



ANAIS DO 48º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO
CBC2006

SETEMBRO / 2006 - ISBN: XXXXXXXXXXXXXXXX

VOLUME XXX - NOME DO TEMA

TRABALHO 48CBCXXXXXX - P X ATÉ Y

@ 2006 - IBRACON



PRODUTOS DA REAÇÃO ÁLCALI-SILICATO EM CONCRETOS DE EDIFICAÇÕES DA REGIÃO DO GRANDE RECIFE – PE

Alkali aggregate reaction products from Recife buildings

Marcelo Pecchio (1); Yushiro Kihara (1 e 2); Arnaldo Forti Battagin(1); Tibério Andrade (3)

(1) Associação Brasileira de Cimento Portland

(2) Professor Doutor do Instituto de Geociências USP

(3) Professor Mestre, Departamento de Engenharia Civil da UFPE

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

Resumo

Recentemente foram descobertas inúmeras ocorrências de reações expansivas deletérias em fundações de edificações urbanas na região do Grande Recife – PE. Não há na literatura nenhum registro similar de reação álcali-agregado (RAA) dessa magnitude e com tamanho impacto social.

Registram-se aproximadamente duas dezenas de casos, em grande parte constituídos de edifícios residenciais, com evidências de RAA em suas fundações.

Estudos desenvolvidos em amostras de concreto de fundações de doze edifícios residenciais permitem tecer as seguintes considerações:

- padrão característico de fissuração radial
- agregado granítico milonitizado
- bordas escuras de reação nos agregados
- gel expansivo álcali-silicato, principalmente potássico
- cristais lancetados fibro-radiados, ricos em potássio

Os produtos de reação são constituídos principalmente por gel expansivo "gretado" junto às bordas dos agregados e, secundariamente, por produtos cristalizados "lancetados" junto ao gel e na parte mais interna dos agregados. Não foram observados cristais em "rosáceas", como acontecem em algumas barragens nacionais, nem as formas ricas em sódio. Entretanto, os produtos são similares àqueles observados em concretos de barragens com evidências de RAA.

A baixa profundidade do lençol freático, associada à ocorrência de agregados graníticos milonitizados e a disponibilidade de álcalis solúveis, principalmente potássicos, propiciaram condições favoráveis ao desenvolvimento da reação álcali-silicato nos concretos de fundações das edificações da região do Recife. As condições climáticas de altas temperaturas e umidade foram fatores favoráveis ao desenvolvimento da reação.

Palavra-Chave: reação álcali silicato, produtos de reação, cristais lancetados, gel expansivo



Abstract

Many cases of alkali-aggregate reactions (AAR) have been described in commercial and residential buildings foundations of Recife Metropolitan Area. There have not been found in literature AAR cases to this extent and with such social impact.

Approximately twenty cases, many of them residential buildings, show strong evidences of alkali-aggregate reaction. Petrographic evaluation of concrete drilled cores from twelve buildings showed the following features:

- Map-cracking pattern
- Crushed milonitic granite as coarse aggregates
- Presence of a dark reaction rim around the aggregate particles
- Presence of expansive alkali-silicate potassium-rich gel
- Characteristic fiber-radial crystal products, potassium-rich

The main reaction products are the expansive massive cracked gel, found close to the aggregate border and the crystallized spear-shaped products located in the inner part of the aggregates. Neither the rosette-shaped crystals usually found in some national dams concretes nor the sodium-rich forms have been seen in these concretes.

The shallow groundwater together with the use of crushed milonitic granite as aggregate and the high alkalis content in the mortar gave rise to the alkali-silicate reaction development in the Recife Metropolitan Area buildings.

The general weather conditions like high temperatures and humidity during most of the year, are enhancing factors to the reaction.

Keywords: alkali aggregate reaction, reaction products, spear form products, expansive gel



1 Introdução

O aumento da ocorrência de casos de deterioração de estruturas de concreto pela reação álcali-silicato tem sido motivo de preocupação no meio técnico nacional. A falta de ensaios seguros e eficazes para avaliação dos materiais utilizados na elaboração dos concretos e o desconhecimento do meio técnico a respeito do assunto, podem ser considerados como os fatores responsáveis pelo agravamento da atual situação.

Por reunirem as condições que favorecem o aparecimento da reação, as obras hidráulicas constituem o tipo de estrutura de concreto com maior probabilidade de desenvolvimento desse tipo de patologia. Entretanto vem se identificando a reação em outros tipos de obras como pavimentos, instalações industriais, obras residenciais, cambotas de túneis, entre outras.

Recentemente foram identificados inúmeros casos de ocorrências de reações expansivas em blocos e sapatas de fundações de edifícios residenciais e comerciais na região metropolitana do Grande Recife – PE. Estima-se que aproximadamente duas dezenas de casos já tenham sido identificados e outros poderão aparecer em futuras investigações. Não há no mundo registro similar da ocorrência de reação álcali agregado em tal magnitude com tamanho impacto social associado.

O estudo mineralógico dos produtos da reação álcali-silicato em concretos de blocos de fundações de seis edifícios residenciais do Grande Recife constitui o objetivo do trabalho

2 Parâmetros Envolvidos na Ocorrência da RAA

Os fatores que interagem no mecanismo de instauração da reação álcali agregado no concreto possuem diferentes naturezas, sendo necessárias às presenças simultâneas de agregado reativo, concentração suficiente de álcalis no concreto e da interação com o ambiente no qual a obra está inserida para seu desenvolvimento. A interação com o ambiente depende do tipo de obra e é responsável pelo fornecimento de umidade, fator determinante na cinética de reação.

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, os agregados “granitóides”, amplamente utilizados como agregado em obras nacionais, compreendem rochas de composição quartzo-feldspáticas como granitos, granodioritos, gnaisses e migmatitos cuja ocorrência se faz por todo território nacional e em particular na área de estudo.

Esforços tectônicos de intensidades variadas e atuantes em diferentes períodos geológicos afetaram grande parte desses “granitóides” e foram responsáveis pelo desenvolvimento de feições texturais de deformação, microfissuração e recristalização de seus minerais. Os estudos e observações vêm apontando o quartzo tensionado,



deformado e cisalhado, como sendo um dos principais responsáveis pela reação álcali-silicato, de natureza mais lenta e complexa que os outros tipos de reação. O feldspato alcalino, importante mineral dessas rochas e também afetado pelos mesmos esforços e tensões, aparece agora como um possível "cúmplice" nesse processo.

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 all. 2001) estabeleceram-se os seguintes parâmetros:

- a) acima de $3,8 \text{ kg/m}^3$ de equivalente alcalino em sódio, ocorrem reações
- b) entre $1,8$ e $3,8 \text{ kg/m}^3$ de equivalente alcalino em sódio, podem ocorrer reações
- c) 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 all. 1997), estudando a influência das condições de umidade na reação álcali-agregado, observaram forte dependência da expansão conforme o teor de álcalis solúveis e o conteúdo de água do concreto. Verificam que para uma umidade relativa inferior a 80%, com 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 álcali. 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. Entretanto o tema é polêmico, outros autores são da opinião que a umidade relativa acima de 90% já é condição propícia ao aparecimento da reação e não há intensificação do processo se o concreto for submerso.

3 Evidências de Campo

Na Região Metropolitana de Recife já foram diagnosticados diversos casos de estruturas de concreto afetadas pela reação álcali-agregado. Antes de 2005, haviam sido diagnosticados e estudados apenas alguns casos isolados de reação em blocos de concreto, podendo ser citados: um bloco para base de equipamentos e os blocos de fundação de uma importante ponte do sistema viário da Cidade do Recife. Por outro lado, existem relatos de engenheiros de fundações e projetistas, de inúmeros casos de fissuração em elementos de fundação, onde foram realizados reparos, aos quais foram creditadas as causas do quadro fissuratório a efeitos de retração térmica e a problemas relacionados com dimensionamento das peças. A partir de 2005, com a intensificação de inspeções em fundações de edifícios, começaram a ser observados, com frequência, fissuração em blocos e sapatas de fundação de edificações residenciais e comerciais. Através de uma análise mais criteriosa de 12 casos, onde foram verificados quadros fissuratórios de intensidade variada nos elementos de fundação, foram diagnosticados,



em todos os casos, sem exceção, o desenvolvimento de reação álcali-agregado, tendo essas estruturas de 3 a 25 anos de idade.

Pôde ser observado, nos casos estudados, uma relação direta entre a intensidade do quadro fissuratório e a umidade do solo. Nas fundações em que o solo apresentava-se mais úmido, em função do lençol freático estar localizado mais próximo da superfície, existia um maior intensidade de fissuração. A tipologia das fissuras é bastante variada, sendo freqüentes os padrões de fissuramento não orientado, formando desenhos com formas quadrangulares e hexagonais principalmente nas regiões não armadas das peças (Figuras 1). Enquanto assumem padrões orientados quando as faces são armadas, tendo, geralmente, o sentido das armaduras (Figura 2). Feições sub-milimétricas de deslocamentos são observadas e localmente observa-se a ocorrências de eflorescência e exsudação do gel expansivo (Figura 3).

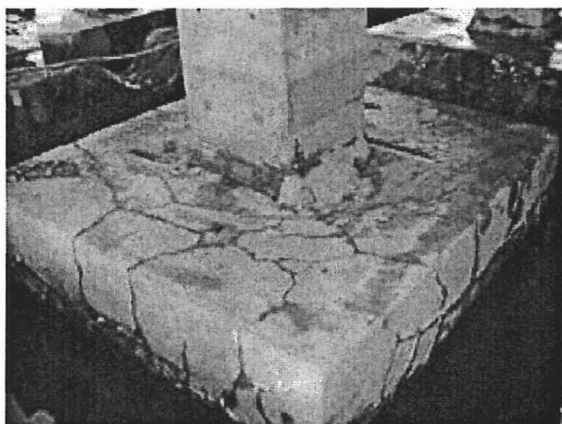


Figura 1 - Vista superior do pilar de um edifício

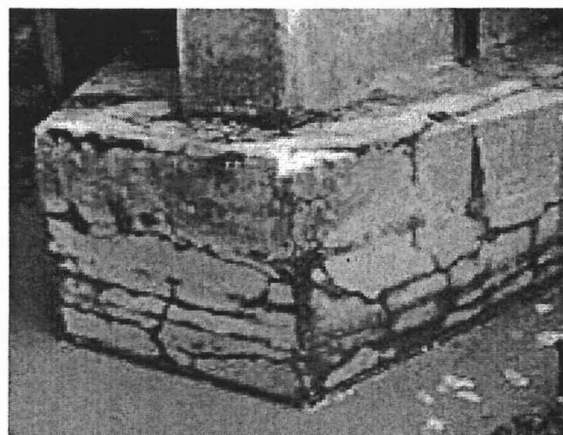


Figura 2 – Vista lateral do pilar mostrando o padrão de fissuração subparalelo do concreto na porção inferior do bloco junto a água que mina



Figura 3 - Detalhe de campo da lateral de um bloco de fundação no qual se observa a exsudação de gel.

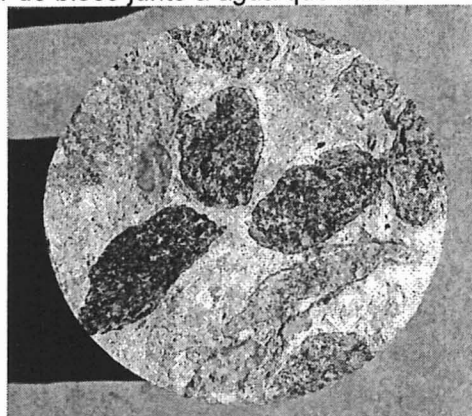


Figura 4 – Vista do topo de um corpo-de-prova na qual se observam os agregado graúdos contornados por uma borda de reação e a deposição de material branco na superfície de quebra do concreto

4 Características Gerais dos Concretos Estudados

Uma vez identificadas em campo as características da presença de reações expansivas em blocos da fundação de 6 edifícios residenciais (Figuras 1, 2 e 3), foram extraídos corpos-de-prova com sonda rotativa. Nesses desenvolveram-se estudos petrográficos e de caracterização em lupa binocular, microscópios de luz transmitida e eletrônica de varredura com EDS (espectrometria de energia dispersiva), visando confirmar os diagnósticos de campo e identificar seus produtos de reação álcali-agregado. De um modo geral, pode-se afirmar que:

- Os concretos apresentam-se bem adensados, com agregados homogeneamente distribuídos indicando dosagem e aplicação adequadas. Localmente os concretos apresentaram-se microfissurados, com freqüentes bordas de reação ao redor do agregado gráudo e poros preenchidos por material branco (Figuras 4, 5 e 6).
- O agregado miúdo é fundamentalmente de origem natural (areia de rio) com alguma contaminação por pó de pedra. Possuem composição essencialmente quartzosa (>90%) com alguma participação de feldspato, mica e opacos. Os concretos não apresentam fases como opala e calcedônia, possíveis causadores da reação álcali-sílica.
- O agregado gráudo é constituído principalmente por pedra britada de composição granitóide. Identificam-se litologias como granitos, gnaisses e milonitos que exibem graus variados de deformação, catáclase e milonitização (Figura 7). As feições observadas nessas rochas, em particular a presença de quartzo com extinção ondulante e quartzo microcristalino evidenciam seu caráter reativo.

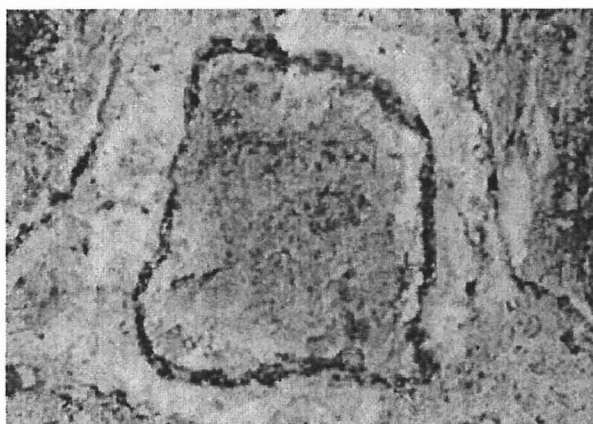


Figura 5 – Fragmento de agregado gráudo com bordas de reação e deposição de material branco sobre a superfície de quebra do concreto.

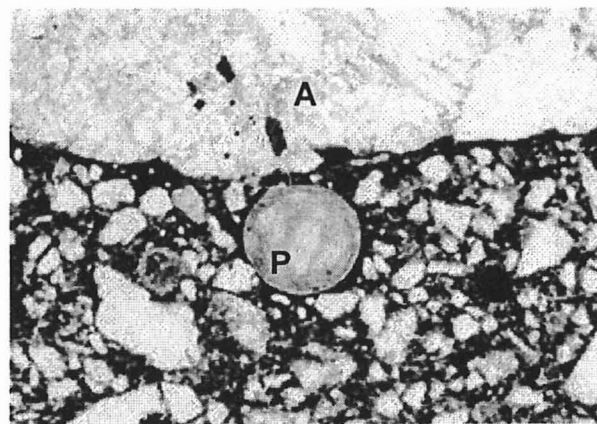


Figura 6 – Fotomicrografia tirada ao microscópio de luz transmitida no qual se observa um poro (P) preenchido por gel.

Todavia deve-se ainda considerar que a intensidade e o efeito da reação álcali-agregado varia significativamente dentro de uma mesma obra e entre os corpos de prova extraídos, sendo mais expressivos, possivelmente nos locais sujeitos a gradientes significativos de umidade e temperatura. A ocorrência de agregados com bordas de reação ao lado de outros sem bordas indica que a cinética de reação não é homogênea no concreto e



depende fundamentalmente da solução de poros e da reatividade de cada fragmento do agregado (KIHARA&SCANDIUZZI -1993).

5 Feições Microestruturais

Os produtos de reação identificados nos concretos são constituídos principalmente por gel "gretado" (Figuras 8, 9 e 10) junto às bordas dos agregados ou preenchendo poros na pasta e secundariamente por produtos cristalizados "lancetados" (Figuras 11 e 12), localizados geralmente próximo ao gel e/ou na parte mais interna dos agregados.

O gel é originalmente constituído por um material amorfo de aspecto gelatinoso que ao ser desidratado, durante o processo de preparação da amostra trinca-se, formando gretas de contração (Figura 9). Por vezes, observa-se que o gel apresenta um certo bandamento, sendo recoberto por uma película de aspecto botrioidal. Nota-se eventualmente a formação de cristais de carbonato cálcico na superfície do gel. Do ponto de vista composicional, o gel é constituído principalmente de silício e cálcio, que aparecem em teores semelhantes, e secundariamente por potássio (Figura 13).



Figura 7 – Microtextura do agregado gráudo na qual se observam bolsões de quartzo recrystalizado (Q) e cristais de feldspato triturados e rotacionados circundados por quartzo microcristalino.

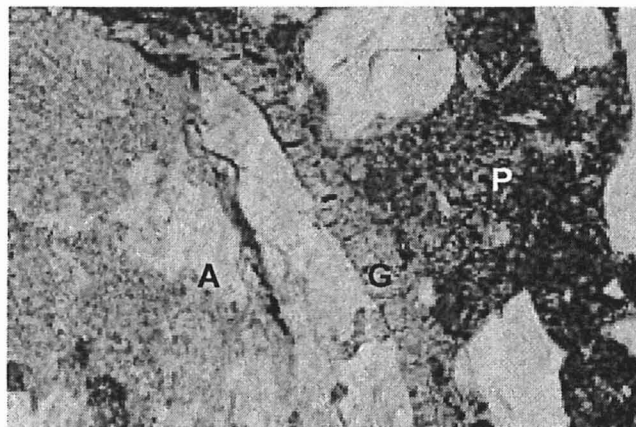


Figura 8 –Desenvolvimento do gel (G) no contorno do agregado gráudo (A) em contato com a pasta de cimento (P).

As soluções resultantes da reação álcali-agregado possuem um elevado poder de penetração e preenchem os poros da pasta e microfissuras nos agregados gráudos. Depositam neles o gel amorfo ou, muitas vezes, essas soluções dão origem a produtos cristalizados que possuem morfologias variadas. Nos casos em estudo, nota-se que esses produtos cristalizados possuem forma de lanças ou aspecto foliáceo, com hábitos fibro-radiados ao qual denomina-se cristais "lancetados". Esses formam tufo de poucos cristais ou massas de cristais aglomerados e imbricados que se desenvolvem sobre os componentes do agregado ou recobrem a argamassa (Figuras 10, 11 e 12). Esses cristais possuem uma composição semelhante ao gel, sendo normalmente mais ricos em silício (Figura 14).



Não foram observados nesses concretos os cristais com morfologia de “rosáceas” que são constituídos pela justaposição de cristais placóides e são normalmente encontrados em algumas barragens nacionais, assim como as formas fibrosas ricas em sódio.

6 Considerações Finais

Não há na literatura registro similar da ocorrência de reação álcali-agregado (RAA) dessa magnitude em edificações urbanas, com tamanho impacto social.

A baixa profundidade do lençol freático, próximo à superfície, associado à ocorrência de agregados graníticos milonitizados e a disponibilidade de álcalis solúveis, principalmente potássicos, propiciaram condições favoráveis ao desenvolvimento da reação álcali-silicato nos concretos de fundações das edificações da região de Recife. As condições climáticas de altas temperaturas e umidade foram fatores favoráveis ao desenvolvimento da reação.

Os produtos de reação identificados são o gel gretado e produtos cristalizados do tipo “lancetado”. Esse tipo morfológico, composto principalmente por silício com conteúdos menores de cálcio e potássio é similar àqueles tradicionalmente descritos na análise da RAA em barragens. Não se observaram outras formas morfológicas como os cristais em rosáceas ou os cristais fibrosos ricos em sódio.

A eficiência dos processos empregados no reparo de estruturas de concreto afetadas pela RAA ainda é pouco conhecida. Dentre as medidas, tradicionalmente utilizadas, está a de reduzir a velocidade de reação, limitando o acesso de água no interior do concreto pela sua impermeabilização. Na prática, conforme a natureza da obra, é muito difícil limitar o contato com a água. Outras medidas como a carbonatação do concreto, tratamento com injeções de sais de lítio, uso de selantes tem mostrado limitações em grandes volumes de concreto. No Recife, no caso de blocos de estacas, estão sendo adotados o encapsulamento das peças com concreto armado ou protendido e o envelopamento das peças na tentativa de evitar o contato direto da água com a superfície da peça. No caso de sapatas isoladas, conforme o grau de fissuração, está sendo empregada a injeção de resinas epoxídica ou de microcimento nas fissuras e a criação de novas sapatas sobre as existentes, com o encapsulamento das peças, adicionando uma nova armadura envolvendo a sapata. A adoção de medidas de monitoramento das estruturas reparadas são condições essenciais para a segurança das estruturas bem como avaliar a eficiência das medidas de reparo.

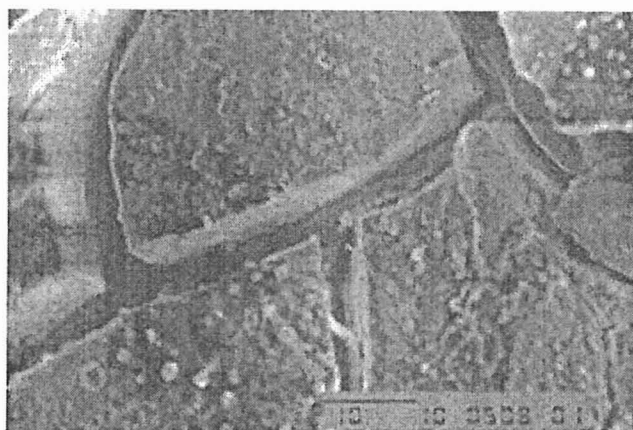


Figura 9 – Detalhe do gel “gretado” sobre o qual se observam pequenos cristais provavelmente de calcita

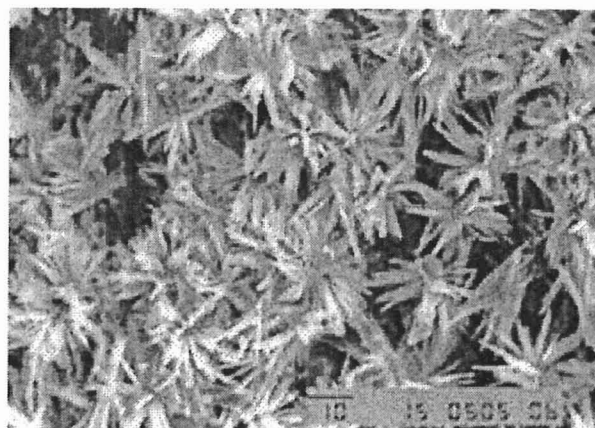


Figura 10 – Cristais lancetados justapostos e imbricados, formando massa de produtos cristalizados sobre o agregado

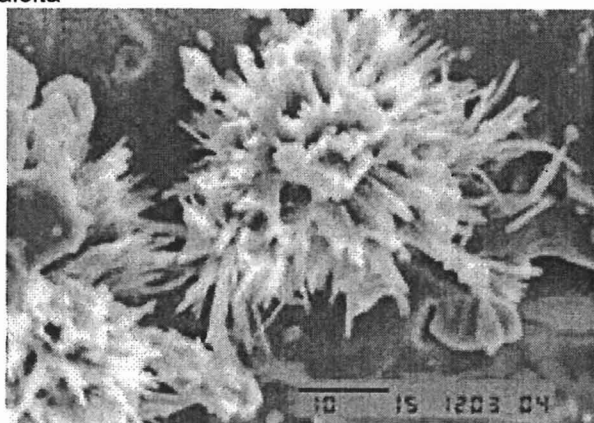


Figura 11 – Produtos cristalizados, formando uma massa de cristais lancetados que se desenvolve sobre o agregado.



Figura 12 – Produtos cristalizados “lancetados” de hábito fibrorradiado, formando um “tufo” sobre cristais de quartzo do agregado grão

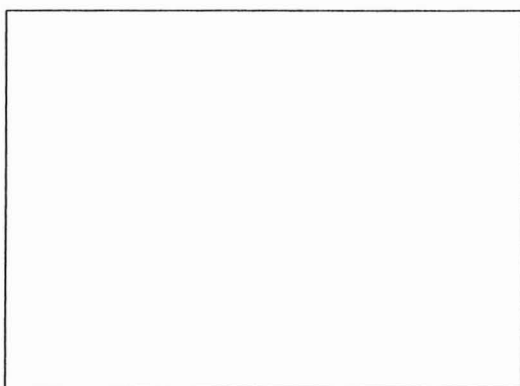


Figura 13 – Composição aproximada do gel gretado. Notar os elevados conteúdos de silício (Si) e cálcio (Ca) e conteúdo secundário de potássio (K)

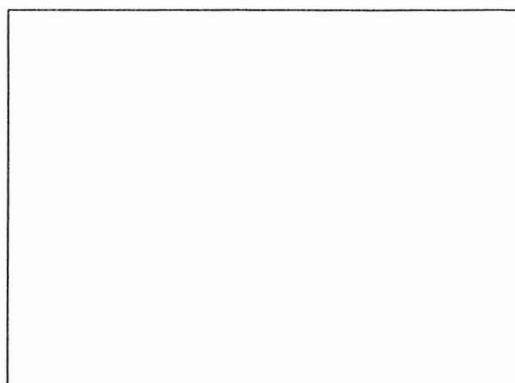


Figura 14 – Composição aproximada dos produtos cristalizados. Notar o elevado conteúdo de silício (Si) e participação de potássio (K) e cálcio (Ca)



ANAIIS DO 48º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO
CBC2006

SETEMBRO / 2006 - ISBN: XXXXXXXXXXXXXXXX

VOLUME XXX - NOME DO TEMA

TRABALHO 48CBCXXXXXX - P X ATÉ Y

@ 2006 - IBRACON



IBRACON

7 Referências

TQS News – Entrevista: Investigador de estruturas. TQS News – Tecnologia e Qualidade em Sistemas, n. 22 : 3-10, janeiro, 2006.

ZAMPIERI, V.A. & KIHARA, Y. & SCANDIUZZI, L. - 1992 - ***The Alkali-Silicate Reaction in Some Brazilian Dams***. In: International Congress on the Chemistry of Cement, 9º, New Delhi, Índia, V.5, p. 174-180.

KIHARA, Y. & SCANDIUZZI, L. - 1993 - ***Reação Álcali-Agregado: Mecanismo, Diagnose e Casos Brasileiros***. In: Anais do 3º Congresso Brasileiro de Cimento, São Paulo - SP., V. 1, p. 319-338.

KIHARA, Y. – 1997 - ***The Influence of carbonation on the alkali-aggregate reaction mechanism***. In: International Congress on the Chemistry of Cement, 10, 1997, Goteborg. Anais... Goteborg/Sweden, SINTEF, v.4, 1-4 p., 4iv048.

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.