

QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO CONCRETO DEVIDO À REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)*

Rodrigo Santana Pereira¹

Iolanda Maria da Silva²

Érika Elis Kuo³

Marcio de Moraes Tavares⁴

Willy Ank de Moraes⁵

Resumo

O concreto é o material mais comum na construção e consiste em um composto constituído de cimento, água e agregados como areia e pedra. A reação álcali agregado (RAA) está associada à reação do tipo do mineral presente no agregado, no caso a sílica, dependendo da sua estrutura, seja ela amorfa ou cristalina. Para ambos os casos há uma forte dependência de fatores externos, como temperatura do ambiente, umidade, teor de álcalis do cimento e porosidade. Trata-se de uma reação complexa de difícil interpretação, uma vez que a pasta do cimento contém muitos produtos da reação química da cura, caracterizada de aspectos físicos variados. O presente trabalho estudou a RAA em amostras de concreto produzidas com agregado miúdo (areia) proveniente de três diferentes locais a partir das quais foram obtidos resultados que apontaram tendências nítidas neste material.

Palavras-chave: Concreto; construção civil; reação álcali-agregado.

QUANTIFYING THE DEGRADATION OF CONCRETE BY ALKALI-AGGREGATE REACTION (RAA)

Abstract

Concrete is the most common material in construction and consists of a composite consisting of cement, water and aggregates such as sand and stone. The aggregate alkali reaction (RAA) is associated with the reaction of the type of mineral present in the aggregate, in this case silica, depending on its structure, whether amorphous or crystalline. For both cases there is a strong dependence on external factors such as ambient temperature, humidity, cement alkali content and porosity. It is a complex reaction that is difficult to interpret, since the cement paste contains many products from the chemical reaction of the cure, characterized by various physical aspects. The present work studied the RAA using concrete samples produced with small aggregate (sand) from three different sites from which results were obtained that indicated clear trends in this material.

Keywords: Concrete; civil construction; alkali-aggregate reaction.

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Guarujá), Guarujá, SP, Brasil. E-mail: rodrigo-e@outlook.com.

² Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Guarujá), Guarujá, SP, Brasil. E-mail: lolanda_ortigara@hotmail.com.

³ Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Guarujá), Guarujá, SP, Brasil. E-mail: erikakuo@hotmail.com.

⁴ Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutorando em Engenharia Química, Coord. do Curso de Eng. Civil e de pós graduação em Eng. de Segurança do Trabalho da UNAERP-Guarujá, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: mtavares@unaerp.br.

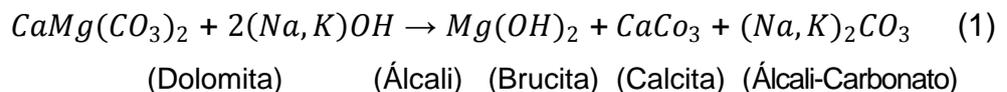
⁵ Engenheiro e Técnico em Metalurgia e Materiais, Mestre, Consultor Técnico na INSPEBRAS, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânica, Professor da UNAERP-Guarujá, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: wmorais@unaerp.br.

1 INTRODUÇÃO

No concreto pode ocorrer a deterioração de sua estrutura com o meio ambiente em que está presente. São muitos fatores associados à deterioração: as características dos materiais constituintes do concreto sejam elas física ou químicas, a cura, exposição a intempéries que acarretam a mudança do estado natural do concreto. O acúmulo destas consequências geradas reflete no desempenho e durabilidade da estrutura em campo e vida útil.

Conforme a bibliografia [1], a RAA é a interação de íons alcalinos do cimento com agregados constituídos de minerais siliciosos. A reação destes materiais gera a expansão no concreto, formando sólidos no interior da estrutura, com ocorrência de fissuras, desagregação, e geração de crateras onde escorre um gel de sílica. Esta reação está associada a trincas de grande magnitude na superfície da estrutura afetada, na maioria dos casos no sentido longitudinal da peça e finas trincas aleatórias transversais.

As reações denominadas álcali-sílica, álcali-silicato, álcali-carbonato são reações químicas envolvendo íons alcalinos do cimento Portland, íons hidroxila e certos constituintes siliciosos que podem estar presentes no agregado [2]. Este cenário implica na importância da escolha do cimento, dos agregados e da compatibilidade destes materiais. A RAA precisa pelo menos um mineral reativo na composição do agregado, com os álcalis do cimento e água intersticial [3]. Na RAC (reação álcali-carbonato), o agregado reativo é a dolomita, $CaMg(CO_3)_2$, proveniente do calcário conforme a reação química abaixo, que representa a desdolomitização do material:



Uma vez que o produto da expansão ocupe plenamente o interior dos poros, passa a exercer pressões internas em suas paredes induzindo a expansão da matriz do concreto Silveira [4], conforme ilustrado na Figura 1.a. Além disso, as principais evidências da RAA apontadas por este autor [4] são: eflorescência e exsudação de gel, fissuras em forma de mapa, microfissuração de gel, fissuras em forma de mapa. Adicionalmente, Hasparyk [5] descreve que os sintomas mais apresentados pela RAA são a fissura tipo mapa, exsudação de gel e descoloração do concreto, como ilustrados pela Figura 1.b.



(a)



(b)

Figura 1.(a) Deslocamento e formação de trincas [5] e (b) Fissuras em forma de mapa, com formação e exsudação de gel no concreto pela ação da RAA.

Os fatores influentes nessa patologia são: temperatura e porosidade inicial do concreto. Qualquer estrutura de concreto é passível de ser afetada, pelo fato da RAA depender de umidade, como é o caso em barragens, blocos de fundações parciais ou submersos e estruturas hidráulicas [6].

O presente trabalho teve como principal objetivo estudar a reação álcali-agregado através da expansão e compressão em prismas de concreto utilizando areia como agregado miúdo proveniente de três diferentes fornecedores (Juquiá, Buritiba e Mogi das Cruzes).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A definição do traço (proporção de mistura das matérias-primas e água) para os três tipos de concreto avaliados foi adquirida por meio de interpolação dos dados das normas ASTM C1260 [7] e ABNT 15577-4 [8]. Como agregado padrão do concreto, utilizou-se a brita 01 e adotado o cimento CP-III para todos os traços. Foram empregadas areias, como agregados miúdos do concreto, oriundas de três fornecedores (jazidas) diferentes:

1. Areia 1 - fonte Buritiba (B);
2. Areia 2 - fonte Juquiá (J) e
3. Areia 3 - fonte Mogi das Cruzes (M).

Antes de efetuar a preparação dos traços e dos corpos de prova, os agregados miúdos (areias) foram caracterizados através dos ensaios de umidade e de granulometria. Para isso, amostras destas areias foram homogeneizadas e quarteadas de forma a ser obtida uma alíquota de 1 kg para os testes de umidade e granulometria. Esta alíquota foi mantida em estufa a 110°C por 60 minutos para se obter o resultado de amostra seca.

Após a secagem foi realizado o ensaio granulométrico empregando um peneirador automático da Solotest, ajustada num período de 15 minutos e com frequência nível 7. Após cada ensaio, foi realizada a pesagem de cada peneira, numa balança digital semi analítica com precisão de 0,01 g. O ensaio granulométrico caracteriza o tamanho das partículas dos agregados, miúdos no caso da areia e grãos para a pedra brita, que é um dos fatores que pode ser considerável para a RAA.

As misturas obtidas foram utilizadas na confecção de barras (corpos de prova) com volumes distintos. A Tabela 1 apresenta os volumes respectivos dos corpos de prova (CPs) de concreto e as respectivas proporções de cimento, água e agregados adotados.

Adotou-se o método acelerado, conforme Thomas [9], apud Nogueira [10], para promover a RAA. O procedimento consiste em confeccionar barras de argamassa (CP-A, Tab.1), cujos materiais sejam os mesmos utilizados no concreto estudado, e submetê-los em uma solução de 1N de NaOH a uma temperatura de 80°C, ao longo de um período de 14 dias.

Tabela 1. Descrição dos corpos de prova empregados neste trabalho

Quantidade	12 (4B, 4J, 4M)
Dimensões (mm)	50 × 50 × 250
Volume (cm³)	625,0
%Volume de água	16
%Massa de Cimento	26
%Massa de Agregados	58

Observação: os CPs foram obtidos em igual número para os três tipos de areias.

No método acelerado, foram empregadas quatro barras do tipo CP-A (Tab. 1), sendo 1 barra com agregado B (areia 1 – fonte Buritiba), 2 barras com agregado J (areia 2 – fonte Juquiá) e 1 barra com agregado M (areia 2 – fonte Mogi das Cruzes). Estas barras foram obtidas de traços de concreto que foram enformados em moldes de madeira e desformadas no vigésimo sexto dia de cura. A imersão das barras foi efetuada em um tanque de aço galvanizado, com as respectivas identificações. O tanque foi provido de armações de aço galvanizado no seu interior para manter os CP's na posição vertical e sem contato em si e com as laterais do tanque, conforme ilustrado pela Figura 2.



Figura 2. Corpos de Prova submetidos ao ensaio de imersão pelo método acelerado da RAA: (a) posicionamento dentro do tanque (sem a solução), posicionamento do tanque dentro da estufa.

Todo o conjunto (tanque) foi posicionado dentro de uma estufa na temperatura e tempo definidos (80°C e 14 dias). Ao longo das primeiras 24 horas de imersão mediu-se as dimensões das amostras com um paquímetro padrão de 300 mm, com precisão de 0,05mm, conforme os preceitos da NBR 15577-6 [11]. Posteriormente a mesma medição foi executada após 16 dias e após 26 dias do início da imersão dos CPs.

Foram utilizados três corpos de prova (CPs) de concreto para determinar o comportamento tensão vs. deformação através de ensaios de compressão em uma máquina universal de ensaios mecânicos. Cada um dos CPs empregado foi constituído por um agregado diferente (B, J e M), submetidos e não submetidos ao ensaio de imersão (RAA acelerada).

Um cuidado a mais foi tomado com a superfície das extremidades de cada CP, que precisava de uma ótima planicidade para garantir um bom alinhamento entre o CP e os apoios (pratos) da máquina de ensaios. Isso é necessário para obter resultados mais precisos, uma vez que a carga aplicada ao CP pela máquina precisa ser distribuída de forma uniforme.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As formas para os corpos de prova prismáticos de concreto por serem feitas em madeira, dificultaram a obtenção de uma geometria perfeita das barras, apresentando faces com curvaturas milimétricas após a desforma e um comprimento real de 253 mm ao invés dos 250 mm objetivados (vide Tab. 1). É provável que o uso de formas de metal, com sistema de desforma por meio de parafusos, ou outro sistema que favorece a forma e desforma, facilitaria a fabricação mais elaborada do prisma.

3.1 Ensaio graunulométrico

Conforme ilustrado na Figura 3, as são areias são bem distintas no aspecto visual em termos de cor, o que se verificou também em termos de granulometria e umidade.



Figura 3.Aspecto visual das areias (agregados miúdos) utilizadas na confecção dos CP's deste estudo. Da esquerda para direita: Buritiba (B); Juquiá (J) e Mogi das Cruzes (M).

Os resultados de tamanho médio das partículas e umidade são representados no gráfico da Figura 4. A areia de Juquiá possui uma composição granulométrica com Tamanho Médio (TM) das partículas de 6,68 mm, enquanto que a areia de Buritiba é a mais fina, com TM de 2,66 mm.

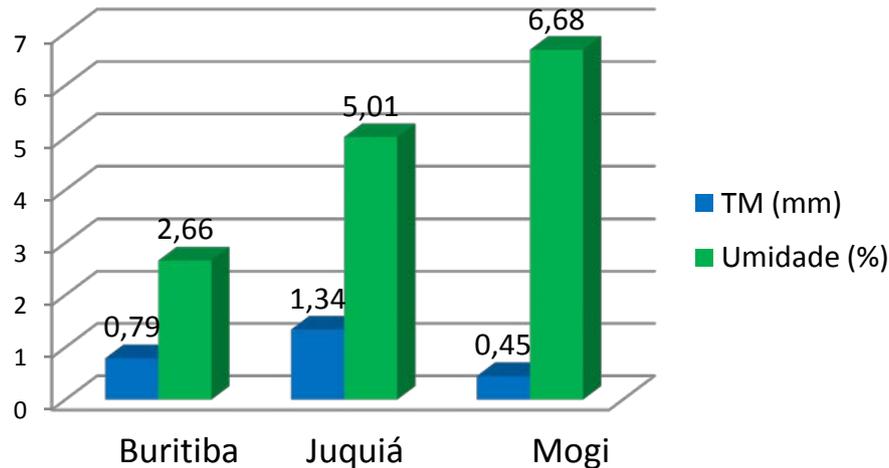


Figura 4. Tamanho médio das partículas e umidade dos agregados miúdos avaliados neste estudo. Os valores médios dos grãos das areias analisadas, estavam no intervalo de 0,42 mm a 2,0 mm, que confirma a granularidade de uma areia média, conforme a NBR 7211 [12], afirmando dados do fornecedor, a média de umidade das amostras é de 4,8. O mesmo para a pedra brita 1 que tem valores até 19 mm, e o resultado do ensaio granulométrico foi de 14 mm, confirmando que é pedra brita 01.

3.2 Ensaio de expansão

Foram realizadas as medições nos respectivos corpos de prova, devidamente secos (01 e 02 Juquiá, 03 Mogi e 04 Buritiba Mirim), após o ensaio de imersão. Os corpos de prova empregados para avaliar a expansão, não apresentaram um crescimento nos 14 dias de teste. Ambos os corpos de prova constituídas do cimento feito com a areia de Juquiá, apresentaram uma diferença de 0,4 e 0,6%, respectivamente para os CP4 e CP5, valor baixo para considerar um agregado reativo [11].

O segundo corpo de prova contendo areia de Juquiá (CP5-J), apresentou um aumento de 0,098% no seu volume, sendo que as demais apresentaram um aumento de apenas 0,018%. Esses dados reforçam que o agregado é inócuo à expansão pela RAA, durante o período testado. Por isso, para uma melhor aferição do aumento volumétrico destes concretos, seria necessário um prazo maior que o empregado.

3.3 Curvas Tensão vs. Deformação por Compressão

A Figura 5 ilustra o posicionamento de um dos corpos de prova testados

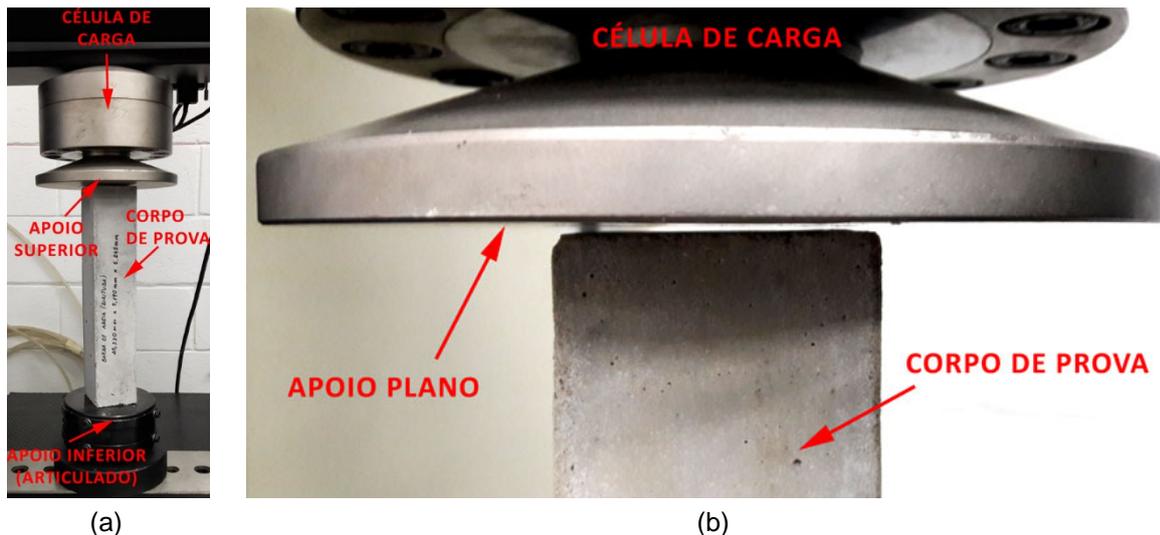


Figura 5. Arranjo empregado nos ensaios de compressão: (a) vista geral e (b) detalhe do apoio.

A Tabela 2 apresenta todos as identificações e os dados retirados dos ensaios de compressão com os corpos de prova de concreto obtidos neste estudo, com o uso da areia de Buritiba, Juquiá e Mogi das Cruzes. Neste caso houve uma queda de 16,1% na quantidade de deformação obtível nos CPs após o tratamento. Deve-se lembrar que esta deformação foi medida considerando-se o deslocamento do travessão da máquina de ensaios (máximo de 1,59mm) em relação ao comprimento inicial dos CPs (253 mm).

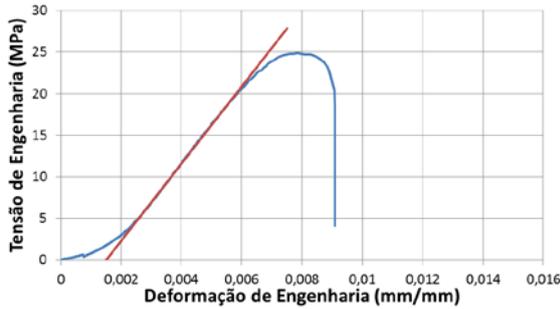
A maior diferença foi verificada na quantidade de energia que os CPs podem absorver até a carga máxima, ou tenacidade aparente na carga máxima. Este parâmetro foi quantificado pela área sob a curva tensão vs. deformação aparente, esta última medida pelo deslocamento do travessão da máquina, até o ponto de carga máxima.

Tabela 2. Resultados obtidos nos ensaios de compressão das amostras de concreto estudadas

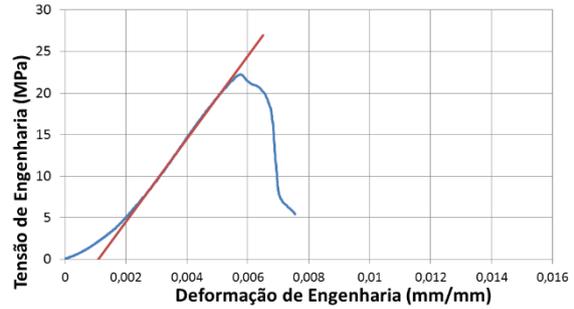
CP	Tipo de Areia	Tratada	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	σ_{dano} (MPa)	$e_{F\text{máx}}$ (mm/mm)	$e_{F\text{máx}}$ (%)	E_{aparente} (GPa)	$U_{\text{apar.}} F_{\text{máx}}$ (J)
CP1-B	Buritiba	Não	24,8	21,7	0,0079	0,79%	4,65	63
CP2-B	Buritiba	Sim	22,3	21,9	0,0058	0,58%	4,98	39
CP3-J	Juquiá	Não	12,3	10,5	0,0057	0,57%	3,21	27
CP4-J	Juquiá	Sim	12,4	11,1	0,0053	0,53%	3,43	25
CP5-J	Juquiá	Sim	14,2	11,4	0,0048	0,48%	4,30	26
CP6-M	Mogi	Não	12,2	11,0	0,0053	0,53%	2,92	24
CP7-M	Mogi	Sim	11,7	9,6	0,0052	0,52%	3,33	23
	Média	Não	16,4	14,4	0,0063	0,63%	3,60	38
	Média	Sim	15,1	13,5	0,0053	0,53%	4,01	28
		Varição	-7,9%	-6,5%	-16,1%	-16,1%	11,5%	-25,0%

As Figuras de 6 a 11 ilustram as curvas tensão vs. deformação, obtidas a partir de ensaios de compressão com os corpos de prova nas seguintes condições:

- Figuras 6 - areia de Buritiba (B) sem imersão e após imersão;
- Figuras 7 - areia de Juquiá (J) sem imersão e após imersão;
- Figuras 8 - areia de Mogi (M) sem imersão e após imersão.

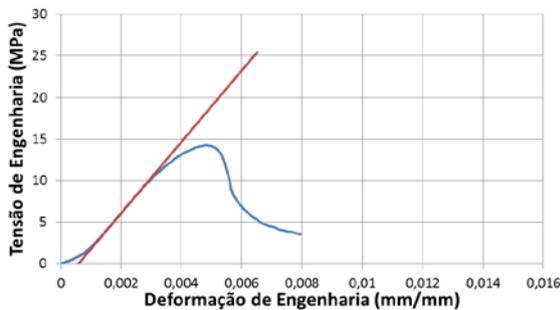


sem imersão ($\sigma_{\text{máx}} = 24,8 \text{ MPa}$)

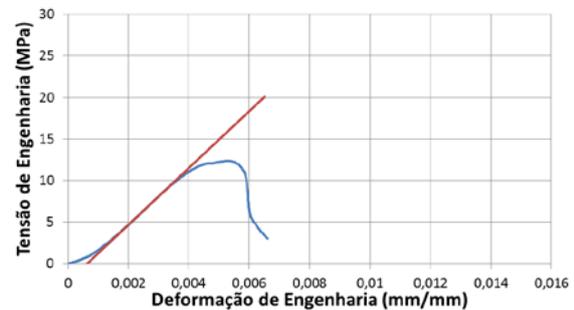


após imersão ($\sigma_{\text{máx}} = 22,3 \text{ MPa}$)

Figura 6. Resistência à compressão do CP obtido pelo uso da areia Buritiba (B).

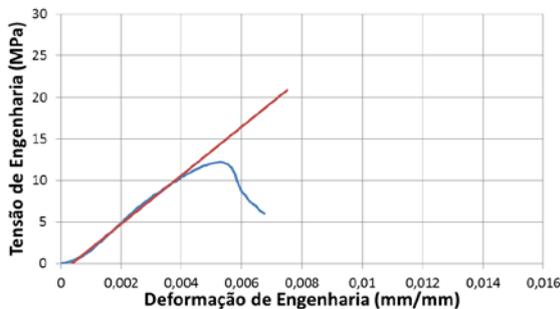


sem imersão ($\sigma_{\text{máx}} = 14,2 \text{ MPa}$)

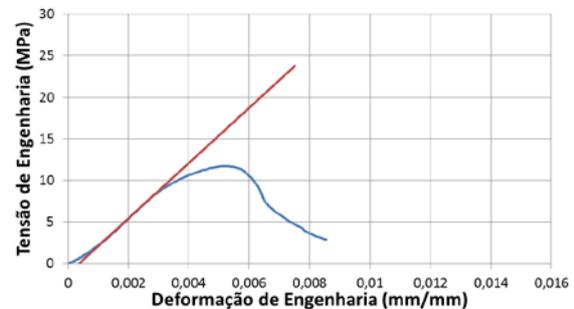


após imersão ($\sigma_{\text{máx}} = 12,4 \text{ MPa}$).

Figura 7. Resistência à compressão do CP obtido pelo uso da areia Juquiá (J).



sem imersão ($\sigma_{\text{máx}} = 12,2 \text{ MPa}$)



após imersão ($\sigma_{\text{máx}} = 11,7 \text{ MPa}$).

Figura 8. Resistência à compressão do CP obtido pelo uso da areia Mogi das Cruzes (M).

O módulo de elasticidade aparente, por outro lado, aumentou em 11,5% após a imersão na solução de NaOH 1N, indicando que as amostras se tornaram ligeiramente mais rígidas após a execução do método acelerado da RAA. As curvas tensão vs. deformação das Figuras 6 a 8 ilustram este comportamento, assim com oferecem uma visão mais detalhada dos dados da Tabela 2. Os gráficos da Figura 9 ilustram graficamente os dados apresentados pela Tabela 2. Através destes gráficos, fica mais evidente que o concreto obtido com a areia Buritiba apresentou um melhor desempenho, mas também uma piora nas suas características após a RAA acelerada.

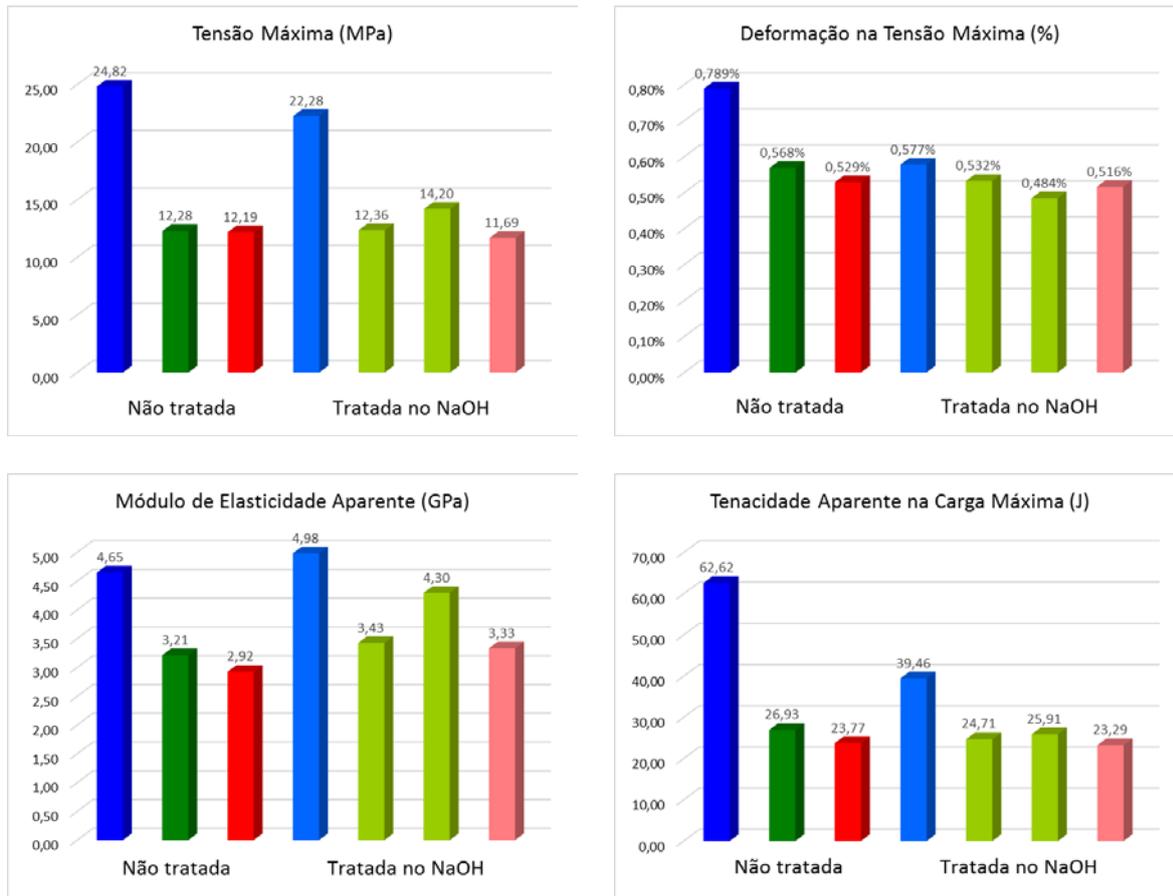


Figura 9. Dados obtidos diretamente dos ensaios de compressão com os corpos de prova de cimento antes e depois da imersão em NaOH (RAA acelerada) em função do tipo de agregado miúdo (areia) empregado. Em todos os gráficos, da esquerda para a direita: Buritiba (azul), Juquiá (verde) e Mogi (vermelho).

3 CONCLUSÃO

Os corpos de prova (CPs) empregados no ensaio de expansão, não apresentaram um crescimento (expansão) ao longo do período de tempo empregado nesta análise. O emprego de um paquímetro com precisão de 0,05 mm era adequado para esta avaliação, visto que se obteve uma expansão de apenas 0,018% nesse ensaio, o qual acima de 0,10% indica um agregado considerado reativo a RAA [11]. Apenas o CP5-J apresentou uma expansão maior, de 0,098%, indicativa de que este concreto teria uma maior tendência de sofrer a RAA com maior intensidade que os demais.

As formas empregadas para os CPs prismáticos de concreto em madeira dificultaram a obtenção de uma geometria mais adequada das barras, apresentando faces com curvaturas milimétricas após a desforma. É provável que o uso de formas de metal, com sistema de desforma por meio de parafusos, ou outro sistema que favorece a forma e desforma, facilitaria a fabricação mais precisa dos CPs.

O tratamento feito pela imersão em NaOH 1N durante 14 dias a 80°C levou aos CPs a apresentarem uma resistência máxima à compressão de 15,1 MPa que é 8% menor que a resistência máxima de 16,4 MPa, obtida na média para os CPs antes do tratamento. A grande diferença ocorreu na capacidade de deformação na carga

máxima, que foi reduzida em 16,1%, em média, após a RAA acelerada. Com isso a tenacidade dos concretos reduziu-se 25% no total.

Dos agregados miúdos empregados, a areia Buritiba foi a que apresentou os melhores resultados em todas as condições, com e sem a RAA acelerada. Porém, foi também o tipo de agregado que levou à maior perda relativa das características estruturais no concreto pela ação da RAA.

De uma forma geral, os dados obtidos nos ensaios apontam tendências relativamente nítidas, que podem ser aprofundadas em estudos posteriores, especialmente de caracterização da areia empregada nestes concretos.

REFERÊNCIAS

- 1 FOURNIER, B., BÉRUBÉ, M. A., "Alkali-Aggregate Reaction in Concrete: A Review of Basics Concepts Engineering Implications". CANADIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING. Québec, Canada. 2000. v. 27. p. 167-191.
- 2 SBRIGHI, C. A Misteriosa Reação Álcali-Agregado. In: WORKSHOP Reação Álcali-Agregado. 2008. Salvador, Bahia. SINDIBRITA. abr. 2008. 47 p.
- 3 CAPRA, B.; BOURNAZEL, J. P. Modeling Of Induced Mechanical Effects Of Alkali Aggregate Reactions. CEMENT AND CONCRETE RESEARCH. 1998. v. 28, n. 2, p. 251-260, fev. 1998.
- 4 SILVEIRA, J. F. A. A Expansão do Concreto em Barragens Afetadas pela RAA e a Importância da Tensões Confinantes. In: SIMPÓSIO sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto. 1997. São Paulo.
- 5 HASPARYK, N.P. Investigação De Concretos Afetados Pela Reação Álcali-Agregado E Caracterização Avançada Do Gel Exsudado. TESE (Doutorado) – Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. 2005. p. 326. 20 dez. 2005.
- 6 FARAGE, M. C. R., Modelagem e Implementação Numérica da Expansão por Reação Álcali-Agregado do Concreto, TESE de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000. 126 p.
- 7 ASTM C1260. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.
- 8 NBR15577-4. Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2008.
- 9 THOMAS, M. D. A.; FOURNIER, B.; FOLLIARD, K. J.; SHEPATA, M. H.; IDEKER, J. H.; ROGERS, C., "Performance Limits For Evaluating Supplementary Cementing Materials Using Accelerated Mortar Bar Test," ACI MATERIALS JOURNAL, v. 104, n. 2. mar-apr. 2007, p 115-122.
- 10 NOGUEIRA, KELSON. Reação Álcali-Agregado: diretrizes e requisitos da ABNT NBR 15577/2008. Belo Horizonte: UFMG, 2010. 93 p. MONOGRAFIA (Especialização em Construção Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- 11 NBR15577-6. Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, 2008.
- 12 ABNT NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação (confirmada). Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. 2014.