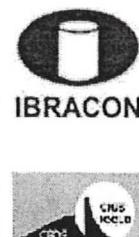




**RAA 2006 – II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO  
ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO  
SETEMBRO / 2006  
REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS**

@ 2006 - IBRACON



## Avaliação Prática da Previsão da Reação Álcali-Silicato de Rochas Granítóides

*Practical Evaluation of IPR Index Forecasting ASR on "Granitic" Rocks*

Yushiro Kihara (1e 3), Cláudio Sbrighi Neto(2 e 4), Marcelo Pecchio (1)

(1) Associação Brasileira de Cimento Portland

Av. Torres de Oliveira, 76 – São Paulo/SP CEP-05347-902

(2) Professor Doutor da Fundação Armando Alvares Penteado e Vice Presidente do IBRACON

(3) Professor Doutor do Instituto de Geociências – USP

### Resumo

Os agregados "granítóides" amplamente utilizados em obras de concreto, compreendem rochas quartzo-feldspáticas como granitos, gnaisses e migmatitos. Quando deformados por esforços tectônicos de intensidades variadas e atuantes em diferentes períodos geológicos desenvolvem feições texturais e mineralógicas capazes de tornar o agregado potencialmente reativo com os álcalis do cimento. Nos agregados "granítóides" a principal fase reativa, responsável pela reação álcali-silicato é o quartzo deformado e cominuído e, secundariamente, o feldspato plagioclásio e a mica deformados, produtos de esforços tectônico das rochas.

Estudos desenvolvidos em alguns corpos de prova extraídos de estruturas de concreto constituídas de rochas "granítóides" afetados pela reação álcali-agregado indicaram que:

O conteúdo de quartzo microgranular (< 0,15mm) e a granulação média (entre 1 e 5 mm) revelaram-se mais claramente relacionáveis ao potencial álcali reativo dos agregados estudados. Os aumentos nos ângulos de extinção ondulante do quartzo são freqüentemente acompanhados pelo aumento da quantidade de quartzo microgranular e pela redução da granulação da rocha, que atuando simultaneamente podem contribuir para um aumento significativo na reatividade do agregado. Por outro lado, constatou-se que a relação do ângulo de extinção ondulante do quartzo com a reatividade nem sempre é clara, evidenciando que este parâmetro não pode ser avaliado isoladamente em agregados diferentes.

A previsão da reatividade potencial à reação álcali-agregado em rochas "granítóides" pelo índice IPR é avaliada neste trabalho através de exemplos prático de aplicação em casos reais de obra. O índice IPR leva em conta as características petrográficas, o tipo de obra e a sua interação com o meio ambiente balanceando cada um destes fatores com base em pesos atribuídos a cada um deles.

*Palavra-Chave: reação álcali-silicato, índice de previsão de reação, granítóides*



**RAA 2006 – II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO  
ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**  
**SETEMBRO / 2006**  
**REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS**

@ 2006 - IBRACON



## Abstract

The "granitic" aggregates widely used in concrete production are characterized by its quartz-feldspathic content on rocks as granites, gneiss and migmatites. These rocks when deformed by tectonics efforts with variable intensity which are developed in many different geological periods become able to change themselves for alkali-aggregate reactive ones.

In "granitic rocks" the main reactive phase for alkali-aggregate reaction is deformed fine-grain quartz and on a second level plagioclase and mica, both also deformed by tectonic efforts.

Concrete samples produced with "granitic" aggregates and collected from current works affected by ASR show :

- The amount of micro-grain quartz (<0.15mm) and medium size rock texture(between 1 and 5 mm) are two aspects clearly correlated with the reactivity of aggregates;
- The increase of extinction angle of quartz occurs together with the increase in amount o micro-grain quartz and a finer texture size and leads to a more intense reactivity;
- A perfect correlation only between quartz extinction angle and reactivity is not clearly defined in the studied concrete samples.

The forecast of potential reactivity by IPR Index shows a good correlation with concrete samples from structures affected by ASR. This index include not only petrographic data but also type of structure, site conditions and its interaction with environment balanced by individual indexes for each of these factors.

*Keywords:* alkali silicate reaction, forecast of potential reactivity index, granitic rocks



## 1. Introdução

A reação entre os álcalis disponíveis no concreto e alguns tipos de agregados vem se tornando um grande desafio entre os tecnologistas de concreto envolvidos na solução de problemas decorrentes da reação álcali agregado (RAA). Em condições favoráveis, as reações geram produtos expansivos de composição álcali-silico-cálcicas que se manifestam no concreto por fissurações e movimentos diferenciais nas estruturas comprometendo sua durabilidade. Atualmente distinguem-se três tipos de reação: álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato.

A previsão da reatividade potencial em rochas "granítoides" é um problema complexo, ainda não devidamente solucionado. As condições de ensaio nem sempre retratam as condições ambientais da obra e as manifestações da expansão no concreto são lentas e só ocorrem, geralmente, após um longo tempo (mais de 10 anos).

O uso do método microscópico para a previsão da reatividade do agregado foi proposto inicialmente por Rodrigues et al. (1998). A avaliação crítica do método de previsão da reatividade pelo índice de reatividade potencial (IPR) conforme definido por Rodrigues et al (1997) constitui o objetivo deste trabalho.

## 2. Parâmetros envolvidos na ocorrência da RAA

Diferentes são os fatores que interagem no mecanismo de reação álcali agregado no concreto. São necessárias as presenças simultâneas de agregado reativo, de álcalis em concentração suficiente e da interação com o ambiente, fornecendo a umidade e atuando na cinética de reação pelo aumento da temperatura, para o desenvolvimento da reação (SCANDIUZZI et al. 2001).

Os agregados reativos são aqueles que na sua composição possuem fases mineralógicas silicosas suscetíveis à reação com os álcalis solúveis do concreto. Dentre os agregados reativos destacam-se os agregados "granítoides", amplamente utilizados em obras nacionais de concreto. Estes compreendem rochas quartzo-feldspáticas como granitos, granodioritos, gnaisse e migmatitos que possuem ocorrências em todo o territorial nacional.

Esforços tectônicos de intensidades variadas e atuantes em diferentes períodos geológicos afetaram grande parte desses "granítoides" e são responsáveis pelo desenvolvimento de algumas feições texturais de deformação, microfissuração e recristalização de seus constituintes minerais. Dentre esses constituintes destacam-se o quartzo e o feldspato alcalino que uma vez deformados, tensionados e cisalhados adquirem características que os tornam potencialmente reativos com os álcalis solúveis do concreto, sendo os principais responsáveis pela reação álcali-silicato, que possui natureza mais lenta e complexa que os outros tipos de reação (RODRIGUES et al. 1997). Embora o cimento seja geralmente a principal fonte de álcalis não se podem negligenciar outras fontes como águas superficiais ou subterrâneas e a dissolução dos componentes alcalinos dos agregados, pozolanas e escórias. Dessa forma a tendência atual é limitar o



conteúdo de álcalis totais ou solúveis por metro cúbico de concreto. Na África do Sul (in: SCANDIUZZI et al. 2001) estabeleceram-se os seguintes parâmetros:

- acima de  $3,8 \text{ kg/m}^3$  de equivalente alcalino em sódio, ocorrem reações
- entre  $1,8$  e  $3,8 \text{ kg/m}^3$  de equivalente alcalino em sódio, podem ocorrer reações
- abaixo de  $1,8 \text{ kg/m}^3$  de equivalente alcalino em sódio, não ocorrem reações

Além da umidade, condições de alta temperatura aceleram a hidratação do cimento e aumentam a agressividade das soluções. A exposição contínua ou cíclica à umidade favorece a solubilização e a migração dos íons alcalinos, aumentando a ação das soluções nos agregados. Pesquisadores japoneses, (TOMOSAWA et al. 1997), estudando a influência das condições de umidade na reação álcaldi-agregado observaram forte dependência da expansão conforme o teor de álcalis solúveis e o conteúdo de água do concreto. Verificaram com umidade relativa inferior a 80% e perda de água do concreto ao longo do tempo, poderá ocorrer expansão nula ou mesmo haver retração. Quando a umidade relativa atinge de 85% a expansão ocorrerá somente para concretos com elevados teores de álcaldi. Para baixos teores de álcalis a reação ocorre apenas quando a umidade relativa atinge 100%, interrompendo-se a 90% mesmo sem perda de água do concreto.

### 3. Índice de Reatividade Potencial (IRP)

O Índice de Reatividade Potencial (IRP) proposto por RODRIGUES et al (1997) para avaliação de agregado quanto a sua suscetibilidade à reação álcaldi-agregado, fundamenta-se nos seguintes parâmetros:

- Ensaio de expansão (NBRI) a idades de 14 e 28 dias (Nota: Neste trabalho foi utilizado o ensaio conforme a ASTM 1260);
- Microscópicos (ângulo de extinção ondulante, conteúdo de quartzo microgranular, ocorrência de microfissuramento e granulação média da matriz);
- Teor de álcalis solúveis no cimento;
- Tipo de obra, e;
- Condições ambientais.

#### 3.1. Ensaio de Expansão ASTM 1260

Dentre os métodos de avaliação da reatividade o método de expansão de barras de argamassas - método acelerado ASTM C 1260 mostrou-se o mais adequado para os tipos de agregados utilizados. As expansões médias aos 14 e 28 dias de cura em solução alcalina são tomadas como valores de referência para a estimativa da reatividade potencial do agregado com os álcalis. Expansões superiores a 0,20% aos 14 dias indicam que o agregado é reativo e que entre 0,10% e 0,20% o agregado é potencialmente reativo, necessitando de ensaios complementares para decisão quanto a seu uso. Expansões abaixo de 0,10% indicam que o agregado é inócuo.

Os resultados obtidos aos 28 dias são os que apresentam os melhores coeficientes de correlação com os parâmetros microscópicos (ângulo de extinção ondulante, conteúdo de



quartzo microgranular e granulação da matriz rochosa) condicionadores da reação álcali agregado, definidos por RODRIGUES et al. (1998). Propõe-se também por similaridade com o método NBRI, a utilização do limite de expansão de 0,20% aos 28 dias para o ASTM 1260, como indicador do potencial de reatividade de agregados granítóides.

### 3.2. Parâmetros Microscópicos

Dentre os parâmetros óptico-microscópicos utilizados, o conteúdo de quartzo microgranular (<0,15mm), o microfissuramento e a granulação média revelaram-se mais claramente relacionáveis ao potencial álcali reativo dos agregados estudados. O aumento nos ângulos de extinção ondulante do quartzo, são freqüentemente acompanhadas pelo aumento do microfissuramento, da quantidade de quartzo microgranular e pela redução da granulação da rocha, que atuando simultaneamente podem contribuir para um aumento significativo na reatividade do agregado. Por outro lado, constatou-se que a relação do ângulo de extinção ondulante do quartzo com a reatividade nem sempre é clara, indicando que este parâmetro não pode ser avaliado isoladamente em agregados diferentes.

### 3.3. Teor de Álcalis Solúveis no Cimento

Os álcalis que participam das reações são aqueles solúveis em água e correspondem principalmente a uma parcela dos álcalis totais do cimento, embora outras fontes de álcalis devam ser consideradas (adições, aditivos, águas superficiais ou subterrâneas ou mesmo dissolução parcial de constituintes minerais do agregado). Considerou-se como valor limite superior para classificar o cimento como de alto conteúdo de álcalis o valor 0,4%.

### 3.4. Tipo de Obra

Quanto ao seu tipo as obras podem ser classificadas em três categorias:

1. Obras não hidráulicas são aquelas cujas estruturas estejam permanentemente fora do contato direto com umidade, como por exemplo pilares, vigas e lajes de superestruturas, sem contato direto com o solo e com as intempéries;
2. Obras parcialmente hidráulicas são aquelas que podem eventualmente entrar em contato com umidade como, por exemplo, as fundações acima do lençol freático que, com a mudança de seu nível podem esporadicamente estar expostas, parcial ou integralmente à umidade;
3. Hidráulicas são aquelas permanentemente expostas ao contato com umidade como as fundações abaixo do lençol freático e as partes das estruturas de barragens diretamente em contato com a água.

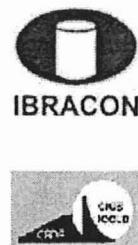
### 3.5. Condições Ambientais

As condições ambientais são diretamente vinculadas à classificação do clima predominante no local da obra. Em ambientes poluídos contendo agentes agressivos ao



**RAA 2006 – II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO  
ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**  
**SETEMBRO / 2006**  
**REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS**

@ 2006 - IBRACON



concreto e em situações de alta temperatura média anual e elevada pluviosidade pode-se aumentar o peso atribuído a este fator, até o valor máximo igual a 2.

Deve se lembrar que a presença de agentes agressivos ao concreto no ambiente de exposição podem promover, por ação sinérgica, a aceleração da reação álcali-agregado. Sua ação desestruturante expressa através da ocorrência de expansões, degradação do concreto, lixiviação e outros processos degradantes podem facilitar a penetração da umidade no interior da estrutura de concreto propiciando o aumento das trocas iônicas relativas à reação álcali-agregado.

Os parâmetros utilizados para o cálculo do IRP com as pontuações a serem consideradas são apresentados no Quadro 1 (modificado de RODRIGUES et al. (1998)).

Quadro 1 - Índice de Reatividade Potencial (IRP)

Parâmetros (A)	Condições		
ASTM 1260 - 14 dias	<0,10 (0)	>0,10 e <0,20 (2)	>0,20 (3)
ASTM 1260 – 28 dias	-	<0,20 (0)	>0,20 (3)
Ângulo extinção ondulante	< 15º (0)	15 a 30º (1)	> 30º (2)
% de quartzo microgranular	< 5% (1)	5 a 15% (2)	> 15% (3)
Granulação da Matriz	>1mm (0)	1 - 0,20mm (1)	<0,20mm(2)
Microfissuramento	ausente ou fraco (0)	moderado (1)	forte (2)
Teor de álcalis solúveis do cimento (%)	-	<0,4% (0)	>0,4%(3)
Type de Obra (B)	Não hidráulica (0)	Parcialmente (1)	Hidráulica (2)
Condições Ambientais (C)	quente/seco-frio/seco (0)	moderado/úmido (1)	quente/úmido (2)
ÍNDICE DE REATIVIDADE POTENCIAL TOTAL (IRP)=A.(B+C)			

Uma vez avaliado o IRP do agregado e a estrutura aonde este será utilizado foram propostos os seguintes limites.:

- IPR > 20: agregado reativo
- IPR 12 - 20: agregado potencialmente reativo
- IPR ≤ 12: agregado inócuo

#### 4. Análise de Casos Reais

Com a finalidade de verificar a aplicabilidade do IRP em casos reais de obras de concreto, foram selecionadas doze amostras de diferentes procedências e condições ambientais. Cada uma delas foi avaliada segundo os critérios apresentados no Quadro 1 e na maioria delas, a reação álcali-silicato foi constatada através de ensaios microscópicos no concreto.

Os doze casos estudados nos quais se calculou os respectivos IRP são apresentados na Quadro 2 e se distribuem da seguinte maneira:



- duas amostras de concreto de pavimento aeroportuários
- uma amostra de concreto de estruturas pré-moldadas de uso industrial
- quatro amostras de edificações habitacionais
- uma amostra de concreto de ponte
- duas amostras de concreto de barragem

A maioria das amostras apresentou IRPs elevados com valores superiores a 20, apenas na amostra do Edifício 3, que não possui indícios de reação, o IRP foi de 16. Este fato mostra uma boa correspondência entre os valores de IRP e a ocorrência efetiva da reação.

Nos casos dos concretos identificados como Ponte, Túnel 2, apesar dos valores de IRP serem elevados, 23 e 30 respectivamente, a intensidade da reação é classificada como incipiente. Essa aparente falta de correspondência pode ser explicada pelo fato dos concretos conterem em sua composição escórias de alto forno, adição ativa que pode ser utilizada no combate a reações expansivas no concreto, e que nos casos em questão inibiu o seu pleno desenvolvimento. No caso do Edifício 3 o uso de um agregado granítico, não deformado e integral de características não reativas foi fator determinante para o não desenvolvimento da reação, muito embora as condições ambientais e o tipo de obra fossem favoráveis.

As Figuras de 1 a 6 são ilustrativas das evidências da reação nos concretos estudados e apresentam as feições, observadas ao microscópio em lâminas delgadas, que conferem às rochas reatividade frente aos álcalis.

## 5. Considerações Finais

A avaliação da reatividade potencial do agregado à reação álcali-silicato pelo IRP mostra uma boa correlação com amostras de concreto extraídas de estruturas afetadas pela reação. A presença da reação álcali silicato foi identificada nas amostras de concreto avaliadas através de ensaios petrográficos específicos que identificaram o gel expansivo e produtos hidratados típicos de sua instauração.

São considerados agregados potencialmente reativos aqueles com  $IRP > 20$  e inócuos para  $IRP < 12$ . Valores intermediários (entre 12 e 20) são considerados suspeitos. Dentre os 12 casos estudados, os menores valores de IRP calculados foram para um concreto sem evidências da reação (IRP: 16) e dois concretos, de coloração verde, com ocorrência incipiente de reação (IRP: 23 e 30). Nestes concretos esverdeados foram identificados grãos de escória de alto-forno, sugerindo que o conteúdo de escória não foi suficiente para impedir o desenvolvimento da reação. De um modo geral, os concretos com agregados "granítoides" cataclasados e milonitizados apresentam  $IRP > 20$ , com evidências claras da ocorrência da RAA no concreto.

O IRP contribui para uma avaliação mais rápida e expedita do potencial reativo dos agregados frente à RAA, bem como tem aplicação na seleção e avaliação da homogeneidade de pedreiras.



**RAA 2006 – II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO  
ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**  
**SETEMBRO / 2006**  
**REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS**

@ 2006 - IBRACON

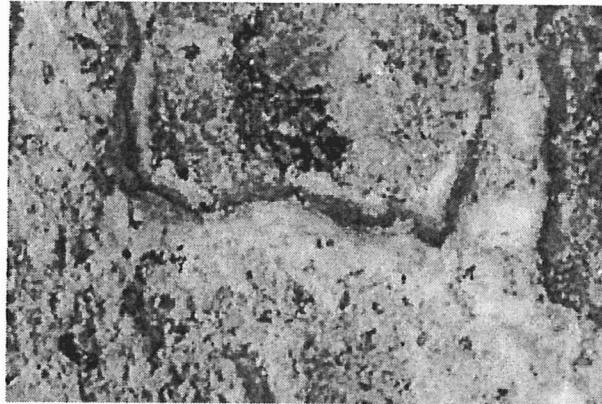
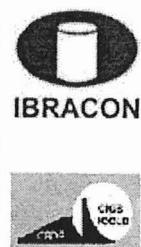


Figura 1 – Aspecto da borda de reação que se desenvolve ao redor do agregado, associada ao material branco que se espalha pela argamassa

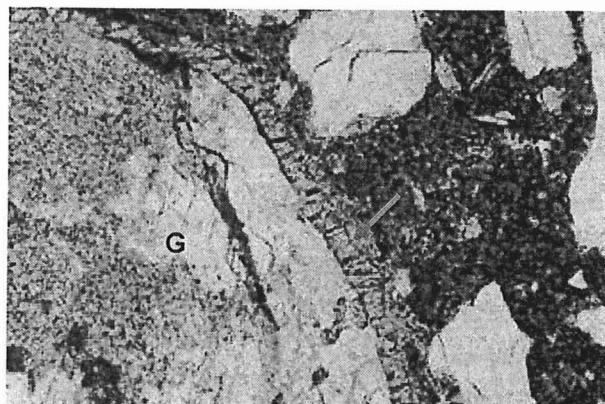


Figura 2 – Fotomicrografia do concreto no qual se observa o gel expansivo (seta) desenvolvendo-se ao redor do agregado graúdo (G)

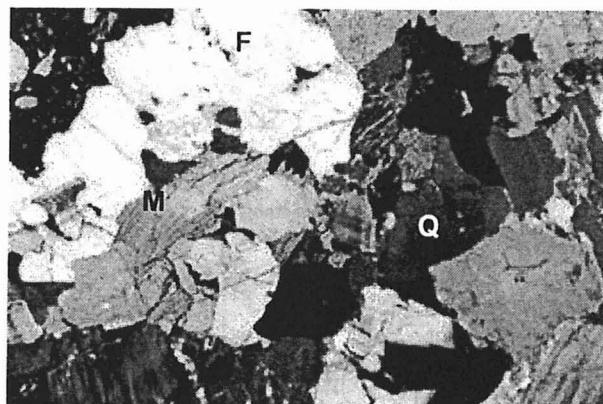


Figura 3 – Fotomicrografia de um granito não deformado ou cislhado. Notar os cristais de quartzo (Q), feldspato (F) e mica (M)

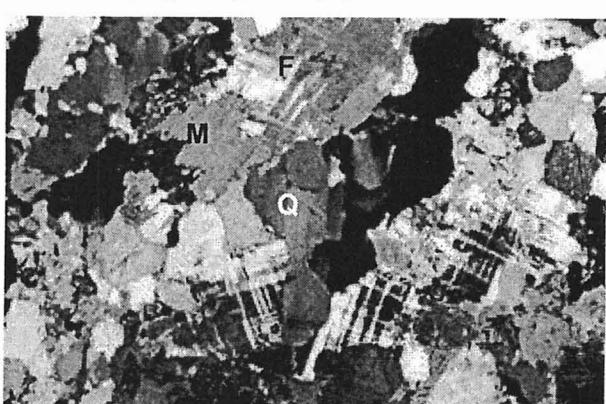


Figura 4 — Fotomicrografia de um granito pouco deformado contendo cristais de quartzo com extinção ondulante(Q), feldspato (F) e mica (M)

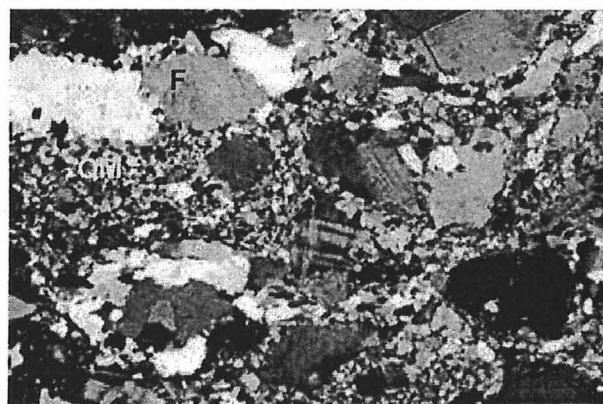


Figura 5 – Fotomicrografia de um gnaisse cataclástico, observam-se cristais de feldspato (F) envolvidos por quartzo microcristalino (QM)



Figura 6 – Fotomicrografia de um milonítico no qual se observam cristais de feldspato triturados em meio a bolsões de quartzo microcristalino ou recristalizado

Quadro 2 - Índice de Reatividade Potencial (IRP) – Casos de Estudo

Parâmetro (A)	Túnel 1	Túnel 2	Túnel 3	Pavimento 1	Viga	Barragem	Edifício 1	Ponte	Edifício 2	Edifício 3	Edifício 4
ASTM 1260 – 14 dias	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3
ASTM 1260 – 28 dias	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3
Ângulo extinção ondulante	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1
% de quartzo microgranular	3	1	3	3	2	2	1	1	2	1	3
Granulação da matriz	2	2	2	2	2	2	0	0	2	1	2
Microfissuramento	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Teor de ácidos solúveis do cimento	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Tipo de obra (B)</b>	1	1	1	0,8	0,8	1	1	1	0,8	1	1
<b>Condições ambientais (C)</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Índice de Reatividade Potencial Total (IRP)</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>34</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>28</b>	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>16</b>	<b>34</b>
<b>Tipo de Agregado</b>	Gnaisse Milonítico	Gnaisse Milonítico	Gnaisse Milonítico	Granito Cataclástico	Granito Cataclástico	Granito Cataclástico	Granito	Granito	Milônito	Granito	Milônito
<b>Ocorrência de RAA no concreto</b>	Evidente (*)	Incipiente (*)	Evidente	Evidente	Evidente	Evidente	Incipiente (*)	Evidente	Não observado	Evidente	Evidente

Obs: Concretos de coloração esverdeada, indicativo da presença de escória de alto forno em sua composição



**RAA 2006 – II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO  
ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**  
**SETEMBRO / 2006**  
**REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS**

@ 2006 - IBRACON



## 6. Bibliografia

RODRIGUES, E.P., COUTINHO, J.M.V., KIHARA, Y., SBRIGHI, C. E QUITETE, E.B. – 1998 - A reação álcali-agregado em "granitóides": avaliação crítica dos métodos de previsão. Revista Geociências - UNESP, v.16, p.345-358.

RODRIGUES, E.P., KIHARA, Y., SBRIGHI, C. – 1997 - A reatividade álcali-agregado de rochas "Granitóides" e Quartzíticas: proposta de índice de reatividade potencial. In: Anais do Simpósio sobre Reatividade Álcali-agregado em Estruturas de Concreto, Comitê Brasileiro de Grandes Barragens e Furnas Centrais Elétricas S.A, Goiânia – GO, p.151-159, novembro 1997.

SCANDIUZZI, L., BATTAGIN, A. F. e KIHARA, Y. – Estudos da reação álcali-agregado em obras brasileiras. In: Anais XXIV Seminário Nacional Grandes Barragens, Fortaleza – CE, p.197 – 209, novembro 2001.

TOMOSAWA, F., TAMURA, K., ABE, M. – Influence of water content on concrete on alkali-aggregate reaction. In: INTERNATIONAL Conference on Alkali-aggregate Reaction, 8th, Tokyo, 1989, p. 881-885.