



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Influência de adições na mitigação da reacção álcalis-sílica (RAS) em betão com agregados reciclados

Duarte Miguel Figueira Pereira Fernandes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Luiz António Pereira de Oliveira
Co-orientador: Eng. Miguel Filipe Barreto dos Santos

Covilhã, Junho de 2011

Resumo

Os agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição são, cada vez mais, considerados uma possível fonte alternativa de matéria-prima a ser reutilizada na indústria da construção civil. A sua incorporação em produtos como o betão tem sido âmbito de diversos trabalhos de investigação.

Incentivando esse processo com contribuições científicas para o seu fortalecimento, esta dissertação apresenta um estudo sobre a problemática das reacções expansivas álcalis-agregado em betões com incorporação de agregados reciclados. As reacções álcalis-agregado podem provocar comportamentos deletérios nos betões, identificados por níveis elevados de expansão.

O principal objectivo deste trabalho é a viabilização do uso de agregados grossos reciclados de betão, suspeitos de serem reactivos aos álcalis, como agregados na confecção de betão. Estudou-se para isso a influência de algumas adições na mitigação das reacções expansivas citadas, em betões com agregados reciclados. Para identificar o nível de expansibilidade de betões com agregados reciclados potencialmente reactivos desenvolveu-se, numa primeira fase, um estudo experimental em argamassas através do método ASTM C1260 (ensaio acelerado em barra de argamassa), e do método CMBT (ensaio acelerado em barra de betão adaptada com 40 x 40 x 160 mm).

Numa segunda fase, os ensaios de expansão foram realizados em betões com 100% de agregados grossos reciclados com incorporação de metacaulino e de pozolana de vidro como mitigadores. Utilizaram-se percentagens de incorporação de 20%, 40% e 60%, de cada mitigador para cada mistura. Para cada mitigador utilizado, variou-se a percentagem de agregados grossos reciclados de 100%. Os corpos-de-prova de betões foram ensaiados pelo método CMBT, durante 30 dias.

Os resultados dos ensaios em barra de argamassa mostraram-se opostos em função do método utilizado. Ou seja, agregados considerados inócuos pelo método do “prisma adaptado” foram considerados reactivos pelo método ASTM, se a expansão de 0,10% aos 16 dias for adoptada como limite para ambos os métodos.

Nos ensaios ao betão com agregados reciclados realizados pelo método CMBT, as expansões dos betões foram quase insignificantes, concluindo-se assim que a adição de pozolana de vidro ou de metacaulino tiveram um efeito mitigador importante no desenvolvimento da reacção álcalis-agregado.

Palavras - chave

reação álcalis-agregado, betão, agregados reciclados, expansão, mitigadores

Abstract

The recycled aggregates, ignored by the construction industry are, increasingly, to be seen as an alternative source of raw material to be reused in this sector. The incorporation of this material in products, such as concrete, has been subject of many researches.

Thus, who encouraging this process and providing a scientific basis for their empowerment, this paper presents a study whose are enable the use of recycled aggregates suspected of being reactive with alkalis, such as coarse aggregates in the manufacture of concrete. The alkaline reactivity may cause harmful behavior in concrete, identified by high levels of expansion.

The first aim of this paper is to make possible the use of recycled coarse aggregates in concrete, that possibly are reactive to the alkalis, as aggregated in the production of concrete. Therefore, we studied the influence of some addictions in mitigation of the mentioned expansive reactions, in concrete with recycled aggregates. Having in mind the identification of the level of expansibility of concrete with recycled aggregates potentially reactive, we developed, in a first phase, an experimental study in mortars using the method ASTM C1260 (accelerated test in mortars bars), and the method CMBT (accelerated test in adapted concrete with 40 x 40 x 160 mm).

In a second phase, scalability tests were performed on concrete with 100% recycled coarse aggregates and mitigation, such as the pozzolan and metakaolin, with percentages of incorporation 20%, 40%, 60% of each mitigators for each mixture used for each mitigator varied the percentage of recycled coarse aggregates in 100%. The bodies of the test piece of concrete were tested according CMBT test for 30 days.

The results of the tests in mortars bars showed some opposition, namely , aggregates considered as harmless by the method “prism adapted”, where considered reactive by the ASTM test, if the expansion of 0,10% for 16 days was adopted as the limit for both methods.

The test on concrete made by the CMBT method showed that the expansions of the concrete were insignificant, so we conclude that the addition of pozzolan and metakaolin had a significant mitigation effect in alkali-aggregate reaction development.

Keywords

Alkali-aggregate reaction, concrete, recycled aggregates, expansion, mitigating

Índice

Resumo	iii
Abstract	vi
Índice	ix
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xvi
Lista de abreviaturas	xviii

Capítulo I

1- Introdução	1
1.1- Considerações gerais	1
1.2- Relevância do tema	2
1.3- Objectivos	2
1.4- Estruturas da dissertação	3

Capítulo II

2- Reacção Álcalis-agregado	4
2.1- Introdução	4
2.2- Reacção Álcalis-Sílica	5
2.2.1- Factores necessários para a ocorrência da reacção	5
2.2.1.1- Os Álcalis	5
2.2.1.2- A Sílica	10
2.2.2- Factores que influenciam a reacção	15
2.2.2.1- A Humidade	15
2.2.2.2- A Temperatura	16
2.2.2.3- Fontes externas de álcalis	17
2.3- Reacção Álcalis-Sílica-Silicato	18
2.4- Reacção Álcalis-Carbonato	19
2.5- Avaliação da reactividade potencial aos álcalis	19
2.5.1- Ensaios	19
2.5.1.1- Ensaio de expansão das barras de argamassa	21
2.5.1.2- Ensaio acelerado da barra de argamassa	22
2.5.1.3- Ensaio do prisma de betão	24

2.5.1.4- Ensaio CMBT (Concrete Microbar Test)	25
---	----

Capítulo III

3- Reacção álcalis-sílica em betões	27
3.1- Introdução	27
3.2- Reacção álcalis-sílica em betões convencionais	27
3.2.1- Efeitos estruturais devido a reacção álcalis-sílica	28
3.3- Reacção álcalis-sílica em betões com agregados reciclados	29
3.4- Conclusão	31

Capítulo IV

4- Programa experimental	33
4.1- Introdução	33
4.2- Características dos materiais usados	33
4.2.1- Cimento	33
4.2.2- Pozolana de vidro	34
4.2.3- Metacaulino	34
4.2.4- Agregados grossos e agregados finos	35
4.3- Misturas estudadas	37
4.3.1- Procedimento para a preparação dos ensaios e suas leituras	38
4.4- Metodologias de avaliação da reacção álcalis-sílica	40
4.4.1- Ensaio ASTM C 1260/94	40
4.4.2- Ensaio adoptado com prisma 40x40x160 mm	41

Capítulo V

5- Resultados e discussões	42
5.1- Resultados obtidos pelo método ASTM C 1260	42
5.2- Resultados obtidos com o método adaptado ao prisma 40x40x160 mm	47
5.3- Resultados obtidos para composição de betão, método CMBT	54

Capítulo VI

6- Conclusões	59
---------------	----

Capítulo VII

7- Recomendações para estudos futuros

61

Bibliografia

62

Lista de Figuras

Fig. 1 - Concentração de iões na solução dos poros do cimento ao longo do tempo de cura	6
Fig. 2 - Tetraedro de sílica	10
Fig. 3 - Sílica cristalina e sílica amorfa	11
Fig. 4 - Estrutura de sílica no plano, com a superfície não hidratada	11
Fig. 5 - Estrutura de sílica no plano, com a superfície hidratada	12
Fig. 6 - Influência na expansão da quantidade de agregado reactivo	13
Fig. 7 - Moldes para prismas de argamassa	21
Fig. 8 - Reacção álcalis-sílica reactiva. Estados de alteração de quartzo-filoneano em gel (1 a 4)	28
Fig. 9 - Esq: Recipientes cerâmicos de moagem da pozolana de vidro Drt: Máquina onde se colocam os recipientes para moagem	34
Fig. 10 - Esq: Agregados grossos graníticos Drt: Agregados grossos reactivos	36
Fig. 11 - Representação esquemática dos moldes das barras prismáticas	40
Fig. 12 - Corpos-de-prova das barras prismáticas (40x40x160 mm)	41
Fig. 13 - Resultados médios de expansão obtidos pelo método ASTM	42
Fig. 14 - Resultados de expansão obtidos pelo método ASTM com argamassa de referência (agregado granítico britado)	44
Fig. 15 - Resultados de expansão obtidos pelo método ASTM em argamassas com agregado reactivo britado	45
Fig. 16 - Resultados de expansão obtidos pelo método ASTM em argamassas com agregado fino reciclado	46
Fig. 17 - Resultados de expansão obtidos pelo método ASTM em argamassas com agregados grossos reactivos reciclados	47
Fig. 18 - Resultados médios de expansão obtidos pelo método Prisma adaptado	48
Fig. 19 - Resultados de expansão obtidos pelo método Prisma adaptado com argamassa de referência (agregado granítico britado)	49
Fig. 20 - Resultados de expansão obtidos pelo método Prisma adaptado em argamassas com agregado reactivo britado	50
Fig. 21 - Resultados de expansão obtidos pelo método Prisma adaptado em argamassas com agregado fino reciclado	51
Fig. 22 - Resultados de expansão obtidos pelo método Prisma adaptado em argamassas com agregados grossos reactivos reciclados	52
Fig. 23 - Resultados da comparação entre expansões para argamassas de referência para os dois métodos de ensaio (comparação entre os corpos-de-prova 25x25x285	53

com 40x40x160 mm)

- Fig. 24 - Resultados médios de expansão dos corpos-de-prova de betão referência, pelo método do CMBT 54
- Fig. 25 - Resultados médios de expansão dos corpos-de-prova de betão reciclado (Pozolana de vidro) com 100% de agregados grossos reactivos reciclados, pelo método do CMBT 55
- Fig. 26 - Resultados médios de expansão dos corpos-de-prova de betão reciclado (Metacaulino) com 100% de agregados grossos reactivos reciclados, pelo método do CMBT 56
- Fig. 27 - Resultados de expansão dos corpos-de-prova de betão reciclado com 20% (Pozolana de vidro e Metacaulino) com 100% de agregados grossos reactivos reciclados e betão referência com agregados grossos reactivos reciclados, pelo método CMBT 57
- Fig. 28 - Resultados de expansão dos corpos-de-prova de betão reciclado com 60% (Pozolana de vidro e Metacaulino) com 100% de agregados grossos reactivos reciclados e betão referência com agregados grossos reactivos reciclados, pelo método CMBT 58

Lista de Tabelas

Tab. 1 - Composição do metacaulino	35
Tab. 2 - Graduação requerida do agregado	36
Tab. 3 - Misturas de argamassas para o ensaio ASTM C 1260 (em g)	37
Tab. 4 - Fracções granulométricas na composição dos agregados finos	37
Tab. 5 - Misturas de betões com agregados reciclados (metacaulino-MK e pozolana de vidro-GL) (em g)	38

Lista de Acrónimos

GL - pozolana de vidro

LNEC - laboratório nacional de engenharia cível

MK - metacaulino

NBR - normas brasileiras

NF - normas francesas

NP - normas portuguesas

RAA - reacção álcalis-agregado

RAS - reacção álcalis-silica

