

# AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO MÉTODO QUÍMICO NA VERIFICAÇÃO DA POTENCIALIDADE REATIVA DOS AGREGADOS GRAÚDOS DAS PRINCIPAIS JAZIDAS FORNECEDORAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Anderson Francisco Alencar Cardoso<sup>1</sup>; Paulo Sérgio Lima Souza<sup>2</sup>;  
Vitor Hugo Lopes Branco<sup>3</sup>

## Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficácia do método químico na verificação da potencialidade reativa dos agregados graúdos das principais jazidas fornecedoras da região metropolitana de Belém, visando contribuir com os demais métodos já existentes utilizados na detecção deste tipo de reação. Foram realizados ensaios de reatividade potencial através do método químico. Os resultados obtidos indicaram que este método apresentou-se satisfatório como ferramenta complementar na detecção das reações álcali-agregado.

**Palavra chave:** Agregado, Método químico, Reação álcali-agregado.

## Abstract

The aim of this study was to evaluate the effectiveness of the chemical method in the verification of potential reactivity of coarse aggregates leading to deposits providers of the metropolitan region of Belem, planning to contribute with other existing methods employed in this type of reaction. The potential reactivity tests were carried out via the chemical method. The results showed that this method tend to be satisfactory as a complementary tool in the detection of alkali-aggregate reactions.

**Keywords:** Aggregate, Chemical Test, Alkali-Aggregate Reaction.

## 1 Introdução

A reação álcali-agregado (RAA) é uma reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo sílica, agregados reativos e água (SILVA, 2007; MUNHOZ, 2007; FIGUERÔA, 2007). Nesta reação são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir gerando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento das estruturas de concreto (LOPES, 2004; KIARA, 1986; BUCHER, 1986; BICZOK, 1972). Como a água é um dos fatores determinantes da existência desta reação, as obras hidráulicas são as mais suscetíveis de apresentarem esse tipo de patologia (MEHTA, 2008; MONTEIRO, 2008). No mundo, foram diagnosticadas várias estruturas afetadas, desde a descoberta da RAA, podendo ser citadas como exemplo as barragens de: Val de La Mare (Reino Unido), Sandouping

---

<sup>1</sup> Professor Mestre em Construção Civil e Materiais, Instituto Federal do Pará – IFPA, Campus Bragança; e-mail: anderson.alencar@ifpa.edu.br.

<sup>2</sup> Professor Doutor Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará – UFPA, Campus Belém; e-mail: paseliso@ufpa.br.

<sup>3</sup> Professor Mestre Coordenador do Curso de Edificações do Instituto Federal do Pará – IFPA, Campus Bragança; e-mail: vitor.branco@ifpa.edu.br.

(China), La Tuque (Canadá), Kouga (África do Sul) e de Chambon (França) (SILVEIRA, 2006; GUIMARÃES, 2006; LENHARO, 2006; HASPARYK, 2006; CHIOSSI, 2006; BITTENCOURT, 2006).

Nos últimos anos, exemplos de degradação prematura em algumas estruturas de concreto, principalmente de usinas hidrelétricas, tornaram-se cada vez mais frequentes. Andriolo (2000) cita pelo menos 19 casos de barragens brasileiras afetadas por reação álcali-agregado, onde as estruturas atingidas não se limitam apenas as barragens em si, são também tomadas d'água, casas de força e vertedouros. A constância do aparecimento desta reação, nesse tipo de estrutura, pode ser justificada pelo maior número de variações de temperatura e umidade em que as mesmas são expostas (HASPARYK, 1998; ARMELIN, 1998; BITTENCOURT, 1998; PACELLI, 1998).

Contudo, não só obras hidráulicas sofrem este tipo de deterioração visto que qualquer estrutura de concreto, que tenha agregado reativo e esteja localizada em ambiente úmido, está sujeita a esta reação. Como por exemplo, obras portuárias, blocos de fundação, pontes, viadutos, dormentes de concreto, pistas de aeroportos, túneis e estruturas rodoviárias (HOOBS, 1988).

Como exemplo, temos os blocos de fundações de edifícios urbanos localizados na cidade de Recife/PE. Onde constatou-se, em estudos recentes, a presença de RAA em escala inédita para o meio técnico de todo o mundo. Aproximadamente 20 casos de elementos de fundação com reação álcali-agregado foram descobertos na região metropolitana com idades entre três e 30 anos (ANDRADE, 2006).

Portanto, torna-se necessário um maior número de pesquisas sobre o assunto, uma vez que, a melhor maneira de evitar ou, no mínimo, reduzir a possibilidade de ocorrência da RAA é conhecer as características dos materiais componentes do concreto, através de estudos prévios, e adotar medidas que atenuem as condições favoráveis à sua ocorrência. A prevenção é, segundo alguns autores, a única maneira atualmente conhecida de se evitar danos relacionados a estas reações expansivas. Pois, uma vez iniciadas em uma estrutura, não são possíveis de serem detidas, tornando os procedimentos de reparo, até hoje empregados, de efeito apenas paliativo (VIEIRA, 1996; PECCHIO, 1996; ABREU, 1996; FERREIRA, 1996).

Com relação ao estado do Pará, têm-se atualmente apenas algumas análises pontuais realizadas pela Universidade Federal do Pará (UFPA), mediante este parâmetro, se fazem necessários estudos mais abrangentes na área, uma vez que, o estado contém quatro das dez principais usinas hidrelétricas do país (Belo Monte,

Tucuruí, São Luiz do Tapajós e Jatobá). Estruturas estas, sujeitas a este tipo de patologia devido as condições pelas quais estão expostas.

É importante ressaltar que o estado do Pará apresenta características climáticas propícias ao surgimento da RAA devido seu clima ser equatorial, ou seja, quente e úmido. Com chuvas constantes e ausência de estações de secas. Clima este que se reflete na região metropolitana de Belém, devido à influência direta da floresta amazônica.

Este fato reforça ainda mais a necessidade de estudos sobre o tema, pois somente a prevenção, feita através de estudos prévios de potencialidade reativa dos agregados utilizados na região, poderia impedir a manifestação desta reação, neste clima extremamente favorável. Caso os agregados se apresentassem reativos.

Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do método químico utilizado na detecção da potencialidade reativa dos agregados graúdos provindos das principais jazidas fornecedoras da região metropolitana de Belém. E com isso, servir de referência para os profissionais da região quanto ao uso desta metodologia. Assim como, dar sua contribuição científica a futuros trabalhos, objetivando suprir a carência de estudos sobre o assunto.

## 2 Materiais, Preparos E Métodos

### 2.1 Material

Foram utilizados agregados graúdos coletados de sete jazidas de Ourém e uma do município de Capitão Poço, como apresentado na Tabela 1. Tais agregados, mesmo coletados em municípios diferentes, são provenientes do mesmo leito de rio (rio Guamá). Para a coleta das amostras, utilizou-se como base a NBR NM 26 (2000) que estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados, desde sua extração e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados para concreto, destinadas a ensaios de laboratório.

**Tabela 1** - Jazidas fornecedoras de agregados graúdos para os ensaios de reatividade.

JAZIDAS	MUNICÍPIO
Ramal do 15	Ourém
São José	Ourém
Ameta	Ourém
Batuíra	Ourém
Z-Dantas	Ourém
Kataman	Ourém
W.H. Mineradora	Ourém
Mineradora MGM	Capitão Poço

Fonte: Elaborada pelos autores

## 2.2 Preparo das amostras

As amostras foram preparadas segundo a NBR 9774 (1987). Este preparo teve como primeira etapa a britagem dos materiais, até que os mesmos apresentassem uma granulometria menor que 4,8mm.

Após o processo de britagem, os materiais foram armazenados e posteriormente peneirados, de maneira a separá-los em frações granulométricas como especificado pela norma ASTM C-1260 (1994), em seguida foram lavados em água corrente para total eliminação dos finos. As frações especificadas por norma constam na Tabela 2.

**Tabela 2** - Frações especificadas para preparo dos materiais (Norma ASTM C-1260, 1994).

Fração	Passante		Retida	
	Peneira Nº	Abertura Nominal	Peneira Nº	Abertura Nominal
Fração 01	4	4,8 mm	8	2,4 mm
Fração 02	8	2,4 mm	16	1,2 mm
Fração 03	16	1,2 mm	30	0,6 mm
Fração 04	30	0,6 mm	50	0,3 mm
Fração 05	50	0,3 mm	100	0,15 mm

Fonte: Elaborada pelos autores.

## 2.3 Método químico

O método químico permite avaliar a reatividade potencial álcali-sílica de um agregado através da relação entre a concentração de sílica dissolvida e a redução de alcalinidade. Este método foi desenvolvido por Richard Mielenz, entre 1947 e 1952, tendo como vantagem a rapidez do ensaio, visto que o tempo de submissão as chamadas “condições péssimas” (alta temperatura e ambiente agressivo) é inferior a outros métodos (PAULON, 1981). Ficando a amostra submetida a uma solução de NaOH na concentração 1N à 80°C por apenas 24 horas. No Brasil este método é normatizado pela NBR 9774 (1987).

Após o preparo das amostras, conforme o item 2.2, incluindo a etapa de britagem e lavagem dos agregados, foram separadas as frações necessárias para realização do ensaio químico. A fração utilizada neste ensaio foi a correspondente à fração 5 da Tabela 2, ou seja, passante na peneira de abertura nominal 0,3mm e retida na peneira 0,15mm. O agregado na quantidade de 25g foi colocado dentro de um reator juntamente com 25ml de solução de NaOH na concentração 1N, sendo que foram preparados quatro reatores para cada amostra de jazida, ficando um desses reatores responsável pelo

ensaio em branco, o qual é utilizado como referência. Na Figura 1, a seguir, podem-se observar os quatros reatores fechados e preparados para realização do ensaio químico.

**Figura 1** - Reatores utilizados nos ensaios de reatividade pelo método químico, sendo um deles destinado ao ensaio em branco (referência).



**Fonte: Os autores**

Após fechados, os reatores foram levados para estufa e conservados por 24 horas a temperatura de 80°C. Concluído este período foram abertos para dar início a etapa de filtragem da solução. Com o vácuo ligado, decantou-se uma pequena quantidade da solução existente no reator sobre um disco de papel de filtração média contido em um cadinho de Gooch. Em seguida, sem agitar o mesmo, decantou-se o restante da solução.

**Figura 2:** a) Reatores na estufa; b) Cadinho de Gooch de porcelana; c) Tubo de ensaio de 50ml de capacidade e kitassato; d) Aparelho de vácuo utilizado na decantação da solução de NaOH.



**Fonte: Os autores**

Terminada esta operação, houve o desligamento do vácuo e a transferência do

sólido remanescente no reator para o cadinho, espalhando-o sobre o papel com uma espátula de aço inoxidável. Logo depois o vácuo foi novamente ligado, com um ajuste de 380mm de mercúrio, dando continuidade a filtração até que o filtrado, contido no cadinho, fosse recolhido à razão de uma gota a cada 10 segundos em um tubo de ensaio fixado em um kitassato, conforme estabelecido na norma NBR 9774 (1987). Anotou-se o tempo total de aplicação do vácuo, e o considerou como tempo de filtração. Na Figura 2, estão ilustrados alguns materiais utilizados no processo de filtração da solução, assim como, o aparelho de vácuo utilizado na decantação da solução.

Terminada a filtração, tampou-se o tubo de ensaio com uma rolha de borracha, agitou-se o filtrado para homogeneizá-lo, transferiu-se uma alíquota de 10ml, com auxílio de uma pipeta, para um balão volumétrico de 200ml e completou-se o volume com água. A partir deste filtrado as análises foram realizadas.

Do filtrado foram feitos dois tipos de análises: quantificação da redução da alcalinidade da solução original e avaliação da quantidade de sílica do agregado que foi dissolvida e está presente no filtrado. Com base nestes dois parâmetros, foi traçado um gráfico que expressa a reatividade potencial de cada amostra.

### **3 Resultados**

#### **3.1 Método químico**

Este método é normatizado como NBR 9774 (1987) e prescreve o método químico para verificação da reatividade potencial de agregados, através da reação entre solução de hidróxido de sódio na concentração 1N com o agregado convenientemente preparado, durante 24 horas, à temperatura de 80°C.

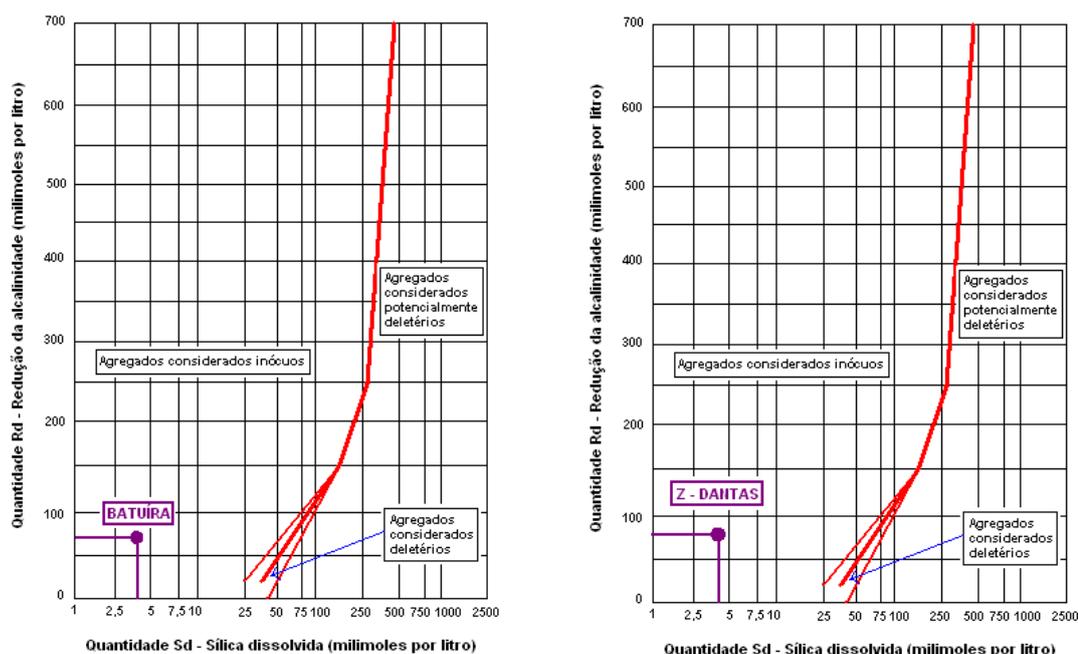
Na Tabela 3, assim como nas Figuras de 3 a 6, constam os valores de sílica dissolvida (concentração de SiO<sub>2</sub> em mmol/l no filtrado original) e de redução da alcalinidade (também expressa em mmol/l) para cada amostra ensaiada. Os dois valores correspondem à média de três determinações, já descontando o resultado do ensaio em branco.

**Tabela 3** - Valores de sílica dissolvida (em mmol/l) e redução da alcalinidade (em mmol/l) para cada amostra

Amostras	Sílica dissolvida (mmol/l)	Redução da alcalinidade (mmol/l)
Batuíra	4,20	74,88
Z – Dantas	4,47	81,03
Ameta	4,95	82,54
MGM	4,03	68,00
São José	1,74	10,76
Kataman	1,82	10,81
Ramal do	2,60	10,05
WH	1,77	10,98

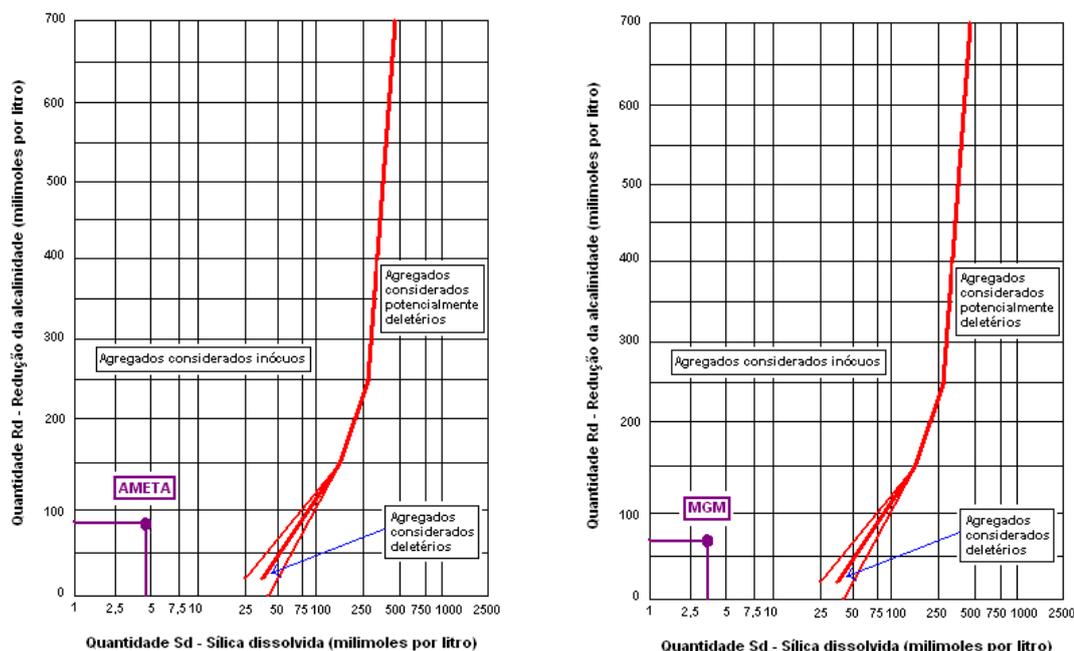
Fonte: Elaborada pelos autores.

**Figura 3** - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) das amostras: Batuíra e Z – Dantas.



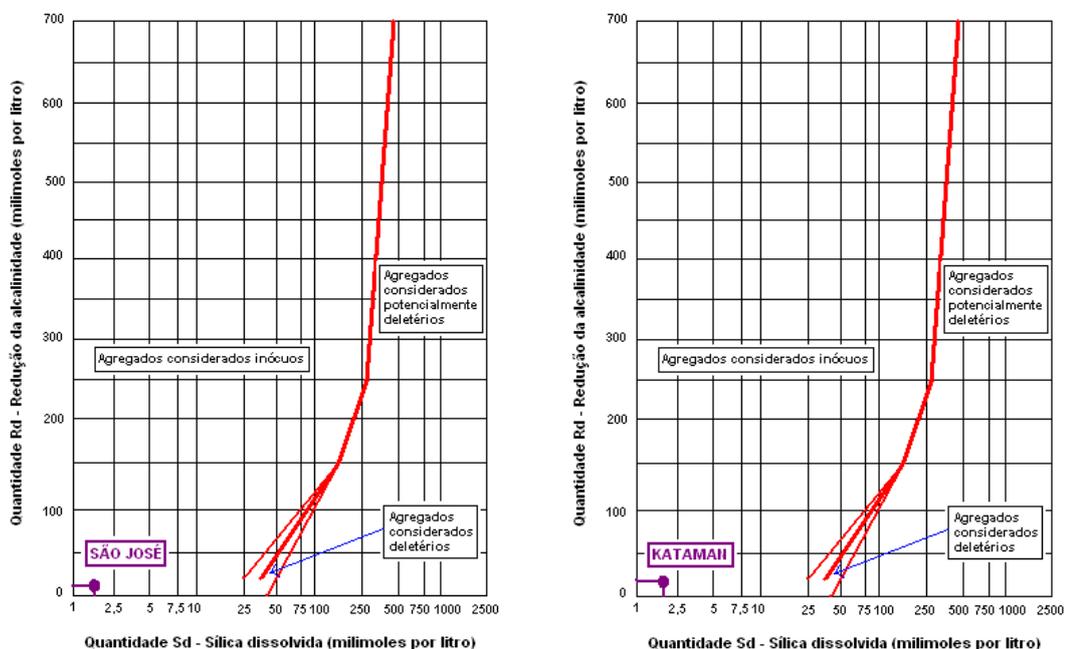
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 4** - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) das amostras: Ameta e MGM.



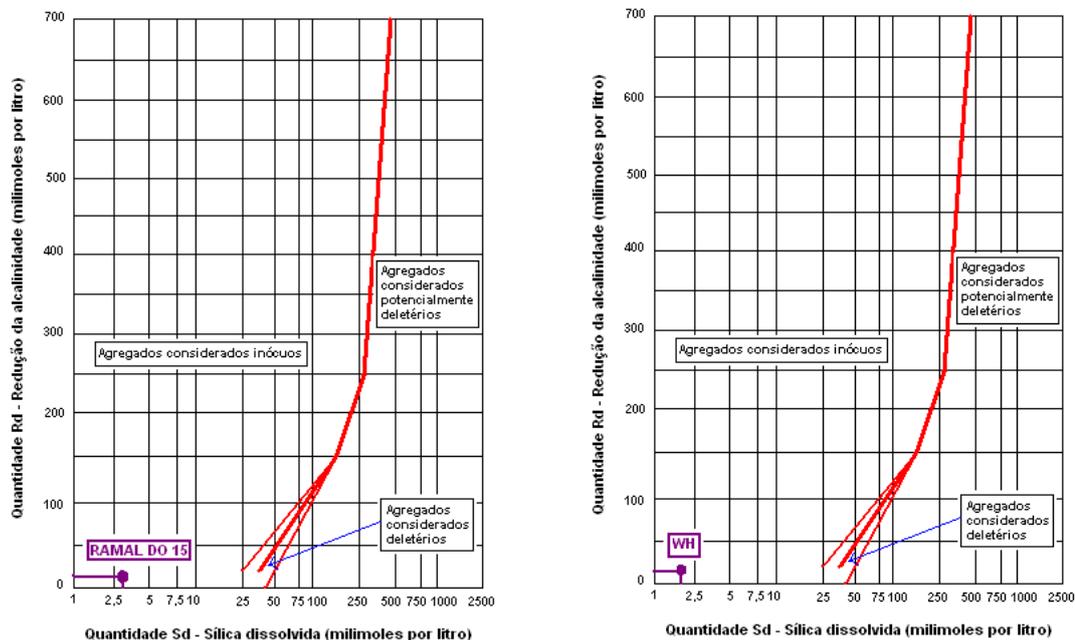
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 5** - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) das amostras: São José e Kataman.



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 6** - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) das amostras: Ramal do 15 e WH.



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 Discussão

Pode-se constatar na Tabela 3, que todas as amostras apresentaram resultados satisfatórios no que diz respeito ao não surgimento da reação álcali-agregado. Sendo a amostra AMETA responsável pelo maior valor de sílica dissolvida e de redução da alcalinidade, com 4,95 mmol/l e 82,54 mmol/l, respectivamente. Enquanto que a amostra SÃO JOSÉ, apresentou o menor valor de sílica dissolvida, com 1,74 mmol/l, e a amostra RAMAL DO 15 o menor valor de redução da alcalinidade, com 10,05 mmol/l. Pode-se observar também nos gráficos, que todas as amostras ensaiadas apresentaram resultados semelhantes, ou seja, nenhuma delas apresentou o surgimento de reação álcali-agregado. Em todos os casos, os pontos de interseção entre a redução da alcalinidade e a sílica dissolvida das amostras, localizaram-se em regiões os quais estavam dentro dos limites especificados nos gráficos como sendo agregados inócuos.

Com os resultados obtidos neste estudo foi possível fazer uma avaliação concreta e conclusiva, referente ao potencial reativo de cada amostra, onde observou-se a eficiência e confiabilidade deste método.

## 5 Conclusão

O método químico foi considerado satisfatório e eficiente na avaliação da potencialidade reativa das amostras coletadas. Sendo que através deste método foi possível constatar que todas as amostras apresentaram resultados, de sílica dissolvida e de redução da alcalinidade, satisfatórios ao não surgimento da reação álcali-agregado. Fato este que pode ser verificado através dos gráficos, uma vez que todas as amostras situaram-se em regiões que as classificavam como inócuas.

É importante mencionar também que este trabalho dará, ao meio técnico científico e profissionais da região, sua contribuição para futuros trabalhos sobre este tema, com o objetivo de suprir a carência de pesquisas sobre o assunto na região.

Como sugestão para futuros trabalhos, seria de grande relevância a realização de ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Com o objetivo de comparação dos resultados e maior conhecimento sobre o fenômeno da reação álcali-agregado.

## 6 Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao corpo de professores do Centro Tecnológico de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, pelo conhecimento a mim transmitido. Agradeço também as jazidas que forneceram os materiais para os ensaios e a toda equipe do Laboratório de Construção Civil e Materiais da Universidade Federal do Pará, que sempre foram atenciosos e prestativos em todos os momentos da pesquisa, desde o armazenamento dos materiais até a conclusão dos ensaios.

## Referências

AMERICAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Potencial Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)**. Philadelphia, ASTM C-1260, 1994.

ANDRADE, T. **Histórico de casos de RAA ocorridos recentemente em fundações de edifícios na Região Metropolitana do Recife-PE**. In: II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO. 2006, Rio de Janeiro. Anais...São Paulo: IBRACON, 2006.

ANDRIOLO, F.R. **AAR Dams affected in Brazil – Report on the Current Situation**. In: International Conference on Alkali-aggregate Reaction in Concrete, 11. pp. 1243-1252, Québec, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Mercosul, **Agregados – Amostragem**”, NBR NM 26, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, **Agregados – Verificação da reatividade potencial pelo método químico**”, NBR 9774, 1987.

BICZOK, I. **Corrosion y protección del hormigon**. Trad. de Emilio J. d'Ocon Asensi. Bilbao/España: Ediciones Urmo, 1972. p.275-280.

FIGUERÔA, JOSÉ DO PATROCINIO. Andrade, Tibério, **O ataque da Reação Álcali-agregado sobre as estruturas de Concreto: a descoberta pioneira da ocorrência do problema em fundações de pontes e edifícios na Região Metropolitana do Recife**. – Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007. 228 p.

HASPARYK, N. P.; ARMELIN, J.L.; BITTENCOURT, R. M.; PACELLI, W. **Investigação da reação álcali-agregado em testemunhos de concreto através da microscopia eletrônica de varredura**. In: III Congresso de Engenharia Civil, 1998. pp. 437-446, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: UFJF, 1998.

HOOPS, D.W. **Alkali silica reaction in concrete**. Ed. Thomas Telford, Londres, 1988.

KIARA, Y.; BUCHER, H.R.E. **Microsilica: uma nova pozolana artificial**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, Rio de Janeiro, 1986.

LOPES, L. E. **Modelagem mecânica e numérica da reação álcali-agregado com aplicação a barragem de concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ. 2004. 157p.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – microestruturas, propriedades e materiais**. 3ª ed; São Paulo: Ed. Pini, 2008.

MUNHOZ, F.A.C. **Efeito das adições ativas na mitigação das reações álcali-silica e álcali-silicato**. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PAULON, V.A. **Reações álcali-agregado em concreto**. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

SILVA, G.A. **Recuperação de Blocos de Coroamento Afetados pela Reação Álcali-Agregado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP. 2007, 130f.

SILVEIRA, A. L.; GUIMARÃES, E. M.; LENHARO, S. L. R.; HASPARYK, N. P.; CHIOSSI, W. C.; BITTENCOURT, R. M. **Investigação da reação álcali-agregado em rochas carbonáticas**. In: II Simpósio sobre reação álcali-agregado em estruturas de concreto. 2006, Rio de Janeiro. Anais... São Paulo: IBRACON, 2006.

VIEIRA, S.R.S.S.; PECCHIO, M.; ABREU, J.V.; FERREIRA, M.C.N.F. **Avaliação de diferentes cimentos como inibidores da reação álcali-agregado**. In: Congresso Brasileiro de Cimento, 40. pp. 579-590, São Paulo. Anais . São Paulo, 1996.