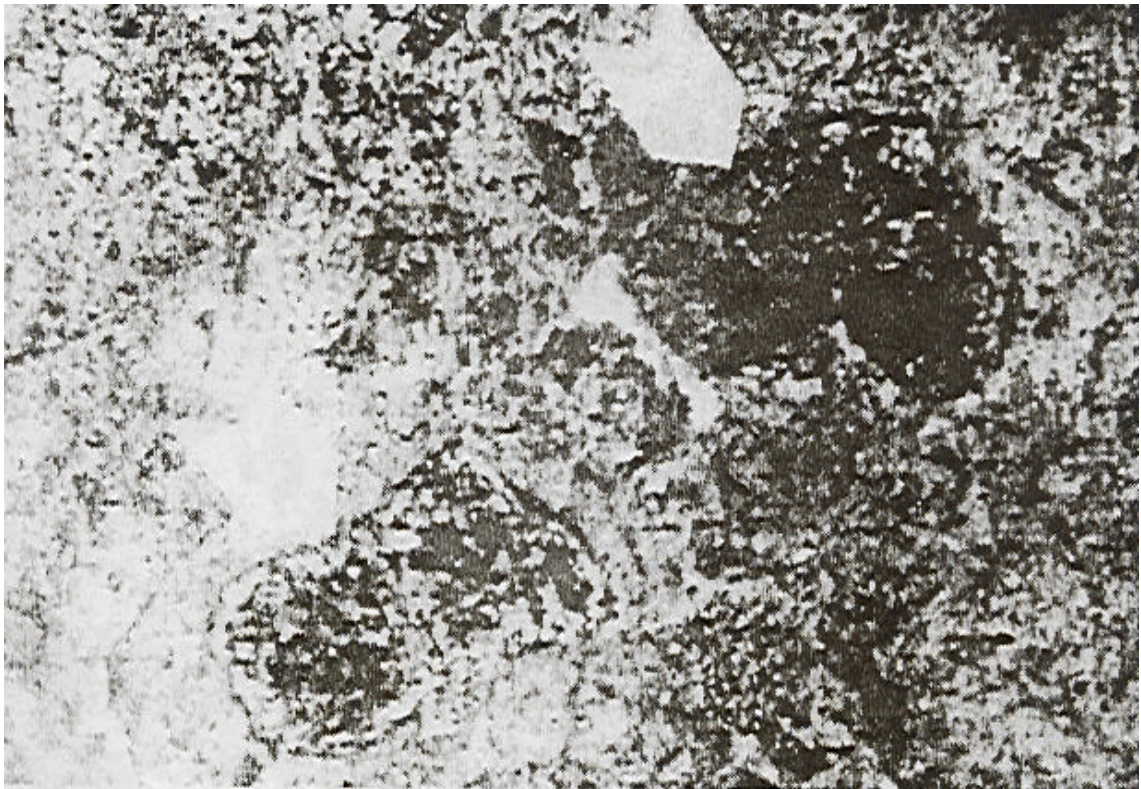


Figura 06- Bordas de RAA junto aos agregados – Obra nos Estados Unidos.



Figura 07 – Bordas de RAA no agregado- Obra nos Estados Unidos

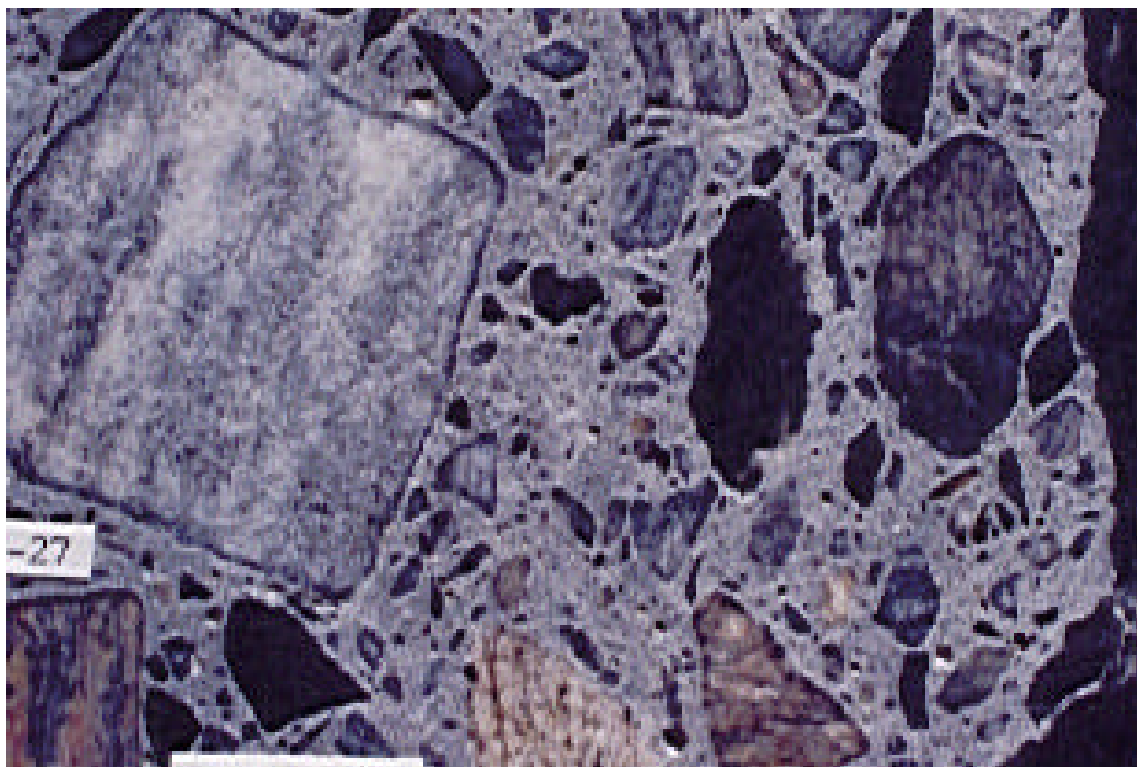


Figura 08- Bordas de RAA junto a um agregado- Obra no Brasil.

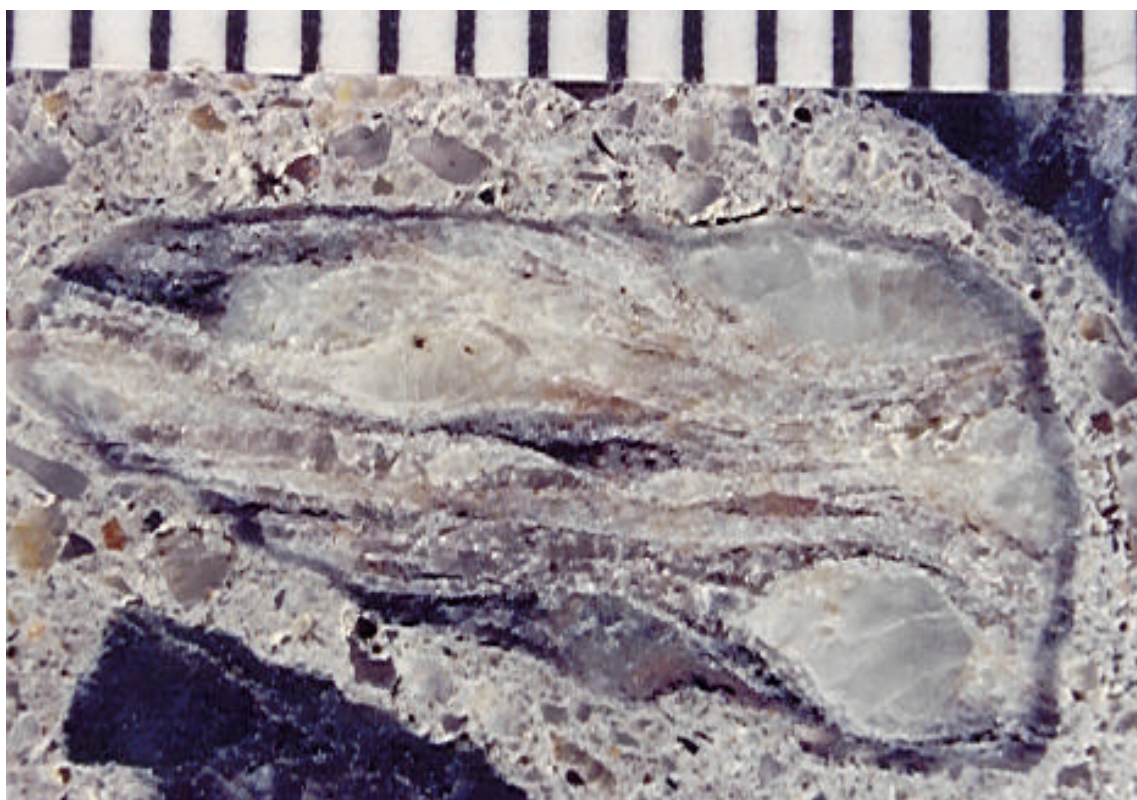


Figura 09 – Borda de RAA, junto a agregado – Obra no Brasil.

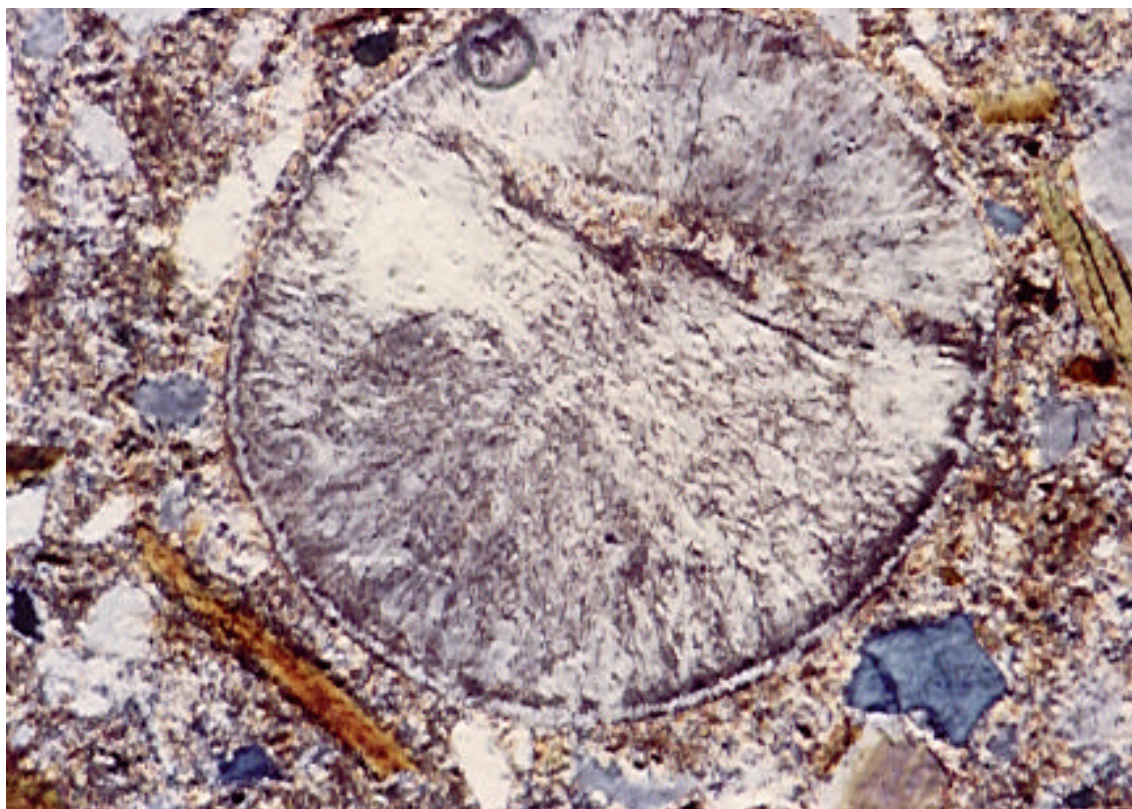


Figura 10- Anel de RAA ao redor de agregado- Obra no Brasil.

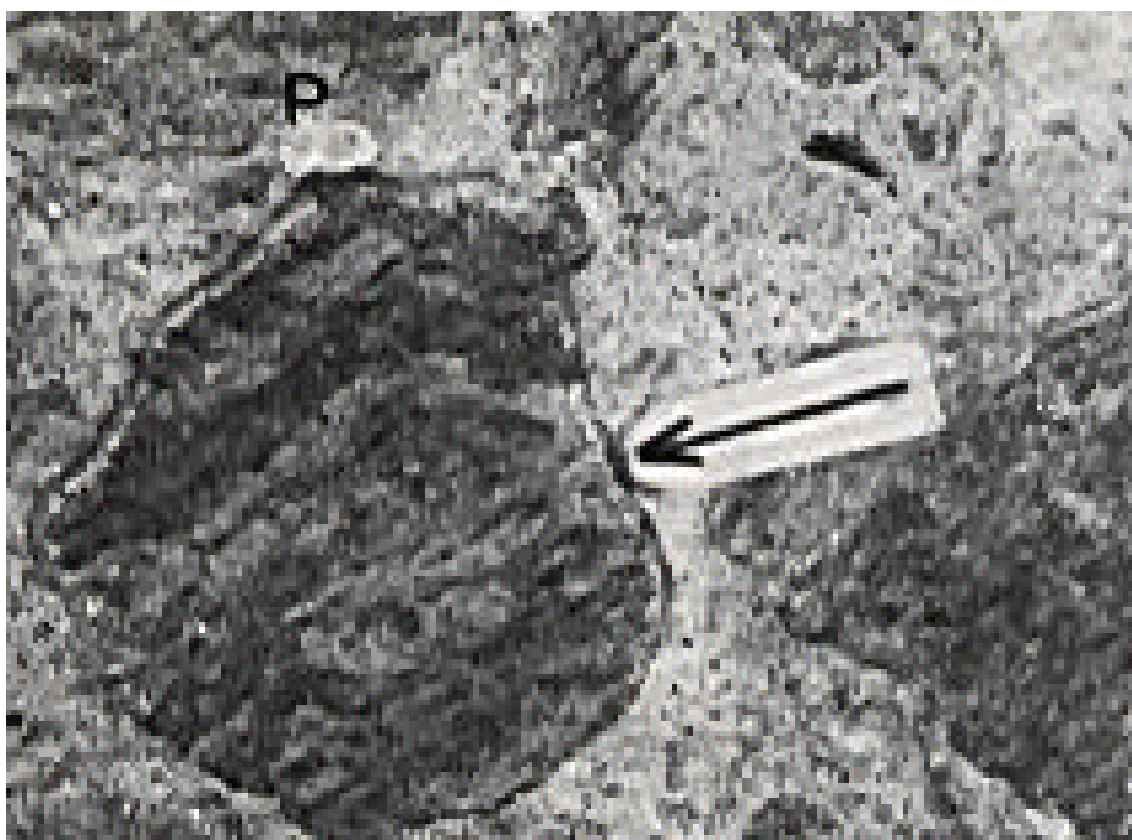


Figura 11 – Borda de RAA, junto ao agregado – Obra no Brasil.

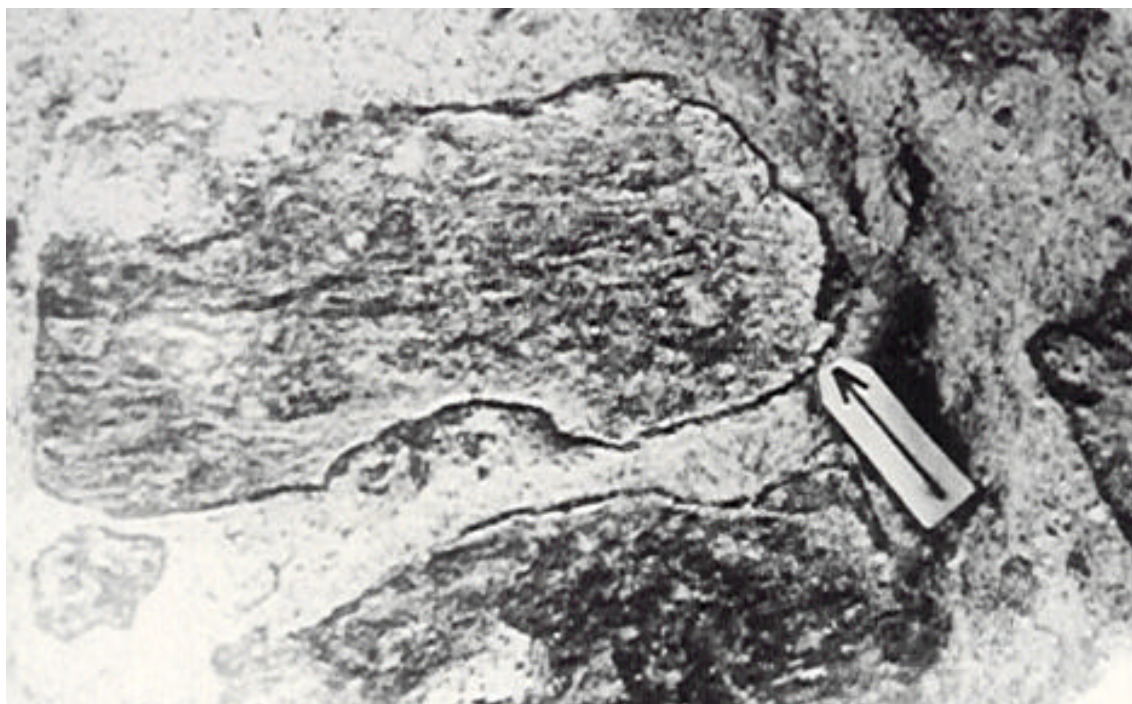


Figura 12- Borda de RAA junto a agregado- Obra no Brasil.

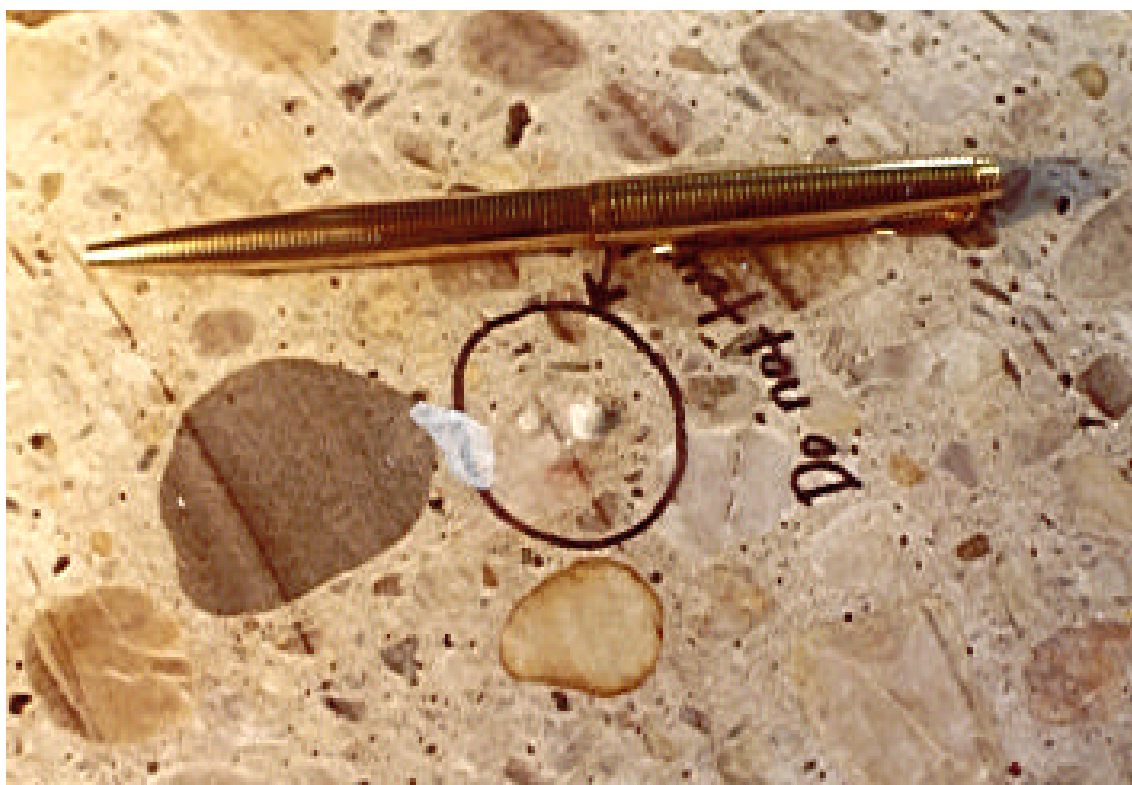


Figura 13 – Exsudação de gel da RAA, na superfície de um testemunho –Amostra existente na Portland Cement Association – Estados Unidos



Figura 14- Exsudação de gel da RAA junto à superfície de agregados – Amostra existente na Portland Cement Association –Estados Unidos.

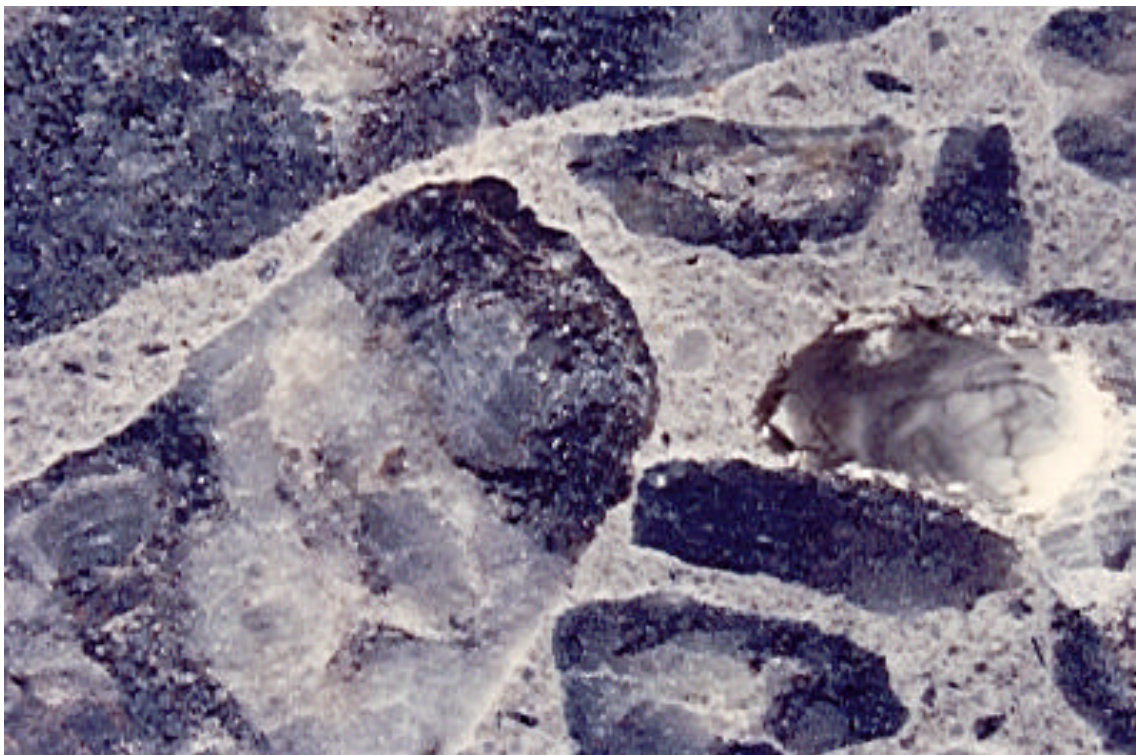


Figura 15 – Exsudação de gel da RAA, em testemunho extraído – Obra no Brasil.



Figura 16- Exsudação de gel da RAA , nas proximidades do agregado- Obra no Brasil.



Figura 17 – Exsudação de gel da RAA em fissuras de expansão- Obra nos Estados Unidos.



Figura 18- Exsudação de gel da RAA em fissuras de expansão- Obra nos Estados Unidos.

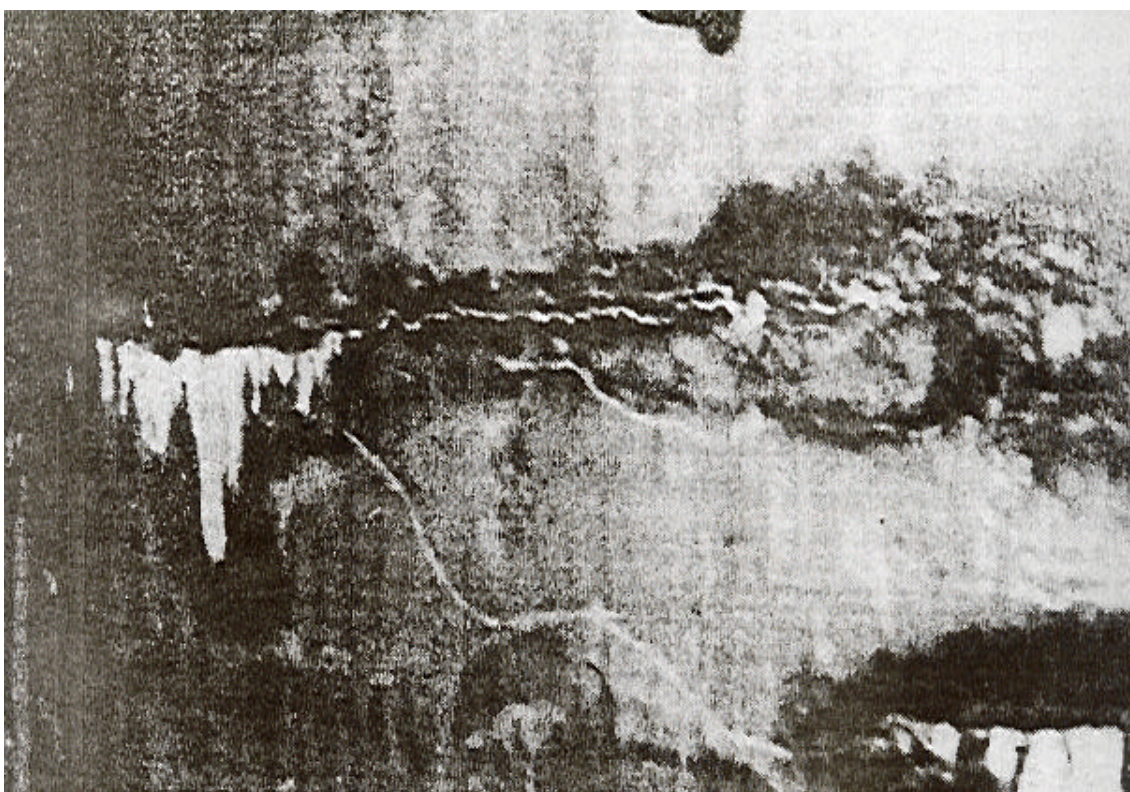


Figura 19 - Exsudação de gel da RAA em fissuras de expansão- Obra no Brasil.

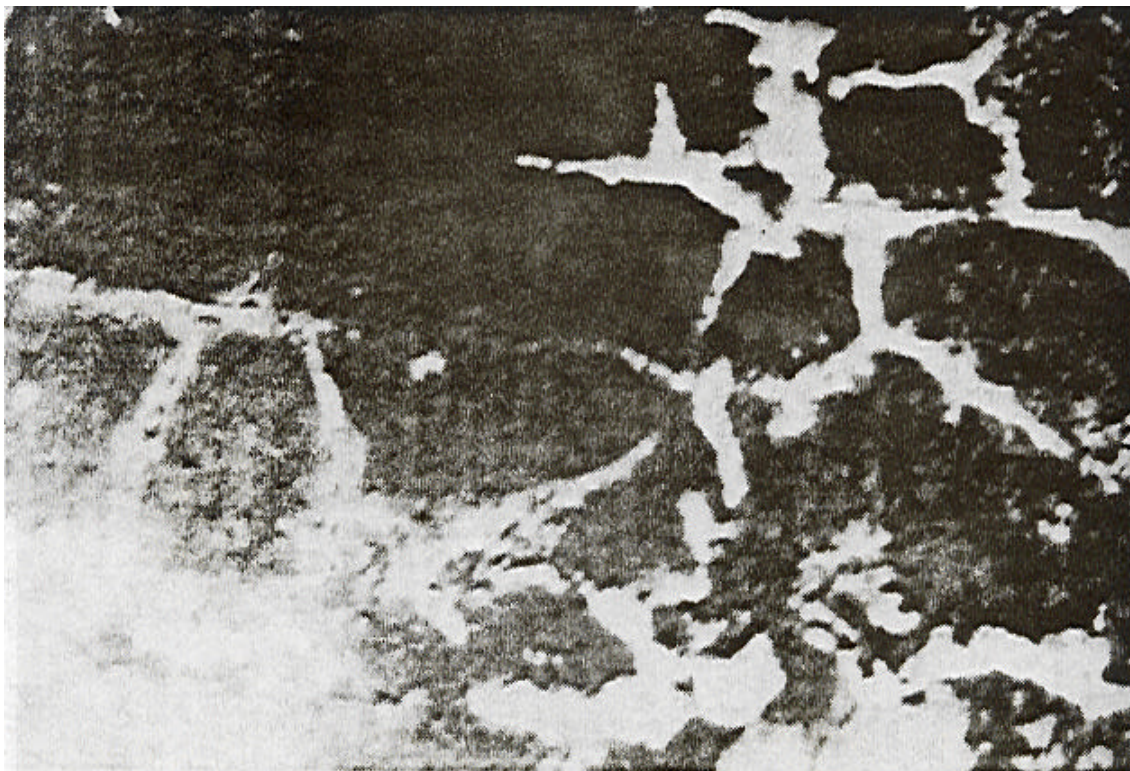


Figura 20- Exsudação de gel da RAA em fissuras de expansão- Obra no Brasil.



Figura 21 – Abertura de junta de contração devido à RAA- Obra nos Estados Unidos.



Figura 22- Fissuras poligonais na superfície, devido à RAA- Obra no Brasil.



Figura 23 – Fissuras poligonais, em paramento de barragem – Obra no Brasil.



Figura 24- Fissuras na direção da maior dimensão – Obra no Brasil

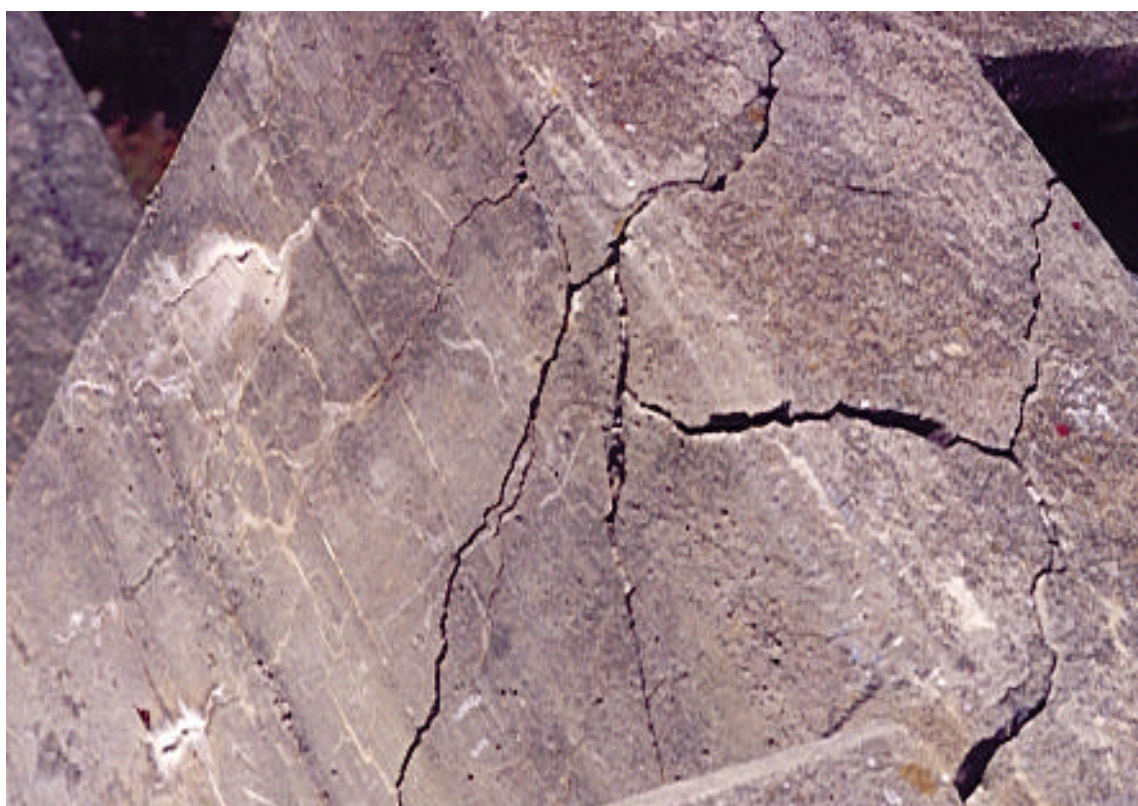


Figura 25 – Fissuras poligonais na superfície – Obra nos Estados Unidos.



Figura 26- Fissuras de grande abertura devido à RAA – Obra nos Estados Unidos.



Figura 27 – Fissuras superficiais, na junta de construção – Obra no Brasil.



Figura 28- Fissura em pilar de Vertedouro com expansão e travamento de comporta – Obra nos Estados Unidos.

De outro modo, a precisão para se afirmar sobre o término da expansão tem sido considerada como sendo a de mais uma década, o que pode induzir ao pensamento de um grande período de tempo, mas que normalmente está associado, nessa fase, à pequena intensidade de expansão.

2- SIMULAÇÕES QUANTO A RAA

Um dos primeiros ^[3] modelos matemáticos desenvolvidos para espelhar o mecanismo de expansão se associa a Grattam-Bellew ^[4]. A partir dos ensaios de expansão de argamassas e de prismas de concreto observou que a velocidade de expansão, expressa em termos de raiz quadrada do tempo (idade), é proporcional à expansão das amostras. Por outro lado, a duração do período de início de expansão não se relaciona com a velocidade de expansão, nem com a expansão total final.

Hobbs ^{[3][5]} sugeriu que a modelagem da expansão deveria ser exponencialmente proporcional ao aumento do volume do gel após o início da primeira etapa de reação, baseando-se nas condições de ensaios de concreto com 100% de umidade relativa, a 38 °C e 20 °C nas condições de exposição ao tempo.

Outros autores e pesquisadores induzem a modelos que tomam em conta a correlação com as expansões observadas nas “barrinhas” de argamassa (Método ASTM-C- 227), e outros consideram que a duração do período inicial das reações depende da geometria e dimensões da estrutura.

De modo mais recente ^[6] se apresentam modelagens considerando o concreto como um material poroso e os agregados como sugere-se na Figura 29.

Há, então, um grande número de hipóteses tomando como base as expansões observadas em ensaios que têm nas suas concepções, pontos de divergência. Disso resulta uma tendência de procurar “simplificar” os modelos de tal modo a enfatizar os fatores que sejam mais significativos.

3- SISTEMA DE AUSCULTAÇÃO E AVALIAÇÃO DA RAA

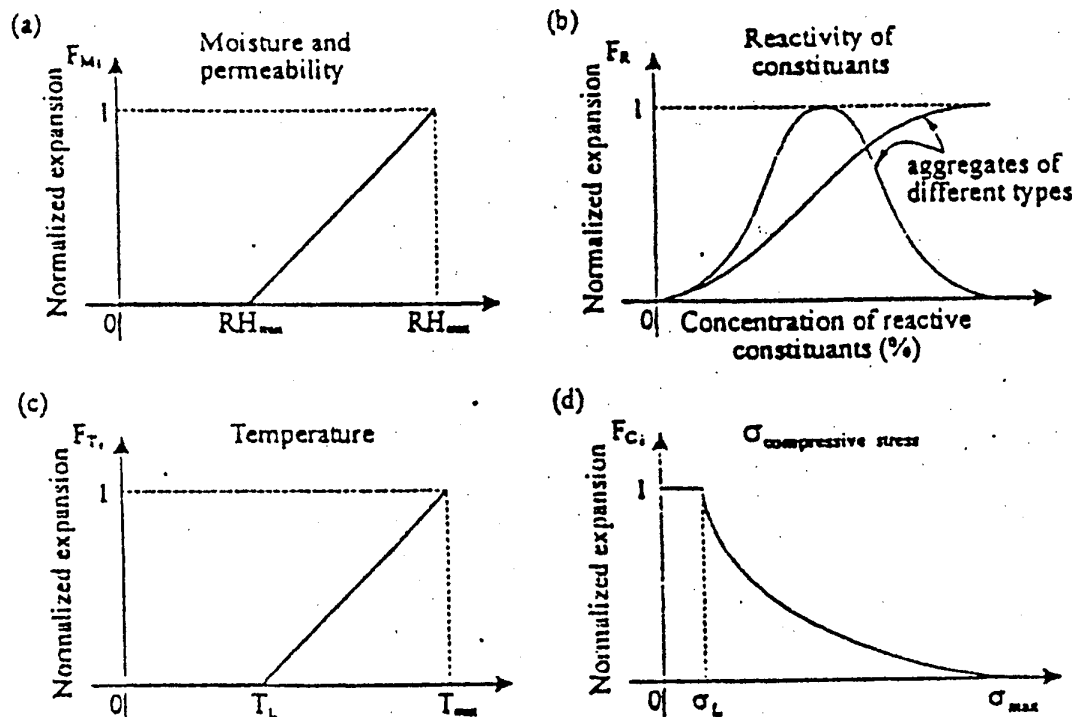


Figura 29- Fatores de influência para a modelagem matemática ^[6]

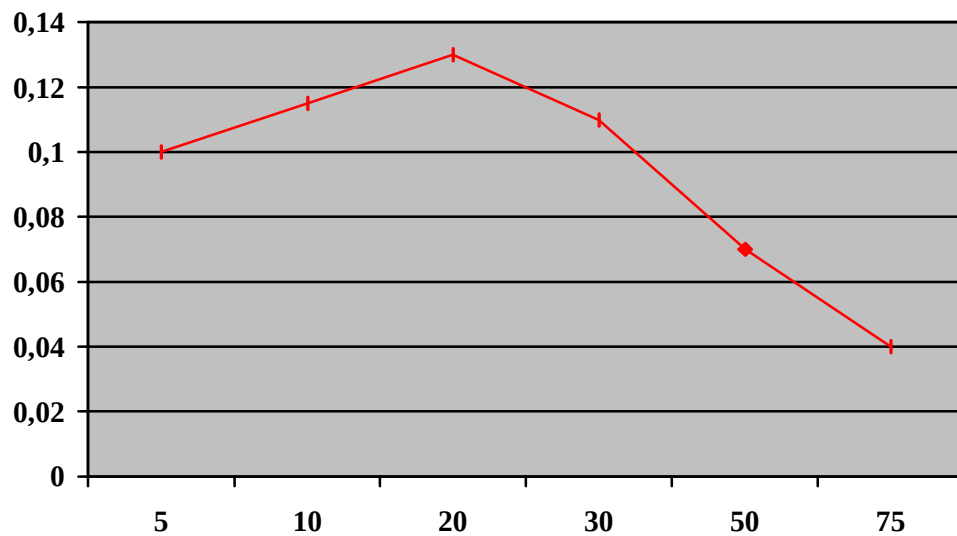


Figura 30 – Teor “ótimo” de material deletério no agregado ^[7]

A avaliação do desempenho das estruturas afetadas por RAA pode ser feita basicamente dentro de dois conceitos:

- Das propriedades do concreto e ensaios não destrutivos;
- Do acompanhamento da estrutura através da auscultação.

4.1- Propriedades do Concreto e Ensaios não Destrutivos

4.1.1- Propriedades do Concreto

A Resistência à Tração e o Módulo de Elasticidade são afetados pela RAA, sendo que ambas podem afetar o desempenho e integridade das estruturas de concreto. Entretanto essa perda de propriedades de engenharia não ocorrem ao mesmo tempo, ou na proporção da expansão. Diante disso, esse procedimento não se traduz em ferramenta útil.

4.1.2- Ensaios não Destrutivos

Alem da inspeção visual a avaliação de estruturas afetadas por RAA pode ser feita por ensaios não destrutivos não só sobre a própria estrutura, mas também por meio de avaliações realizadas sobre testemunhos.

O emprego de velocidades ultra-sônicas ou do Módulo de Elasticidade Dinâmico se constitui em técnica de interesse para monitorar o início e andamento do fenômeno de deterioração do concreto. O método de ressonância (frequência fundamental) tem sido usada ^[7].

De outra maneira as velocidades ultra-sônicas têm uma potencial aplicação com a tomografia, para visualizar ^[8] as condições internas de uma estrutura massiva de concreto, afetada pela RAA. Através dessa metodologia, ainda, em desenvolvimento, a presença e localização de defeitos internos, pode ser determinada e visualizada. A distribuição espacial dos parâmetros ultra-sônicos no interior da estrutura, com até 50m de espessura, ou de algum componente estrutural, pode ser utilizado para balizar a distribuição da RAA ou das deteriorações decorrentes. Geralmente altas velocidades são indicativos de boa qualidade do concreto.

Com apoio de tomografia computadorizada as dificuldades precedentes de análise de uma única linha (direção) de determinação da velocidade são eliminadas e pode-se avaliar um maior número de direções , determinando uma imagem bidimensional.

4.2- Auscultação das Estruturas- Instrumentação

A instrumentação de auscultação pode se situar no que resume o quadro da Figura 31. De maneira geral um amplo sistema de instrumentação e monitoramento tem sido instalado nas obras em que se observa a ocorrência de RAA, mas quando instalada no início da obra pode ser ferramenta valiosa na para a indicação do fenômeno.

A utilidade do sistema de monitoramento implantado após a evidência da RAA, praticamente se faz para avaliar o residual de reação que possa existir, pois essa implantação normalmente ocorre após o fenômeno ja ter causado perturbações e anormalidades.

Tipo de Instrumento	Objetivo Principal	Leitura	Época de Instalação	Interesse	Comentário Praticidade-Custo/Benefício
Termômetros	Medir a temperatura da massa de concreto	Remota	Anterior à RAA	Permite avaliar um dos vetores críticos da Reação	Bom
			Posterior à RAA	Tem a desvantagem de poder indicar a temperatura ambiente externa e não da massa de concreto	Dúvidosa
			Na fundação e Anterior à RAA	Pode acusar a abertura de fenda no contato da fundação	Bom
Piezômetros	Medir o nível de pressão atuante	Local ou Remota	Na fundação e Posterior à RAA	Pode acusar nível piezométrico que permite subsidiar a verificação da estabilidade	Bom
			Na massa de estrutura e Anterior à RAA	Pode acusar a abertura de fissuras na estrutura de concreto e o esbolecimento da sub-pressão	Bom
			Na massa de estrutura e Posterior à RAA	Pode acusar nível piezométrico que permite subsidiar a verificação da estabilidade	Bom
			Anterior à RAA		
			Posterior à RAA		
Extensômetros de Fios/Fios	Medir deslocamento e deformação	Local ou Remota	Anterior à RAA	Permite avaliar a deformação decorrente de expansão desde o início da Reação	Bom
			Posterior à RAA	Permite avaliar a deformação posterior ao instante da verificação	Bom
Cinômetros	Medir rotação	Local ou Remota	Anterior à RAA	Permite avaliar eventual rotação decorrente da expansão desde o início da Reação	Dúvidosa
			Posterior à RAA	Permite avaliar a eventual rotação posterior ao instante da verificação	Dúvidosa
Pêndulos	Medir deslocamentos no plano horizontal	Local ou Remota	Anterior à RAA	Permite acusar deslocamento decorrente de expansão desde o início da Reação	Bom-estrutura estável. Dúvidosa-estrutura gravemente
Dirigíveis/Inerfidos			Posterior à RAA	Permite avaliar a eventual deflexão posterior ao instante da verificação	Bom-estrutura estável. Dúvidosa-estrutura gravemente
Medidores Triangulares de Juntas	Medir deslocamentos diferenciais nas juntas de contração e/ou fissuras	Local ou Remota	Anterior à RAA	Permite acusar deslocamento relativo, decorrente de expansão desde o início da Reação	Bom
			Posterior à RAA	Permite avaliar o eventual deslocamento relativo, posterior ao instante da verificação	Bom
Marcas Superficiais	Medir deslocamento e deformação	Local ou Remota	Anterior à RAA	Permite acusar deslocamento relativo, decorrente da expansão desde o início da Reação	Bom
			Posterior à RAA	Permite avaliar o eventual deslocamento relativo, posterior ao instante da verificação	Bom

Figura 31- Instrumentação de Auscultação - Comentários

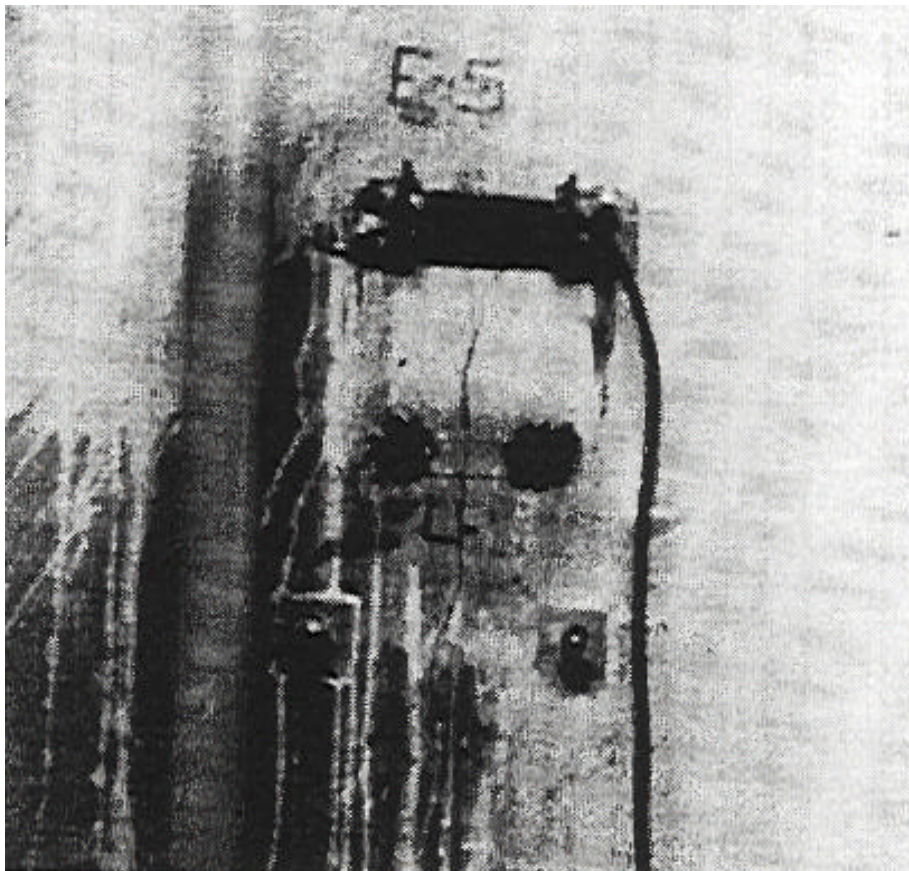


Figura 32- Instrumentação implantada após a observação da RAA- Obra no Brasil.

5- CONSEQUÊNCIAS E FATORES DE INFLUÊNCIA

Em estruturas de obras hidroelétricas a manifestação de um ou mais dos sintomas citados no ítem 2, pode levar à:

- Desalinhamento de guias e o conseqüente travamento de comportas de tomadas d'água, vertedouros;
- Desalinhamento de trilhamentos de equipamentos de carga como ponte rolante e pórticos;
- Comprometimento das vedações das comportas;
- Alteração de prumo de turbinas, eixos e geradores;
- Alteração do regime de ações e reações de cargas, como por exemplo apoios, protensões, ancoragens;

- Alteração do sistema de impermeabilização e drenagem;
- Alteração dos coeficientes de segurança das estruturas;
- Redução da durabilidade;
- Aumento da periodicidade de manutenção;
- Redução do energia gerada;

Todas essas conseqüências tornam-se fatores que influem nos custos e na receita.

6- COMENTÁRIOS

A instrumentação e o monitoramento sistemático das estruturas servem para detectar a ocorrência da RAA, sendo de maior valia quando considerada desde a época da construção, do que instalada posteriormente à RAA.

A observação de um ou mais dos sintomas não deve ser encarada com desprezo e/ou descuido, sem se considerar quanto as conseqüências que poderão advir.

7- REFERÊNCIAS

- [1]- Andriolo, F.R.; Oliveira, P.J.R.; Salles, F.M.-**“A Evolução da Reação Álcali-Agregado ao Longo do Tempo: 25 anos de Observação”** – Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado (RAA) em Estruturas de Concreto- CBGB-IBRACON- Goiania, Novembro/97;
- [2]- Charlwood R.G.; Solymar, Z.S.- **“Long-Term Management of AAT-Afected Structures – An International Perspective”**- Second International Conference on Alkali- Aggreate Reactions in Hydroelectric Plants and Dam- USCOLD Chattanooga, Tennessee, Outubro de 1995;
- [3]- Durand, B; Gravel, C.; Saleh, K.; Tremblay, S. – **“Evaluation of Potential Residual Expansion of AAR Affected Hydroelectric Dams”**- Second International Conference on Alkali- Aggreate Reactions in Hydroelectric Plants and Dam- USCOLD Chattanooga, Tennessee, Outubro de 1995;

- [4]- Grattam-Bellew, P.E.- **“A Review of Test Methods for Alkali-Expansivity of Concrete Aggregates”** – 5th. International Conference on Alkali-Aggregate Reaction (ICAAR)- Cape Town, South Africa, 30-March- 3 April-1981;
- [5]- Hobbs, D.W.- **“Deleterious Alkali-Silica Reactivity in the Laboratory and Under Field Conditions”**- Magazine of Concrete Research, 45- No. 163;
- [6]- Léger, P.; Côte, P.; Tinawi, R.- **“Numerical Analysis of Concrete Dams Affected by Alkali-Aggregate Reaction”**- Symposium on Research and Development Field of Dams- Switzerland/ september/1995;
- [7]- Gitahy, H.S.- **“O Problema dos Agregados para Concretos da Barragem de Jupia”**- IPT- São Paulo/1963;
- [8]- Swamy ; R.N.-**“Assessment And Rehabilitation of AAR- Affected Structures”**- 10th. International Conference on Alkali-Aggregate Reaction – Melbourne, Australia- August/1996;
- [9]- Thomas, M.D.A.; Wiese, D.; Caratin, H.; Stroczkowski, J.- **“Ultrasound Tomography Applied to AAR- Affected Concrete Structures”**- Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dam- USCOLD Chattanooga, Tennessee, Outubro de 1995.