



**RAA 2006 - II SIMPÓSIO SOBRE
REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO**
SETEMBRO / 2006 RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL



TEMA

“MEDIDAS PREVENTIVAS”

RELATOR

Eng^o. Francisco Rodrigues Andriolo

Engenheiro Civil - Andriolo Ito Engenharia Ltda
Av. Dr. Paulo Pinheiro Werneck 850- Parque Santa
Mônica

13.561- 235- São Carlos- SP- Brasil

Fone: ++55-16- 3307 6078 Fax: ++55-16- 3307 5385

e-mail: fandrio@attglobal.net site: www.andriolo.com.br



AGRADECIMENTOS

Aos Autores das Publicações e,

Coordenadores do RAA 2006		Comitê Técnico Científico	
Selmo Chapira Kuperman <i>DESEK - SP</i>	Nicole Pagan Hasparyk <i>FURNAS - GO</i>	Alberto Jorge Cavalcanti	UCHESF
		Carlos Campos	Carlos Campos Eng
		Cláudio Kerr do Amaral	ELKEM
		Cláudio Sbrighi Neto	ABNT
		Denise Dal Molin	UFRGS
		Flávio Moreira Salles	CESP
		Francisco Rodrigues Andriolo	Andriolo Ito Enga.
		João Francisco Alves Silveira	SBB
		João Luiz Armelin	FURNAS
		José Marques Filho	CBDB/COPEL
		Luiz Prado Vieira Jr	THEMAG
		Nicole Pagan Hasparyk	FURNAS
		Oscar Bandeira	ELETRONORTE
		Paulo Fernando A. da Silva	Concremat/IBRACON
		Paulo Helene	USP/IBRACON
		Selmo Chapira Kuperman	DESEK
		Tibério Andrade	TECOMAT
		Vladimir Antonio Paulon	UNICAMP
		Walton Pacelli de Andrade	Engeconsol
		Yushiro Kihara	ABCP
Membros da Comissão Organizadora			
Alberto Jorge Cavalcanti	Chesf		
Cláudio Sbrighi Neto	ABNT-CB18		
José Marques Filho	CBDB/Copel		
Moacir Alexandre Souza	Furnas		
Rubens Machado	Furnas		
Yushiro Kihara	ABCP		

bem como aos Patrocinadores e Apoiadores dos Eventos

RESUMO

Há cerca de 10 anos realizou-se o I SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO- em Goiânia-GO- Brasil. Nessa oportunidade algumas sugestões foram apresentadas pelos diversos Relatores dos Temas, pelos Autores das Publicações e por este Relator que à época foi o relator Geral.

À essa época evidenciou-se que mesmo em se sabendo que o fenômeno é conhecido há mais de 60 anos, grandes problemas ainda existem em evitar a ação deletéria da RAA no concreto, sendo que as maiores deficiências eram atribuídas à:

- ✚ Uso impróprio do conhecimento existente sobre a RAA;
- ✚ Pesquisa e estudos inadequados, dentro de certos aspectos de como afetar o andamento da RAA;
- ✚ Deficiências nas metodologias de ensaios;

Somam-se a essas deficiências a imprudência no manuseio de Normas e Recomendações Técnicas, a irresponsabilidade e/ou “arrojo inconsequente” de ações.

Nesta oportunidade, deste **II Simpósio**, observa-se que as deficiências continuam sendo que, apenas, os casos de ocorrência se mostram em maior número, e desta feita melhor registrados.

No **TEMA – “Medidas Preventivas”**- entretanto, nota-se uma “mesmice” de ações, usos e pesquisas. Ressalta-se que há uma busca- pesquisa- maior, mas sempre na envoltória das mesmas medidas.

Dos Trabalhos apresentados neste II Simpósio, apenas 4 (quatro) foram endereçados ao TEMA das “**Medidas Preventivas**”.

A observação referente ao TEMA no âmbito Internacional, não é diferente àquele que se observa no Brasil. Entretanto este Relator permite recomendar que algumas das Pesquisas no Brasil sejam redirecionadas na intenção de buscar **Medidas Preventivas Alternativas**.

Os mais recentes, e numerosos casos e, evidências de RAA ocorridos no Brasil permitem, também, sugerir que os Pesquisadores, Entidades de Pesquisas, Seguradoras, Entidades de Financiamento de Obras e Construções (inclusive Habitacionais) sejam provocadas para o Financiamento e Suporte desses Estudos e Pesquisas .

1- APRESENTAÇÃO

Este **II Simpósio sobre RAA**, de modo geral mostra uma realidade um pouco distinta do Simpósio anterior, mas que de certa maneira era previsível e motiva a provocação exercida por este Relator do Tema- **“Medidas Preventivas”**.

Isso diz respeito ao registro de casos em áreas de domínio de fornecimento e materiais (no caso das ocorrências registradas em Recife e Rio de Janeiro) e em áreas mais remotas (como o registrado em Roraima).

De outro modo, também, isso evidencia a necessidade de se ter ações mais amplas no que concerne à:

- ✚ Conhecer os materiais que estão sendo empregados;
- ✚ Exigir, nos conceitos Legais mais amplos e abrangentes, as “Responsabilidades” dos Fornecedores;
- ✚ Estabelecer um cenário, mais amplo no que concerne, à busca e soluções alternativas para essas “Medidas Preventivas”;
- ✚ Fortalecer o Monitoramento, Registro, Relato e Divulgação das ocorrências e dos casos suspeitos;
- ✚ Buscar agregar, se não exigir, a presença de Administradores Públicos e de Entidades Governamentais nos eventos Técnicos para que a dessiminação e “Inseminação” das preocupações quanto à Durabilidade das estruturas e obras;
- ✚ Condicionar os Documentos de Licitação ao conhecimento mais detalhado dos Materiais a serem usados.

No que concerne ao Relato do Tema – **“Medidas Preventivas”** foram designados 4 (quatro) Publicações, a saber:

Apresentação	Texto	Autores
Em POSTER	Estudo de Reatividade Potencial dos Agregados com Diferentes Adições para Concreto Utilizado em Goiânia	A. L. Bortolacci Geyer & R.C. Miranda
ORAL Plenário	Avaliação da utilização do cimento de alta resistência inicial e resistente a sulfatos no combate à reação álcali-agregado	Tiecher, F.; Venquiaruto, S.; Silva, B.; Dal Molin, D.C.C.
	O desempenho de materiais pozolânicos na inibição da reação álcali-agregado	Salles, F.M.; Bertolucci, L.; Michelan, J.
	AGREGADO DELETÉRIO - POSSIBILIDADE(S) SEGURA(S) DE USO	Andriolo, F.R.

Essas publicações são comentadas por este Relator mais à frente.

Uma abordagem referente ao Tema se faz a partir do cenário Internacional, e conclui-se com o que pode ser recomendado por um Relator que busca provocar Alternativas e incentivar os Profissionais.

2- CONCEITUAÇÃO DAS MEDIDAS PREVENTIVAS

A Reação Álcali-Agregado é conhecida e razoavelmente divulgada, desde a década de 30, como sendo a causa potencial de expansões em estruturas e pavimentos de concreto com cimento Portland. Desde o “descobrimento” desse fenômeno uma vasta literatura se publicou e continua sendo produzida, registrando metodologias para avaliação do fenômeno, maneiras de minimizar seus efeitos, bem como citando a ocorrência de casos históricos e, também, buscando soluções para reduzir os efeitos após o início das reações.

A **RAA- Reação Álcali-Agregado-** tem provocado a degradação e desativação de estruturas, e até, porem de maneira mais rara, da necessidade de substituição de estruturas de concreto. Os custos decorrentes da manutenção e reparos, às vezes, são elevados, justamente pela incompetência do diagnóstico, medidas reparadoras inadequadas e até, e muito comum, desconhecimento do fenômeno.

A RAA tem causado expansões anormais e o fissuramento de pavimentos e estruturas de concreto em várias partes do Mundo.

A RAA se processa em base a três requisitos:

- ✚ Componentes reativos nos agregados;
- ✚ Disponibilidade em concentração suficiente de hidróxidos no concreto;
- ✚ Ambiente de umidade no concreto.

Fatores externos vários, podem afetar a velocidade a intensidade e extensão no transcorrer das reações. Dentre esses vários fatores se incluem a temperatura, a restrição e a disponibilidade de álcalis externos que possam aumentar a concentração iônica.

Mesmo em se sabendo que o fenômeno é conhecido há mais de 70 anos, grandes problemas ainda existem para evitar a ação deletéria da RAA no concreto.

Os relatos das ocorrências mostram danos em:

- ✚ Edifícios;
 - ✚ Pontes e Viadutos;
 - ✚ Obras portuárias;
 - ✚ Centrais termoelétricas;
 - ✚ Obras Hidráulicas;
 - ✚ Barragens;
 - ✚ Centrais Hidroelétricas
 - ✚ Túneis.
-

É importante lembrar (*como já mencionado no I simpósio de RAA, em 1997*) que 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 em que a fissuração foi observada aos 6 meses, desde o início da moldagem (no caso exemplificado de um testemunho), mas há casos, 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	<i>sendo maior a expansão quanto maior a temperatura;</i>
Umidade	<i>sendo maior a expansão quanto maior a umidade;</i>
Teor ótimo de material que possa reagir	<i>aumentando a intensidade da reação, quanto mais próximo do teor máximo;</i>
Granulometria	<i>sendo maior a força de expansão à medida que diminui a superfície específica do material</i>
Confinamento da estrutura	<i>que significa, ações de redução de temperatura e umidade, e de esforços contrários à força de expansão</i>
Meio Ambiente	<i>presença ou não de álcalis externos</i>

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

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.

3- PANORAMA SOBRE A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

3.1- Breve Aspecto Histórico

O tema Reação Álcali-Agregado nas obras de concreto tem sido abordado desde a década de 30, quando o fenômeno começou a ser entendido e divulgado.

Nos anos de 1920 a 1930, observou-se uma grande quantidade de fissuras nas pontes e nos pavimentos ao longo da costa da **Califórnia**, desde o condado de **Monterey** até o condado de **Los Angeles**. Como a qualidade da construção, do projeto, e da seleção dos materiais foi considerada satisfatória, não foi encontrada uma explicação para os severos danos observados nas estruturas. Stanton foi o primeiro a propor que tais danos fossem atribuídos ao ataque da opala e do chert utilizados como agregados pela solução concentrada de álcalis gerada pelo processo de hidratação do cimento.

No **Brasil**, algumas entidades e alguns profissionais visualizaram o perigo da reação à cerca de 45 anos, principalmente quando do estudo dos materiais e concretos para as obras do **Setor Elétrico**, em particular as **Hidroelétricas**.

O conhecimento do fenômeno é um elemento de extrema importância para estabelecer etapas do planejamento dos estudos e dos riscos-custos decorrentes, na construção de obras de concreto, e principalmente aquelas que, devido às dimensões são de importância para o País.

É de se salientar que um dos passos importantes para estabelecer a memória técnica é a de se procurar saber o que já ocorreu. Ou seja “o que aconteceu com os outros”!

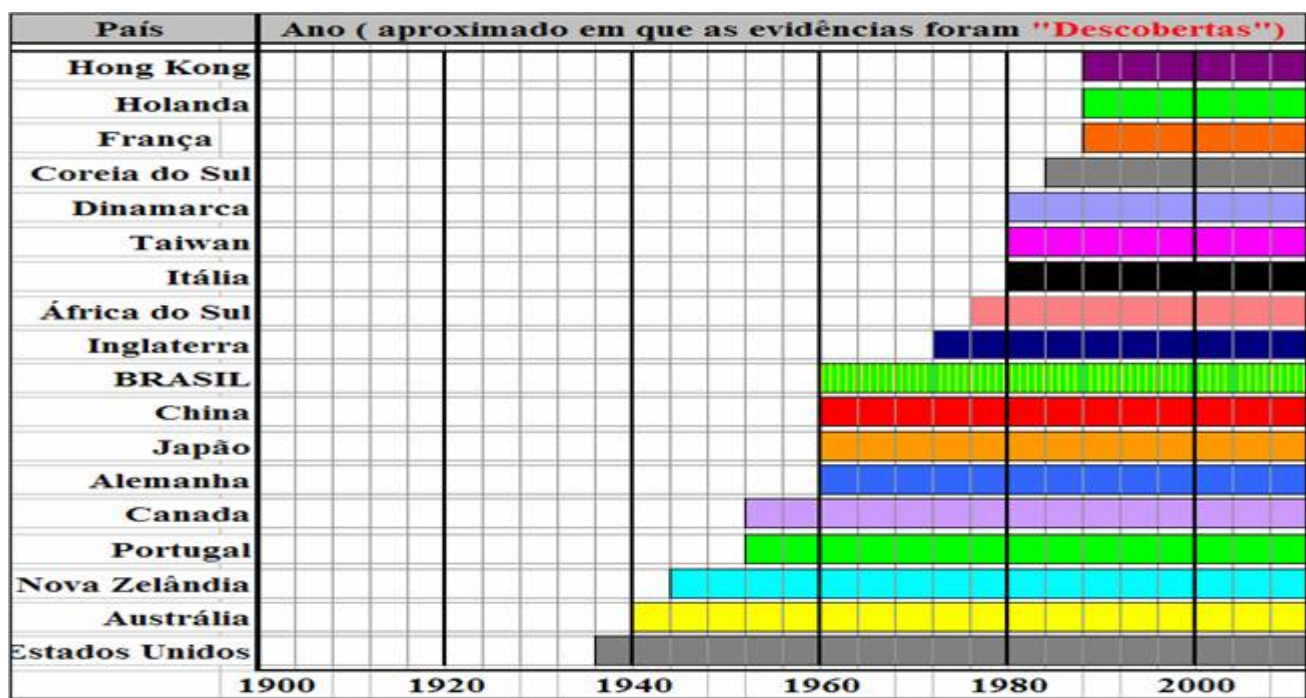
3.2- Situação Internacional

Uma revisão no cenário Internacional mostra:

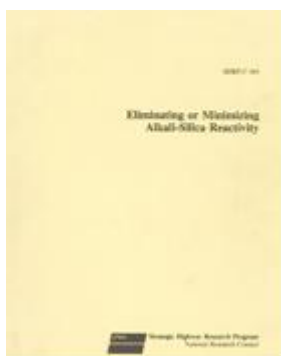
Registros	Ano	Tema- Texto-Publicação	Autor
Journal og Geology	1916	Preocupações com Durabilidade	E. A. STEPHENSON
American Concrete Institute	1923	An Interesting Case of Dangerous Aggregate	J. C. PEARSON & G. F. LOUGHLIN
Virginia Polytechnic Institute	1935	Concrete Expansion	R. J. HOLDEN
The Chemistry of Cement and Concrete	1935	Livro	F. M. LEA & C. H. DESCH
Engineering News Record	1940	Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate,	THOMAS E. STANTON
ASCE	1941	Discussions	ROY W. CARLSON
American Concrete Institute	1941	Cracking in Concrete Due to Expansive Reaction Between Aggregate and High Alkali Cement as	HARMON. S. MEISSNER

		Evidenced in Parker Dam	
		Evidence in Washington of Deterioration of Concrete Through Reactions Between Aggregates and High Alkali Cements	BAILEY TREMPER
		The Nature of the Processes Leading to the Disintegration of Concrete, with Special Reference to Excess Alkalies	CHARLES P. BERKEY
ICOLD Congress - Stockholm	1948	Expansive Cracking in Concrete Dams Caused by Reactive Aggregate and High-Alkali Cement	HARMON. S. MEISSNER
ICOLD Congress- New Delhi	1951	Efficacité de la Pouzzolane Ajoutée aux Ciments Destinés au Béton Pour Grands Barrages et Application Récentes en Italie	BIADENE & PANCINI
ICOLD Congress – Vienna	1991	TEMA- Ageing of Dams and Remedial Measures	Questão 65
ICAAR Conferences- Denmark	1974	International Conferences on Alkali Aggregate Reaction	

O Panorama Internacional, genérico de tomada de conhecimento quanto a RAA pode ser resumido como mostra a seguir:



É importante também citar o Documento **“Eliminating or Minimizing Alkali-Silica Reactivity”**- *Strategic Highway Research Program- National Research Council*, que cita:



"...Extent of the Problem:

To obtain a better understanding of the extent of ASR in the United States, a questionnaire was distributed to state transportation departments in 1988. The objectives were to identify, for possible further investigation, structures affected by ASR, to obtain reactive and non-reactive aggregates for laboratory evaluation, and to identify existing means of preventing or mitigating expansive ASR. Responses to the questionnaire were received from 44 states and they had no ASR - associated problems while 19 stated that they are experiencing problems. Occurrence of ASR was uncertain in two states. The map in figure 2.1 summarizes responses to the questionnaire with respect to whether ASR has been identified as a current problem in highway structures in the respective states. Two states, Maine and Pennsylvania, which previously were known to have ASR problems in highway structures, reported that they had no ASR-related problems

"...Extensive research also was carried out to evaluate the effectiveness of lithium salts to prevent excessive expansion due to ASR, as first suggested by McCoy and Caldwell in work using a highly reactive Pyrex glass aggregate. Reaction chemistry was investigated using Li_2CO_3 , LiF , and LiOH salts, the former two being nearly insoluble in ordinary water. However, it was found that all three dissolve in the high pH solution in fresh concrete, with precipitation of CaCO_3 and CaF with use of Li_2CO_3 and LiF . To avoid possible set retardation effects with these two salts, efforts were centered on LiOH additions. The studies indicate that a lithium-alkali silicate gel forms in the reaction and possesses little or no capability of subsequent swelling....

....It also was felt that LiOH may be capable of preventing continued expansion due to ASR in existing hardened concrete. Tests in which expanded mortar bar specimens were soaked in LiOH confirmed its mitigative capability. Accordingly, test sections on I-80 near Winnemucca, Nevada, in which cracking due to ASR had already developed, were treated with LiOH . Existing cracks, in this case were depend on to carry LiOH solution in to the concrete. Other tests sections, in which high molecular weight methacrylate or silane was used, also were included in this study. Falling weight deflectometer measurements are being used to monitor performance. Thus far, the methacrylate treatment, which is intended to fill and cement cracks, has shown some tendency to decrease deflections due to load. Monitoring should continue on these test sections.

Drying the hardened concrete also appeared to provide some beneficial effect in combating ASR. In addition to simply removing moisture that would otherwise be available for absorption by ASR gel, drying apparently results in alkali fixation by cement hydration products. Alkali fixation appears to persist for prolonged periods of time but the alkali is slowly released, even though the concrete had been rewetted long before the release of alkalies. Drying may be a feasible approach to mitigating expansive ASR in some concrete members, such as bridge columns, but repeat drying probably would be necessary.

Limited field evaluation of silane/siloxane surface treatments also was carried out. Since their role in ASR would appear to involve controlling moisture diffusion into the concrete, RH determinations were made on treated and untreated pavement and bridge deck concrete in

Wyoming. Results for the bridge deck concrete indicated the treatments had little effect on RH values except, perhaps, within the upper 2 in. (51mm) of the wearing surface. In the treated pavement slabs, RH values were still sufficiently high to support expansive ASR. Thus, the efficacy of using surface treatments to prevent expansion due to SR, but permit vapor diffusion, is questionable.

Restraint to expansion also was investigated as a means of minimizing expansion due to ASR. Triaxial restraint of concrete cylinders made with high alkali cement and highly reactive coarse and fine aggregates was found to prevent expansion with restraint stresses in the range of 200 to 300 psi (1.38 to 2.07 MPa). To simulate highway pavement, a miniature pavement 12 ft (3.658 m) long was built in the laboratory and placed under varying levels of restraint depending on expansions developed due to ASR. As demonstrated by companion unrestrained slabs made with reactive aggregate. ASR and strain gradient effects, if left unchecked, lead to severe three-dimensional cracking. Low levels of restraint, of the order of tens psi (several hundreds of kPa), has a positive effect on controlling micro cracking.

Application of uniaxial restraint of the order of hundreds of psi (several MPa) may actually aggravate developing conditions. In addition, distress patterns that developed due to ASR under uniaxial restraint occurred as generally horizontal cracking. Concrete slabs containing innocuous aggregates did not develop such crack patterns. It appeared that application of moderate one-dimensional restraint can control expansion in the direction of restraint and significantly reduce the rate of expansion in other directions....

....To obtain a better understanding of the extent of ASR in the United States, a questionnaire was distributed to state transportation departments in 1988. The objectives were to identify, for possible further investigation, structures affected by ASR, to obtain reactive and non-reactive aggregates for laboratory evaluation, and to identify existing means of preventing or mitigating expansive ASR. Responses to the questionnaire were received from 44 states and they had no ASR - associated problems while 19 stated that they are experiencing problems. Occurrence of ASR was uncertain in two states. The map in figure 2.1 summarizes responses to the questionnaire with respect to whether ASR has been identified as a current problem in highway structures in the respective states. Two states, Maine and Pennsylvania, which previously were known to have ASR problems in highway structures, reported that they had no ASR-related problems....

....Adverse effects due to ASR result from the expansive nature of the reaction. If sufficient expansion develops, cracking occurs. The orientation of the cracks depends on the internal or external restraint to such expansion.

Rate development and severity of distress depend on a number of factors, primarily the nature and quantity of reactive aggregate, cement alkali level, ambient temperature, moisture availability, and restraint. Commonly, ASR by itself does not necessitate repair of the concrete. Rather, it weakens concrete to the extent that other factors, such as traffic loading, lead to failure. Numerous instances also exist in highway structures where expansive ASR has not necessitated repair measures even after more than 50 years of service. Characteristic manifestations of ASR-induced distress in highway structures are illustrated in

a handbook produced under this project (Stark 1991a). Photographs in this publication illustrate predominant trends in distress patterns and displacement due primarily to ASR....

....SUMMARY

Following is a summary of findings in this investigation:

- 1) Deleterious ASR is more widespread than earlier though by state transportation departments in the United States. Much of this stems from lack of familiarization with the symptoms of ASR-associated distress. It is known to occur in states that believe they do not have the problem, or are unsure of its development.*
 - 2) Testing and specifications intended to control ASR show wide divergence among the various states. In numerous instances, existing policies almost surely will not prevent deleterious ASR in the respective states.*
 - 3) Natural climatic conditions are favorable to the development of deleterious ASR in all states in the United States. Even in hot, arid desert regions, there is sufficient moisture to support expansive ASR, at least on a cyclic basis.*
 - 4) Specifications and test procedures rely strongly on ASTM standards such as C 227 and C289, both of which are too lenient, they generally find as innocuous the slowly reacting aggregates such as some granite gneisses and quartzite's. Furthermore, ASTM standards suggest the use of low-alkali cement to prevent deleterious ASR. This is found not always to be effective if certain volcanic materials are present in the aggregate.*
 - 5) The rapid immersion test method originally developed at NBRI in south Africa, is capable of identifying slowly-and rapidly-reacting aggregates with the establishment of an appropriate failure criterion. Testing in this investigation indicates a criterion of 0.080 percent expansion in 14 days of testing, using 1N NaOH solution.*
 - 6) By adjusting the concentration of NaOH in the immersion solution, the test appears to be capable of identifying cement alkali levels required to prevent deleterious ASR in highway concrete. A linear regression equation has been developed that immersion solutions used for testing*
 - 7) The proposed test also appears capable of determining the intrinsic capability, and quantity required, of mineral admixtures to prevent deleterious ASR in highway structures*
 - 8) Extensive testing was done to better define the capability of additions of lithium ion to concrete to prevent deleterious ASR, as first suggested in work published by McCoy and Caldwell in 1951. investigations of reaction chemistry revealed that lithium ions, as well as other alkali cations, are components of ASR gel that possesses little or no capacity to swell. For a given level of potassium or sodium in solution, the higher the lithium dosage used, the greater the proportion of lithium that appears to be incorporated into the ASR gel*
 - 9) Rapid immersion test results, in which LiOH was added to the NaOH solution, revealed that Na:Li molar ratios in the range of 1.0:1.0 were sufficient to prevent excessive expansion due to ASR involving highly reactive volcanic rock aggregate.*
 - 10) LiOH additions were found to be effective in suppressing expansive ASR where fly ash is used and where specimens are exposed to NaCl solutions such as encountered with the application of deicer salts..*
 - 11) LiOH was added to fresh concrete in an experimental sections of State Route 352 in Albuquerque, New Mexico in June, 1992. Performance comparisons also can be made between*
-

control sections with no LiOH or mineral admixtures and sections containing Class F or C fly ashes. Two highly reactive coarse and fine aggregates were used in these concretes. Rapid immersion test results on samples of materials used in these concretes indicate the Class F ash used in the pavement concrete should adequately control ASR while the Class C ash and the Class F + Class C ash, used in a 50:50 proportion, should reduce rate and severity of distress due to ASR but not prevent it.

12) Tests run on mortar bars containing highly reactive aggregate indicate that treatment of the hardened mortars with LiOH solutions after intermediate levels of expansion are reached is effective in suppressing further expansion due to ASR. This suggests that LiOH treatment may be beneficial in reducing expansion due to future ASR in existing highway structures, provided LiOH penetration is obtained.

13) High molecular weight methacrylate surface treatment of ASR-affected pavement near Boron, California revealed that cracks were filled with the methacrylate to depths up to about $2\frac{1}{4}$ in. (57mm) and that the pavement is performing satisfactorily.

14) RH measurements of pavement and bridge deck concrete with silane/siloxane sealants revealed little or no difference in moisture condition of the concrete, compared with the respective control sections with no treatment.

15) Drying concrete appears not only to remove moisture that might otherwise contribute to swelling of ASR gel, but also to cause alkalis to be complexed by cement hydration products. Both processes are largely reversible, with the latter being so only very slowly. Drying undoubtedly could be effective in controlling expansion due to ASR in a given concrete member, but the procedure would have to be repeated periodically.

16) A section I-80 near Winnemucca, Nevada that displays ASR-induced distress was selected for field evaluation of LiOH, methacrylate, and silane treatments. Initial applications were made in October, 1991. Evaluation was made by falling weight deflectometer measurements with plans to repeat measurements on a yearly basis. A retreatment of LiOH was made after one year. Control sections with no treatment were included for monitoring. Linseed oil and a second silane section were added as experimental sections after one year.

17) FWD measurements appear to be a valid method of monitoring degree of distress induced by ASR. Measurements indicated that high molecular weight methacrylate applied to the surface was effective in reducing wheel path joint deflections. Deflection decreases were still apparent one year after application. No significant differences were measured between control sections and lithium or silane sections.

18) FWD measurements indicated that methacrylate was effective in reducing interior slab deflections one day after application. Reductions were not measured one year after application. Analysis of all treatment data indicates no significant deflection change at slab interior positions between initial baseline and tests done one year after applications.

19) Triaxial restraint on the order of 250 to 350 psi (1.7 to 2.4 MPa) appears to be an effective method of preventing excessive expansion where ASR has occurred. Restraint could be a feasible approach to limit expansion in certain concrete members such as bridge columns.

20) Uniaxial restraint, such as encountered in concrete pavement, has a beneficial three-dimensional effect on reducing expansion due to ASR. However, an optimum range of intermediate restraint levels probably exists and probably needs to be present prior to development of expansion due to ASR to have prolonged, sustained, beneficial effect..."

3.3- Situação no Brasil

De maneira geral ao se conhecer um fato é comum passar-se a conviver com os problemas e riscos decorrentes, sem se ater pelas conseqüências. E esse é o procedimento que pode ser notado no meio técnico Brasileiro. Apesar de a comunidade técnica Brasileira ter tomado conhecimento do fenômeno RAA nos anos 60, observa-se que apenas uma pequena quantidade de profissionais tem a preocupação e visualiza as dimensões dos danos que podem suceder.

Observa-se, infelizmente, que não há um esforço organizado e coordenado para uma postura técnica-científica a respeito desse assunto (e de outros).

A importância dos danos decorrentes das RAAs, evidenciado pelas ocorrências em vários países, mostram a necessidade de tomadas de decisões não isoladas, mas devidamente organizadas e coordenadas.

Os exemplos de tomadas de decisão, citados em vários países devem ser tomados como referência para determinar modelos de ação.

Soma-se a essa situação a Idiosincrasia do Brasileiro, do Latino de maneira geral, que tem um grau de Tolerancia maior!

4- MEDIDAS PREVENTIVAS

4.1- Generalidades

As medidas Mitigadoras Preventivas dizem respeito a agentes que possam modificar a época, velocidade ou intensidade das Reações que causam expansões.

O quadro a seguir resume as várias medidas preventivas disponíveis.

Providência	Agente	Tipo	Ações Principais
Medidas Preventivas	Aditivos Químicos	Aditivos Plastificantes	Redução do Teor de Água e decorrentemente do Teor de Cimento (do que decorre uma redução dos álcalis disponíveis)
		Aditivos Superplastificantes	
		Compostos de Lítio	Modificador da Reação
	Aditivos Minerais	Pozolana Natural	Disponibilização de Sílicas que reagem em precedência e mais rapidamente
		Argila Calcificada (metacaulim !)	
		Cinza Volante	
		Ferros de Alto Forno	
		Siltes	
	Rejeitos Domésticos	Pó de Pedra	Sílicas que reagem em precedência e mais rapidamente
		Vidros & Garrafas	
	Técnico Burocrática	Não usar o que causa Problema !	
		Agregados Inócuos	
		Cimento de Baixo Álcalis	

4.2- Cenário Internacional

No Cenário Internacional pode-se citar que a recomendação-sugestão-orientação fundamental e de grande valia (mas que poucos Profissionais tomam em consideração) é a publicação (de 1940) de *THOMAS E. STANTON*- “**Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate**”, no *Engineering News Record.*, e que se comentará mais à frente.

É, também, interessante citar- para efeitos comparativos- que no âmbito Internacional os Documentos mais à frente que

No Segundo ICAAR – Reykjavik- 1975 a citação do “**Symposium on Alkali Aggregate Reaction – Preventative Measures Summary**” - *S. DIAMOND*:

"...Specifically, we have had not one paper on "preventative measures", although of course a number of papers skirted the question.

But we have, indeed, have had a good meeting. For the first time, we have a volume of written papers - papers of permanent value, or at least a permanent documentation of where we are now...."

Das várias Conferências ICAAR, desde 1974 pode-se resumir:

Ordem	Ano	Cidade; País	Publicações	Publicações referentes à Medidas Preventivas
1	1974	Koge; Denmark	13	Nenhum
2	1975	Reykjavik; Iceland	20	Nenhum
3	1976	Wexham Springs; UK	27	3
4	1978	Purdue; USA	26	2
5	1981	Cape Town; South Africa	38	11 (1 aditivo mineral)
6	1983	Copenhagen; Denmark	56	12
7	1986	Ottawa;Canada	101	11
8	1989	Kyoto; Japan	136	16- (Plastificantes; superplastificantes)
9	1992	London; UK	150	22
10	1996	Melbourne; Australia	130	13 (1 sobre Pó de Pedra; 1 sobre Aditivos)
11	2000	Quebec City; Canada	142	26 sendo 8 referentes a Medidas Pouco Usuais (5 Litio, 3 Outros)
12	2004	Beijing; China	???	
13	2008	Trondheim; Norway		

E das várias Conferências-Simpósios pode-se citar como relevante:

4.2.1- “Effect of Reactive Aggregate Powder on Suppressing Expansion Due to Alkali- Silica Reaction” - BIAN QINGHAN; WU XUEQUAN, TANG MINGSHU; S. NISHIBAYASHI; T. KURODA; WANG TIECHENG- 10 ICAAR-Melbourne-Australia-1996, que cita:

“...For example, when alkali level remains 3.5% $Na_2 O_{equi}$. in mortars , the expansion after autoclaving was reduced by 43.6%, 59.5%, 77.1%, 89.5% and 95.4 % from the control value of 0.46 as 30,40,50,60 and 70% of powder was used to replace same amount of cement, respectively. This implies a very promising approach to economically and effectively preventing mortars or concrete from the serious occurrence of ASR. The effect of the powder on setting times of cement and on strengths as well as on the flowability of mortars were also studied...”

The following conditions under that ASR damages occur are put forward by the present authors:

- I. The presence of reactive aggregate particles with detrimental radii, generally considered within the range of 0.15-0.60mm (Ono et al. 1986)*
- II. The presence of high level alkalies and therefore their concentration around these aggregate particles and thus*
- III. In- situ alkali-aggregate reaction occurring in certain restrained interfacial space and consequently the increased volumes or the swelling of the reaction products.*

Among the above three 2- and 3- play a very important part in the expansion process. So excluding the reactive aggregate from use is the safest way but is no always feasible. However, controlling the other conditions might more economically and feasibly reach the destination for preventing the damage.

To control the in-situ reaction or the swelling of reaction products, a variety of chemical and mineral admixtures have been selectedly studied...

Another common method for preventing mortar or concrete damage due to ASR is the utilization of blending materials, though there are some debates on their effectiveness (Duchesene et al. 1994a & b). Duchesene at al (Duchesene 1994a) conducted investigations into the effect of blending materials (silica fume, fly ash, slag etc) against ASR. They observed a pessimum effect for concrete containing about 5% of silica fume or about 20% of very high alkali fly ash, and found that even as much as 10% of silica fume oh high alkali content may not limit the concrete expansion to a satisfactory level (e.g.< 0.04% after 2 years) on the other hand, 35 to 40% of slags as well as about 20% of low alkali fly ashes (< 35% $Na_2 O_{equi}$) may result in good results. Based on this, they further concluded that at higher alkali contents both in blending materials and in much greater amount of substitution for cement is needed, which might be accomplished with lower quality of concrete. Qian et al (Qian et al. 1994a) conclude that the main reason for mineral admixtures alleviating ASR is the relieving of corrosion of reactive aggregate from alkali owing to the adsorption of OH^- ions on the surfaces of admixtures particles, resulting in a reduced amount of alkali attacking the

surfaces of aggregates, and that the higher the acidity of the admixtures, the lower the expansion.

Based on the foregoing observations, there seems to be a need for an auxiliary admixtures in order to effectively suppress the unexpected expansion through transforming an in-situ reaction to an innocuous one or through anti-swelling. The ground reactive aggregate powder might be selected as such a kind of admixture as it usually contains reactive silica with higher acidity. Furthermore, in view of the compatibility between aggregate and admixtures, it can reasonably be deduced that the utilization of such a powder could expectantly prevent mortars or concrete from suffering ASR...

...Expansion characteristics

The effect of amount of powder on expansion

The effect of reactive aggregate powder (Blaine's value $7800 \text{ cm}^2 / \text{g}$) on the expansion of mortars are substantiated. Fig.1 gives the relation between expansion and aggregate powder amount incorporated in mortars.

It could be seen that for any alkali level the expansion of mortars decreased remarkably with an increasing amount of powder, especially at high alkali levels. For example, at the highest content of 3.5% Na_2O in this study, the expansion decreased by 43.6%, 59.5, 77.1, 89.5 and 95.4%, from 0.46% of the control specimen for 30,40,50,60 and 70% of powder replacement, respectively. It is obvious that the effectiveness of reactive aggregate powder on suppressing the excessive expansion depends strongly on the alkali contents available. Generally about 50% of the powder could depress the expansion below 0.1% with alkali greater than 3.0% Na_2O equivalent, and 35% of the powder could reach the same level when 2.5% of alkali was available and less amount for lower alkali levels. Therefore, the lower the alkali level, the lower the replacement.

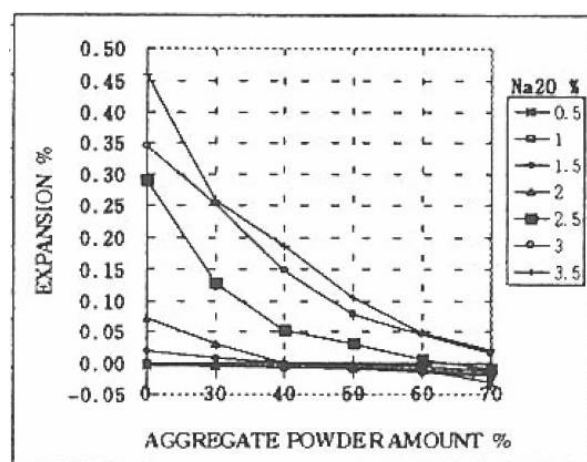


Fig1. Relation between expansion and aggregate powder amount

The reason for such a powder suppressing expansion can be attributed to the disruption of the in-situ reaction and can be interpreted as follows: first, the powder substitutes some

parts of cement, resulting in the reduction of available alkali levels coming from the cement, and also diluted the total alkali concentration in mortars. Moreover, the replacement would increase the acidity of the whole binder, being able to "neutralize" part of the alkalis. Qian et al (Qian et al. 1994b) have confirmed that there is a good relationship between mortar expansion and the acidity of the binder. Increasing acidity of binders could decrease the expansion rate of mortar. On the other hand, the incorporation of powder changes the distribution of alkalis in the binder matrix and mortar, and also between the aggregate and their powder particles. The macro-homogeneously dispersed fine powder particles closely around the aggregate sand more alkalis on their greater specific surface area. Meanwhile the crushing and milling of aggregate could produce some broken bonds at the particle surfaces. Some defects in crystal lattices such as $= Si (E'center)$ and $= Si -O (unbridged oxygen hole center NBOHC)$ could also exist in siliceous reactive components of aggregate according to recent studies of geochemistry (Ikeya 1993). These highly reactive free radical groups of unpaired electrons (the so-called dangling bonds) or the broken bonds should be responsible predominantly for their alkali-silica reactivity. Thus for these reasons, the fine particles retain alkalis and react with them through solutions in capillary pores instead of at the interface between cement paste and aggregate, forming complicated products and retarding the alkali migration toward aggregates consecutively. Furthermore, the powders along with their reaction products in the bulk matrix could fill up pores and voids, again densifying the matrix and causing more difficult migration of alkali species. However, such a reaction in the pores could cause practically no expansion, though a very limited expansion is even observed which would also benefit the densification of the matrix. As a result, all of the above mentioned factors would contribute to the prevention of a detrimental reaction or to the suppression of excessive expansion.

Effects of fineness on expansion

The effect of fineness of powder on the expansion of mortar is schematically shown in Fig.2. evidently there is a sensitive fineness range of $5640 \sim 8045 \text{ cm}^2/\text{g}$ to the expansion within it the variation of fineness will lead to an evident change of expansion, and below or beyond this range the expansion becomes less sensitively in dependence of fineness, So in this that the fineness of aggregate powder should be of about $8000 \text{ cm}^2/\text{g}$ is technically and economically meaningful.

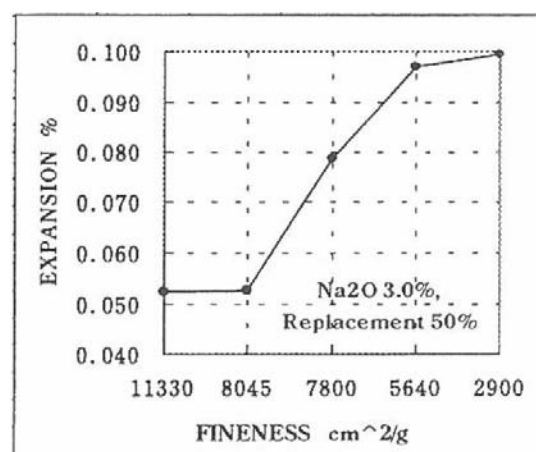


Fig. 2 : The relation between expansion and fineness of aggregates powder

Conclusions:

- I. *The incorporation of reactive aggregate powder seems able to prevent mortars made of the same reactive aggregate sand from severe expansion. Implying a promising approach to suppressing ASR.*
- II. *Compared with existing approach, such as incorporating Li-containing chemicals and blending materials (silica fume, ground granulated blast furnace slag and pulverized fly ash) the local use of reactive aggregate powder to suppress ASR is more economical and effective.*
- III. *The amount of powder used to replace part of cement depends mainly on the alkali levels in the mortar and also on the reactivity or the acidity of the powder. The higher the alkali level, the more powder is required and a greater effect can be observed.*
- IV. *The reason for aggregate powder inhibiting ASR is explained as follows: the alkalis are retained by and react with aggregate particles (in unconfined spaces) causing a reduction of alkali concentration near to the aggregate surface. Meanwhile, the powder along with its products fill up pores, resulting in a densification of the matrix and difficult migration of alkali species.*
- V. *The fineness of powder affect its effectiveness in preventing ASR and an reasonably appreciable value of about 8000 cm²/g is recommended.*
- VI. *The incorporation of such a powder could consistently shorten the setting times and modify the strength development within an adequate replacement range. Less effect on flowability of mortars could be observed, however.*

4.2.2- Influence of Aggregates and Mineral Additives on the Composition of the Pore Solution -H. HORNAIN ; B. THURET; S. GUÉDON-DUBIED ; A. LE ROUX; F. LAPORTE; M. PIGEON; F. MARTINEAU- 10 ICAAR-Melbourne-Australia-1996, que cita:

"...Abstract:

Four different mineral additives (granulated blast furnace slag, silica fume, synthetic cristobalite and sericite schist) were added, as partial, replacement for fine aggregate, to mortars made with sands of various mineralogical compositions (non reactive quartz, reactive quartzite and opal). The pore solution was extracted by the high pressure extraction method and the evolution of concentrations of OH⁻, SO₄²⁻, K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺ and silicate ions, measured at 7,28, 60 and 90 days, was examined.

Opal was observed to lead to a very low alkali and hydroxyl ion level, indicating a very rapid consumption of alkalis to form a gel. In the case of quartz and quartzite, the alkali level was found to increase rapidly giving a peak at early age, than to decrease and finally to stabilize at values somewhat lower than that in the neat cement paste.

	Material	Mineralogical and physical
C E M E N T	OPC	Class CEM I according to the french standard NF P15-301 C3S = 59.6 ; C2S = 12.7 ; C3A = 7.6 ; C4AF = 7.4 Na ₂ O + 0.658 K ₂ O = 1.2 Fineness = 350 m ² /kg
A D M I X T U R E S	Slag	Granulated blast furnace slag Glass > 95 % Fineness = 280 m ² /kg
	Silica fume	Condensed silica fume Specific area (BET) = 22 m ² /g
	Cristobalite	Obtained from burning of silic Contains 85 to 90 % of cristobalite Fineness = 300 m ² /kg ; average grain size = 25 μm
	Sericit schist	Ground natural rock containing 25% quartz, 14% albite, 42% illite, 14 % chlorite and minor minerals (calcite, magnetite, apatite...) Fineness = 300 m ² /kg, average grain size = 25 μm

4.2.3- More Results about the Use of Lithium Salts and Mineral Admixtures to Inhibit ASR in Concrete- *BENOIT DURAND- 11 ICAAR-Quebec-Canada-2000*, que mostra:

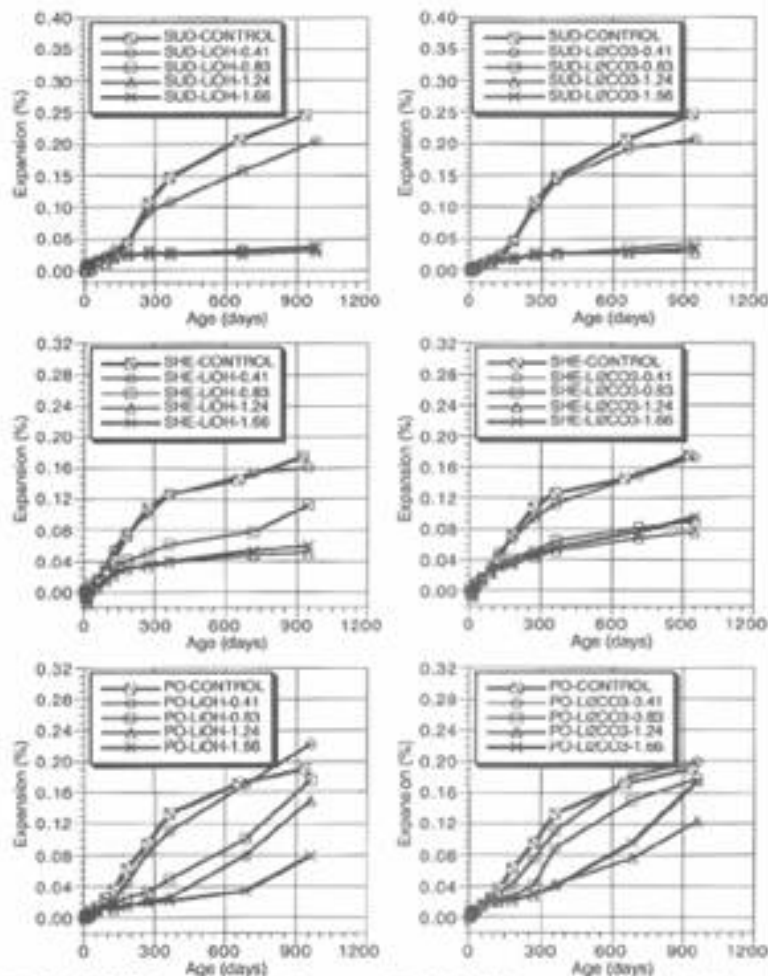


Fig. 2: LiOH-H₂O expansion results.
(Numbers indicate Li/Na, ratio of the mixtures)

Fig. 3: Li₂CO₃ expansion results. (Numbers indicate Li/Na, ratio of the mixtures)

"...Conclusions

The results presented in this paper show that the use of LiOH-H₂O, Li₂CO₃, LiF and LiNO₃ can reduce expansion due to ASR. Usually, the greater the amount of Li compound added, greater is the reduction of expansion. The minimum amount necessary to reduce expansion below the recommended CSA limit of 0.04% at two years varies according the lithium compound used and the reactivity level of the aggregate (see table 3). Except for the Sudbury aggregate, most of the addition levels do not produce a reduction of expansion below 0.04% at two years during the CSA A23.2-14A concrete prism test. However, depending on the aggregate, the expansion is more or less stabilized as shown by the results up to 1000 days, especially for the Postman quartzitic sandstone. In this particular case, a higher Li/Na_e may be required to control the expansion.

In comparison to the Li compounds results, the two tested mineral admixtures generally showed at two years and 1000 days greater expansion reductions at all replacement levels tested (one fly ash and one ground granulated blast furnace slag). However, it should be remembered that not all mineral admixtures are capable of properly controlling expansion due to ASR, they should be tested with appropriate methods and producers prior to their use in concrete. So far, the CSA concrete prism test used over a two year period seems to be efficient in this regard, the other standard physical and chemical specifications having been verified and satisfied..."

4.2.4- Ground Waste Glass as an Alkali-Silica Reactivity Inhibitor- PETER P. HUDEC; R. CYRUS GHARMARY- 11 ICAAR-Quebec-Canad-2000, que mostra:

"....Abstract

Pozzolans such as silica fume and fly ash are know to reduce alkali silica reactivity (ASR) in concrete. Waste glass has pozzolanic properties, since it also consists of amorphous silica. Experiments were carried out to determine the type, the proportion and the size of crushed and powdered waste glass that would be most effective in reducing ASR. The glass was used both as a replacement of given size of reactive Spratt aggregate fraction, and as an additive. The rapid 80° C 1N NaOH mortar bar method was used for comparative testing.

The results show that the glass fractions coarser than #200 sieve (75 µm) acted as a highly reactive aggregate and the decrease was a function of total glass surface area. Coloured (lower quality) bottle glass was slightly more effective than white bottle glass. The ASR reduction by powdered glass was equivalent to that produce by the same amount of silica fume.

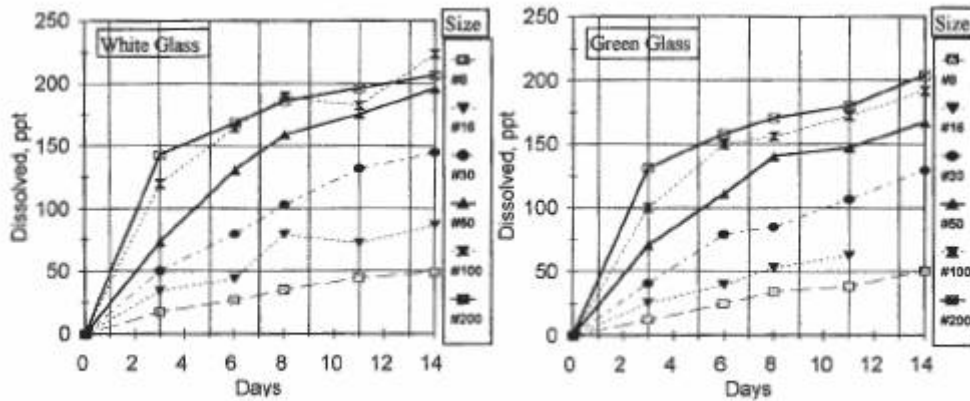


Fig 2: Dissolution of glass, parts per thousand, in 1N NaOH solution at 80°C.

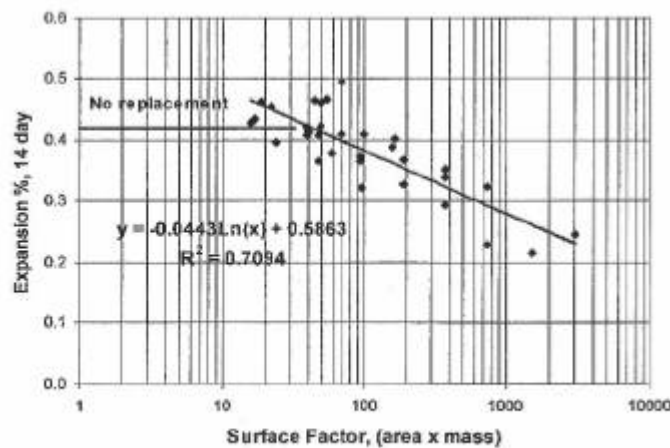


Fig. 9: Effect of surface factor on 14-day ASR expansion

....Discussion and Conclusions

The results presented above indicate that the glass grain size determines whether it is a reactive aggregate or a reactive pozzolan. The dividing line can be placed at about 0.075mm size (clay size). However, rather than the size, it is likely that the mass-surface area factor determines which of these two roles glass or any other reactive material plays in ASR. If all the results of this experiment are taken together, and the expansion is compared to a 'surface' factor, an interesting relationship emerges, as shown in figure 9. The surface factor is calculated by multiplying the calculated surface area by the mass of glass replacing the aggregate. As can be seen in figure 9, the larger surface factor, the lower the expansion of the mortar. The vertical stacking of points reflects the percent of glass replaced for each size. The bottom point in each stack is the 8% replacement.

The rate of chemical activity, such as the rate of dissolution as shown in figure 2, suggests that the rapidly reacting fine glass particles produce in mortar reactive products similar to those produced by silica fume and fly ash. The rate of dissolution

of a mineral admixture 1N NaOH at 80oC could be used as an indicator of their potential as an ASR reducer.

Why # 100 (0.15.mm) glass replacement of aggregate reduces ASR more than the equivalent addition of glass to the mixture cannot be properly explained at this time. One reason may be that the replacement does remove a small portion of reactive aggregate, and substitutes for it pozzolanic material.

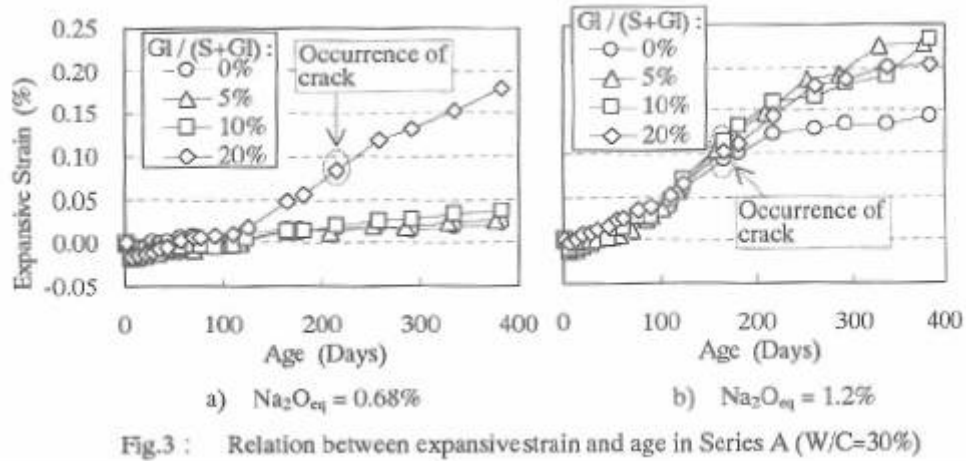
Exactly how the glass works to reduce alkali reactivity is also no know, but is action is probably similar to other pozzolans. This research shows that it behaves similarly to other pozzolans. More extensive research is needed to determine if finely ground waste glass is a suitable, economic mineral additive that effectively reduces alkali silica reaction. Determination of glass replacement of aggregate on the strength of the mortar (and concrete) is part of the continuing research...."

4.2.5- Expanding Characteristics of Mortar With Glass Powder Produced from Waste Bottles- TAKAYUKI KOJIMA; NOBUAKI TAKAGI; KENSAKU HARUTA- 11 ICAAR-Quebec-Canada-2000, que mostra:

"...Abstract

The mortar bar test was carried out in order to evaluate the reactivity of glass powder produced from waste bottles in the alkali-silica reaction. Five levels of glass powder replacement ratio (0 ~ 40%) and two levels of water-to-cementitious materials ratio (30% and 50%) were chosen. Glass powder was incorporated as the replacement for fine aggregate or cement. River sand was used as the natural fine aggregate. The method of test for reactivity of aggregate for alkali-silica reaction (mortar bar method) was in accordance with Japanese Industrial Standard (Appendix 8 of JIS A 5308)

Large expansive strain was not observed under the accelerated condition [1.2% of Na_2O_{eq} content] specified in Appendix 8 of JIS A 5308 and its value was smaller than 0.1% at the age of 6 months, even if larger amount of glass powder (30 ~40 % of replacement ratio) was used. It is suggested that glass powder is sound for the alkali-silica reaction, when used as the replacement material for fine aggregate or cement. The alkali in the glass powder does not accelerate the alkali-silica reaction, though it contains a larger amount of alkali. The glass powder produced from waste bottles has the potential to be used as the ingredient of concrete.



...Conclusions

Harmful expansion due to alkali-silica reaction was not observed by the mortar bar test specified in Appendix 8 of JIS A 5308, even if larger amount of glass powder (30 ~40% of replacement ratio) was used as the replacement material for fine aggregate or cement. Glass powder is should material with regard to the alkali-silica reaction and the alkali in the glass powder does not accelerate the alkali-silica reaction, although glass powder contains larger amount of alkali in itself. Glass powder produced from waste bottles has the potential to be used as an ingredient of concrete..."

4.2.6- Portland Cement Manufacture Containing Lithium for ASR Control- DAVID B. STOKES & CLAUDIO MANISSERO- 11 ICAAR-Quebec-Canada-2000, que mostra:

"...Abstract

A process and composition for Portland cement manufacture has been developed using lithium-bearing ores in the raw feed to the kiln for the purpose of incorporating lithium into the clinker to control ASR. Laboratory work and a short trial at a cement plant indicate that the clinkering process can be achieved with lower energy costs per ton of Portland cement produced. Analysis of the laboratory produced materials as well as the plant produced materials by x-ray diffraction, optical microscopy, and other means are discussed, as well as mortar bar studies of cement produced in the trial..."

4.2.7- Use of Lithium-Containing Compounds to Control Expansion in Concrete Due to Alkali-silica reaction- M.D.A. THOMAS; R.HOOPER; D.STOKES- 11 ICAAR-Quebec-Canada-2000, que mostra:

"...Abstract

This paper reports results from an experimental study aimed at evaluating the efficacy of lithium-containing compounds in controlling alkali-silica reaction (ASR) and establishing appropriate dosage levels for use with reactive U.K. aggregates. Two chemical compounds, lithium hydroxide monohydrate ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$) and lithium nitrate (LiNO_3) and three reactive aggregates (flint sand, greywacke and siltstone) were used in the study. Expansion tests were carried out on concrete prisms stored at 38°C and large concrete blocks ($300 \times 300 \times 500\text{mm}$) stored on an outdoor exposure site in southeast England.

Expansion data for concrete containing $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ show that level of lithium required to control expansion to an acceptable level (i.e. $\leq 0.04\%$) increases with the amount of alkali present and varies with different aggregates. Generally, the data to 54 months indicate that a level of 1.0Kg of $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ for each 1.0Kg of equivalent sodium oxide (Na_2O_e) is sufficient for the flint sand and greywacke aggregates. This is equivalent to a lithium to alkali molar ratio of $[\text{Li}]/[\text{Na}+\text{K}] = 0.74$. Higher levels of lithium are required with the siltstone aggregate. The incorporation of fly ash in the concrete mix may reduce the level of lithium required to control mixes without lithium. Pore solution studies indicate that does not necessarily prevent reaction between the alkalis and silica, but may change nature of the reaction product...."

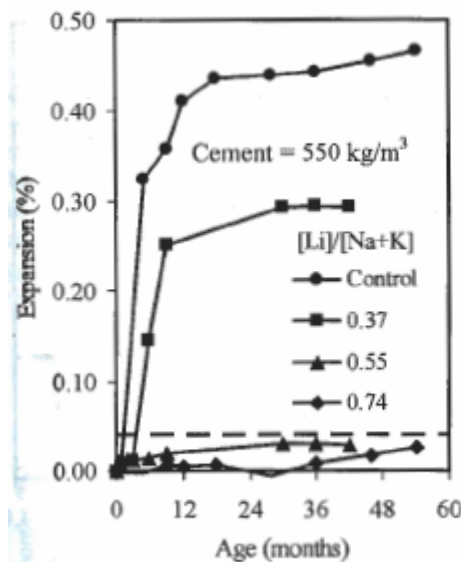


Fig 1 Expansion of Concrete Prisms with Flint Sand and LiOH

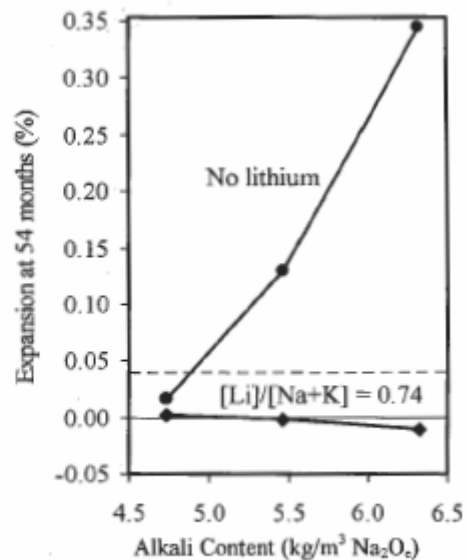


Fig 2 Expansion of Outdoor Blocks with Flint Sand and LiOH

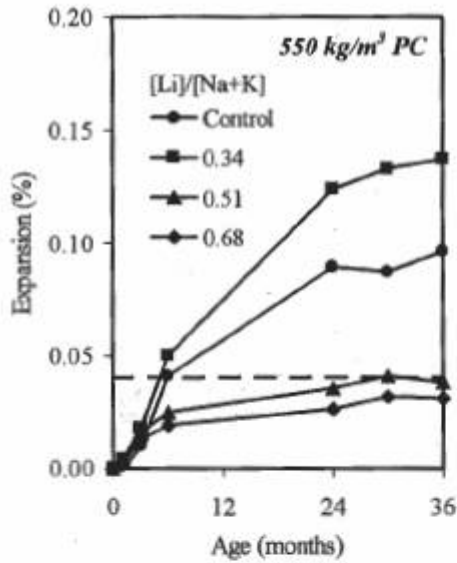


Fig 3 Expansion of Concrete Prisms with Greywacke and LiOH

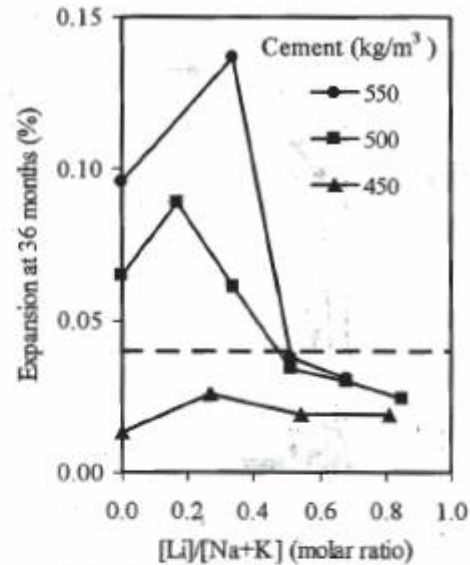


Fig 4 Expansion of Concrete Prisms with Greywacke and LiOH

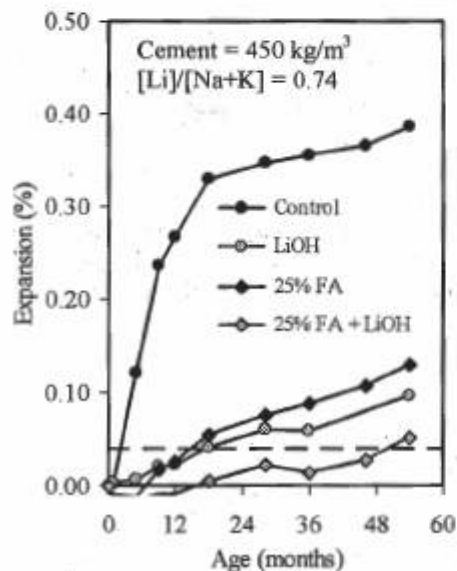


Fig 5 Expansion of Concrete Prisms with Siltstone and LiOH

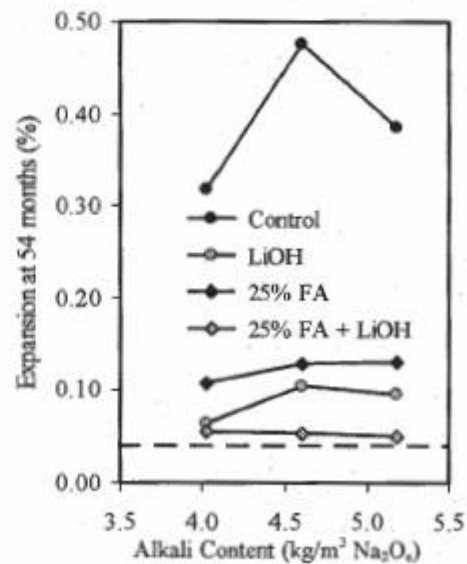


Fig 6 Expansion of Concrete Prisms with Siltstone and LiOH

... Conclusions

- 1- Lithium hydroxide monohydrate was effective in controlling long-term expansion in concrete prisms containing a reactive flint sand or a reactive crushed greywacke aggregate provided that the lithium to alkali molar ratio of the mix was 0.51 or higher, i.e $[Li]/[Na+K] \geq 0.51$.
- 2- At lower levels of lithium (e.g. $[Li]/[Na+K] = 0.34$ to 0.37), expansion exceeded 0.04%. in the case of greywacke aggregate, the expansion with this level lithium actually exceeded that of the control mix without lithium.

- 3- *Concrete blocks (300 x 300 x 500mm) with 475 or 550 Kg/m³ of high-alkali cement and flint sand exhibited significant expansion and extensive cracking after 3 to 4 years field exposure. No visible distress was apparent in blocks containing lithium hydroxide with the same levels of cement and reactive aggregate after 54 months, the lithium content of these undamaged blocks was $[Li]/[Na+K] \geq 0.74$.*
- 4- *Lithium hydroxide monohydrate was less efficient in controlling the expansion of prisms with a crushed siltstone aggregate, a lithium to alkali ratio of $[Li]/[Na+K] = 0.85$ was required to control expansion to less than 0.04% at three years. Lower amounts of lithium may be necessary when used in conjunction with fly ash.*
- 5- *Pore solution studies indicative that LiOH did not necessarily impede the reaction between alkalis (Na and K) and silica in mortars containing flint sand. It is suggested that the effect of lithium on expansion may be related to the nature of the reaction product that forms in the presence of lithium...."*

4.3- Cenário Brasileiro

4.3.1- Generalidades

O emprego de material pozolânico no concreto de obras de grande porte no país ganhou importância e foi implementado em razão dos resultados obtidos por Gitahy, emérito pesquisador do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, nos estudos desenvolvidos durante a construção de Jupia, em trabalho conjunto com a CESP em 1963.

A pesquisa com o agregado disponível e mais econômico para a obra – seixo rolado com a predominância de calcedônia e quartzito – revelou tratar-se de material altamente reativo com os álcalis e indicou as consequências da reação álcali-agregado à estabilidade e durabilidade do concreto.

Pozolana de Argila (Caolinítica) Calcinada

De pronto foram tomadas providências no sentido de inibir o processo reativo. Como primeira medida adotou-se o uso de cimento Portland com baixo teor de álcalis, da ordem de 0,2 %. A solução definitiva: o uso de cimento comum com adição de pozolana artificial. Provisoriamente, até a instalação e operação da fábrica de pozolana no canteiro de obras de Jupia, empregou-se cinza volante proveniente de termelétrica do Rio Grande do Sul.

Com o advento desses materiais e seu emprego em grande escala resultou no desenvolvimento de técnicas de produção e aplicação, respaldadas por programas de estudos e controle de qualidade, cada vez mais exigidos pelos avanços da tecnologia do concreto, de modo a explorar a potencialidade desses produtos e garantir a

durabilidade dos concretos. As pesquisas de finura variável e os índices de atividade decorrentes indicavam a sua capacidade e potencial desempenho.

A pozolana produzida em Jupiá atingiu excelente nível de qualidade, com reconhecimento mundial, resultado do aprimoramento tecnológico conseguido com o acompanhamento permanente da produção, com intervenções corretivas e de melhoria.

Referência		1	2	3	4
Massa específica (g/cm ³)		2,49	2,50	2,50	2,53
Finura peneira nº 325 (% retida)		29,0	16,6	10,6	8,7
Superf. espec. Blaine (cm ² /g)		4216	6153	8181	10234
Diâmetro dos grãos (micras)		5,8	3,9	2,9	2,3
Reativid. c/álcalis	Redução expansão %	93,9	98,4	100,0	101,1
	Expansão argam. %	0,000	-0,001	-0,001	-0,002
Índices atividade pozolânica	Água requerida %	108,7	106,5	105,5	105,2
	com cimento %	79,1	85,3	93,6	98,0
	com cal - MPa	6,2	7,5	8,4	9,7
Retração por secagem (%)		0,003	0,003	0,009	0,017
Análise físico-química de material pozolânico					
Pozolana Jupiá					

Figura 4.1 - Estudo de Finura Variável da Pozolana

A Figura 4.2 mostra o gráfico das atividades pozolânicas com a finura do material.

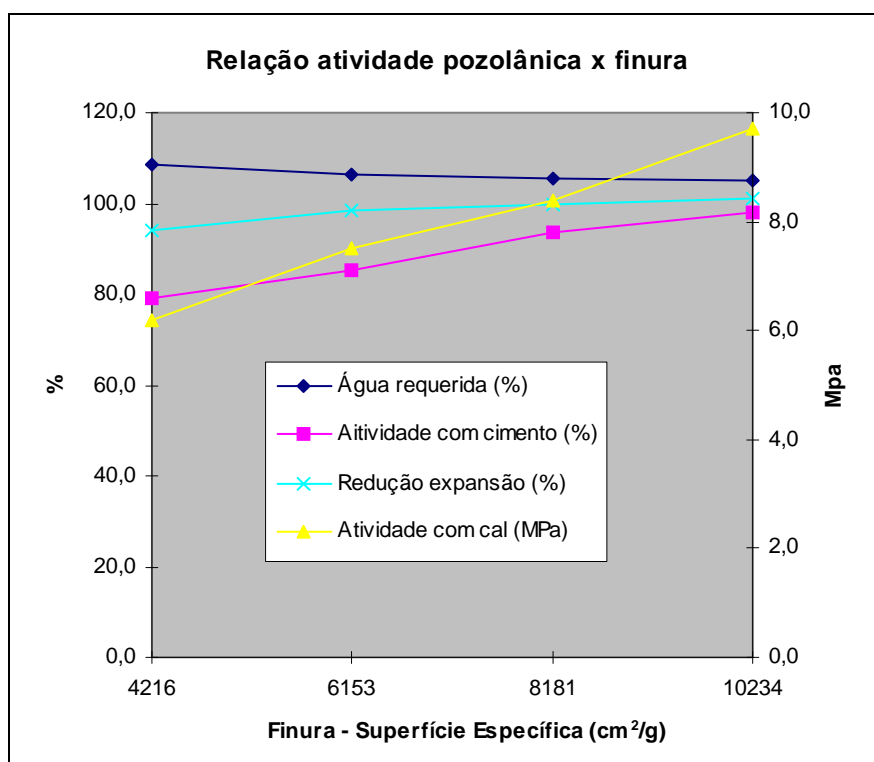


Figura 4.2 - Relação da Atividade Pozolânica com a Finura

Cinzas Volantes

A cinza volante ou “fly ash” é um subproduto industrial, finamente dividido e rico em sílica e alumina, resultante da combustão de carvão pulverizado em usinas termelétricas. Suas partículas são esféricas e muito pequenas, normalmente variando entre 1 μm e 100 μm de tamanho, que são coletadas, na maioria das vezes, pelos precipitadores eletrostáticos depois de arrastadas pela corrente de exaustão do gás.

As cinzas volantes podem ser classificadas em duas categorias, diferenciadas entre si pelas quantidades de cálcio presentes. Aquelas de alto teor de cálcio são em geral mais reativas, se comparadas com as de baixo teor.

Diversos aspectos influem na qualidade da cinza volante. As quatro características de maior interesse são: **finura, uniformidade, composição química e perda ao fogo.**

Finura: material mais grosso resulta em menor atividade.

As cinzas disponíveis nas termelétricas do Sul do Brasil são de boa qualidade, porém se apresentam em finuras – Blaine de 2635 cm^2/g e 52% de material retido na peneira nº 325 (valores médios anuais de fornecimento) – que conferem aos produtos baixa atividade como material pozolânico, necessitando de moagem para tornarem-se mais ativas.

Uniformidade: correspondente às variações entre os carregamentos de carvão, que devem ser minimizadas, para que se tenha um produto bom e consistente.

Composição Química: está relacionada na razão direta com a queima do carvão. A química da cinza volante afeta o seu desempenho.

Perda ao fogo: é a medida do resíduo de carvão não queimado, contido na cinza. O maior conteúdo de carbono, produto com coloração mais escura, pode causar significativos problemas de ar incorporado e dificuldades no manuseio do concreto com adição de cinza, e no seu controle, em razão dos aumentos nos consumos de água e aditivo incorporador, para determinados índices de consistência e volume de ar.

As Figuras 4.3 e 4.4 mostram os resultados de análises físico-químicas realizadas em amostras obtidas nos estudos com cinzas volantes, tomadas em duas situações – coletadas úmidas nas bacias de cinzas junto a termelétrica e de fornecimentos comerciais às obras.

O gráfico da Figura 4.3 ilustra o desempenho da cinza volante em estudo de finura variável. A tabela da Figura 4.4 apresenta a performance de amostras do material aplicado nas obras. Destaca-se a variação de resultados entre as amostras ensaiadas.

Finura peneira n° 325 (% retida)		81,9	46,3	34,7	20,4	10,1
Superf. espec. Blaine (cm ² /g)		1797	3596	4460	5663	6439
Diametro dos grãos (micras)		14,5	6,5	5,2	4,0	3,5
Reativid. c/álcalis	Redução expansão %	56,2	58,8	69,2	64,9	70,8
	Expansão argam. %	0,141	0,108	0,074	0,075	0,063
Índices atividade pozolânica	Água requerida %	112,3	103,1	101,5	100,8	98,5
	com cimento %	58,7	77,9	82,0	91,5	91,8
	com cal - MPa	2,5	6,3	8,0	10,0	10,6
Retração por secagem (%)		-0,011	-0,008	-0,006	-0,007	-0,010
Análise Química (%)	Teor de umidade	0,03	0,03	0,02	0,05	0,04
	Perda ao fogo	3,22	3,24	3,2	2,88	3,22
	SiO ₂	47,4	47,56	47,36	47,68	47,48
	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	92,70	92,80	92,72	93,14	92,76
Análise físico-química de material pozolânico Cinza volante (úmida)						

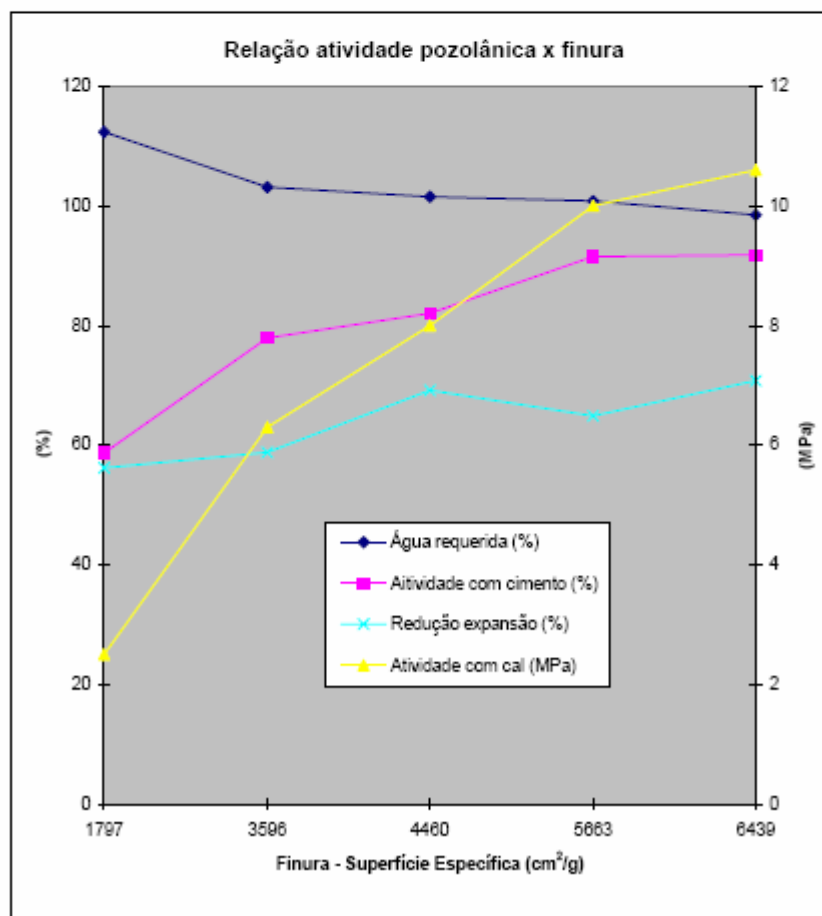


Figura 4.3 – Avaliação da influência da Finura Variável da cinza volante

Referência		10	11	12	13
Massa específica (g/cm³)		2,13	2,09	2,17	2,16
Finura peneira nº 325 (% retida)		45,8	55,1	33,7	34,0
Superf. espec. Blaine (cm²/g)		1944	2521	3150	3448
Diâmetro dos grãos (micras)		14,5	11,4	8,8	8,1
Reativid. c/álcalis	Redução expansão %	66,9	78,6	74,7	71,4
	Expansão argam. %	0,009	0,022	0,013	0,048
Índices atividade pozolânica	Água requerida %	110,1	118,9	106,1	100,8
	com cimento %	66,2	52,7	71,1	78,9
	com cal - MPa	3,5	3,9	4,4	5,4
Retração por secagem (%)		-0,002	-0,003	-0,003	-0,020
Análise Química (%)	Teor de umidade	0,27	0,04	0,18	0,15
	Perda ao fogo	3,74	5,33	1,85	0,73
	SiO ₂	54,98	53,8	56,6	61,34
	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	91,26	89,26	92,86	93,68
Análise físico-química de material pozolânico Cinza volante					

Figura 4.4 - Análises físico-químicas da cinza volante

Microssílica

A **Micro-Sílica**, ou **Sílica Fumo**, ou **Sílica Ativa** (e aqui o Relator indaga: **E as outras sílicas dos demais Materiais Pozolânicos também não são ativas?**), tem sido avaliada em vários Laboratórios Brasileiros desde o início dos anos 80, quando esse material começou a ser cogitado no Mercado Brasileiro.

“Pó de Pedra”

Desde 1978 (Laboratório de Itaipu) o agregado **“Pulverizado”**, também denominado **“Pó de Pedra”** ou finos de britagem passou a ser utilizado nos concretos, mais intensamente no CCR (concreto compactado com rolo).

O agregado pulverizado representa o material passante na peneira 200 ($\leq 0,075\text{mm}$) e é normalmente utilizado incorporado na areia artificial, representando um “material pulverulento” contido na mesma após o processo de britagem. Desta maneira, para uso no concreto a areia não é lavada. Outra alternativa de se aplicar o agregado pulverizado é beneficiando este material, através da sua separação no processo de britagem; onde são utilizados britadores especiais para produção de finos. Neste caso, o material é adicionado na mistura como material cimentício podendo-se alcançar um controle efetivo da quantidade total de finos na mistura.

Alguns estudos foram realizados sobre o assunto, e no Brasil, as publicações relativas a este material passaram a ser abordadas a partir da década de 90. Avaliações quanto a

Atividade Pozolânica e eficiência no combate da Reação Álcali-Agregado (RAA) têm sido realizadas. Os resultados mostram que a atividade pozolânica com o cimento varia em função do teor de substituição utilizado, porém o comportamento foi satisfatório.

O uso de agregado pulverizado tem sido uma alternativa para suprir a falta de material pozolânico convencional, principalmente quando não o tem em disponibilidade, como ocorreu na **Barragem de Capanda (Angola)**. A justificativa para o comportamento benéfico do pó de pedra no combate à RAA pode ser explicada da seguinte maneira:

Inicialmente, a simples substituição do cimento pelo pulverizado resulta na diminuição da concentração dos álcalis, liberados na hidratação do cimento. Além deste fato, um mecanismo químico ocorre através da reação entre os álcalis disponíveis em solução e as partículas finas do agregado, nos espaços não confinados, levando a uma redução da concentração de álcalis, próxima à superfície do agregado. Simultaneamente, o pó de pedra juntamente com os produtos formados preenchem os poros promovendo uma densificação da matriz, dificultando a migração das espécies alcalinas

Pesquisas mostram que o uso indiscriminado do pó de pedra pode causar um aumento nas expansões, sendo necessário um estudo prévio para identificar o teor ótimo de substituição. Nos estudos desenvolvidos, foi observado que a redução da expansão não foi consequência apenas da substituição parcial do cimento pelo pó de pedra, mas também da reação química, confirmando a teoria supracitada. Os gráficos a seguir mostram alguns resultados obtidos.

São vários os fatores que influenciam na atividade do agregado pulverizado, dentre eles destacam-se o teor de substituição, a idade de envelhecimento e a finura, como ilustram as Figuras a seguir

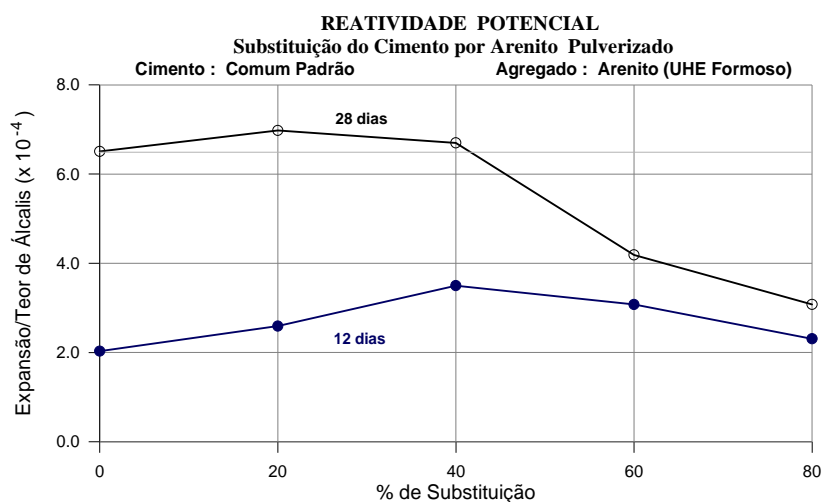


Figura 4.5 - Expansão/Teor de Álcalis aos 28 e 12 dias - Arenito de UHE Formoso ^[20 a 23]

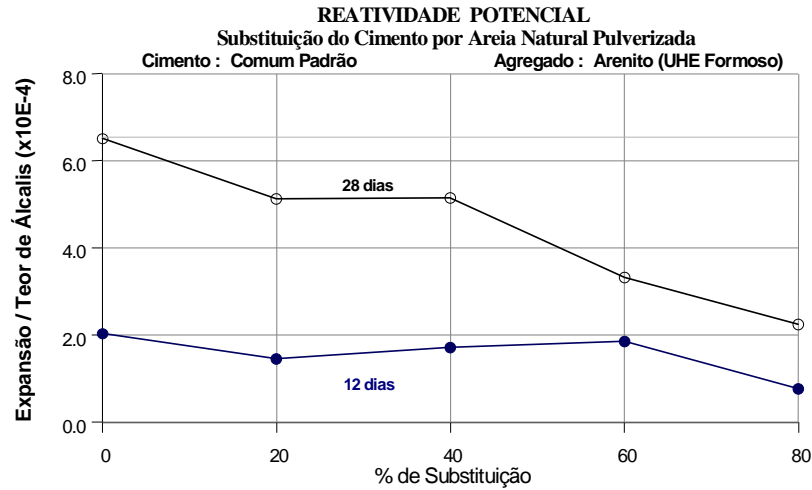


Figura 4.6 - Expansão/Teor de Álcalis aos 28 e 12 dias - Areia Natural de UHE Formoso [20 a 23]

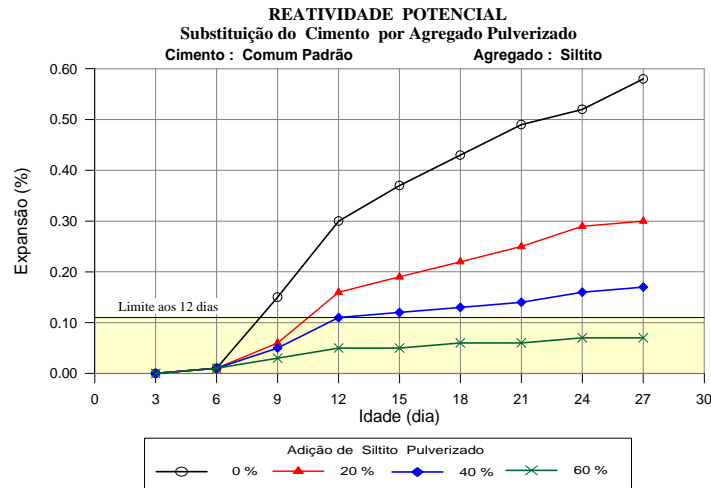


Figura 4.7 - Substituição Parcial do Cimento por Siltito Pulverizado [20 a 23]

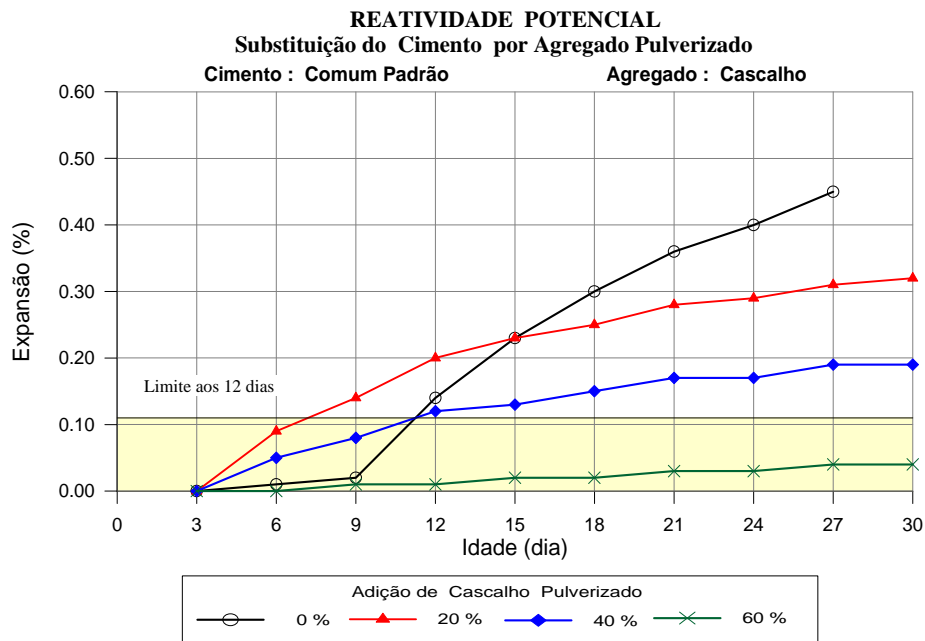


Figura 4.8 - Substituição Parcial do Cimento por Cascalho Pulverizado [20 a 23]

A Figura 4.9 apresenta um comparativo do comportamento do cascalho pulverizado com outros materiais pozolânicos.

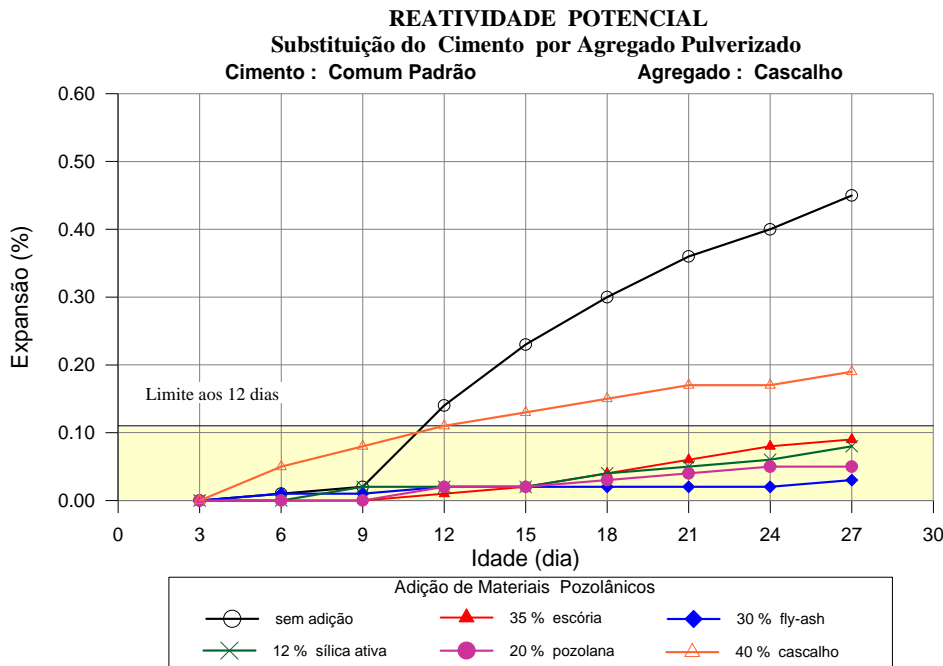


Figura 4.9 - Comparativo com outros Materiais Pozolânicos

Em relação à idade de envelhecimento, verificou-se que para 30 dias de ensaio, o melhor desempenho em minimizar a expansão foi alcançado com a idade de 60 dias pós-moagem para o arenito pesquisado.

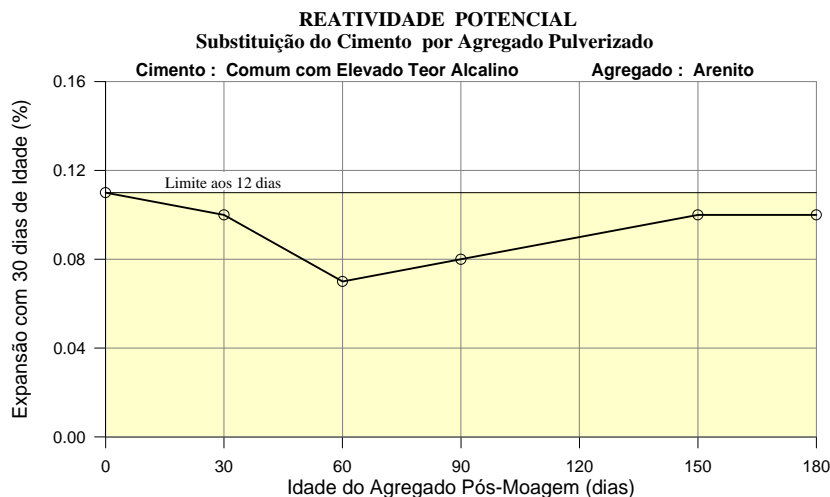


Figura 4.10 - Influência da Idade de Envelhecimento

Quanto à finura, pesquisas mostram que quanto maior a finura do agregado pulverizado, menor a expansão resultante da reação com os álcalis disponíveis. Esta correlação só é válida até um determinado valor de finura, a partir do qual as expansões mantêm-se constantes, independente do valor da finura. Cabe ressaltar que este comportamento foi observado na presença do agregado andesito^[18].

O uso de agregado pulverizado tem sido uma alternativa viável na redução da expansão, principalmente quando não há outra disponibilidade de materiais com características pozolânicas.

A sua atuação benéfica está relacionada com o teor ótimo de substituição, a idade de envelhecimento e o grau de finura, sendo pois um dado empírico e estudos devem ser realizados para cada tipo de agregado .

Neste pontos re-lembra-se a publicação (de 1940) de *THOMAS E. STANTON*-**“Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate”**, no Engineering News Record, que cita

*“... The particle size of this mineral also has an important bearing on the result. It was thought that, by crushinthe deleterious particles to pass 200- mesh completely, an accelerated reaction might be had. The reverse was the case, as specimens fabricated with -80-mesh particles developed no expansion in sealed containers, whereas the - 30mesh to + 80 mesh particles specimens showed the greatest expansion (see Fig. 6(b)). **Therefore, it appears that the reaction between the reactive ingredient in the aggregate and the alkali in the cement, when the aggregate is in a finely divided state, is either dissipated throughout the mass in such a way as to cause no high expansive forces or the reaction is largely over before the concrete attains permanent set....**”*

5-PUBLICAÇÕES RECEBIDAS

5.1- Gerais

Este Relator comenta que foram endereçados ao TEMA- “**Medidas Preventivas**”- 4 (quatro) Publicações, a saber:

Apresentação	Texto	Autores
Em POSTER	Estudo de Reatividade Potencial dos Agregados com Diferentes Adições para Concreto Utilizado em Goiânia	<i>A. L. Bortolacci Geyer & R.C. Miranda</i>
ORAL em Plenário	Avaliação da utilização do cimento de alta resistência inicial e resistente a sulfatos no combate à reação álcali-agregado	<i>Tiecher, F.; Venquiaruto, S.; Silva, B.; Dal Molin, D.C.C.</i>
	O desempenho de materiais pozolânicos na inibição da reação álcali-agregado	<i>Salles, F.M.; Bertolucci, L.; Michelin, J.</i>
	AGREGADO DELETÉRIO - POSSIBILIDADE(S) SEGURA(S) DE USO	<i>Andriolo, F.R.</i>

Pode-se dizer que isso é mais do que o que o Relator **S. DIAMOND**, comentou no Simpósio de RAA, em Reykjavik, mas ressalta-se que isso foi em 1975!

Este Relator, de maneira antecipada (29 de Agosto de 2006), enviou à Comissão Organizadora e ao Comitê Técnico deste II Simpósio uma solicitação/sugestão a ser enviada aos autores acima referidos e que se transcreve:

5.2- Pontos Relevantes Considerados Pelo relator

A leitura dos Textos englobados no Tema – “Medidas Preventivas” induziram ao Relator tomar a liberdade e, modestamente, sugerir aos Autores que em suas apresentações- em Poster e nas indicadas para apresentação Oral em Plenário, pudessem abordar os seguintes pontos e disponibilizassem informações, para uma maior clareza e orientação aos leitores e ouvintes, participantes.

Nota: Deve ser esclarecido que as recomendações e sugestões citadas a seguir não se destinam a esclarecer ao Relator, mas sim disponibilizar o conhecimento dos Autores, aos participantes do Simpósio e dos demais Leitores.

a)- Publicação- RAA 2006 0041

Apresentação	Texto	Identificação	Autores
Em POSTER	Estudo de Reatividade Potencial dos Agregados com Diferentes Adições para Concreto Utilizado em Goiânia	RAA 2006 0041	A. L. Bortolacci Geyer & R.C. Miranda

Recomendações e Sugestões:

É bastante recomendável que os Autores disponham de informações de tal sorte a esclarecer:

- ✚ Qual a composição química completa do Cimento CP- II-F-32?
- ✚ O “Filler” utilizado na composição do Cimento foi caracterizado? Qual a sua característica (tem ou não ação pozolânica)?
- ✚ O que é Meta Caulim? Quais suas características? Como é obtido? Qual sua origem;
- ✚ Qual a composição química do Meta Caulim?
- ✚ Qual a composição química da Sílica Ativa?
- ✚ A Sílica existente no Meta Caulim também é ativa?

Razões para essa solicitação:

- ✚ Há seriedade no Mercado Fornecedor, de tal sorte a acreditar plenamente nas informações técnicas?

b)- Publicação- RAA 2006 0009

Apresentação	Texto	Identificação	Autores
ORAL em Plenário	Avaliação da utilização do cimento de alta resistência inicial e resistente a sulfatos no combate à reação álcali-agregado	RAA 2006 0009	Tiecher, F.; Venquiaruto, S.; Silva, B.; Dal Molin, D.C.C.

Recomendações e Sugestões:

É bastante recomendável que os Autores disponham de informações de tal sorte a esclarecer:

- ✚ Qual o Tipo de adição utilizada no CP-V-ARI- RS? Foi caracterizada? É um “Filler” Calcario ou um Material Pozolânico?
- ✚ O Resíduo Insolúvel é um indicador único?

- ✚ Aproveitar mais os detalhes existentes (e embutidos!!) na Tabela 3, quanto aos teores de SiO₂; Álcalis e Respectivas Expansões;
- ✚ Debater um pouco mais a afirmação: “...os agregados de origem basáltica resultam em expansões bem superiores...” (ou seja RESULTAM – SEMPRE? Ou resultaram nos estudos?)

Razões para essa solicitação:

- ✚ Há seriedade no Mercado Fornecedor, de tal sorte a acreditar plenamente nas informações técnicas?
- ✚ Sempre os agregados Basálticos se mostram mais Expansivos que os agregados Graníticos?
- ✚ Ou isso depende das condições mencionadas pelos **Dr. Paddy Grattan-Bellew & Dr. Lyndon Mitchell**, do **National Research Council of Canada**, que menciona

“...Alkali-aggregate Reaction

Aggregates that are chemically stable will neither react chemically with cement in a harmful manner nor be affected chemically by normal external influences. Reactive aggregates may result in serious damage to the concrete by causing abnormal expansion, cracking and loss of strength.

Alkali-aggregate Reactions

Some aggregates containing reactive silica will react with the alkalis in cement - sodium and potassium oxides - to form an alkali-silica gel which takes up water and swells. This causes abnormal expansion and map-cracking of the concrete. The situation in New Zealand is that considerable investigations were carried out by the DSIR (now IRL) over a long period of time to establish rock types that were prone to alkali reaction.

The following categorises the principal rock type into non-reactive and reactive types. Aggregates known to be non-reactive from field experience and testing:

- *Greywacke*
- *Schist*
- *Basalt <50% SiO₂*
- *Quartz Sands*
- *Phonolite*
- *Rhyolitic pumice*
- *Granite*
- *Perlite*
- *Vermiculite*
- *Limestone*

Aggregates or minerals known to be potentially reactive either from field experience or laboratory testing:

- *Basalt >50% SiO₂*
- *Christobalite*
- *Andesite*
- *Tridymite*
- *Dacite*
- *Quartzite*
- *Rhyolite*
- *Amorphous and Criptocrystalline silicas (including Opal & Chalcedony)*
- *Volcanic glass .."*

c)- Publicação- RAA 2006 0010

Apresentação	Texto	Identificação	Autores
ORAL em Plenário	O desempenho de materiais pozolânicos na inibição da reação álcali-agregado	RAA 2006 0010	<i>Salles, F.M.; Bertolucci, L.; Michelin, J.</i>

Recomendações e Sugestões:

É bastante recomendável que os Autores disponham de informações de tal sorte a esclarecer:

- ✚ O “Filler” utilizado na composição do Cimento foi caracterizado? Qual a sua característica (tem ou não ação pozolânica)?
- ✚ Qual a razão de ter sido incluído na pesquisa um produto comercial que não atende às especificações da NBR? Que advertência e recomendação decorre disso? :
- ✚ A Pozolana utilizada é um Meta Caulim?

Razões para essa solicitação:

- ✚ Pelo mencionado na Publicação quanto ao fato de uma das Cinzas Volantes (Identificada como “D”) mostra que não há plena seriedade no Mercado Fornecedor, de tal sorte a acreditar plenamente nas informações técnicas?

d)- Publicação- RAA 2006 0037

Apresentação	Texto	Identificação	Autor
ORAL em Plenário	AGREGADO DELETÉRIO – POSSIBILIDADE(S) SEGURA(S) DE USO	RAA 2006 0037	<i>Andriolo, F.R.</i>

Recomendações e Sugestões:

É bastante recomendável que o Autor esclareça:

✚ Para que serve essa publicação?

Razões para essa solicitação:

✚ É válido buscar outras Alternativas para Inibir os Efeitos Expansivos da Reação do Tipo Álcali-Agregado, ou somente as disponíveis no Mercado são Técnica e Economicamente suficientes?

6- COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES

Vale repetir a indagação do Relator S. DIAMOND:

- ONDE ESTAMOS AGORA? -

6.1- Comentários

Os vários Casos e Registros de ocorrência dos Fenômenos expansivos devido a RAA, em regiões Metropolitanas e em zonas mais Remotas do País, induzem a uma disciplina mais detalhada quanto ao enfrentamento do Problema.

As disponibilidades de Mercado mostram heterogeneidades que decorrem do elevado grau de Tolerância dos Usuários e Entidades Fiscalizadoras/Reguladoras em como da pouca Confiabilidade no cumprimento de Responsabilidades.

A maioria dos Textos designados ao TEMA- “**Medidas Preventivas**” citam experiências com os vários materiais tradicionais na prevenção da expansão devida à RAA, com diferenciação da Publicação, de autoria deste próprio Relator, que redireciona o Foco da Prevenção para uso do PRÓPRIO MATERIAL EXPANSIVO.

6.2- Recomendações

As várias referências bibliográficas mencionadas no transcrito deste Relato, e que didaticamente se repete na listagem a seguir, evidenciam a necessidade de:

- ✚ Conhecer os materiais que estão sendo empregados;
 - ✚ Exigir, nos conceitos Legais mais amplos e abrangentes, as “Responsabilidades” dos Fornecedores;
 - ✚ Estabelecer um cenário, mais amplo no que concerne, à busca e soluções Alternativas para essas “Medidas Preventivas”;
 - ✚ Fortalecer o Monitoramento, Registro, Relato e Divulgação das ocorrências e dos casos suspeitos;
 - ✚ Buscar agregar, se não exigir, a presença de Administradores Públicos e de Entidades Governamentais nos eventos Técnicos para que a disseminação e “Inseminação” das preocupações quanto à Durabilidade das estruturas e obras;
 - ✚ Condicionar os Documentos de Licitação ao conhecimento mais detalhado dos Materiais a serem usados;
 - ✚ Desviar o Foco das Pesquisas para outras Alternativas mais adequadas às dimensões territoriais do País, suas dificuldades e disponibilidades;
 - ✚ Sugerir que os Pesquisadores, Entidades de Pesquisas, Seguradoras, Entidades de Financiamento de Obras e Construções (inclusive Habitacionais) sejam provocadas para o Financiamento e Suporte de Estudos e Pesquisas visando a mitigação dos Problemas.
-

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

O Relator além de citar as Referências utilizadas para desenvolver este texto, faz citar as referências apresentadas no **Relato Geral do I Simpósio**, com intuito de facilitar a busca dos interessados e minimizar a **possibilidade de se tentar re-inventar a Roda!!!**

- [1] SHRP-C-343 "Eliminating or Minimizing Alkali-Silica Reactivity" - Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1993;
- [2] ANDRIOLO, F. R. "Relato Geral - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto" - Goiânia/GO, Brasil, novembro/1997;
- [3] OBERHOLSTER, R. E. "Case Studies of the Practical and Economical Impact of Alkali-Silica Reaction in South Africa"- Proceedings of the 10th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete- Melbourne -Australia/ August-1996;
- [4] RODRIGUES, E. P.; KIHARA, Y.; SBIRIGHI, C. N. "A reatividade Álcali-Agregado de Rochas "Granitóides" e Quartzíticas: Proposta de Índice de Reatividade Potencial" - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Goiânia/GO - novembro/1997.
- [5] ANDRIOLO, F. R. "Observação de Estruturas de Concreto: Validade Quanto a Ocorrência da Reação Álcali-Agregado" - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Goiânia/GO, novembro/1997
- [6] CHARLWOOD R.G.; SOLYMAR, Z.S. "Long-Term Management of AAT-Afected Structures - An International Perspective" - Second International Conference on Alkali - Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dam, USCOLD Chattanooga, Tennessee, outubro/1995;
- [7] HEIJNEN, W. M. M.; LARBI, J. A.; SIEMES, A. J. M. "Alkali-Silica Reaction in the Netherlands" - Proceedings of the 10th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Melbourne, Australia, agosto/1996.
- [8] LEE, Y.; NOH, J.; CHUNG, J.; YOON, J. "Presence of Alkali-Silica Reactive Aggregates in Korea" - Proceedings of the 10th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Melbourne, Australia, agosto/1996.
- [9] PREZZI, M.; KURTIS, K. E.; MONTEIRO, P. J. M.; SANTOS, M. C.; ANDRADE, W. P.; "Importância da Química de Superfície na Reação Álcali-Agregado" - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Goiânia/GO, Brasil, novembro/1997.
- [10] VEIGA, F. N.; GONÇALVES, I. N.; ANDRADE, N. P. H. "Microscopia Eletrônica de Varredura de Géis Provenientes de Usinas Hidrelétricas" - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Goiânia/GO, Brasil, novembro/1997.
-

- [11] *NASCIMENTO, J. F. F.; FONTOURA, J. T. F.; ALMEIDA, M. T.; PACELLI, W. A. "Concreto Compactado a Rolo Aplicado no Aproveitamento Hidroelétrico do Médio Kwanza - Barragem de Capanda" - 1º Simpósio de Obras em Concreto Compactado com Rolo, São Paulo/SP, 1995.*
- [12] *HOLANDA, F. G.; KREMPEL, A. F.; CREVILARO, C. C. "Dosagem de Misturas de CCR para Construção da Barragem de Derivação do Rio Jordão - Utilização de 100% de Areia Artificial" - 1º Simpósio de Obras em Concreto Compactado com Rolo, São Paulo/SP, 1995.*
- [13] *HOLANDA, F. G.; MAURO FILHO, G. S.; ROCHA, C. "Estudos de Dosagens de Concreto Compactado com Rolo (CCR) nos Aproveitamentos Múltiplos Jequitá I e II" - 1º Simpósio de Obras em Concreto Compactado com Rolo, São Paulo/SP, 1995.*
- [14] *PACELLI, W. A et al. "Detalhes de Projeto e Adequação de Equipamentos para Produção de CCR - Barragem do Bertarello Bento Gonçalves - RS" - III Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo, Foz do Iguaçu/PR, 1998.*
- [15] *OLIVEIRA, L. F. P; MOSER, D. E.; MUSSI, J. M.; ANDRIOLO, F. R. "Barragem de CCR Salto Caxias - Controle de Qualidade dos Materiais e do CCR" - III Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo, Foz do Iguaçu/PR, 1998.*
- [16] *FRANCO, F. R.; AITA, C. A.; ARAÚJO, T. A.; LIMA, G. A. R.; CESCA, R. J. "Barragem de Val de Serra - Aspectos de Construção" - III Seminário Nacional de Concreto Compactado com Rolo, Foz do Iguaçu/PR, 1998.*
- [17] *ALMEIDA, R. (enviado especial a Luanda) - "Forma Tecnológica: As novidades Revelados pela Usina Angolana" - Revista Construção, n.2252, Ed. Pini, São Paulo/SP, 1991, p.8-9.*
- [18] *QINGHAN, B.; XUEQUAN, W.; MINGSHU, T.; NISHIBAYASHI, S.; KURODA, T.; TIECHENG, W. "Effect of Reactive Aggregate Powder on Suppressing Expansion due to Alkali-Silica Reaction" - 10º International Conference on AAR, Austrália, 1996.*
- [19] *SALLES, F. M.; OLIVEIRA, P. J. R.; ANDRIOLO, F. R. "Uso de Finos de Britagem como Redutores da Expansão Devida à Reação-Agregado" - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Goiânia/GO, 1997.*
- [20] *Equipe de FURNAS - Editor Walton Pacelli de Andrade - "Concretos: Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo - Ensaios e Propriedades" - Editora Pini, São Paulo/SP, 1997, cap. 16 e 17.*
- [21] *CASTRO, C. H.; SANTOS, M. C.; TRABOULSI, M. A.; BITTENCOURT, R. M. "Influência do Agregado Pulverizado na Reação Álcali-Agregado" - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Goiânia/GO, 1997*
- [22] *CARMO, J. B.M.; FONTOURA, J. T. F.; ANDRADE, M. A. S.; PACELLI, W. A. "Estudo de Dosagens de Concreto Compactado com Rolo Combinando com Cimento e Agregado Pulverizado*
-

com Escória de Alto-forno e Fly-Ash" - 1º Simpósio de Obras em Concreto Compactado com Rolo, São Paulo/SP, 1995.

|23| CARMO, J. B. M.; NASCIMENTO, J. F. F.; FONTOURA, J. T. F.; SANTOS, M. C.; PACELLI, W. A. "Concreto Compactado a Rolo - Utilização de Agregado Pulverizado" - III Seminário Goiano de Engenharia Estrutural, Goiânia/GO, 1990.

|24| ANDRIOLO, F. R. "Proposições para a Conservação de Estruturas Afetadas pela Reação Álcali-Sílica" - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Goiânia/GO, Brasil, novembro/1997.

|25| SILVEIRA, J. F. A. "A Expansão do Concreto em Barragens Afetadas pela RAA e a Importância das Tensões Confinantes" - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Goiânia/GO, Brasil, novembro/1997.

|26| CAVALCANTI, A. J. C. T.; SILVEIRA, E. M. M.; CAMPOS, A. T.; WANDERLEY, E. G. "Monitoração da Reabilitação de uma Unidade Geradora da UHE Apolônio Sales" - Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Goiânia/GO, Brasil, novembro/1997.

|27| BERNARDES, H. M., ANDRÉ, J. C., CASTRO, A. T. Retroanálise na observação dos efeitos da reatividade álcali-agregado. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997, Goiânia. Anais... Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, 1997. p.309-13.

|28| CAPRA, B., BOURNAZEL, J. P. Modeling of induced mechanical effects of alkali-aggregate reactions. *Cement and Concrete Research*, v.28, n.2, p.251-60, 1998.

|29| CAPRA, B., BOURNAZEL, J. P., BOURDAROT, E. Modeling of alkali aggregate reaction effects in concrete dams. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN HYDROELECTRIC PLANTS AND DAMS, 2, 1995, Chatanooga. *Proceedings...Denver: USCOLD*, 1995. p.441-55.

|30| CURTIS, D. D. Modeling of AAR affected structures using the GROW3D FEA Program. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN HYDROELECTRIC PLANTS AND DAMS, 2, 1995, Chatanooga. *Proceedings...Denver: USCOLD*, 1995. p.457-78.

|31| GUEDES, Q. M. Visco-elastic stress analysis with ageing in dam with alkali-aggregate reaction (inédito).

|32| HOBBS, D. W. Cracking and expansion due to alkali-silica reaction: its effect on concrete. *Structural Engineering Review*, v. 2, n. 2, p.65-79, 1990.

- [33] LÉGER, P., TINAWI, R., MOUNZER, N. Numerical simulation of concrete expansion in concrete dams affected by alkali-aggregate reaction: state-of-the-art. *Canadian Journal of Civil Engineering*, n.22, p.692-713, 1995.
- [34] LEHTOLA, R. et al. Modelos numéricos para a simulação da RAA em estruturas de concreto massa. In: *SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997, Goiânia. Anais...* Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, 1997. p.293-300.
- [35] PIETRUSZCZAC, S. On the mechanical behaviour of concrete subjected to alkali-aggregate reaction. *Computers and Structures*, v.58, n.6, p.1093-7, 1996.
- [36] PIMENTA, P.M., PAULETTI, R.M.O., PAPPALARDO, A. Uma proposta de metodologia de acompanhamento por modelagem matemática de barragens em concreto afetadas por reação álcali-agregado. In: *SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997. Goiânia. Anais...* Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, 1997. p.329-35.
- [37] RAMOS, J. M. L. M., CASTRO, A. T., BAPTISTA, A. L. Analysis of swelling processes in concrete dams. Lisboa: LNEC, 1992. 22p. (Memória, 778).
- [38] SILVEIRA, J. F. A. et al. AAR at Moxotó - ten years of monitoring and remedial measures. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN HYDROELECTRIC PLANTS AND DAMS, 2, 1995. Chattanooga. Proceedings...* Denver: USCOLD, 1995. p.133-46.
- [39] "1st International Conference on Concrete Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams" (1992), CANCOLD, Fredericton, Canadá.
- [40] "2nd International Conference on Concrete Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams" (1995), USCOLD, Chattanooga, Tennessee, USA
- [41] FREIRE, F. C. V. e SOUZA, R. J. B. (1979) - "Lining, Support and Instrumentation of the Cavern for the Paulo Afonso IV Power Station, Brazil", *Tunneling 1979, The Institution of Mining and Metallurgy, London.*
- [42] SOUZA LIMA, V. M.; GUEDES, Q. M.; ANDRADE, W. P. e BASTOS, J. T. (1979) - "Cálculo da Relaxação de Tensões a Partir da Fluência do Concreto", *Revista Construção Pesada*, setembro/1979.
- [43] MIELENZ, R. C. (1988) - "Petrographic Examination of Samples of Concrete from Power Houses II and IV, Paulo Afonso, Cia Hidro Eletrica do São Francisco", *Relatório CHESF.*
- [44] GOGUEL, B. (1992) - "Concrete Behaviour at Kariba Dam", *I Int. Conf. on Concrete AAR in Hydroelectric Plants and Dams, Canadá.*
-
-

- [45] GRATTAN-BELLEW, P. E. (1992) - "Comparison of Laboratory and Field Evaluation of Alkali-Silica Reaction in Large Dams", I Int. Conf. on Concrete AAR in Hydroelectric Plants and Dams, Canada.
- [46] STARK, D. and DIAMOND, S. (1993) - "Eliminating or Minimizing Alkali-Silica Reactivity", National Research Council, Strategic Highway Program Report, SHRP-C-343, USA
- [47] WITTKE (1994) - "Fundamental for the Design and Construction of Tunnels in Swelling Rock", Int. Congress of the Int. Society of Rock Mechanics, Montreaux.
- [48] THOMPSON, G. A.; CHARLWOOD, R. G.; STEELE, R. R. and CURTIS, D. D. (1994) - "Mactaquac Generating Station Intake and Spillway Remedial Measures", XVIII ICOLD Congress, Durban.
- [49] THOMPSON, G. A.; STEELE, R. R. and COULSON, D. M. (1995) - "Management of Concrete Growth at the Mactaquac Generating Station", II Int. Conf. on Concrete AAR in Hydroelectric Plants and Dams, Chattanooga, U.S.A.
- [50] ADEGUE, L.; HINDY, A. and HO, M. S. (1995) - "R.S. Saunders GS Concrete Growth Mitigation Project Instrumentation and Finite Element Analysis", II Int. Conf. on Concrete AAR in Hydroelectric Plants and Dams, Chattanooga, USA
- [51] CURTIS, D. D. (1995) - "Modeling of AAR Affected Structures Using the GROW3D FEA Program", II Int. Conf. on Concrete AAR in Hydroelectric Plants and Dams, Chattanooga, USA
- [52] PROMON (1996) - "Calibração do Modelo Matemático com Simulação da Fluência do Concreto e da Dependência entre Expansão e Tensões Confinantes", Relatório CHESF SF49-ST8-006.
- [53] ANDRIOLO, F. R. "Ensaio para Avaliação da Potencialidade dos Materiais quanto à Reação Álcali-Agregado e Ações Decorrentes", Simpósio sobre Reatividade Alcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Comitê Brasileiro de Grandes Barragens/FURNAS Centrais Elétricas S.A., Goiânia/GO, novembro/1997.
- [54] SILVA, C. A. R.; TOMAZ, J. F. F.; SANTOS, M. C. e HASPARYK, N. P. A.; "Métodos Utilizados na Investigação da Reação Álcali-Agregado", Simpósio sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Comitê Brasileiro de Grandes Barragens/FURNAS Centrais Elétricas S.A., Goiânia/GO, novembro/1997.
- [55] SANTOS, M. C.; GÓZ, R. S.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI, W. A. "Resultados de Ensaio de Reatividade Potencial Álcali-Agregado após Longo Período de Armazenagem", Simpósio sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, Comitê Brasileiro de Grandes Barragens/FURNAS Centrais Elétricas S.A., Goiânia/GO, novembro/1997.
-
-

|56| ERNEST, W. G.; "Minerais e Rochas", Universidade da Califórnia, Tradução e Adaptação de Evaristo Ribeiro Filho - Ed. Edgard Blucher Ltda., São Paulo/SP.

|57| POPP, J. H.; "Geologia Geral", 4ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., Rio de Janeiro/RJ.

|58| DANA-HURLBUT "Manual de Mineralogia", Tradução de Rui Ribeiro Franco, Editora Ao Livro Técnico S.A./Universidade de São Paulo, Rio de Janeiro/RJ, 1969.

|59| ASTM C 33-93 - "Standard Specification for Concrete Aggregates", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.

|60| ASTM C 227-90 - "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.

|61| ASTM C 289-94 - "Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.

|62| ASTM C 294-86(91) - "Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Natural Mineral Aggregates", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.

|63| ASTM C 295-90 - "Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.

|64| ASTM C 311-94 - "Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.

|65| ASTM C 342-90 - "Standard Test Method for Potential Volume Change of Cement-Aggregate Combinations", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.

|66| ASTM C 441-89 - "Standard Test Method for Effectiveness of Mineral Admixtures or Ground Blast-Furnace Slag in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to the Alkali-Silica Reaction", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.

|67| ASTM C 595M-95 - "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.

-
- [68] *ASTM C 618-94 - "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.*
- [69] *ASTM C 823-83 (Reapproved 1993) - "Standard Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.*
- [70] *ASTM C 856-83 (Reapproved 1988) - "Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.*
- [71] *ASTM C 989-94 - "Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.*
- [72] *ASTM C 1105-89 - "Standard Test Method for Length Change of Concrete Due to Alkali-Carbonate Rock Reaction", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.*
- [73] *ASTM C 1157M-95 - "Standard Performance Specification for Blended Hydraulic Cement", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.*
- [74] *ASTM C 1240-95 - "Standard Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic-Cement Concrete and Mortar", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.*
- [75] *ASTM C 1260-94 - "Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.*
- [76] *ASTM C 1293-95 - "Standard Test Method for Concrete Aggregates by Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1995, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.02.*
- [77] *"Guide Specifications for Concrete Subject to Alkali-Silica Reactions", Mid-Atlantic Regional Technical Committee (Available through NRMCA, Silver Spring, Maryland-USA), june/1993.*
- [78] *TANG, M.; DENG, M.; LON, X. and HAN, S.: "Studies on Alkali-Carbonate Reaction", ACI Materials Journal, American Concrete Institute, Detroit, USA, january-february/1994, pages 26-29.*
-

-
- [79] HELMUTH, R.; "Alkali-Silica Reactivity: An Overview of Research", SHRP-C-342, Strategic Highway Research Program, Washington-USA, 1993, Also PCA Publication LT 177.
- [80] DANAY, A.; "Structural Mechanics Methodology in Diagnosing and Assessing Long-Term Effects of Alkali-Aggregate Reactivity in Reinforced Concrete Structures", ACI Materials Journal, American Concrete Institute, Detroit-USA, january-february/1994, pages 54-62.
- [81] STARK, D.; "Alkali-Silica Reactions in Concrete", ASTM STP 169C: Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1994, pages 365-371, Also PCA Publication LT 205.
- [82] STARK, D.; "Eliminating or Minimizing Alkali-Silica Reactivity", SHRP-343, Strategic Highway Research Program, Washington-USA, 1993, Also PCA Publication LT 178.
- [83] "Guide Specification for Concrete Subject to Alkali-Silica Reactions", IS415, Portland Cement Association/American Concrete Pavement Association, Skokie, Illinois-USA, 1995.
- [84] OZOL, M. A.; "Alkali-Carbonate Rock Reaction", ASTM STP 169C: Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, 1994, pages 372-387.
- [85] BÉRUBÉ, M. A. and FOUNIER, B.; "Canadian Experience with Testing for Alkali-Aggregate Reactivity in Concrete", Cement & Concrete Composites, Elsevier Science Publishers Ltd., England, 1993, pages 27-44.
- [86] SHAYAN, A.; "Prediction of Alkali Reactivity Potential of Some Australian Aggregates and Correlation with Service Performance", ACI Materials Journal, American Concrete Institute, Detroit-USA, january-february 1992, pages 16-19.
- [87] OBERHOLSTER, R. E. and DAVIS, G.; "An Accelerated Method for Testing the Potential Alkali Reactivity of Siliceous Aggregates", Cement and Concrete Research, 1986, Vol.16, pages 181-189
- [88] E. A. STEPHENSON, *Journal of Geology*, vol. 24, p. 180, 1916 (See Ref. 103).
- [89] J. C. PEARSON & G. F. LOUGHLIN, "An Interesting Case of Dangerous Aggregate," *Proceedings A. C. I.* vol. XIX, p. 142, 1923 (See Ref. 100).
- [90] R. J. HOLDEN, *Professor of Geology, Virginia Polytechnic Institute*, (Re Buck P. H. Concrete Expansion) Nov. 1935, (See Ref. 106).
- [91] F. M. LEA & C. H. DESCH, "The Chemistry of Cement and Concrete," Edward Arnold & Co., London, 1935 (See Ref. 101).
-

-
- |92| THOMAS E. STANTON, "Influence of Cement and Aggregate on Concrete Expansion," *Engineering News Record*, feb. 1, 1940.
- |93| THOMAS E. STANTON, "Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate," *Proceedings, American Society of Civil Engineers*, dec. 1940.
- |94| ROY W. CARLSON, *Discussion of Ref |93|, ASCE*, jan. 16, 1941.
- |95| BAILEY TREMPER, *Discussion of Ref |93|, ASCE*, feb. 4, 1941.
- |96| HUBERT WOODS, *Discussion of Ref |93|, ASCE*, mar. 7, 1941.
- |97| N. T. STADTFELD, *Discussion of Ref |93|, ASCE*, mar. 10, 1941.
- |98| W. C. HANNA, *Discussion of Ref |93|, ASCE*, mar. 18, 1941.
- |99| J. C. WITT, *Discussion of Ref |93|, ASCE*, mar. 20, 1941.
- |100| R. F. BLANKS, *Discussion of Ref |93|, ASCE*, apr. 7, 1941.
- |101| J. M. TURNBULL, *Discussion of Ref |93|, ASCE*, mar. 28, 1941.
- |102| R. A. KINZIE JR., *Discussion of Ref |93|, ASCE*, apr. 14, 1941.
- |103| H. S. MEISSNER, "Cracking in Concrete Due to Expansive Reaction Between Aggregate and High Alkali Cement as Evidenced in Parker Dam," *Proceedings of A. C. I., Journal of the American Concrete Institute*, apr. 1941.
- |104| BAILEY TREMPER, "Evidence in Washington of Deterioration of Concrete Through Reactions Between Aggregates and High Alkali Cements," *Proceeding of A. C. I., Journal of the American Concrete Institute*, jun. 1941.
- |105| CHARLES P. BERKEY, "The Nature of the Processes Leading to the Disintegration of Concrete, with Special Reference to Excess Alkalies," *Proceedings of A. C. I., Journal of the American Concrete Institute*, jun. 1941.
- |106| H. A. KAMMER & R. W. CARLSON, "Investigation of Causes of Delayed Expansion of Concrete in Buck Hydroelectric Plant," *Proceeding of the A. C. I., Journal of the American Concrete Institute*, jun. 1941.
- |107| THOMAS E. STANTON, *Discussion and Closure of Ref |93|, ASCE*, sep. 1941.
- |108| THOMAS E. STANTON, O. J. Porter, L. C. MEDER & ALLEN NICOL, "California Experience With the Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate," *Proceedings of A. C. I., Journal of the American Concrete Institute*, jan. 1942.
-

-
- |109| H. S. MEISSNER, *Discussion of Ref |108|, A. C. I., nov. 1942.*
- |110| ROGER RHOADES, *Discussion of Ref |108|, A. C. I., nov. 1942.*
- |111| LEWIS H. TUTHILL, *Discussion of Ref |108|, A. C. I., nov. 1942.*
- |112| ROY W. CARLSON, *Discussion of Ref |108|, A. C. I., nov. 1942.*
- |113| C. H. SCHOLER, *Discussion of Ref |108|, A. C. I., nov. 1942.*
- |114| RAYMOND E. DAVIS, *Discussion of Ref |108|, A. C. I., nov. 1942.*
- |115| J. C. WITT, *Discussion of Ref |108|, A. C. I., nov. 1942.*
- |116| THOMAS E. STANTON et al, *Closure of Ref |108|, A. C. I., nov. 1942.*
- |117| W. C. HANSEN, "Studies Relating to the Mechanism by Which the Alkali-Aggregate Reaction Produces Expansion in Concrete," *Proceeding of A. C. I., Journal of the American Concrete Institute, jan. 1944.*
- |118| PHILIP SPORN & H. A. KAMMER, "Repairs to Buck Power House and Dam," *Civil Engineering Magazine, jul. 1944.*
- |119| R. F. BLANKS & H. S. MEISSNER, "Deterioration of Concrete Dams Due to Alkali-Aggregate Reaction," *Transactions, ASCE, 1946.*
- |120| RALPH R. PROCTOR, *Discussion of Ref |119|, ASCE, 1946.*
- |121| MILTON D. BURRIS, *Discussion of Ref |119|, ASCE, 1946.*
- |122| H. A. KAMMER, *Discussion of Ref |119|, ASCE, 1946.*
- |123| TOMAS E. STANTON, *Discussion of Ref |119|, ASCE, 1946.*
- |124| RALPH W. SPENCER, *Discussion of Ref |119|, ASCE, 1946.*
- |125| W. L. CHADWICK, *Discussion of Ref |119|, ASCE, 1946.*
- |126| J. C. WITT, *Discussion of Ref |119|, ASCE, 1946.*
- |127| DUFF A. ABRAMS, *Discussion of Ref |119|, ASCE, 1946.*
- |128| R. F. BLANKS & H. S. MEISSNER, *Closure of Ref |119|, ASCE, 1946.*
- |129| F. R. McMILLAN, I. L. TYLER, WILLIAN LERCH, & C. L. FORD, P. C. A. *Bulletin 26, "Long Time Study of Cement Performance in Concrete," Chapters 1 & 3, Research Laboratories of Portland Cement Assn, aug. 1948.*
-

[130] *ROGER RHOADES, "Reactive Aggregates," Address to regional Meeting of General Technical Committee of P. C. A., sep. 30, 1948.*

[131] *PHILIP SPORN, "40 Years of AAR", 1968.*

[132] *LEWIS H. TUTHILL, "AAR Forty Years Later," Concrete International, apr. 1982.*

[133] *VANCE R. DODSON, Editor, "Alkalies in Concrete," ASTM STP 930, ASTM Committees C-1 and C-9, Symposium of June 25, 1985.*

[134] *ICOLD Bulletin 79, "Alkali Aggregate Reaction in Concrete Dams," 1991 (Contains 164 International References).*

[135] *ANDRIOLO, F. R.; SGARBOZA, B. C. "Inspection and Control of Quality of Concrete" Newswork, São Paulo, Brazil, 1993.*

[136]- PUBLICAÇÕES DO II SIMPÓSIO SOBRE RAA- Rio de Janeiro- RJ-Brasil- Setembro-2006

[137]- PUBLICAÇÕES DO 1º. ICAAR- 1974;

[138]- PUBLICAÇÕES DO 2º. ICAAR- 1975;

[139]- PUBLICAÇÕES DO 3º. ICAAR- 1976;

[140]- PUBLICAÇÕES DO 4º. ICAAR- 1978;

[141]- PUBLICAÇÕES DO 5º. ICAAR- 1981;

[142]- PUBLICAÇÕES DO 6º. ICAAR- 1983;

[143]- PUBLICAÇÕES DO 7º. ICAAR- 1986;

[144]- PUBLICAÇÕES DO 8º. ICAAR- 1989;

[145]- PUBLICAÇÕES DO 9º. ICAAR- 1992;

[146]- PUBLICAÇÕES DO 10º. ICAAR- 1996;

[147]- PUBLICAÇÕES DO 11º. ICAAR- 2000;

[148]- PUBLICAÇÕES DO IIIº. ICOLD CONGRESS- 1948;

[149]- PUBLICAÇÕES DO IVº. ICOLD CONGRESS- 1951

[149]- PUBLICAÇÕES DO XVIIº. ICOLD CONGRESS- 1991.
