

ESTUDO DAS REACÇÕES ÁLCALIS-SÍLICA EM BETÕES COM AGREGADOS RECICLADOS

Study of alkali-silica reaction in concrete with recycled aggregates



Miguel Barreto Santos
Equiparado a Assistente
Escola Superior de Tecnologia e
Gestão
Instituto Politécnico de Leiria
Mestre em Construção (IST)
mbarreto@estg.ipleiria.pt



Jorge de Brito
Professor Catedrático
Instituto Superior Técnico
jb@civil.ist.utl.pt



António Santos Silva
Investigador Auxiliar
Laboratório Nacional de
Engenharia Civil
ssilva@lnec.pt

Resumo

A presente comunicação descreve alguns resultados da primeira fase de um trabalho experimental sobre as reacções álcalis-sílica (RAS) em betões com agregados reciclados (BAR).

As RAS surgem no betão com agregados convencionais (BAC) devido à combinação de sílica reactiva, álcalis e humidade em quantidades suficientes. Nestas condições, ao longo do tempo, desenvolve-se um gel expansivo que provoca a degradação das estruturas com redução da sua durabilidade.

A possível ocorrência das RAS nos BAR serviu de motivação aos autores para o desenvolvimento de um estudo relativo à análise destas reacções em betões com incorporação total e parcial de agregados reciclados (AR). Serão analisadas em particular variações no grau de reactividade aos álcalis, no tipo de cimento e de cura empregues tendo em vista verificar se a incorporação de AR nos betões torna ou não mais danosa a problemática da RAS, comparativamente aos BAC.

Descrevem-se também nesta comunicação alguns aspectos, observados na bibliografia, de diferenças entre a análise das RAS nos BAR e nos BAC.

Palavras-chave: betões com agregados reciclados, reacções álcalis-sílica, degradação, durabilidade.

Abstract

This paper describes the first results of an experimental work related with the study of alkali-silica reaction (ASR) in concrete with recycled aggregates (CRA).

ASR occurs in concrete with conventional aggregates (CCA) due to the combination of reactive silica, alkali and moisture in sufficient amounts. In these conditions, over time, an expansive gel is produced that causes deterioration of the structures that can compromise their durability.

The possible occurrence of ASR in CRA motivated the authors to develop a study about these reactions in concrete with total and partial incorporation of recycled aggregates (RA), namely involving variations in alkali reactivity, cement type and concrete curing conditions. This work is expected to check whether the incorporation of RA in concrete, in comparison to CCA, aggravates the ASR. This paper also presents some aspects, observed in the literature, concerning the analysis of ASR in CRA and CCA.

Keywords: concrete with recycled aggregates, alkali-silica reactions, degradation, durability.

1 Introdução

A utilização de agregados reciclados (AR) como material de construção é uma temática actual que pretende contribuir para o reaproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) e para a evolução da construção sustentável. A incorporação de AR em betão estrutural obriga ao conhecimento das potencialidades e limitações deste material como inerte na mistura e à apreciação da sua influência nas propriedades dos betões.

Para compreender os betões com agregados reciclados (BAR) nos mesmos domínios dos betões com agregados convencionais (BAC) pétreos, importa observar também o comportamento dos BAR quando confrontados com as causas de degradação dos BAC, condicionantes da sua durabilidade.

O trabalho de investigação que se apresenta pretende observar o comportamento dos BAR face ao desenvolvimento de reacções álcali-silica (RAS). Serão apenas estudados betões com incorporação de AR grossos de betão.

Englobadas nas reacções expansivas internas, as RAS são uma das causas químicas de degradação dos BAC e ocorrem na presença de teores suficientes de humidade, álcali e agregados reactivos. Apenas nestas condições se desenvolve a reacção entre soluções alcalinas e alguns minerais de sílica, originando um produto expansivo denominado gel silico-alcalino. A Figura 1 ilustra algumas manifestações macroscópicas de RAS em BAC.

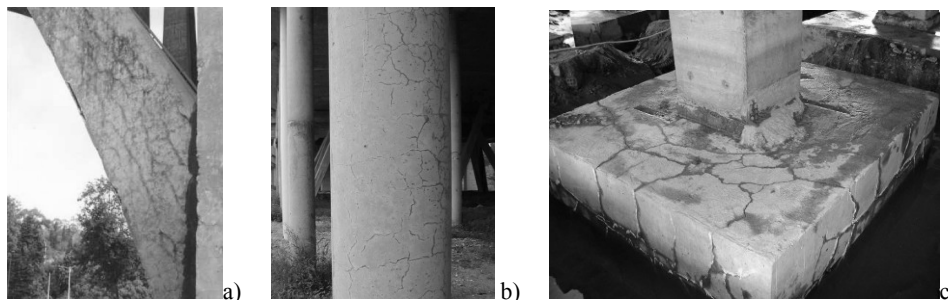


Figura 1 - Manifestações macroscópicas de RAS. Fonte: figuras a) e b) [1]; figura c) [2]

A possível ocorrência das RAS nos BAR serviu de motivação aos autores para o desenvolvimento de um estudo relativo à análise destas reacções em betões com incorporação total e parcial de agregados reciclados (AR). Partindo do pressuposto de que as RAS podem surgir nos BAR e que a sua manifestação pode ser uma consequência das potencialidades reactivas nos AP do betão que foi reciclado, é importante perceber em que circunstância a incorporação, parcial ou total, de AR em substituição de AP, reactivos ou não reactivos, se torna prejudicial para as propriedades dos betões.

Serão, para isso, simuladas várias situações utilizando: diferentes classes de cimento; diferentes condições de cura dos betões de origem (BO) dos AR; diferentes percentagens de substituição de AP por AR; aumento da reactividade da mistura por incorporação de AR e AP reactivos. O trabalho pretende obter mais informação sobre as RAS em BAR, investigando se a incorporação de AR no betão torna ou não mais danosa a problemática em comparação com o que acontece com os BAC.

O desenvolvimento da campanha baseia-se, em parte, nas recomendações da especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil LNEC E 461 sobre “Metodologias para prevenir reacções expansivas internas”. A especificação indica ensaios preparatórios a efectuar a AP para verificação da sua reactividade e ensaios a misturas de betão para avaliação da susceptibilidade de determinadas composições desenvolverem RAS. Complementando estes ensaios, serão elaborados também ensaios correntes de avaliação física, à estrutura porosa e microestrutura dos BAR.

Descreve-se no capítulo 2 alguns aspectos, observados na bibliografia, de diferenças na análise das RAS nos BAR e nos BAC. No capítulo 3 apresenta-se resumidamente a metodologia utilizada no trabalho experimental e alguns resultados da 1ª fase.

2 Reacções álcalis-silica em betões com agregados reciclados

A informação recolhida na pesquisa bibliográfica evidencia uma distinção no aparecimento de RAS entre betões com incorporação exclusiva de AP ou de AR, justificada sobretudo pela diferença nas propriedades dos agregados e dos próprios betões. Contudo, as poucas referências bibliográficas encontradas sobre o tema não permitem ainda relacionar totalmente as reacções expansivas do tipo álcalis-silica que ocorrem nos BAC com as que ocorrem nos BAR ou, por exemplo, regular plenamente a utilização de AR proveniente de betão de origem com ou sem manifestações de RAS. Não obstante, aprecia-se na bibliografia uma crescente preocupação e conhecimento na temática da durabilidade e das propriedades dos BAR, com AR de betão ou de outros materiais provenientes de RCD, contribuindo com informações para a construção sustentável.

Os AR são usualmente indicados como agregados mais heterogéneos e porosos do que os AP. Estas e outras características como, por exemplo, a menor resistência da matriz dos AR, são posteriormente transportadas para os BAR, no estado fresco e endurecido. Alguns estudos sobre as propriedades dos BAR [3] demonstram porém que é possível obter resultados interessantes nestes betões comparativamente aos BAC, embora com algumas restrições nos consumos de cimento, na razão água / cimento (a/c), na taxa de substituição, no tipo de agregado, entre outras.

A problemática das RAS em BAR está referenciada em alguns trabalhos de investigação, com contribuições complementares para a sua prevenção e mitigação, descrevendo-se muito sucintamente alguma dessa informação no decorrer deste capítulo.

Em 1993, Gottfredsen e Thøgersen [4] mencionaram a questão da reciclagem em ambiente agressivo, no 3º Simpósio Internacional da RILEM sobre a demolição e reutilização de betão e alvenaria, destacando a problemática das RAS nestes ambientes.

A continuidade das reacções expansivas nos BAR é focada em outros estudos, sobretudo a partir de ensaios de expansão em prismas de betão ou barras de argamassa, que demonstram comportamentos expansivos elevados. A constatação promoveu inclusivamente estudos de mitigação das RAS em BAR, referenciados em trabalhos de Stark [5], Scott e Gress [6], Li [7], Scott [8] ou Shehata *et al.* [9]. As propostas de mitigação reportam para necessidade de um pequeno aumento nos teores de substituição de cimento por adições pozolánicas do tipo II ou adições químicas à base de sais de lítio para abrandar as RAS nos BAR, para valores idênticos aos dos BAC.

Investigando a problemática, Stark [5] menciona num artigo que, embora um betão original não exiba indícios de RAS na altura da britagem isso não significa que a reacção não se desenvolva no novo BAR se não existirem precauções especiais. O autor observou a expansão de betões com introdução de AR resultantes da britagem de BO com misturas de AP grossos e finos reactivos com cimentos de diferentes teores em óxido de sódio equivalente ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \times \text{K}_2\text{O}$). Entre outros comentários, refere que, numa primeira análise e considerando as diversas misturas elaboradas, o desenvolvimento de RAS em BAR está mais dependente do teor em álcalis do novo cimento da mistura do que o existente no AR.

Segundo Shehata *et al.* [9], também a britagem do BO pode potenciar a reactividade dos AR resultantes. Os autores consideram que a criação de novas faces frescas de contacto entre os AP reactivos e o novo cimento da mistura pode favorecer a expansão no novo betão devido às RAS. Sugerem ainda, como possíveis razões de aumento da expansão por essa causa nos BAR, o aumento significativo da contribuição de álcalis pela argamassa residual no AR e, a expansão do gel sílico-alcálico no AR quando exposto ao nível elevado de humidade no novo betão.

Contudo, nem sempre a os AR evidenciaram em ensaios acelerados de argamassa ou de betão expansão. Desmyter e Blockmans [10] comentam esta situação, presenciada no seu estudo com AR provenientes de BO que exibiu RAS, sugerindo a hipótese de que os agregados preservaram apenas uma limitada reactividade, após anos da acção das reacções no betão da estrutura. Também Larrañaga [11], num estudo à microestrutura dos BAR, observou a formação de gel sílico-alcálico em provetes de betão mas sem expansões significativas por aumento de volume. Semelhantes constatações tiveram Calder e Mckenzie [12], como referem no resumo do seu artigo, quando estudaram a susceptibilidade do AR de betão à acção das RAS. Ainda Dhir *et al.* [13], num documento sobre a problemática que a utilização de AR com origens diversas pode apresentar para as RAS, comentam que, com excepção dos AR provenientes da

regularização de pavimentos, os AR manifestaram uma baixa reactividade e risco para o desenvolvimento de RAS.

As referências bibliográficas chamam a atenção para determinadas particularidades nas metodologias de avaliação das RAS quando se utiliza AR. Exemplo disso é a aplicação do ensaio acelerado em barra de argamassa para previsão da reactividade dos AR. A britagem do agregado na preparação da amostra pode provocar variações nos resultados do ensaio, devido à pulverização do AR.

Para evitar a descaracterização do AR, Shehata *et al.* [9] sugerem que apenas se utilize para o ensaio o AR da britagem do AR grosso, ou seja, de uma britagem secundária. Os investigadores notaram que, em ensaios realizados, a fracção fina produzida na britagem primária causava expansões mais baixas do que as resultantes da britagem secundária, como se exemplifica na Figura 2.

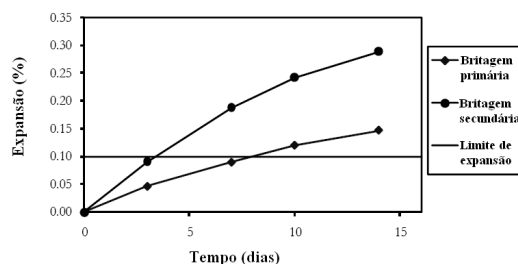


Figura 2 - Expansão no ensaio ASTM C 1260 de AR de uma britagem primária e secundária [9]

Outra sugestão, referida em trabalhos de Li [7], Scott [8] ou Larrañaga [11], indica que o ensaio acelerado em barra de argamassa deve ser feito em separado ao agregado e à argamassa aderente do AR.

Devido à absorção de água dos AR também a pré-saturação dos agregados, antes dos ensaios com provetes de betão, foi aconselhada em trabalhos de Scott e Gress [6], Li [7] ou Scott [8] para evitar variações significativas nos resultados das expansões dos provetes a idades prematuras.

Encontram-se outras propostas de alteração nas metodologias dos métodos de ensaio das RAS em BAC e em BAR em trabalhos, por exemplo, de Gress e Kozikowski [14] ou Scott [8].

3 Campanha experimental

O trabalho apoia-se numa campanha experimental que visa o estudo do comportamento dos BAR perante manifestações de RAS, em determinadas situações. Para isso, serão produzidas 3 famílias de BAR com diferenças na reactividade, nas taxas de substituição de AR por AP, na idade dos AR e no cimento.

Considera-se que a idade dos AR pode influenciar o desenvolvimento das RAS nos BAR, devido às características da argamassa aderente. Por essa razão, ponderou-se a produção de famílias de betões com incorporação de AR, reactivos e não reactivos, provenientes de um betão de origem (BO), envelhecido e não envelhecido, simulando assim o betão de estruturas recentes ou de estruturas com alguma idade. Serão incutidas alterações físicas e na estrutura porosa das famílias de BAR variando o tipo de cimento.

Procura-se, com estas variáveis, reunir diversos cenários que poderão ocorrer com a introdução de AR em betões. No estudo, a substituição de AP por AR no betão será de 20, 50 e 100%. Em cada grupo, existirá um betão de referência (BOR) com a mesma posologia, mas apenas com AP. Utilizando este suporte, pretende-se estudar o desenvolvimento de RAS e o comportamento de betões com: 2 classes de cimento e introdução de AR, reactivos e não reactivos, provenientes de BO não envelhecido em substituição de AP não reactivos; 2 classes de cimento e introdução de AR, reactivos e não reactivos, provenientes de BO envelhecido em substituição de AP não reactivos; 1 tipo de cimento e introdução de AR não reactivos, provenientes de BO envelhecido, em substituição de AP reactivos.

Nos próximos subcapítulos, descreve-se sucintamente a metodologia utilizada nas diferentes etapas e alguns resultados da 1ª fase experimental.

3.1. Descrição da metodologia

A campanha experimental divide-se em 4 fases. A 1ª corresponde ao fabrico do BO, à caracterização dos materiais de origem e à britagem do BO para produção de AR de betão. O histograma da Figura 3 indica a organização desta fase.

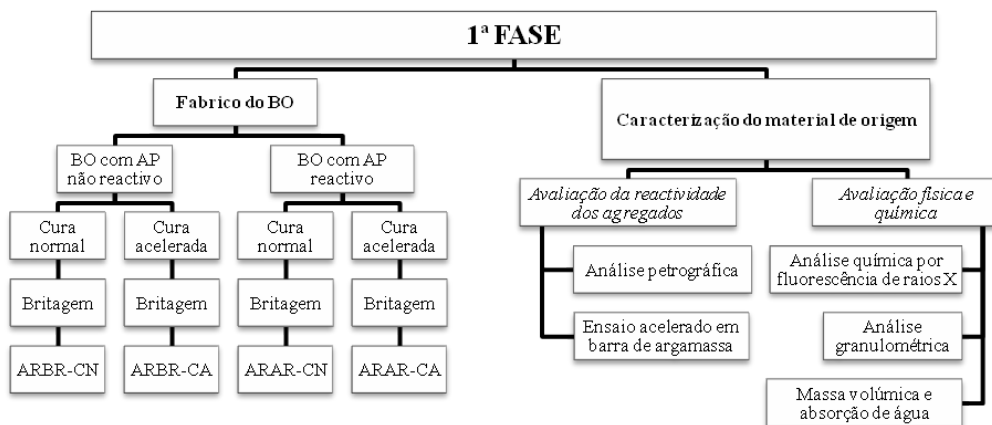


Figura 3 - Desenvolvimento da 1ª fase do trabalho experimental

Na 2ª fase, pretende-se caracterizar os AR, confrontando as propriedades destes com as dos AP originais. O estudo e a produção das diversas famílias de BAR serão os objectivos da 3ª fase. Na 4ª fase, analisa-se o comportamento dos BAR por influência das RAS através de ensaios correntes ao betão endurecido, da avaliação da estrutura porosa e da reactividade da composição de BAR e de observações da microestrutura e evolução das RAS nos BAR.

3.2. Escolha e caracterização do material de origem

A produção de AR a partir de betão de origem controlada permite condicionar os AP introduzidos na mistura. A escolha dos AP foi programada com o intuito de existir a possibilidade de trabalhar sempre com AP de características idênticas para a mistura do BO e para a mistura dos BAR.

A especificação do LNEC E461 categoriza os agregados, segundo a sua reactividade, em agregados de classe I, II e III. A classe I abrange os agregados não reactivos e as classes II e III os agregados potencialmente reactivos. Considera, porém, superior a probabilidade de ocorrerem reacções expansivas nos agregados de classe III comparativamente aos de classe II.

Neste trabalho, os AP e AR serão classificados de baixa (classe I) ou alta reactividade (classe II ou III), consoante sejam inócuos ou potencialmente reactivos.

Para estudar cenários extremos nos BAR, seleccionou-se um grupo de AP supostamente com baixa e alta reactividade, comprovada posteriormente em laboratório, que são discriminados no Quadro 1.

Quadro 1 - AP utilizados no trabalho

ID Agregado	Dimensões	Tipo	Reactividade
AGP-NR1	11/22	Brita calcária	Não reactivo
AGP-R1	10/16	Brita siliciosa	Reactivo
AGP-NR2	6/14	Brita calcária	Não reactivo
AGP-R2	4/16	Brita siliciosa	Reactivo
AFP-NR	0/4	Areia siliciosa	Não reactivo
AFP-R	0/4	Areia siliciosa	Reactivo

Para comprovar a reactividade aos álcalis de alguns dos AP avaliou-se o seu potencial reactivo através dos ensaios descritos nos próximos subcapítulos. A caracterização física e química está actualmente a ser elaborada, não existindo ainda resultados relevantes para apresentar.

3.2.1 Avaliação da reactividade dos agregados pétreos

Na avaliação da reactividade dos AP de origem, recorre-se à análise petrográfica, actualmente em preparação, e ao ensaio acelerado em barra de argamassa, metodologia proposta na especificação LNEC E 461. Segundo a especificação, os agregados são considerados inócuos, através da análise petrográfica, quando tiverem um teor em sílica reactiva inferior a 2%. Quando esta avaliação não se realizar ou o seu resultado for superior ao limite estipulado, a classificação é feita pelo ensaio acelerado em barra de argamassa. A metodologia tem algumas variantes para os granitóides.

O ensaio petrográfico, baseado na especificação LNEC E 415 pretende, através de observações visuais directas e técnicas microscópicas, detectar constituintes potencialmente reactivos aos álcalis.

O ensaio acelerado em barra de argamassa, baseado na norma ASTM C 1260 e semelhante ao ensaio RILEM AAR-2, consiste em determinar se um agregado é reactivo aos álcalis, através da expansão de 3 barras de argamassa, com dimensões 25 x 25 x 285 mm colocadas em solução de hidróxido de sódio 1M, fornecendo álcalis de um modo contínuo, e a uma temperatura de $80 \pm 1^\circ \text{C}$ (Figura 4). As barras produziram-se com 440 g de cimento, 990 g de agregado previamente britado do AP grosso numa granulometria convencionada e uma razão a/c de 0,47.

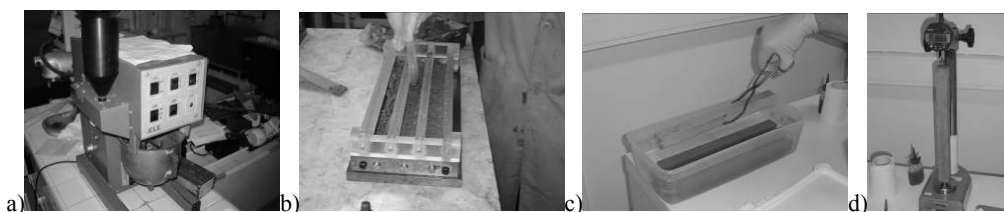


Figura 4 - Ensaio acelerado em barra de argamassa ASTM C 1260: a) mistura da argamassa; b) colocação nos moldes; c) imersão em água; d) leitura do comprimento dos provetes com deflectómetro digital

O agregado é considerado potencialmente reactivo se, após 14 dias de leituras com um deflectómetro, a expansão for superior a 0,20%. Contudo, é recomendado que o ensaio se prolongue até aos 28 dias quando os resultados, aos 14 dias, estiverem entre os 0,10 e os 0,20%. Se, nesta situação, o resultado for inferior a 0,20%, o agregado é considerado de reactividade duvidosa aos álcalis. Os ensaios aos AP foram todos prolongados por 28 dias, independentemente do resultado aos 14 dias, com o objectivo de avaliar a evolução da expansão no tempo. Nesta data, conhece-se os resultados aos 28 dias do AP grosso reactivo, estando os restantes no intervalo entre os 14 e os 28 dias.

O Quadro 2 apresenta os resultados aos 14 e 28 dias do potencial reactivo dos AP em estudo. A Figura 5 ilustra a evolução da expansão nas barras de argamassa ao longo dos 28 dias.

Quadro 2 - Avaliação da reactividade aos álcalis de agregados para betão

ID Agregado	Expansão média %		Observações
	14 dias	28 dias	
AGP-R	0,30	0,51	Pontos de geles em todos os provetes
AGP-NR	0,01	A decorrer	---
AFP-NR	0,02	A decorrer	---
AFP-R	0,06	A decorrer	Pontos de geles em todos os provetes

Como se observa, os resultados obtidos e a análise do gráfico evidenciam a potencialidade reactiva do AGP-R, com a transição aos 10 dias do valor máximo de expansão estipulado na especificação LNEC E 461. A observação de pontos de gel nos provetes após o ensaio ASTM C 1260 do agregado AFP-R, associado ao resultado da sua análise petrográfica, mostram que existe reactividade aos álcalis, embora seja do tipo lento e portanto não é detectada no ensaio ASTM C 1260. Nestes casos é recomendado que se realizem ensaios acelerados de prismas de betão de acordo com os métodos RILEM AAR-3 ou RILEM AAR-4. Na classificação determinada para este trabalho, os AGP-R e AFP-R serão assim englobados no conjunto dos AP de alta reactividade, enquanto que os AGP-NR e AFP-NR serão englobados no conjunto dos AP de baixa reactividade.

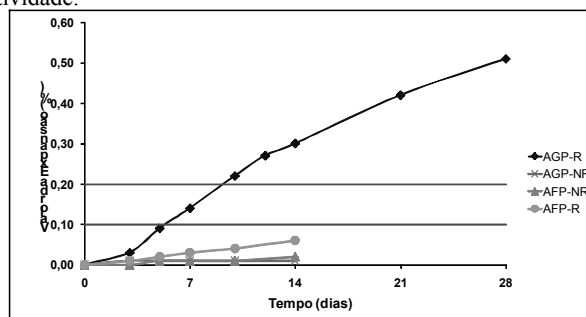


Figura 5 - Resultados do ensaio acelerado em barra de argamassa ASTM C 1260 durante 28 dias

3.3. Produção e caracterização do betão de origem

O BO foi produzido numa empresa particular através de um procedimento interno. Os dois tipos de BO, com baixa e alta reactividade, foram produzidos utilizando a mesma composição e procedimento para que a divergência entre os betões seja maioritariamente no tipo de AP aplicado.

Nesta fase, produziram-se 2 tipos de BO (tipo I e II) para, após envelhecimento e britagem, originarem diferentes AR (baixa e alta reactividade). O cimento utilizado foi do tipo CEM I 42.5R. Pretendia-se um cimento de classe intermédia, sem adições. O Quadro 3 indica o material utilizado nas 2 composições.

Quadro 3 - Material utilizado no fabrico do BO

Tipo de composição	AP grosso	AP fino	Cimento
Composição A (BO I)	AGP-NR1 + AGP-NR2	AFP-NR	CEM I 42,5R
Composição B (BO II)	AGP-R1 + AGP-R2	AFP-R	CEM I 42,5R

Durante a produção, retiraram-se diversos provetes cúbicos e cilíndricos para a caracterização física dos betões, conservados nas condições estipuladas pela NP EN 12390-2. Selecionou-se para isso o ensaio de resistência à compressão (Figura 6), segundo a NP EN 12390-3, e o ensaio de resistência à tracção por compressão diametral, segundo a NP EN 12390-6.

Com o objectivo de conhecer a susceptibilidade da mistura de agregados ou da composição de BO desenvolverem RAS, foram preparados durante o fabrico 3 prismas de cada tipo de betão com dimensões 75 x 75 x 285 mm, ilustrados também na Figura 6, para realização do ensaio de reactividade em prisma de betão segundo as recomendações da ASTM 1293, semelhante ao ensaio RILEM AAR-3. A duração do ensaio é de 12 meses, não se apresentando por isso resultados neste artigo.



Figura 6 - Ensaio de caracterização do BO: a) provetes para ensaio de compressão e tracção; b) provetes para ensaio de observação das RAS em prisma de betão; b) exemplo do ensaio de compressão

Efectuaram-se, para os 2 testes, ensaios a 3 provetes aos 28 dias por cada tipo de BO. O Quadro 4 apresenta os resultados dos ensaios enunciados.

Quadro 4 - Resultados do ensaio de compressão e de tracção por compressão diametral

ID Provetes	Idade	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO				RESISTÊNCIA À TRACÇÃO			
		Massa (g)	Força (kN)	f_c (MPa)	f_{cm} (MPa)	Massa (g)	Força (kN)	f_{ct} (MPa)	f_{ctm} (MPa)
BOI - A	28	8453	1137	50,53		13190	239,7	3,39	
BOI - B	28	8637	1326	58,93	54,96	13364	213,4	3,02	3,35
BOI - C	28	8545	1247	55,42		13189	256,5	3,63	
BOII - A	28	8460	1457	64,76		12835	226,6	3,21	
BOII - B	28	8600	1478	65,69	64,81	12821	231,4	3,27	3,26
BOII - C	28	8397	1440	64,00		12965	232,8	3,29	

Os resultados acusam alguma diferença na resistência média à compressão dos tipos de betão. O BOI apresenta uma resistência média à compressão de 55 MPa e o BOII de 65 MPa. Esta diferença é provavelmente justificada pela utilização na composição dos betões de iguais quantidades de material, mas diferentes tipos de agregados. Pretende-se com esta metodologia não introduzir disparidades nas quantidades de álcalis, de fonte directa, nos BO.

Uma vez que os AR reactivos e não reactivos, provenientes do BOI e II, não serão introduzidos no mesmo BAR, esta diferença não é relevante para o trabalho futuro.

Actualmente, uma parte do BO, dos dois tipos, está numa câmara climática do tipo *walk-in* nos Laboratórios de Construção da Universidade da Beira Interior para um envelhecimento acelerado que permita simular alguns anos do betão nas estruturas, enquanto que outra está ao ar livre, simulando o envelhecimento natural de blocos de betão (Figura 7). Pretende-se com esta metodologia criar 2 grupos de betão, cada um constituído por 2 tipos de BO (tipo I e II), diferenciados pelas condições do envelhecimento.



Figura 7 - a) b) Aspecto da câmara climática com os blocos de betão, protegidos por um plástico para minimizar a lixiviação; c) aspecto do armazenamento dos blocos ao ar livre, simulando uma exposição natural

O envelhecimento acelerado em câmara climática está a decorrer com uma temperatura de 38 ± 2 °C e humidade relativa superior a 95%. Estes valores baseiam-se nas recomendações da RILEM AAR-3, sobre as condições de envelhecimento de prismas de betão para avaliação do desenvolvimento de RAS.

4 Conclusões

O estado da arte revela, em trabalhos experimentais, algumas observações a considerar para as metodologias de avaliação da reactividade. Exemplo disso é o ensaio acelerado em barra de argamassa, devido à descaracterização dos AR na preparação dos provetes, ou os cuidados na preparação dos AR para ensaios de expansão, devido à sua absorção de água.

A 1ª fase da campanha experimental, descrita no artigo, termina com a britagem do BO e produção de AR grossos provenientes de BO com envelhecimento normal ou acelerado e de baixa ou alta reactividade. Os blocos de betão serão britados, através de um britador de maxilas, no Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico.

Agradecimentos

Agradece-se o apoio da Cimpor, em especial ao Eng.º Pedro Marques; da Geofer, em especial à Eng.ª Sofia e ao Sr. Abel; da Universidade da Beira Interior, em especial ao Professor Luiz Oliveira e ao Sr. Albino; e do LNEC, em especial à equipa de técnicos dos ensaios de reactividade.

Referências

- [1] Santos Silva, A., “*Reacções expansivas no betão*”, Seminário “Em ambiente marinho”, Funchal, 2007.
- [2] Pecchio, M.; Kihara, Y.; Battagin, A. F.; Andrade T., “*Produtos da reacção álcalis-silicato em concretos de edificações da região do Grande Recife - PE*”, II Simpósio sobre Reacção Álcalis-agregado em Estruturas de Concreto, RAA 2006, IBRACON, 2006, CD-ROM.
- [3] Brito, J. de, “*Agregados reciclados e sua influência nas propriedades dos betões*”, Lição de Síntese de Agregação em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Março, 2005.
- [4] Gottfredsen, F. R.; Thøgersen, F., “*Recycling of concrete in aggressive environment*”, Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Odense, Denmark, 24–27 October, 1993, pp. 309-317.
- [5] Stark, D., “*The use of recycled-concrete aggregate from concrete exhibiting alkali-silica reactivity*”, Research and Development Bulletin RD113, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1996.
- [6] Scott, H. C.; Gress, D. L. “*Mitigating alkali silica reaction in recycled concrete*”, Recycling Concrete and Other Materials for Sustainable development, ACI SP-219, American Concrete Institute, Michigan, 2004, pp. 61-76.
- [7] Li, Xinghe, “*Mitigating alkali silica reactions in recycled concrete*”, Doctoral Thesis in Civil Engineering, University of New Hampshire, December, 2005.
- [8] Scott, H. C., “*Mitigating alkali silicate reaction in recycled concrete*”, Master Thesis in Civil Engineering, University of New Hampshire, March, 2006.
- [9] Shehata, M.; Christidis, C.; Mikhail, W.; Rogers, C.; Lachemi, M., “*Reactivity of reclaimed concrete aggregate produced from concrete affected by alkali silica reaction*”, 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Trondheim, Norway, 2008, pp. 1230-1239.
- [10] Desmyter, J.; Blockmans, S., “*Evaluation of different measures to reduce the risk of alkali silica reaction in recycled aggregate concrete*”, 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Quebec City, QC, Canada, June, 2000, pp. 603-612.
- [11] Larrañaga, M. Etxeberria, “*Experimental study on microstructure and structural behaviour of recycled aggregate concrete*”, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade Politécnica da Catalunha, Barcelona, Março, 2004.
- [12] Calder, A. J. J.; McKenzie, M., “*The susceptibility of recycled concrete aggregate to alkali silica reaction*”, Published Project Report PPR037, Transport Research Laboratory, UK, 2005.
- [13] Dhir, R. K.; McCarthy, M. J.; Halliday, J.E.; Tang, M.C., “*ASR guidance on recycled aggregates - Guidance on alkali limits and reactivity*”, DTI/WRAP Aggregates Research Programme STBF 13/14C, The Waste and Resources Action Programme, UK, May, 2005.
- [14] Gress, D. L.; Kozikowski, R. L. “*Accelerated ASR testing of concrete prisms incorporating recycled concrete aggregate*”, 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Quebec City, QC, Canada, June, 2000, pp. 1139-1148.