

Avaliação da reatividade aos álcalis de agregados vulcânicos do arquipélago dos Açores

Sara Medeiros¹ **António S. Silva²** **Isabel Fernandes³**
Vittorio Zanon¹ **João C. Nunes¹** **Vidália Miranda⁴**
Violeta Ramos³ **Dora Soares²**

RESUMO

No arquipélago dos Açores, as rochas vulcânicas, essencialmente as de natureza basáltica, têm sido amplamente utilizadas como agregados no fabrico do betão. É conhecida a ocorrência de estruturas degradadas por reações álcalis-silica (RAS) em vários países em que foram utilizados agregados vulcânicos, nomeadamente Japão, Islândia e Turquia. Nos Açores só é conhecido um caso de uma estrutura degradada por RAS na ilha de Santa Maria.

De modo a conhecer a realidade açoriana nesta temática foi lançado um programa de investigação que visa, além da caracterização da reatividade aos álcalis dos agregados para betão, a análise de estruturas em que se suspeite da existência da RAS. Neste trabalho apresentam-se os primeiros resultados da caracterização da reatividade aos álcalis de agregados vulcânicos provenientes de 4 ilhas do arquipélago dos Açores.

A avaliação da reatividade dos agregados foi realizada através de análise petrográfica e de ensaios de expansibilidade em laboratório, complementados por análise química de rocha e ensaios químicos para avaliação do teor de sílica.

A reatividade aos álcalis neste tipo de rochas está, em geral, associada à presença de vidro vulcânico e microcristalino, constituintes que foram identificados em alguns dos agregados estudados.

Os resultados refletem a necessidade da tomada de medidas mitigadoras para evitar a ocorrência de RAS em novas construções e o seu diagnóstico atempado em obras de arte e outras estruturas vitais para a economia dos Açores.

Palavras-chave: betão, RAS, agregados vulcânicos, Açores, ensaios de reatividade aos álcalis.

1. INTRODUÇÃO

O betão é um material de construção amplamente utilizado a nível mundial, sendo aplicado em diversos tipos de obras de diferentes complexidades. De entre os constituintes destacam-se os agregados, que representam o componente maioritário, desempenhando um papel fundamental na qualidade do betão e consequentemente na sua durabilidade.

¹ Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, Ponta Delgada, Portugal. samedeiros@uac.pt; Vittorio.VZ.Zanon@azores.gov.pt; jcnunes@uac.pt

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal. ssilva@lnec.pt; dsoares@lnec.pt

³ Universidade do Porto, DGAOT/Centro de Geologia, Porto, Portugal. ifernand@fc.up.pt; violetaramos@fc.up.pt

⁴ Laboratório Regional de Engenharia Civil, Ponta Delgada, Portugal. vidalia.mc.miranda@azores.gov.pt

Entre as muitas causas de deterioração que afetam o betão salientam-se neste trabalho as reações álcalis-silica (RAS). Estas são reações químicas expansivas que originam expansão e fissuração no betão, comprometendo a qualidade e o tempo de vida útil das estruturas.

Os agregados utilizados nos Açores são essencialmente rochas vulcânicas de natureza básica, como os basaltos, elemento fundamental na construção civil e obras públicas regionais.

As rochas vulcânicas têm sido usadas como agregados em países como o Japão, Islândia, Turquia e Nova Zelândia onde se tem verificado a existência de fenómenos de deterioração do betão por RAS associadas a esse tipo de agregados. Em Portugal existe apenas reportado um caso de deterioração por RAS associada a basaltos, nas lajes de betão da pista do aeroporto de Santa Maria, cuja deterioração era visível através de fenómenos de fendilhação.

Esta temática afigura-se de grande interesse para a região dos Açores, onde o aumento assinalável no mercado da construção tem levado, na última década, à construção de um número significativo de edifícios e de infra-estruturas de betão. Em 2011 destacam-se as obras das SCUT's na ilha de São Miguel, com a construção dos eixos Sul e Norte, que correspondem ao troço entre Lagoa e Vila Franca do Campo e entre Ribeira Grande e Nordeste, respetivamente. Estas obras contemplam várias obras de arte, pontes e viadutos, cuja qualidade construtiva e durabilidade importa conhecer e assegurar. Para além destas é de referir o empreendimento das Portas do Mar em Ponta Delgada, inaugurado em 2008, que inclui um terminal marítimo de cruzeiros, uma marina de recreio e galerias comerciais.

Importa referir que uma das principais preocupações relativamente à RAS consiste na identificação de agregados potencialmente reativos antes destes serem utilizados no fabrico do betão, prevenindo deste modo futuras deteriorações. Diversos autores [1-15] têm constatado que as formas de sílica potencialmente reativas em rochas vulcânicas incluem, entre outras, a cristobalite, a tridimite e o vidro vulcânico.

Na presente comunicação apresentam-se algumas considerações referentes à temática da RAS a nível regional e internacional, bem como os primeiros resultados efectuados em agregados provenientes de 4 ilhas açorianas.

2. ENQUADRAMENTO GERAL

O arquipélago dos Açores situa-se no Atlântico Norte, a cerca de 1600 km de Portugal Continental. É constituído por 9 ilhas e alguns ilhéus de origem vulcânica que se estendem por uma faixa com cerca de 600 km de extensão, de orientação geral WNW-ESE. As ilhas encontram-se distribuídas geograficamente em 3 grupos: (1) Grupo Ocidental composto pelas ilhas das Flores e do Corvo; (2) Grupo Central que integra as ilhas do Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Terceira e pelo (3) Grupo Oriental englobando as ilhas de São Miguel e Santa Maria e os ilhéus das Formigas (Fig. 1).

De um modo geral, a paisagem açoriana é caracterizada por 27 sistemas vulcânicos, que incluem 16 grandes edifícios vulcânicos (e.g. vulcões poligenéticos, na sua maioria siliciosos e com caldeira) e 11 zonas de vulcanismo fissural basáltico. Estes sistemas vulcânicos integram um total de cerca de 1750 vulcões monogenéticos, de menor dimensão (designadamente cones de escórias/bagacina, domos, *coulées*, cones surtseianos, anéis de tufos e *maars*), dispersos quer pelos flancos e interior das depressões implantadas no topo dos vulcões poligenéticos, quer pelas cordilheiras vulcânicas e campos de cones de escórias que constituem aquelas zonas de vulcanismo fissural. As ilhas dos Açores são todas de natureza vulcânica, sendo constituídas por produtos vulcânicos associadas a erupções de magmas ácidos, básicos e intermédios (terrestres e submarinas), incluindo escoadas lávicas basálticas *s.l.* e traquíticas *s.l.*, depósitos piroclásticos pomíticos e de escórias, tufos hialoclastíticos, *lahars* (depósitos de enxurrada) e ignimbritos.

De acordo com os dados obtidos nos projetos de prospeção e avaliação de recursos minerais dos Açores [16,17], existem 572 pedreiras nos Açores, das quais 370 são em escórias basálticas *s.l.* (bagacina), 125 são em escoadas lávicas e 108 são em tufos vulcânicos ou outros materiais detríticos. Apesar disso, atualmente, as principais pedreiras produtoras de agregados para betões são exclusivamente em escoadas basálticas *s.l.* e resumem-se a cerca de 25 explorações nas diferentes ilhas dos Açores (aproximadamente 5% do total).

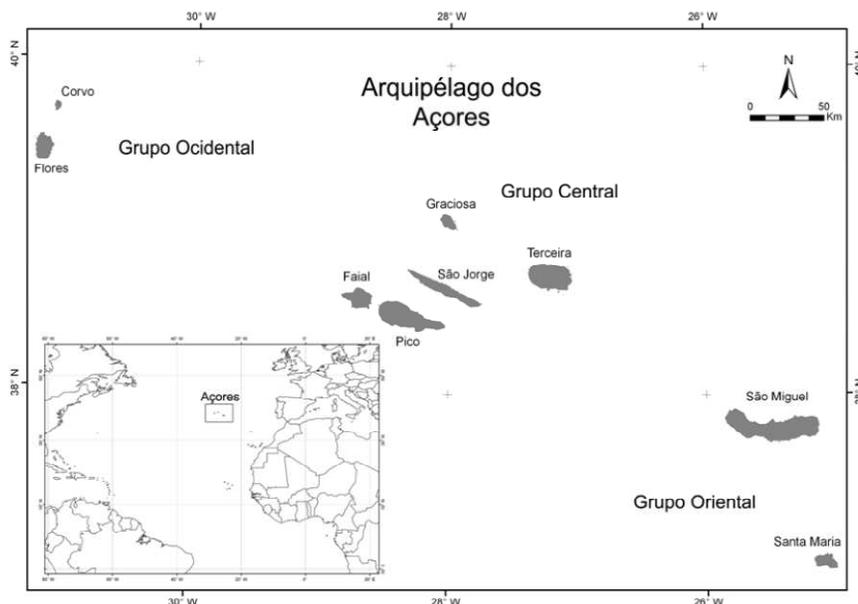


Figura 1. Enquadramento geográfico do arquipélago dos Açores.

3. AGREGADOS VULCÂNICOS NO MUNDO

Em países como o Brasil, China, Islândia, Japão, Nova Zelândia e Turquia têm sido identificados processos de deterioração relacionados com a utilização de agregados vulcânicos potencialmente reativos aos álcalis.

No Brasil há referência ao uso de agregados basálticos em diversas construções, sendo o vidro vulcânico, a calcedónia, a cristobalite, a opala e minerais de alteração, as formas de sílica consideradas potencialmente reativas [1,2].

Na China têm sido detetadas algumas construções afectadas por RAS como pontes, caminhos-de-ferro e pavimentos de aeroporto [3]. De entre os vários agregados chineses utilizados destacam-se os basaltos cujo componente reativo é a calcedónia [4].

Na Islândia a maior parte dos agregados utilizados para o fabrico de betão são provenientes de rochas vulcânicas, essencialmente de natureza basáltica, algumas das quais apresentam reatividade aos álcalis [5]. De acordo com Guðmundsson e Ólafsson [6], a reatividade dos agregados vulcânicos é derivada de: (1) material riolítico presente em grande quantidade, (2) basaltos alterados e (3) material dragado utilizado sem lavagem. Katayama *et al.* [5] referem a presença de areia basáltica considerada reativa sendo a reatividade atribuída à calcedónia e à opala, em conjugação com cristobalite e vidro riolítico.

Desde a década de 80 que no Japão têm sido reportadas diversas estruturas de betão afetadas por RAS [7,8]. De acordo com Wakizaka [7], os ensaios laboratoriais (químico e barra de argamassa) efetuados em algumas rochas vulcânicas, entre as quais o basalto e o andesito (maior fonte de agregados vulcânicos segundo Katayama e Kaneshige [9], demonstraram ser reativas, o que é coincidente com o

desempenho desses agregados em obra. Nas rochas vulcânicas japonesas as espécies consideradas reativas são cristobalite, tridimite e vidro vulcânico.

Na Nova Zelândia são utilizados agregados vulcânicos, como basaltos, andesitos, dacitos e riolitos. De um modo geral, os basaltos são considerados inócuos e com tendência para serem subsaturados em sílica. No entanto, a revisão de um relatório técnico [10], financiado pela *Cement and Concrete Association of New Zealand* em parceria com *New Zealand Ready Mixed Concrete Association e Winstone Aggregates*, identifica o basalto como um dos agregados vulcânicos potencialmente reativos.

Na Turquia têm igualmente sido utilizados agregados vulcânicos oriundos de diferentes regiões, tendo alguns destes agregados sido considerados potencialmente reativos de acordo com resultados obtidos pelo ensaio de expansão ASTM C 1260 [11,12,13]. Os mesmos autores referem que os agregados vulcânicos considerados reativos possuem um carácter ácido a intermédio, bem como vidro vulcânico na matriz.

Em Portugal, no final da década de 80, o LNEC efetuou o primeiro estudo referente a agregados vulcânicos utilizados no betão do pavimento da pista do aeroporto da ilha de Santa Maria, nos Açores. Verificou-se que para a construção da respetiva pista foram utilizados agregados basálticos provenientes de uma pedreira local. O estudo efetuado pelo LNEC permitiu concluir que a deterioração do pavimento de betão terá resultado dum processo complexo que envolveu a ocorrência de reações álcalis-agregado expansivas associadas ao estado de alteração dos agregados basálticos utilizados. No mesmo estudo é referido que os fenómenos expansivos deveram-se à contribuição de dois processos: (1) absorção de água por parte dos minerais de alteração presentes nos agregados basálticos utilizados, tais como montmorilonites e zeólitos, e o (2) ataque de sulfatos provenientes da água do mar transportada pela chuva e pelo vento até à área afetada [14].

Mais recentemente foi elaborado um estudo por Medeiros [15], cujos objetivos principais consistiram na avaliação da reatividade aos álcalis de agregados açorianos e na identificação dos potencialmente reativos. A avaliação da reatividade realizada, e que é objeto de abordagem complementar no âmbito do presente trabalho, envolveu 5 pedreiras dispersas por 4 ilhas açorianas tendo sido realizada, principalmente, a caracterização petrográfica das diferentes amostras, e complementarmente ensaios químicos e de expansão.

O estudo da reatividade aos álcalis em agregados vulcânicos dos Açores terá continuidade e será alargado a todo o arquipélago no contexto do Projeto ReAVA – *Caracterização da Reatividade Potencial de Agregados Vulcânicos do Arquipélago dos Açores: Implicações na Durabilidade do Betão*, recentemente aprovado pelo Governo dos Açores (Secretaria Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos) e co-financiado pelo Programa PROCONVERGÊNCIA (União Europeia – FEDER), e com o apoio do projeto IMPROVE - *Melhoria do desempenho de agregados para a inibição das reacções álcalis-agregado no betão*, com co-financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia.

4. MATERIAIS E MÉTODOS DE ENSAIO

4.1 Materiais

As amostras de agregados são provenientes de 5 pedreiras distribuídas pelas ilhas de Santa Maria (SMA-SM1), São Miguel (SMG-SM1), Terceira (TER-SM1 e TER-SM2) e Graciosa (GRA-SM1). Refira-se que na ilha Terceira foram recolhidas amostras em 2 pedreiras, em virtude de existirem diferentes litologias a serem exploradas para o fabrico de betão.

4.2 Métodos de ensaio

Os métodos de ensaio selecionados incluíram: (1) análise química de rocha, (2) exame petrográfico, (3) ensaio químico de acordo com a norma ASTM C 289 [18], (4) ensaio acelerado de expansão de

barras de argamassa de acordo com a norma ASTM C 1260 [11], e ensaio de expansão de betão de acordo com os métodos RILEM AAR-3 e AAR 4.1 [19,20]. Os ensaios de expansão foram apenas realizados para a amostra SMG-SM1. Foram ainda realizados ensaios complementares nas amostras SMA-SM1 e TER-SM1, que incluíram a sua observação ao microscópio eletrónico de varrimento com microanálise de raios X por dispersão de energias (MEV/EDS).

O exame petrográfico incluiu: uma análise macroscópica às amostras de mão, com recurso a lupa binocular, e uma análise microscópica em lâmina delgada de todas as amostras, com recurso a microscópio ótico de polarização (Nikon Eclipse E200 Pol, plus Zeiss MRc5 camera). Algumas lâminas polidas de SMA-SM1 e TER-SM1 foram ainda preparadas para observação ao MEV (JEOL JSM-6301F) equipado com um EDS (NORAN-VOYAGER).

As análises químicas das rochas foram efetuadas pelo Laboratório *ActLabs*, no Canadá. O cálculo dos elementos maiores foi realizado pelo método *fusion-inductively coupled plasma (FUS-ICP: Thermo Jarrell-Ash ENVIRO II ICP)*. Como complemento foi ainda realizado o cálculo da composição normativa das amostras, de acordo com a norma CIPW (método de cálculo dos minerais normativos concebido em 1903 por 4 petrólogos americanos: Cross, Iddings, Pirsson e Washington).

Os ensaios químicos pela norma ASTM C 289 [18] foram realizados no Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. As amostras foram reduzidas à dimensão necessária para a realização do ensaio, através de dois moínhos: de maxilas e de martelos. A dimensão da amostra usada no ensaio corresponde à fração passada no peneiro 0,30 mm e retida no peneiro 0,15 mm da série ASTM. Uma amostra representativa do agregado foi posteriormente colocada num recipiente com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH 1N) durante 24 horas a 80°C. Os valores obtidos foram projetados num gráfico semilogarítmico em que no eixo das abcissas está representada a sílica dissolvida e no eixo das ordenadas a redução da alcalinidade, ambas em milimoles por litro (mmol/l). Neste gráfico são representadas três linhas que definem as zonas onde os agregados são considerados inócuos, potencialmente reativos ou reativos. De acordo com os limites definidos na norma, considera-se um agregado reativo quando a sílica dissolvida ultrapassa o valor de 30 mmol/litro e redução de alcalinidade é menor que 75 mmol/litro.

Apenas para a amostra SMG-SM1 foram ainda efetuados ensaios de expansibilidade em laboratório, nomeadamente: (1) o ensaio acelerado da barra de argamassa (14 ou 28 dias) segundo a norma ASTM C 1260 (80°C) [11], (2) o ensaio acelerado de prismas de betão (duração de 20 semanas) de acordo com o método RILEM AAR-4.1 (60°C) [20], e (3) o ensaio do prisma de betão (duração de 1 ano) segundo o método RILEM AAR-3 (38°C) [19]. Para o ensaio de argamassa utilizou-se um cimento CEM I 42.5 R, com 0,86% de teor de álcalis, expresso em sódio equivalente ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{equiv}} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \times \text{K}_2\text{O}$), uma razão agregado/ligante de 2,25 e uma razão água/ligante de 0,47. Para os ensaios de betão utilizou-se um cimento do mesmotipo, embora com um teor em álcalis ligeiramente superior ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{equiv}} = 0,89\%$), uma razão agregado/ligante de 4,0 e uma razão água/ligante de 0,45. No ensaio ASTM C 1260 o agregado é considerado não reativo se a expansão aos 14 dias for inferior a 0,10%, potencialmente reativo se a expansão se situar entre 0,10% a 0,20% e reativo se a expansão for superior a 0,20%. Relativamente ao ensaio RILEM AAR-4.1 o agregado é considerado reativo se o valor da expansão às 12 semanas ultrapassar os 0,02% [23]. No entanto, os valores apontados pelos *The EU "Partner" Project* sugerem que este limite possa ser diferente (0,03% às 20 semanas) [21]. Quanto ao ensaio RILEM AAR-3 o agregado é considerado reativo se a expansão exceder os 0,05% a 1 ano [21,22].

5. RESULTADOS

O exame petrográfico mostrou, com exceção das amostras SMG-SM1 (vidro vulcânico) e TER-SM1 (sílica intersticial), a inexistência de formas de sílica consideradas reativas aos álcalis. De referir, que segundo a Especificação LNEC E 461 [23] agregados com formas de sílica reativas em teor superior a

2% são considerados de potencialmente reativos aos álcalis. No Quadro 1 apresentam-se algumas características petrográficas das amostras, e na Figura 2 os diferentes minerais e texturas das amostras estudadas.

Quadro 1. Características petrográficas das amostras

<i>Amostra</i>	<i>Ilha</i>	<i>Classificação*</i>	<i>Paragénese¹</i>	<i>Notas¹</i>
SMA-SM1	Santa Maria	Basanita	ol+cpx+pl+op	Olivina iddingsitizada
SMG-SM1	São Miguel	Traquibasalto	ol+cpx+pl+op	Xenocristal de qz e vidro vulcânico
TER-SM1	Terceira	Traquito	f+ne+ae	Sílica intersticial (como qz)
TER-SM2	Terceira	Basalto	ol+cpx+pl	-
GRA-SM1	Graciosa	Traquibasalto	ol+pl+op	-

*De acordo com Le Maitre *et al.* [24]

¹ ol: olivina; cpx clinopiroxena; ae: aegirina; pl: plagioclase; op: opacos; f: feldspatos; ne: nefelina; qz:quartzo.

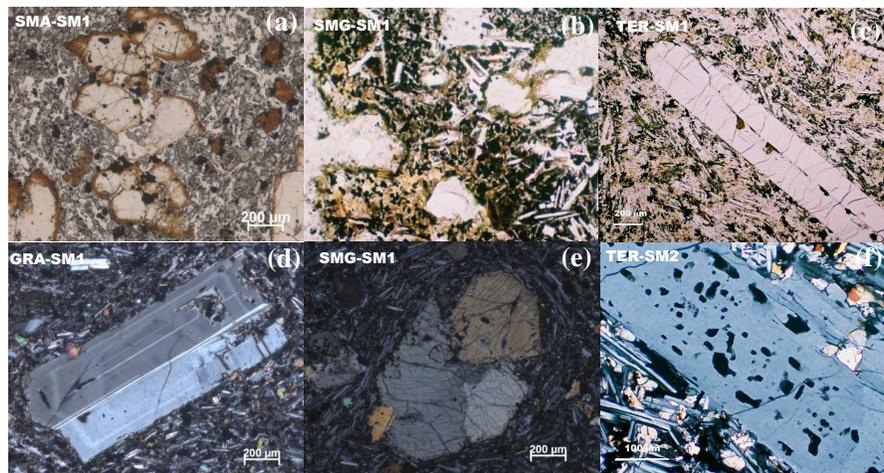


Figura 2. Diferentes aspetos da observação ao microscópio petrográfico de lâminas delgadas das rochas estudadas. (a) olivina iddingsitizada da amostra SMA-SM1, (b) vidro vulcânico presente na amostra SMG-SM1, (c) fenocristal de sanidina (feldspato) na amostra TER-SM1, (d) plagioclase zonada na amostra GRA-SM1, (e) cristais de clinopiroxena na amostra SMG-SM1 e (f) fenocristais de plagioclase com inclusões de vidro vulcânico na amostra TER-SM2.

Segundo a bibliografia [5-9,12,13,15], este tipo de rochas pode apresentar formas de sílica microcristalinas e amorfas dispersas na matriz, e portanto pouco perceptíveis no microscópio petrográfico. De forma a despistar essa ocorrência, foi realizada a análise ao MEV/EDS de lâminas delgadas da amostra TER-SM1, pois era a rocha que tinha maior teor em sílica – Quadro 2. As análises efetuadas revelaram (Figura 3) existir sílica na matriz do traquito que, associado à sílica intersticial observado ao microscópio petrográfico, pode classificar esta rocha como sendo potencialmente reativa.

A composição geoquímica das diferentes amostras encontra-se no Quadro 2. O cálculo dos elementos maiores e a sua projecção num diagrama de TAS classifica a maior parte das amostras como basaltos, sendo a amostra TER-SM1 o único traquito (rocha ácida, com $SiO_2 > 63\%$). A amostra de SMA-SM1 apresenta um valor relativamente elevado de perda ao rubro (*PR*), o que sugere algum nível de alteração da rocha como é demonstrado pela presença de olivina iddingsitizada e de analcite em lâmina delgada. Adicionalmente o cálculo da norma CIPW indica que todos os basaltos são subsaturados em sílica enquanto o traquito é sobressaturado na mesma, fator importante para a RAS.

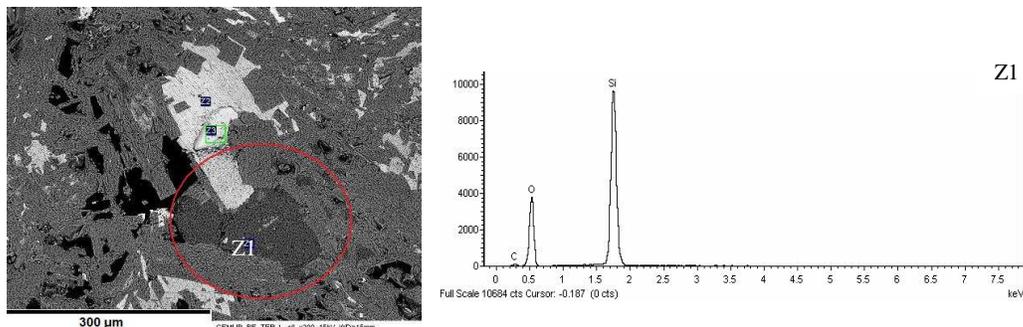


Figura 3. Imagem ao MEV (esquerda) e espectro EDS (direita) do traquito, onde foi identificada sílica, possivelmente como quartzo microcristalino.

Quadro 2. Composição geoquímica das amostras.

Óxidos %	SMA-SM1	SMG-SM1	TER-SM1	TER-SM2	GRA-SM1
SiO ₂	43,31	47,25	64,79	48,54	47,7
Al ₂ O ₃	12,98	14,09	13,92	14,65	16,76
Fe ₂ O ₃	11,88	12,2	6,1	12,12	11,11
MgO	11,05	8,06	0,65	6,82	7,15
CaO	11,52	9,16	0,71	10,88	9,58
Na ₂ O	3,62	3,25	6,35	3,09	3,82
K ₂ O	0,76	2,04	4,97	0,97	1,36
TiO ₂	2,29	3,48	0,61	3,11	2,74
P ₂ O ₅	0,42	0,61	0,07	0,59	0,56
MnO	0,17	0,16	0,22	0,17	0,17
PR	2,15	- 0,2	1,13	-0,1	-0,73
Total	100,2	100,1	99,51	100,8	100,2

Os resultados obtidos no ensaio químico (ASTM C 289 [18]) classificam as amostras TER-SM1 e TER-SM2 como reativas, ao passo que as restantes são inócuas – Figura 4.

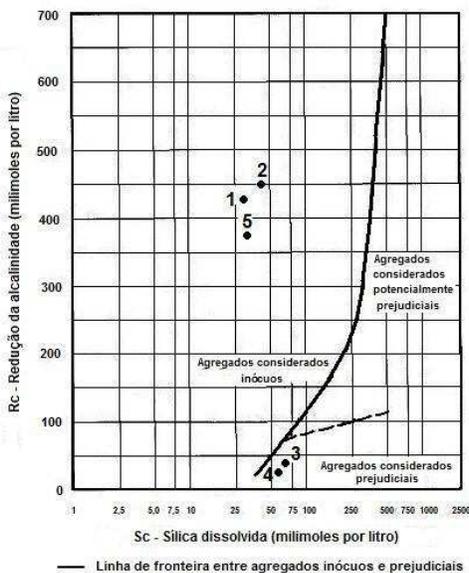


Figura 4. Resultado do ensaio ASTM C 289 [18] para as amostras. (1) SMA-SM1, (2) SMG-SM1, (3) TER-SM1, (4) TER-SM2 e (5) GRA-SM1.

Na figura 5 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de expansibilidade de argamassa e betão para a amostra SMG-SM1. De acordo com os limites daqueles ensaios, o agregado SMG-SM1 será considerado não reativo aos álcalis, não confirmando assim os dados obtidos no exame petrográfico. No entanto, no ensaio de prisma de betão a 38° C (RILEM AAR-3) regista-se uma tendência ascendente da expansão a partir dos 140 dias, e que ainda se mantém com 455 dias. De referir que o ensaio RILEM AAR-3 é de todos aquele que é realizado em condições menos aceleradoras da RAS.

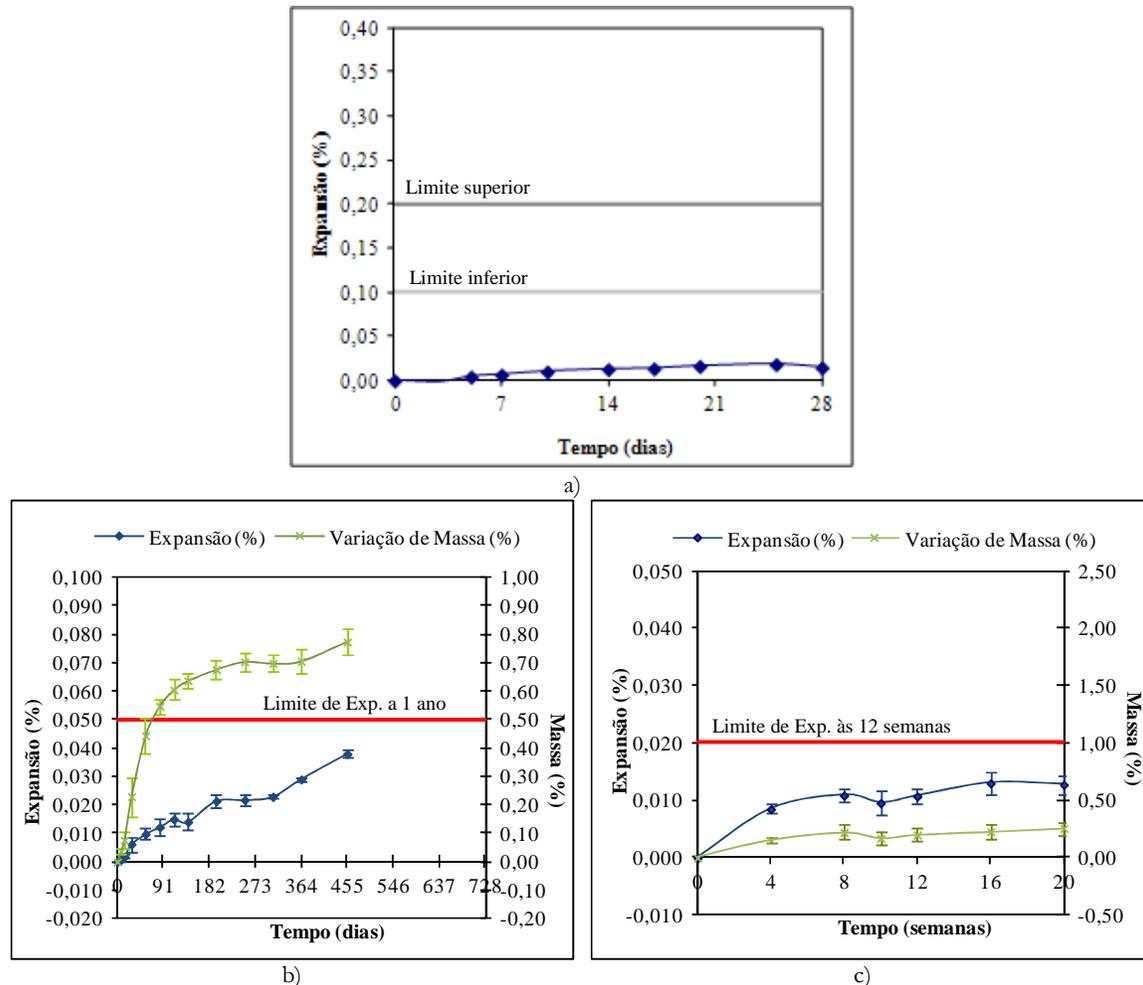


Figura 5. Resultado dos ensaios de expansão para a amostra SMG-SM1: a) ASTM C 1260, b) RILEM AAR-3; c) RILEM AAR-4.

CONCLUSÕES

Para avaliar a potencial reatividade aos álcalis de agregados vulcânicos açorianos foram aplicados diversos métodos de ensaio a 5 amostras recolhidas em 4 ilhas.

Por petrografia foram identificadas duas amostras, TER-SM1 e SMG-SM1, contendo formas de sílica consideradas reativas aos álcalis. Na amostra TER-SM1 foi verificada a presença de quartzo normativo pelo cálculo da norma CIPW, o que evidencia o carácter sobressaturado em sílica desta amostra.

No ensaio químico ASTM C 289 apenas as amostras TER-SM1 e TER-SM2 foram classificadas de reativas. Embora na amostra TER-SM2 não tenha sido detetada presença de sílica reativa ao

microscópio ótico, foi identificado vidro vulcânico ao MEV/EDS. Estes resultados evidenciam a necessidade de se realizarem ensaios complementares para confirmar a presença de sílica reativa.

Os ensaios de expansão efetuados à amostra SMG-SM1 não confirmaram os indícios de potencial reatividade aos álcalis. De salientar, no entanto, que diferentes sectores da pedra apresentam variáveis quantidades de vidro vulcânico, o que poderá justificar os resultados obtidos.

A caracterização de agregados para betão pressupõe, nomeadamente no que se refere à avaliação da reatividade aos álcalis e quando a litologia local é heterogénea, que a amostragem reflita a variabilidade geológica, aspeto esse que deverá ser tido em conta em futuros trabalhos.

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam a necessidade de se efetuarem estudos abrangentes de caracterização, de forma a se poderem retirar conclusões efetivas sobre a reatividade aos álcalis dum determinado agregado.

AGRADECIMENTOS

As análises ao MEV/EDS foram realizadas no CEMUP, tendo o equipamento sido financiado pelos projetos REEQ/1062/CTM/2005 e REDE/1512/RME/2005 da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). Os autores manifestam, ainda, o seu agradecimento à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento do Projeto IMPROVE (Ref: PTDC/CTM/65243/2006 e PTDC/ECM/115486/2009) e ao projecto DURATINET (Durable Transport Infrastructures in the Atlantic Area Network) do Programa Operacional Espaço Atlântico 2007-2013, co-financiado pelo FEDER.

O presente trabalho é uma contribuição para o Projeto ReAVA – “Caracterização da Reatividade Potencial de Agregados Vulcânicos do Arquipélago dos Açores: Implicações na Durabilidade do Betão” (Ref.^a M5.2.2/1/05/2011, financiado pelo Governo Regional dos Açores, através da Secretaria Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos (SRCTE) e do Programa PROCONVERGÊNCIA – Programa Operacional dos Açores para a Convergência, da União Europeia – FEDER.

REFERÊNCIAS

- [1] Munhoz F.A., (2007). Efeito de adições ativas na mitigação das reacções álcali-sílica e álcali-silicato. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de Mestrado.
- [2] Munhoz, F.A., Kihara, Y., and Cincotto, M.A. (2008). Effect of mineral admixtures on to the mitigation of alkali-silica reaction in concrete. In: Broekmans, MATM, and Wigum, BJ (editors). *Proc. of 13th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, Trondheim, pp. 591-599.
- [3] Min, D., Zhongzi, X., Xianghui, L., Sufen, H. e Mingshu, T., (1996). Microstructures of some alkali-silica reactive aggregates in China. *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, N. 5, pp. 663-668(6).
- [4] Min, D., Xianghui, L., Zhongzi, X. e Mingshu, T., (1996). Petrographic characteristics and distributions of reactive aggregates in China Microstructures of some alkali-silica reactive aggregates in China. *Proc. of 12th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Beijing, China, 12p.
- [5] Katayama, T, Helgason, TS, and Olafsson, H (1996). Petrography and Alkali-Reactivity of Some Volcanic Aggregates from Iceland. In: Shayan, A (editor): *Proc. of 10th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Melbourne: 377-384.
- [6] Gudmundsson, G. e Ólafsson, H., (1999). Alkali-silica reactions and silica fume, 20 years of experience in Iceland. *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, 1289 -1297.

- [7] Wakizaka, Y (2000): Alkal-silica reactivity of Japanese rocks. *Engineering Geology*, Vol. 56, 211-221.
- [8] Katayama, T., Tagami, M., Sarai Y., Izumi, S., Hira T., (2004). Alkali aggregate reaction under the influence of deicing salts in the Hokuriku district, Japan. *Materials Characterization*, Vol. 53, 105-122.
- [9] Katayama, T. e Kaneshige, Y., (1986). Diagenetic changes in potential alkali aggregate reactivity of volcanic rocks in Japan-A geological interpretation. *Proc. of 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, P.E., Grattan-Bellew (ed.), Ottawa, Canada, 489-493.
- [10] TR 3 - Technical Report 3, (2003). “Alkali silica reaction - Minimising the risk of damage to concrete, guidance notes and recommended practice”, Cement and Concrete Association of New Zealand, 84p.
- [11] ASTM C1260-07 (2007): Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method). American Society for Testing & Materials: pp 5.
- [12] Korkanç, M, and Tugrul, A (2005). Evaluation of Selected Basalts from Nigde, Turkey, as Source of Concrete Aggregate. *Engineering Geology*, Vol. 75, N. 3-4, 291-307.
- [13] Korkanç, M, and Tugrul, A (2005): Evaluation of Selected Basalts from the point of alkali-silica reactivity. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, 505-512.
- [14] Reis, M.O., Silva, H.S., and Silva, A.S. (1996): Ocorrência de Reações Álcalis-Inerte em Portugal. Estudos de Casos. *Betão Estrutural 1996*, LNEC, Lisboa: pp 14.
- [15] Medeiros, S (2011). Estudo da reactividade potencial aos álcalis de agregados vulcânicos para betão no arquipélago dos Açores. Departamento de Ciências Tecnológicas e Desenvolvimento. Universidade dos Açores, Tese de Mestrado.
- [16] Projecto GEOAVALIA – Prospecção e Avaliação de Recursos Minerais dos Açores, (Santa Maria, São Miguel e Terceira), (2006/2007). Relatório Técnico Final do Projecto – Versão para consulta. ARENA/Programa PRODESAFEDER/DRCIE. 31p.
- [17] Projecto GEOAVALIA-2 – Prospecção e Avaliação de Recursos Minerais dos Açores, (São Jorge, Graciosa, Pico, Faial, Flores e Corvo), (2006/2007). Relatório Técnico Final do Projecto – Versão para consulta. ARENA/Programa PRODESAFEDER/DRCIE. 37p.
- [18] ASTM C 289-07 (2007): Standard test method for potential alkali -silica reactivity of aggregates (Chemical method). American Society for Testing & Materials: pp 7.
- [19] RILEM AAR-3 (2000): Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – method for aggregate combinations using concrete prisms, *Materials and Structures* (33): 290–293.
- [20] RILEM AAR-4.1 (2006): Detection of potential alkali-reactivity of aggregates: accelerated (CPT 60 °C accelerated method for aggregate combinations using concrete prisms. Committee Document RILEM/TC/ACS/11/06.
- [21] Lindgård, J, Nixon, PJ, Borchers, I, Schouenborg, B, Wigum, BJ, Haugen, M, and Åkessom, U (2010). The EU PARTNER Project – European standard tests to prevent alkali reactions in aggregates: Final results and recommendations. *Cement and Concrete Research*, 40, 117-128.
- [22] Santos Silva, A (2005). Degradação do betão por reacções álcalis-sílica. Utilização de cinzas volantes e metacaulino para a sua prevenção. LNEC e Universidade do Minho, Guimarães, Tese de Doutoramento.
- [23] Especificação LNEC E 461, 2007. “Betão. Metodologias para prevenir reacções expansivas internas”, Especificação LNEC, Lisboa, 7p.
- [24] Le Maitre, RW, Bateman, P, Dudek, A, Keller, J, Lameyre, J, Le Bas, M, Sabine, PA, Schmid, R, Sorensen, H, Streckeisen, A, Woolley, AR, and Zanettin, B (1989): A classification of igneous rocks and glossary terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee of the systematics of igneous rocks. Blackwell Scientific Publications: pp 193.