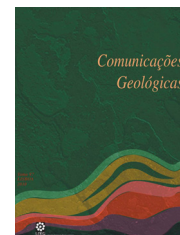


# Caraterização petrográfica de agregados de rochas magmáticas

## Petrographic characterization of igneous rocks aggregates

R. Lamas<sup>1</sup>, I. Fernandes<sup>2\*</sup>, F. Noronha<sup>2</sup>



Artigo Curto  
Short Article

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

**Resumo:** O betão pode deteriorar-se e as razões para a deterioração podem ser diversas. De entre elas destacam-se as reações álcalis-agregado, que podem ocorrer entre certos tipos de agregados e a pasta de cimento e das quais podem resultar danos nas estruturas de betão.

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização da reatividade de agregados de rochas deformadas de composição granítica e de outras rochas ígneas, com base na análise petrográfica. Esta análise permitiu identificar as formas potencialmente reativas e os minerais fornecedores de álcalis.

Os resultados obtidos revelam diferentes formas de sílica potencialmente reativas das quais se destacam quartzos deformados, mirmequites, quartzo microcristalino e criptocristalino, palagonite e vidro vulcânico.

**Palavras-chave:** Betão, Agregado, Petrografia, Reações álcalis-sílica.

**Abstract:** Concrete may deteriorate and the reasons for the deterioration can be diverse. Among them there are the alkali-aggregate reactions, which can occur between certain types of aggregates and the cement paste, and which may result in damage to concrete structures.

The present work objective was to characterize the reactivity of aggregates of deformed rocks of granitic composition and other igneous rocks, based on petrographic analysis. By this analysis the potentially reactive forms and alkali supplier minerals were identified.

The results reveal potentially different reactive forms of silica of which deformed quartz, myrmekites, microcrystalline and cryptocrystalline quartz, volcanic glass and palagonite stand out.

**Keywords:** Concrete, Aggregate, Petrography, Alkali-silica reactions.

<sup>1</sup>Centro de Geologia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

<sup>2</sup>Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e Centro de Geologia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

\* Autor correspondente / Corresponding author: [mifernandes@fc.ul.pt](mailto:mifernandes@fc.ul.pt)

## 1. Introdução

Os agregados, substâncias naturais, artificiais ou recicladas, que representam cerca de dois terços da composição do betão, são o constituinte maioritário, o que leva a que as suas características possam condicionar as propriedades e desempenho deste material de construção.

O betão, principal material de construção do século XX, foi considerado durante décadas como um material de durabilidade ilimitada. No entanto, foram publicados, na década de 30, os primeiros trabalhos acerca da existência de fenómenos de deterioração do betão resultantes de reações entre os agregados e o cimento, o que foi confirmado por Stanton (1940) em estudos realizados em betão de pavimentos na Califórnia. Desde então, têm vindo a ser investigadas as questões relativas à deterioração do betão, com o objetivo de determinar as causas, estudar os métodos de deteção e implementar medidas de recuperação das obras afetadas por este fenómeno.

No presente trabalho merecem destaque as causas de deterioração química, mais precisamente as reações químicas internas em que intervêm os componentes do betão e que podem originar danos nas estruturas.

## 2. Reações álcalis-agregado

A reação álcalis-agregado (RAA) é um termo geral utilizado para descrever as reações químicas que ocorrem internamente numa estrutura de betão, envolvendo os agregados e a pasta de cimento, sendo classificadas em função da composição do agregado. No estado atual do conhecimento, consideram-se dois tipos de reação álcalis-agregado, dependendo da composição dos agregados presentes: a álcalis-sílica e a álcalis-carbonato, sendo mais frequentes as reações álcalis-sílica (Swamy, 1998; Fernandes, 2005). As reações álcalis-sílica são reações químicas expansivas que ocorrem entre formas de sílica reativas existentes nos agregados e iões alcalinos ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) e hidróxilos presentes na solução intersticial do betão. A sua ocorrência origina expansão e fissuração no betão, ficando assim o seu desempenho comprometido, uma vez que este depende da qualidade dos seus constituintes (Alexander & Mindess, 2010).

Os agregados utilizados no fabrico de betão não devem por isso ser reativos em meios fortemente alcalinos, devido ao facto de alguns tipos de rochas e minerais poderem reagir com os hidróxidos alcalinos provenientes do betão e provocar a formação do gel expansivo (Brito & Santos, 2008).

A reatividade de um agregado depende de vários fatores, sendo influenciada pelas características texturais e microtexturais e pela composição mineralógica e petrológica das rochas (Fernandes, 2005).

Existem várias classificações de agregados, com base na sua reatividade, mas não existe uma classificação universal. A classificação varia de país para país, pelo que, em cada caso, deve ser tomada em consideração a experiência e as recomendações nacionais.

Segundo a especificação LNEC E 461-2007, os agregados são classificados com base na análise petrográfica e no ensaio acelerado de barra de argamassa em:

Classe I - agregado não reativo;

Classe II - agregado potencialmente reativo;

Classe III - agregado reativo.

A classificação de acordo com RILEM AAR-1 (2003) baseia-se na análise petrográfica quantitativa, por contagem de pontos ou de grãos em lâminas delgadas e contemplam:

Classe I - reatividade aos álcalis pouco provável;

Classe II - reatividade incerta;

Classe III - reatividade muito provável

### 3. Reatividade das rochas ígneas e gnaisses

Uma grande variedade de rochas é usada como agregado em todo o mundo. Destacam-se as de composição siliciosa que são mais vulneráveis à ocorrência de reações álcalis-sílica.

As formas de sílica mais suscetíveis às reações álcalis-sílica são opala, calcedónia, cherte, sílex, tridimite e cristobalite, quartzos deformados e fraturados e, ainda, intercrescimentos de quartzo e cimento silicioso em rochas sedimentares. Além destas formas de sílica, também silicatos como as micas, argilas e alguns silicatos hidratados, tais como os zeólitos, apresentam suscetibilidade à ocorrência da reação (Shrimmer, 2005). Segundo Stanton (1940), a opala por si só ou como componente de uma rocha é, provavelmente, o material natural mais reativo.

Embora exista consenso quanto à reatividade de certas formas de sílica, é ainda polémica a definição de reatividade de um conjunto de rochas comuns que contêm quartzo microcristalino e quartzo com indícios de deformação. O relatório da Concrete Society (1987) lista um determinado conjunto de rochas com baixa probabilidade de ocorrência de reatividade em que inclui, nomeadamente, andesitos, basaltos, dioritos, doleritos, granitos, gnaisses, sienitos e microgranitos.

As reações álcalis-sílica têm sido observadas em rochas que podem ser divididas em dois grupos conforme o tipo de sílica reativa envolvido: (1) rochas com formas de sílica pouco cristalina ou metaestáveis e vidro vulcânico e (2) rochas com diversas variedades de quartzo. O primeiro grupo é constituído por rochas vulcânicas contendo polimorfos de sílica e vidro vulcânico. O segundo grupo é constituído por grauvaques e granitos, entre outros, caracterizados por apresentarem quartzo microcristalino (constituído por numerosos pequenos cristais de quartzo), quartzo criptocristalino e/ou deformado (Grattan-Bellew, 1993; Lindgård *et al.*, 2010; Marfil & Maiza, 2006).

O quartzo, mineral que ocorre em várias rochas ígneas, é comum apresentar extinção ondulante, não sendo, este facto, por si só, uma indicação da existência de deformação da rocha (Michel *et al.*, 2003; Fernandes, 2005, 2006). Segundo a RILEM AAR-1 (2003), a extinção ondulante do quartzo sugere a presença de quartzo micro e criptocristalino, mas a medição do ângulo de extinção ondulante não pode ser utilizada isoladamente para quantificar o grau de reatividade dos agregados. No entanto, a especificação nacional continua a contabilizar a extinção ondulante na avaliação da reatividade dos agregados.

A reatividade dos agregados de rochas plutónicas depende da dimensão dos grãos de quartzo e pode ainda estar relacionada, de uma forma geral, com a intensidade da deformação, apesar de existirem exceções. A presença de quartzo microcristalino e quartzo deformado são indicadores da reatividade das rochas (Wenk *et al.*, 2008).

A reatividade dos agregados de rochas vulcânicas resulta da presença de tridimite, cristobalite e vidro vulcânico, sendo este último considerado mais reativo se tiver composição riolítica (Wakizaka, 2000).

### 4. Material e métodos

Neste trabalho fez-se a análise de 48 amostras provenientes de 14 países diferentes, tendo sido analisadas amostras de rocha e de betão (Lamas, 2012). O método utilizado para avaliar o potencial de reatividade destas amostras foi a análise petrográfica de lâminas delgadas. O exame petrográfico foi realizado de acordo com as normas e especificações existentes em vigor, designadamente especificações LNEC E 415 (1993), LNEC E 461 (2007) e recomendação RILEM AAR-1 (2003).

### 5. Análise e discussão de resultados

Na tabela 1 estão identificados os tipos de rochas, as lâminas correspondentes a cada tipo de rocha e as formas de sílica potencialmente reativas observadas em cada um dos tipos de rochas.

Foram observadas como formas potencialmente reativas quartzo com extinção ondulante (Fig. 1), quartzo com subgranulação (Fig. 2), mirmequites, quartzo criptocristalino e microcristalino (Fig. 3), vidro vulcânico (Fig. 4) e palagonite.

Quer os granitos quer os granodioritos apresentam quartzos com extinção ondulante, com subgranulação, criptocristalinos, microcristalinos e em mirmequites, todas formas potencialmente reativas. Segundo os resultados obtidos, estas rochas são consideradas potencialmente reativas (classe II) de acordo com as especificações LNEC E415 (1993) e E 461 (2007).

Segundo especificações especificação portuguesa a análise petrográfica dos granitos deve ser complementada com ensaios de laboratório em prisma de betão. Esta classificação é mais conservativa do que a admitida internacionalmente (RILEM AAR-1, 2003) dado que a extinção ondulante não é, segundo esta recomendação, só por si considerada indício de reatividade.

Tabela 1. Amostras observadas e formas de sílica potencialmente reativas identificadas (adaptada de Lamas, 2012).

Table 1. Samples observed and potentially reactive silica forms (adapted from Lamas, 2012).

| Tipo de rocha | Amostras                                                                              | Formas de sílica potencialmente reativa                                                                                                          |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Granito       | 9 Amostras – (Portugal (6); Espanha (1); África do Sul (1); Singapura (1))            | Quartzo deformado com extinção ondulante e bordos suturados, quartzo com subgranulação, mirmequites e quartzo criptocristalino                   |
| Granodiorito  | 5 Amostras – (Alemanha (4); Singapura (1))                                            | Quartzo deformado com extinção ondulante e bordos suturados, quartzo com subgranulação, mirmequites, quartzo criptocristalino e microcristalino. |
| Basalto       | 15 Amostras – (Islândia (6); Argentina (2); Turquia (3); China (1); Japão (3))        | Vidro vulcânico e palagonite                                                                                                                     |
| Riólito       | 7 Amostras – (Islândia (1); Noruega (1); Argentina (1); Singapura (3); Austrália (1)) | Quartzo deformado com extinção ondulante, quartzo com subgranulação, quartzo criptocristalino, quartzo microcristalino e vidro vulcânico.        |
| Andesito      | 1 Amostra – (Japão (1))                                                               | Vidro vulcânico                                                                                                                                  |
| Dolerito      | 1 Amostra – (Singapura (1))                                                           | Não apresenta                                                                                                                                    |
| Gnaise        | 6 Amostras – (Virgínia (2); Suíça (4))                                                | Quartzo deformado com extinção ondulante e bordos suturados, quartzo com subgranulação.                                                          |

As rochas identificadas como riólitos são consideradas rochas potencialmente reativas (classe II), tal como os basaltos e os andesitos. Os riólitos são essencialmente constituídos por uma matriz que contém quartzo criptocristalino enquanto os basaltos e os andesitos apresentam vidro vulcânico (acastanhado e isotrópico) e palagonite.

O dolerito estudado apresenta-se como uma rocha não reativa, uma vez que na sua constituição não ocorrem minerais ou vidro vulcânico suscetíveis à ocorrência de reações álcalis-sílica.

Por último, os gnaisses são classificados como potencialmente reativos (classe II), uma vez que, na sua constituição ocorrem quartzos muito deformados com extinção ondulante, estirados, com bordos suturados, com subgranulação, e microcristalinos.

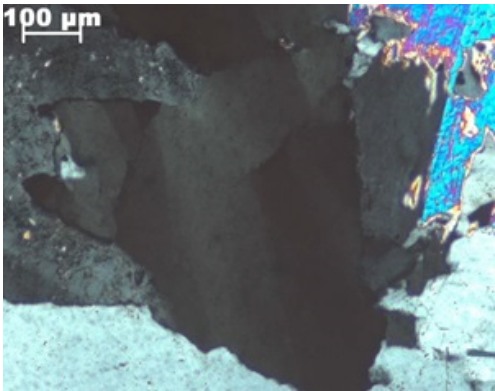


Fig. 1. Quartzo com extinção ondulante – Granito/ Portugal (NX).

Fig. 1. Quartz with undulatory extinction – Granite/ Portugal (NX).

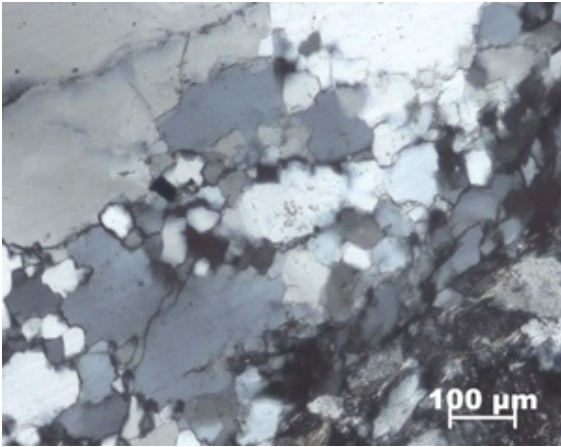


Fig. 2. Quartzo com subgranulação – Gnaise/ Suíça (NX).

Fig. 2. Quartz with subgranulation – Gneiss/ Switzerland (NX).

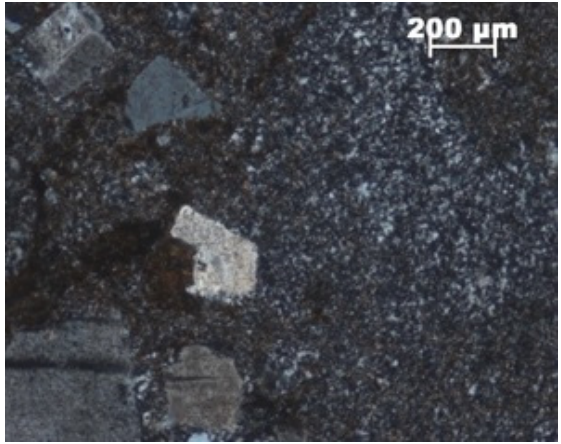


Fig. 3. Quartzo microcristalino – Riólito/ Singapura (NX).

Fig. 3. Microcrystalline quartz – Rhyolite/ Singapore (NX).

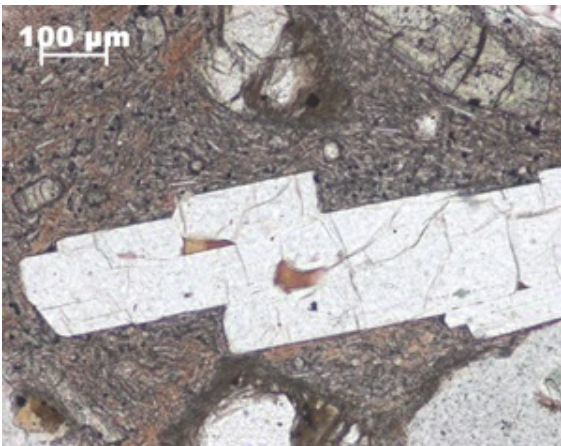


Fig. 4. Vidro vulcânico em inclusões em fenocristal de plagioclase na matriz – Basalto/ Turquia (N//).

Fig. 4. Volcanic glass in inclusion in a phenocryst of plagioclase and in the matrix – Basalt/ Turkey (N //).

## 6. Conclusões

A análise petrográfica é, talvez, aquela que apresenta uma razão benefício/custo mais elevada uma vez que permite, de forma rápida, análises mineralógicas e texturais da rocha. No entanto, é um método que apresenta limitações, uma vez que depende da experiência do petrógrafo, por vezes existem dificuldades na identificação de alguns minerais e não fornece informação sobre a expansibilidade do betão.

O estudo petrográfico dos granitos e granodioritos permitiu concluir que estas são rochas problemáticas quando apresentam apenas quartzo com extinção ondulante, uma vez que esta característica não é aceite universalmente como indicativa de reatividade potencial. A extinção ondulante não apresenta, nas normas, um ângulo mínimo a partir do qual os cristais devem ser considerados potencialmente reativos.

A análise dos riólitos, basaltos e andesitos permitiu identificar vidro vulcânico. A presença deste na matriz é um indício de reatividade potencial, principalmente se este se encontrar em grande quantidade e se tiver composição riolítica ( $\text{SiO}_2 > 52\%$ ), o que lhe confere alta reatividade (Marfil & Maiza, 2006).

Os gnaisses são rochas que sofreram metamorfismo e deformação. A extinção fortemente ondulante está quase sempre associada à existência de quartzo microcristalino, podendo ser indicadora de reatividade. Nos exemplos estudados, este facto verifica-se, predominando os quartzos estirados e com subgranulação.

Através dos resultados obtidos, é possível fazer um escalonamento desde o grupo de rochas considerado potencialmente mais reativas para o menos reativo. No que às rochas plutónicas diz respeito os granodioritos estudados são considerados potencialmente mais reativos do que os granitos por apresentarem deformação mais intensa. Realce-se o facto de a Especificação LNEC E 461, (2007) ser bastante conservativa quanto às rochas graníticas, exigindo sempre a realização de ensaios de laboratório adicionais para a caracterização da reatividade potencial. Em relação às rochas vulcânicas os riólitos são considerados mais reativos que os basaltos e os andesitos, por apresentarem uma maior percentagem de sílica na sua constituição predominantemente sob a forma criptocristalina. Os gnaisses são o tipo de rocha considerado potencialmente mais reativo, por apresentar elevado grau de deformação que se reflete nos cristais de quartzo estirados, com lamelas de deformação e, frequentemente, subgranulação.

As características observadas nos diferentes tipos de rochas são constantes para cada tipo, independentemente da sua proveniência. A maior dificuldade na análise destas rochas é a atribuição de uma designação às rochas de composição granítica, mas que apresentam diferentes graus de deformação. Por esta razão, a descrição textural é essencial na avaliação de um agregado relativamente à sua reatividade potencial aos álcalis.

## Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da dissertação de mestrado, do Mestrado em Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Os autores manifestam o seu agradecimento à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento do Projeto IMPROVE (Ref: PTDC/ECM/115486/2009).

## Referências

- Alexander, M., Mindess, S., 2010. *Aggregate in concrete*. Modern Concrete Technology (Book 13), CRC Press, 1<sup>st</sup> Ed., 448 p.
- Brito, J., Santos, M.B., 2008. O panorama nacional das reações álcalis-silica em betões. *Engenharia Civil UM*, **32**, 57-71.
- Concrete Society, 1987. *Alkali-silica reaction: minimizing the risk of damage to concrete. Guidance notes and model specification clauses*. Technical Report nº30, 3<sup>rd</sup> Ed., Concrete Society, London, 34 p.
- Especificação LNEC E 415, 1993. *Inertes para argamassas e betões - Determinação da reatividade potencial com os álcalis. Análise petrográfica*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 6 p.
- Especificação LNEC E 461, 2007. *Betões - metodologias para prevenir reações expansivas internas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 7 p.
- Fernandes, I., 2005. *Caracterização petrográfica, química e física de agregados graníticos em betão, estudo de casos de obra*. Tese de doutoramento, Universidade do Porto (não publicada), 334 p.
- Fernandes, I., 2006. A petrografia na avaliação da reatividade de agregados para betão. *Geonovas*, **20**, 57-72.
- Grattan-Bellew, P.C., 1993. Concrete prism-CSA A23.2-14A and ASTM C227 mortar bar test. Chapter 3. In: *Course manual petrography and alkali-aggregate reactivity*. Ottawa, Ontario, 125-160.
- Lamas, R., 2012. *Caraterização petrográfica de agregados ígneos para betão*. Tese de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (não publicada), 127 p.
- Lindgård, J., Nixon, P.J., Borchers, I., Schouenborg, B., Wigum, B.J., Haugen, M., Åkesson, U., 2010. The EU "PARTNER" Project—European standard tests to prevent alkali reactions in aggregates: Final results and recommendations. *Cement and Concrete Research*, **40**, 611-635.
- Marfil, S.A., Maiza, P.J., 2006. Assessment of the potential alkali reactivity of rhyolitic rocks from Argentina. *Proc. 10th IAEG Int. Congress*, Nottingham, UK, 6 p.
- Michel, B., Thiébaud, J., Wackenheim, C., 2003. Intérêt de la minéralogie des granulats dans la connaissance des risques de l'alcali-réaction. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **62**(2), 145-153.
- RILEM AAR-1, 2003. Detection of potential alkali-reactivity of aggregates. Petrographic method. *Materials & Structures*, **36**, 480-496.
- Stanton, T.E., 1940. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *Proceeding American Society of Civil Engineers*, 1781-1811.
- Shrimer, F.H., 2005. *Progress in the evaluation of alkali-aggregate reaction in concrete construction in the Pacific Northwest, United States and Canada*. Bulletin 2209-K, U.S. Geological Survey, 11 p.
- Swamy, R.N., 1998. *The alkali-silica reaction in concrete*. Spon Press, 336 p.
- Wakizaka, Y., 2000. Alkali-silica reactivity of Japanese rocks. *Developments in Geotechnical Engineering*, **84**, 293-303.
- Wenk, H-R., Monteiro, P.J.M., Shomglin, K., 2008. Relationship between aggregate microstructure and mortar expansion. A case study of deformed granitic rocks from Santa Rosa mylonite zone. *Journal of Materials and Science*, **43**, 1278-1285.