Caracterização dos calcários utilizados na Calçada Portuguesa (Alqueidão da Serra, Porto de Mós/Alcanede e Alenquer)

Fábio J. G. Rocha[1], Fernando A. G. Pita[2a], Lídia M. G. Catarino[2b] & Fernando P. O. O. Figueiredo[2c]

[1] Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento Ciências da Terra, Polo II, Rua Sílvio Lima, P-3030 790 Coimbra, Portugal. E-mail: rocha89@outlook.pt

[2] Universidade de Coimbra, Centro de Geociências, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento Ciências da Terra, Polo II, Rua Sílvio Lima, P-3030 790 Coimbra, Portugal. E-mail: [a]fpita@dct.uc.pt, [b]lidiagil@dct.uc.pt; [c]fpedro@dct.uc.pt

Resumo: A calçada portuguesa é um tipo de pavimento artístico que surgiu em meados do século XIX e que chega aos nossos dias como uma vincada tradição do nosso país, mas também difundida além-fronteiras. A sua qualidade depende não só da sua regularidade geométrica e do seu assentamento, mas também das características intrínsecas da própria rocha. Este estudo teve como objetivo o estudo de pedras calcárias utilizadas na calçada portuguesa, exploradas nos maciços calcários da Orla Meso-Cenozóica Ocidental, especificamente nas regiões de Alenquer, Porto de Mós/Alcanede e de Alqueidão da Serra, correspondendo aos núcleos de maior produção nacional. Foi realizado trabalho de campo nas explorações cujo material foi objeto de estudo, no sentido de se conhecer as especificidades de cada local, bem como a análise do enquadramento geológico e a recolha de material representativo da produção de cada núcleo, que permitiu a obtenção de provetes para a realização de vários ensaios laboratoriais. A partir da caracterização petrográfica e da análise macro e microscópica do conteúdo mineralógico e da composição química, verificou-se que os três núcleos se distinguem em dois universos pétreos distintos: os calcários brancos de Porto de Mós/Alcanede e de Alenquer, formados quase exclusivamente por calcite, e o calcário negro de Alqueidão da Serra, que apresenta alguns sulfuretos (pirite e calcopirite), consequência do metamorfismo de contacto de que foi alvo, comprovado pela maior abundância de S, Si e Fe. Os três calcários estudados apresentam características que cumprem a grande maioria dos requisitos de desempenho estabelecidos para as pedras de melhor qualidade a aplicar na calçada portuguesa.

Palavras-chave: Calçada portuguesa, Calcário, Caracterização.

Abrantes, I., Callapez, P. M., Correia, G. P., Gomes, E., Lopes, B., Lopes, F. C., Pires, E., & Rola, A. (Eds.), *Uma visão holística da Terra e do Espaço nas suas vertentes naturais e humanas. Homenagem à Professora Celeste Romualdo Gomes*. Coimbra: CITEUC.
© CITEUC, 2020 DOI: http://doi.org/10.5281/zenodo.4409366

Abstract: *The Portuguese Pavements is an artistic pavement that emerged in the middle of the 19th century and reaches at present days as a strong tradition of our country but also spread abroad. Its quality depends not only on its geometric design and settlement, but also on the intrinsic characteristics of the stone itself. This study aimed to study limestone used on the Portuguese Pavements, exploited in the limestone massifs of the Meso-Cenozoic Western Border, specifically in the regions of Alenquer, Porto de Mós/Alcanede and Alqueidão da Serra, corresponding to the core of quarries related with the production of this material. Field work was carried out on the quarries as well as the analysis of the geological framework and the collection of representative samples, which allowed preparation of specimens for carrying out laboratory tests. From the petrographic characterization the macro and microscopic analysis of the mineralogical content and chemical composition, it was found that the three geological locations are distinguished in two different stone classes: the white limestones of Porto de Mós/Alcanede and Alenquer, formed almost exclusively by calcite, and the black limestone from Alqueidão da Serra, which presents some sulphides (pyrite and chalcopyrite), as a consequence of contact metamorphism also evidenced by the higher abundance on S, Si and Fe. The three limestones analysed have characteristics that satisfy the great majority of the performance requirements established for the best quality stones to be applied on the Portuguese Pavement.*

Keywords: *Portuguese Pavement, Limestone, Characterization.*

Introdução

A calçada portuguesa consiste num pavimento empedrado cujos componentes são de pedra natural, essencialmente calcários, assentes e dispostos no solo de forma mais ou menos homogénea (Santos, 2004), podendo ser utilizados para formar padrões decorativos pelo contraste entre as pedras de cores distintas. Este tipo de pavimento tem-se revelado ideal, não apenas para zonas de circulação de peões, em passeios, jardins, habitações e centros comerciais, mas também em ruas e praças com circulação de veículos, aliando a durabilidade à beleza estética (Henriques et al., 2009). A calçada portuguesa tem ainda uma forte conotação simbólica, pois muitas vezes os padrões e motivos representam épocas e acontecimentos históricos dos diferentes locais onde estão inseridos (Pimenta, 2008). A origem da calçada portuguesa está relacionada com a herança histórica da cultura e da tecnologia de construção dos romanos, existindo em Portugal inúmeros vestígios que nos foram deixados da época do Império Romano (Henriques et al., 2009).

Embora tenha um custo inicial maior do que outras alternativas, quer ao nível do material quer da mão-de-obra, a calçada portuguesa pode ser vantajosa economicamente, pois é mais duradoura e pode ser restaurada sempre que houver necessidade de realizar trabalhos que obriguem à remoção do pavimento, incrementando, deste modo, o contributo das cidades/comunidades para a economia circular.

A realização de uma calçada portuguesa, na forma de um pavimento durável, resistente, bonito e ecológico, aplicado nas praças, passeios, jardins e até em interiores de habitações, envolve duas fases distintas: a primeira fase ocorre na pedreira e compreende o desmonte da rocha e a transformação da pedra em bruto em pequenos cubos com forma e dimensão mais ou menos regular;

a segunda fase corresponde ao calcetamento, que consiste no assentamento manual das pedras, utilizando as técnicas adequadas em função da utilização prevista e obedecendo aos variados padrões, primando-se pelo bom gosto artístico e pela harmonia.

Uma vez realizada, a calçada portuguesa é um pavimento exclusivo, não havendo duas calçadas iguais, não só porque são utilizados diversos motivos (geométricos, figurativos, alusivos a atividades ou especificidades locais e regionais), mas também porque o seu efeito final e a sua qualidade são únicos, podendo por isso mesmo ser considerada uma arte. Porém, nas últimas décadas tem-se assistido à realização de calçadas que em nada dignificam a arte da calçada portuguesa, sendo frequentemente encarada como mais uma, entre tantas outras, formas de pavimentação, "espalhando-se" autenticamente a pedra pelo chão. Para fazer face ao calcetamento de novos espaços, criados a um ritmo muitas vezes insuportável pela escassez de mão-de-obra existente neste sector, são realizadas calçadas de má qualidade, não só devido à fraca modelação geométrica da pedra de calçada transformada nas pedreiras, mas também ao fraco assentamento do calcetamento, o qual, muitas vezes, é feito por calceteiros que não têm a mestria necessária para a realização destes pavimentos. Tal ocorre principalmente em obras públicas, em que o principal fator de adjudicação é o preço mais baixo, secundarizando-se a qualidade, sendo a maioria dos concursos públicos ganhos por quem fornece pedra mais barata e, consequentemente, de pior qualidade, onde a aplicação também a mais baixo custo é feita sem o indispensável rigor técnico.

Registe-se que o desmonte da rocha é feito fundamentalmente por meios mecânicos, sendo usado explosivo apenas quando é estritamente necessário. Com o auxílio de pequenas marretas, o calcário é transformado em pedra de calçada de diversas dimensões, cujo preço aumenta com a diminuição do tamanho dos cubos de calçada e, também, da tonalidade mais clara para a mais escura. Embora se utilizem meios mecânicos no desmonte e transporte, este tipo de atividade é, ainda, muito artesanal, pois em todas as fases de produção da pedra de calçada é exigido grande esforço dos trabalhadores. Devido ao facto de se tratar de um trabalho duro, muitas vezes realizado em condições climatéricas difíceis, tem-se assistido ao decréscimo acentuado do número de trabalhadores neste sector e do número de pedreiras em laboração.

O presente trabalho pretende caracterizar três tipos de calcários provenientes dos principais núcleos produtores nacionais - Alqueidão da Serra, Porto de Mós/Alcanede e Alenquer -, com particular incidência na caracterização petrográfica, mineralógica, química e colorimétrica.

Origens da Calçada Portuguesa

A arte romana de empedrar foi uma das técnicas construtivas que mais contribuiu para o surgimento da calçada portuguesa. Esta técnica foi utilizada, não só no revestimento das vias de comunicação, melhorando a sua trafegabilidade, mas também na vertente decorativa, através dos mosaicos constituídos por tesselas (Henriques et al., 2009), sendo uma das expressões artísticas

mais antigas e uma das contribuições mais originais do mundo romano, atingindo grande desenvolvimento e perfeição, tanto em Roma como nas províncias do império (MNA, 2016).

Em Portugal, as primeiras aplicações de pedra natural no pavimento surgem apenas na época dos descobrimentos, tendo um carácter utilitário, de modo a melhorar as condições de trafegabilidade das principais artérias das cidades costeiras.

A partir do século XV, época de crescente dinamismo das cidades, principalmente em Lisboa que representava o epicentro do próspero desenvolvimento comercial que se vivia em Portugal, a pavimentação torna-se uma imposição legislativa, de modo a melhorar os pavimentos das artérias mais concorridas (Cabrera & Nunes, 1990). D. João II, impressionado com a qualidade da obra que observara na cidade do Porto, mandou que dessa mesma cantaria se começasse a pavimentar a Rua Nova da capital (Matos, 2004).

D. Manuel I, o rei sucessor, continuaria a construção da grande artéria da altura, ordenando-a em carta régia datada de 20 de agosto de 1498, ano da chegada de Vasco da Gama à Índia, declarando ainda contribuir com a quantia de 500 cruzados de ouro. Em 1500 aprovaria o orçamento para a pavimentação de mais ruas com pedra do Porto, granito de boa raiz nortenha “porque a outra dana-se da maneira que vedes” (Dornelas et al., 2006).

Os terramotos de 1531 e 1551 viriam a dar um impulso em novas construções e seus arruamentos (Henriques et al., 2009), época em que o calcetamento a calhaus, retirados das margens do rio e das praias começa a ser comum em grande parte das artérias principais, mas acima de tudo em locais privados (Matos, 2004).

É já no século XVIII que alguns tipos tradicionais de calçada transcendem da sua função meramente utilitária, arvorando-se em elementos decorativos originais. Com o grande sismo de 1755, Lisboa ainda agarrada a um medievalismo arquitetónico, viria a transformar-se, com a construção de novas ruas, largas, regulares, bem pavimentadas e ladeadas de bons passeios de grandes lajes e a faixa para veículos e muares calcetada a pedra miúda (Gorani, 1989).

Já da época pombalina e posterior, existiam residências particulares que tinham no chão dos seus átrios e, muitas vezes, no das bordaduras viradas aos jardins, produções artísticas de contraste branco-negro, sendo as mais antigas executadas com seixos, onde abundam os motivos radiais isolados ou em triangulações e círculos concêntricos e estrelas (Matos, 2004).

A utilização de pedra para pavimentação de grandes áreas de chão, não apenas com o objetivo de revestimento, mas também como uma grande vertente decorativa, surge em Portugal nos meados do século XIX. É através do tenente-general Eusébio Cândido Furtado (1777-1861) que, junto ao Castelo de S. Jorge, do qual foi Governador de Armas, surge a primeira calçada dita portuguesa (Dornelas et al., 2006). Considerado um impulsionador, não só, da calçada portuguesa como hoje a conhecemos, mas também da limpeza e asseio urbano, aproveitou-se dos presos do Castelo, chamados de “grilhetas”, como mão-de-obra barata e transformou aquela fortaleza e os seus arredores, que eram de extrema imundice das suas ruas estreitas e tortuosas, em locais dignos de serem visitados como lugares de passeio, tendo-se empenhando na implementação de arvoredo, flores e calçada,

derivando num espaço com um digno bom gosto, de tal modo que os lisboetas acorriam em romaria ao Castelo (Roc2c, 2020).

Foi em 1842 que lhe surgiu esta nova forma de emparelhar as pedras em desenhos a branco e preto que se conjugava nos pavimentos, numa visão original que ia para além do simples acasalar de pedras irregulares entre si (Matos, 2004). Este principiou pela entrada do Castelo, daí partindo numa alameda arborizada e devidamente calcetada, preenchendo o chão e valetas como um tapete em ziguezague assente com pequenas pedras de calcário branco cortadas, a espaço, por linhas de pedras de basalto negro (Dornelas et al., 2006). Foi no ano de 1846 que Eusébio Furtado, agora como comandante-geral do Real Corpo de Engenheiros, viria a apresentar um original projeto para a total pavimentação de uma praça no coração da cidade de Lisboa, em pleno Rossio, com o desenho designado por "Mar Largo" (Bairrada, 1985). O sucesso deste projeto de "risco, original e vistoso" foi o ponto de partida para o pavimento artístico de outros locais, dando-se então início à transformação da Baixa de Lisboa, com a maioria das ruas a serem calcetadas com calcário e basalto (Dornelas et al., 2006).

A utilização de um novo material, o calcário negro de Mem Martins, que era muito mais fácil de manejar do que o duríssimo basalto ou granito, juntamente com o calcário branco, permitia aos calceteiros, na palma da mão e com um pequeno martelo, aparelhar as pedras com o tamanho e as formas desejadas, possibilitando assim nascer uma calçada artística - a calçada portuguesa (Matos, 2004). Não estando estes pavimentos sujeitos aos rodados de carroças, que os teriam desconjugado e destruído, a utilização desta pedra era agora possível.

O agrado pelos atributos deste tipo de empedrado, aliados à sua funcionalidade, levou à sua aplicação nos espaços públicos (ruas, passeios, praças, jardins, etc.) da maioria das cidades portuguesas e nas antigas colónias, generalização esta que se dá, sobretudo, a partir do início do século XX (Henriques et al., 2009).

Para além do sector público, a calçada portuguesa também passou a ser muito utilizada pelo sector privado e nos mais variadíssimos locais, sobretudo na pavimentação de áreas exteriores das moradias, mas também do seu interior, em parques de estacionamento, em centros comerciais, etc. A fama da calçada portuguesa atravessou a fronteira e são vários os exemplos da sua utilização fora do país, contando já com ampla divulgação internacional, ao ponto de Ernesto Matos, autor de diversas obras sobre a calçada portuguesa, referir "Enfim, o mundo é pequeno em relação ao universo, tal como estas pedras da calçada o são, mas estas singelas sementes minerais plenas de arte e humanidade, coloridas de preto e branco, encontram-se cheias de força, de vontade para ilustrarem o planeta à imagem da alma portuguesa" (Matos, 2012, p. 19).

Materiais utilizados

Embora o calcário seja o tipo de rocha mais usado na produção de pedra para calçada, também outros tipos de rochas, como o granito, basalto e quartzo, são usados, fundamentalmente onde não

existe calcário, pois o seu custo de transporte onera o valor final da obra. Os calcários mais utilizados na produção de pedra de calçada apresentam cor branca, havendo ainda os de tons cinzento, rosa, amarelo e preto, cuja mistura de cores permite formar os diversos padrões decorativos. Consideram-se principalmente dois tipos de calcários, respetivamente, o calcário vidraço, que apresenta uma superfície de fratura lisa e brilhante, e o calcário mais granular que apresenta uma superfície de fratura rugosa e baça, que, devido às suas características menos "nobres", é usado fundamentalmente para pavimentos rodoviários, ou outros com menor exigência artística.

A qualidade dos pavimentos de calçada, para além de depender da forma geométrica das pedras e da qualidade do seu assentamento, também depende das características da rocha.

Apesar de na calçada portuguesa ser relevante a natureza estética, a escolha do tipo de calcário a utilizar numa determinada aplicação também deve nortear-se por fatores económicos, numa ótica de preço/qualidade/durabilidade, o que torna imprescindível o conhecimento das características técnicas de cada tipo de pedra de modo a maximizar a vida útil do pavimento. Assim, a adequação de cada pedra natural às condições em que será utilizada, deve exigir a prévia realização de estudos e ensaios laboratoriais que fornecerão elementos para a respetiva caracterização, qualificação tecnológica e dimensionamento (Pinto, 2006; Moura et al., 2007).

As características da pedra estão associadas aos processos geológicos que conduziram à sua génese e posterior evolução das formações produtivas. Como todas as substâncias naturais, cada tipo de rocha raramente integra materiais de características homogéneas ao longo de todo um maciço ou, até frequentemente, apenas ao nível de cada pedreira, pelo que será de esperar, dentro de certos limites, variações mais ou menos significativas de algumas das suas propriedades em cada uma das variedades exploradas.

A avaliação e atestação da conformidade da pedra de calçada está regulamentada pela Norma Portuguesa (NP EN 1342:2014*) Cubos e paralelepípedos de pedra natural para pavimentos exteriores - Requisitos e métodos de ensaio*, que especifica os requisitos de desempenho e os métodos de ensaio correspondentes para todos os cubos e paralelepípedos de pedra natural utilizados em pavimentações. Aquela norma inclui também as disposições necessárias para avaliação e atestação da conformidade dos cubos e paralelepípedos de pedra natural, para a respetiva marcação CE.

No território nacional existem vários núcleos de explorações de calcário para calçada, estando geograficamente distribuídos pela zona centro oeste e sul do país, e cuja localização é condicionada pela disponibilidade deste recurso geológico, tal como acontece para toda a atividade de exploração mineira. Em Portugal existem oito núcleos formais de explorações de calcário para calçada: Cantanhede, Zambujal, Cumeeira, Alqueidão da Serra, Porto de Mós/Alcanede, Alenquer, Albufeira e São Brás de Alportel (DGEG, 2016). Alguns destes núcleos integram dezenas de pedreiras em áreas bastante extensas, enquanto outros correspondem a um pequeno número de explorações, ou mesmo a uma única pedreira, não deixando, no entanto, de serem considerados como um núcleo de

exploração, pois correspondem a zonas isoladas e suficientemente distintas das restantes, onde há a extração de calcários com características únicas, diferenciando-se de todos os outros.

Os calcários explorados em Alqueidão da Serra, Porto de Mós/Alcanede e de Alenquer, três dos principais núcleos de produção de pedra para calçada, são distintos uns dos outros, quer pela especificidade da própria pedra, quer pelo seu método de produção.

Enquadramento geológico dos casos de estudo

Os núcleos de Alqueidão da Serra, Porto de Mós/Alcanede e de Alenquer são os maiores fornecedores de pedra aplicada na tradicional calçada portuguesa de vidraço (Fig. 1). Não tendo este trabalho o objetivo de caracterizar os maciços calcários, mas sim a pedra de calçada, foram utilizadas para caracterização em laboratório, amostras de cubos de pedra de calçada produzidos nas pedreiras dos três núcleos de exploração. A recolha de amostras de pedra natural nas pedreiras foi realizada segundo as recomendações da norma portuguesa NP EN 1342:2014. Em cada pedreira foram recolhidas amostras em quantidade e com as propriedades que se consideraram representativas da heterogeneidade do lote em questão.

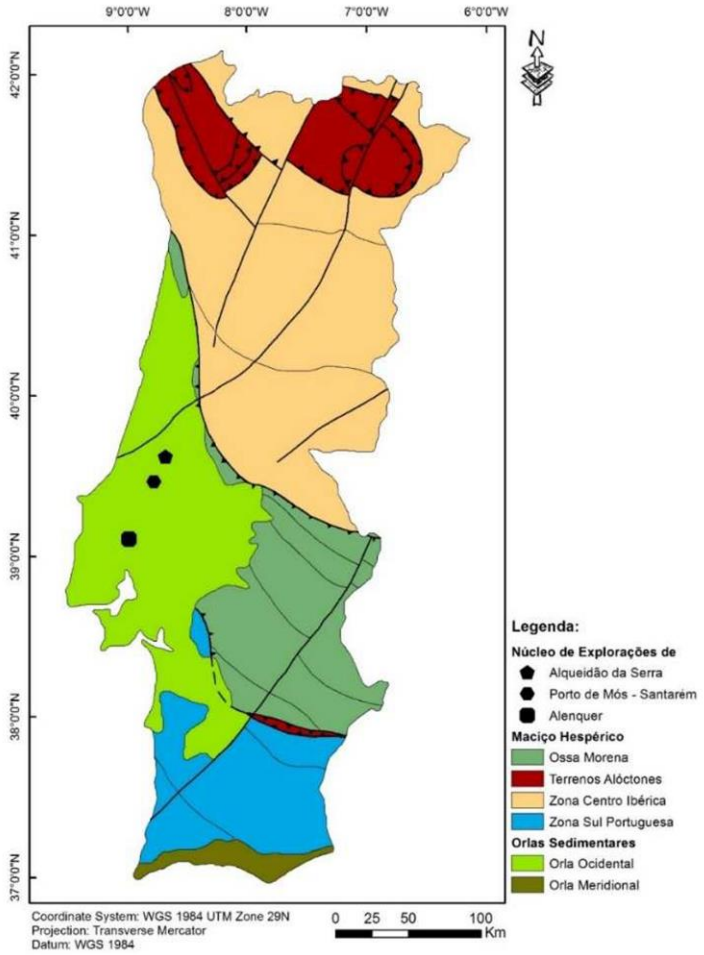

Figura 1 - Enquadramento dos núcleos de Alqueidão da Serra, Porto de Mós e Alenquer no mapa tectono-estratigráfico de Portugal [Fonte: mapa tectono-estratigráfico adaptado de Ferreira, 2000].

Núcleo de explorações de Alqueidão da Serra

No núcleo de explorações de Alqueidão da Serra extrai-se a totalidade do calcário negro utilizado na calçada portuguesa. Com características que facilitam a sua trabalhabilidade, esta pedra veio substituir o basalto, de corte mais difícil, que era inicialmente empregue neste tipo de pavimento. Devido ao declínio do sector da calçada portuguesa, neste núcleo há menos de uma dezena de pedreiras em atividade e estas são de pequena dimensão, nelas trabalhando um reduzido número de pessoas e havendo pedreiras em que o proprietário da exploração é o único funcionário.

Relativamente ao enquadramento geológico, o núcleo de explorações de Alqueidão da Serra encontra-se abrangido pela Folha 27 A (Vila Nova de Ourém) da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50 000 (Fig. 2). Os calcários onde estão inseridas as pedreiras de calçada pertencem às unidades de Cabaços e Montejunto (J^3_{CM}). Estes corpos geológicos não apresentam um limite litológico cartografável, mas uma passagem progressiva de fácies límnica a fácies marinhas (Zbyszewski et al., 2000). Com uma espessura máxima de 80 m (Carvalho et al., 2011), as fácies dominantes das Camadas de Cabaços (J^3_C) são representadas por litologias mais ou menos carbonatadas (Zbyszewski et al., 2000). A sua base é constituída por calcários conglomeráticos e margas amareladas com concreções ferruginosas, a que se seguem calcários micríticos, mais ou menos argilosos e mais ou menos bioclásticos e peloidicos. As bancadas possuem espessuras centimétricas a decimétricas, que raramente ultrapassam 0,5 m. Ocasionalmente ocorrem sequências mais ou menos espessas, com as bancadas a evidenciar um caracter laminítico. Estas rochas apresentam-se com umas cores amareladas-ferruginosas e cinzentas (Carvalho et al., 2011). A sobrepor à unidade anterior sem discordância aparente, surgem as Camadas de Montejunto (J^3_M) (Zbyszewski et al., 2000).

Ocupando largas extensões de afloramentos do Maciço Calcário Estremenho, esta unidade é constituída por calcários micríticos de cores cinzentas, mais ou menos oolíticos, peloidicos e bioclásticos, com calcários argilosos a surgir no seu topo (Carvalho et al., 2011). Apresentando bancadas com espessuras muito variadas, desde alguns centímetros até dois metros, predominam, no entanto, os termos decimétricos. Assim como a espessura das bancadas, também a sua possança total é muito variável, desde 320 m na Depressão de Alcobaça, a 600 m e 700 m nas depressões de Alqueidão e Reguengo de Fetal, respectivamente, tendo sido a sua deposição controlada por subsidência tectónica (Carvalho et al., 2011).

As características ímpares dos calcários, que surgem junto a Alqueidão da Serra, resultam de um processo de metamorfismo de contacto proveniente da intrusão de um corpo de natureza dolerítica em rocha carbonatada (Moura & Velho, 2012), que cortam o maciço calcário correspondente ao planalto da Serra de Santo António. A conjugação do seu significativo teor carbonoso com este fenómeno térmico, que acentuou a incarbonização, resultou na cor azul-escura a negra deste calcário.

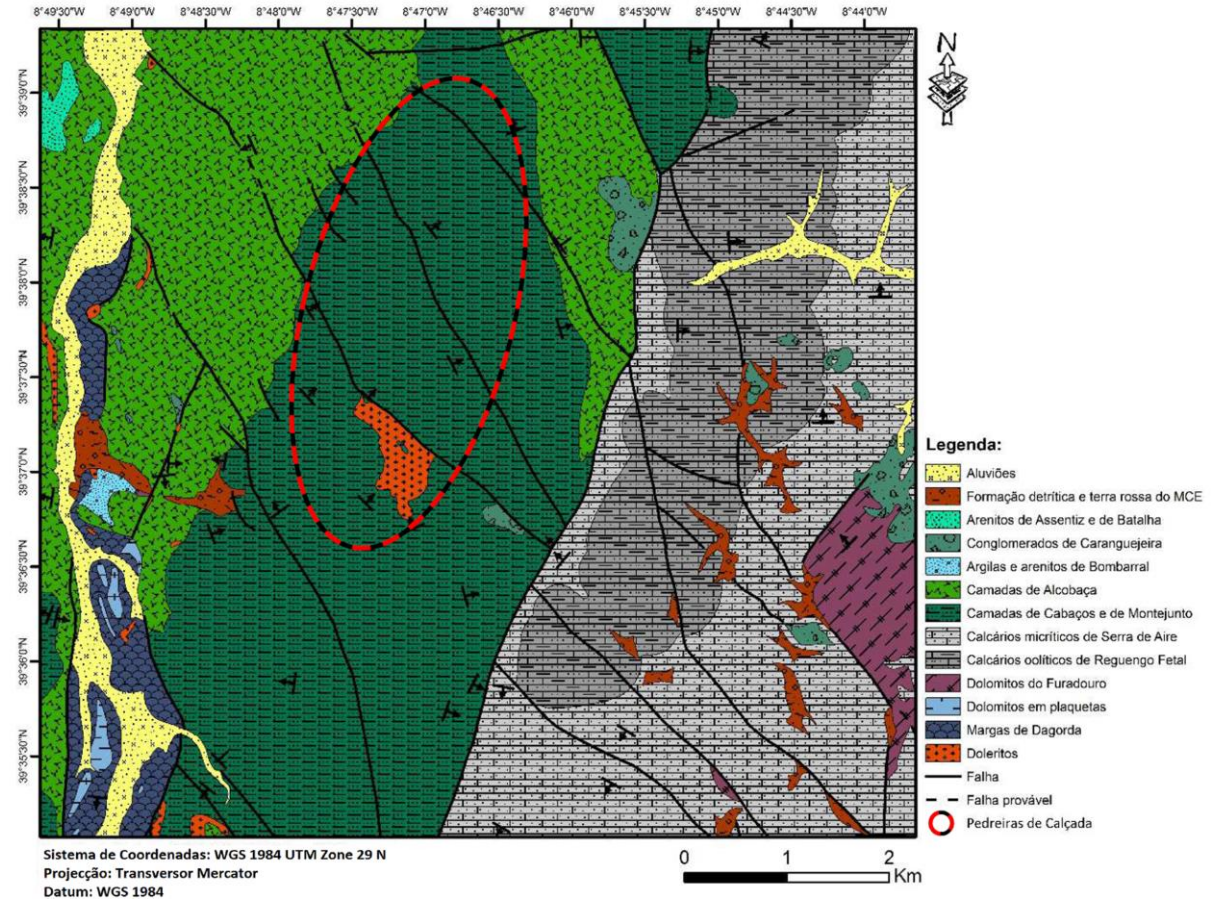

Figura 2 - Enquadramento geológico do Núcleo de Explorações de Alqueidão da Serra [Fonte: adaptado da Folha 27-A, Vila Nova de Ourém, da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 (Rocha, 2016)].

Núcleo de explorações de Porto de Mós/Alcanede

O núcleo de explorações de Porto de Mós/Alcanede é a zona do país de onde se extrai maior quantidade de calcário para calçada, em que a cor dominante é o branco. Neste núcleo já existiram mais de 200 pedreiras em atividade. Porém, atualmente, este número é inferior a uma centena, sendo pedreiras de pequena dimensão e com poucos trabalhadores, cujo número varia de um a dez por exploração, mas onde normalmente apenas existem dois ou três trabalhadores.

O maciço calcário nesta zona é caracterizado por uma estruturação bem definida pelos estratos horizontais a sub-horizontais de grande continuidade, que permite um desmonte seletivo, pois apenas interessa o calcário com características que se adequam à sua transformação em calçada. Este, geralmente, ocorre em bancadas pouco espessas e de pequena inclinação, que fazem parte das camadas sub-aflorantes ao longo de alguns quilómetros (Henriques et al., 2009). Esta estruturação do maciço facilita o seu desmonte mecânico, recorrendo-se com muito pouca frequência à utilização de explosivos.

A maioria da pedra de calçada é produzida manualmente, utilizando, sobretudo, o calcário vidraço. No caso de calcários com características mais granulares, alguns exploradores já adquiriram máquinas de corte mecânico (cunhas hidráulicas).

A zona onde se inserem as pedreiras de calçada do núcleo de Porto de Mós/Alcanede encontra-se abrangida pelas Folhas 27 A (Vila Nova de Ourém) e 27 C (Torres Novas) da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50 000. Esta zona corresponde, na sua quase totalidade, a formações calcárias jurássicas do Dogger (Fig. 3), estando representada por todos os seus andares: Aaleniano, Bajociano, Batoniano e Caloviano. No entanto, a maioria das pedreiras de calçada inserem-se nas formações calcárias batonianas.

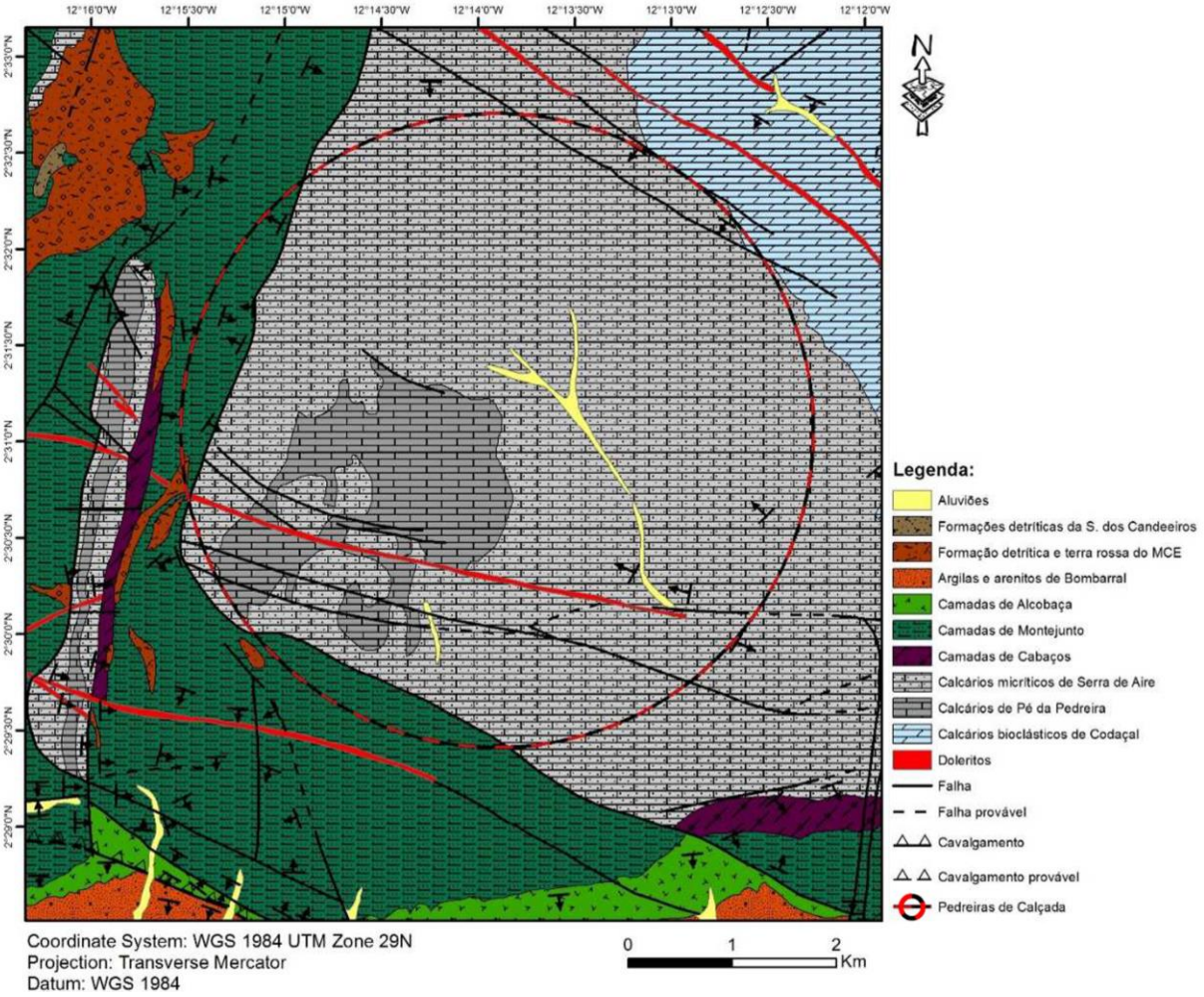

Figura 3 **-** Enquadramento geológico da maioria das pedreiras de calçada do Núcleo de Explorações de Porto de Mós - Alcanede [Fonte: adaptado das folhas 27 A, Vila Nova de Ourém (1998), e 27 C, Torres Novas (1969), da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50 000 (Rocha, 2016)].

Os calcários aflorantes podem ser individualizados segundo duas formações propostas por Azerêdo (2007) na definição litostratigráfica do Batoniano nesta zona: a Formação de Serra de Aire e

a Formação de Santo António-Candeeiros, constituída pelos Membros de Codaçal, Pé da Pedreira e Moleanos.

A unidade Calcários Micríticos de Serra de Aire (J^2_{SA}), ou, segundo Azerêdo (2007), Formação de Serra de Aire, representa a grande parte da área aflorante do Dogger nesta zona, ocupando grande extensão das zonas mais soerguidas do Maciço Calcário Estremenho (Carvalho et al., 2011). É constituída por calcários micríticos compactos, ricos em foraminíferos bentónicos (Zbyszewski et al., 2006), com maior ou menor abundância de finas vesículas de calcite, e apresentam elevado grau de pureza, donde os tons bastante claros que ostentam (Carvalho et al., 2011).

A Formação de Santo António-Candeeiros é constituída por uma espessa sucessão de calcários com mais de 500 m. Consistem em calcários oolíticos e bioclásticos com estratificação oblíqua de vários tipos, calcários intra/lito/bioclásticos maciços ou gradados, calcários intrapeloidicos, biostromas de coraliários e algas (Azerêdo, 2007). Este autor agrupa esta formação em três membros litostratigráficos formais, nomeadamente: o Membro de Codaçal e o Membro de Pé da Pedreira, que correspondem a fácies carbonatadas típicas de rampa interna, geradoras de calcários de alta energia, num contexto de paleoambiente de ilha-barreira e, ainda, o Membro de Moleanos (Inês, 2010).

Núcleo de exploração de Alenquer

O núcleo de explorações de Alenquer é conhecido pelos seus calcários bastante vidraços, onde o branco é a sua cor dominante, no entanto, em locais pontuais do maciço, também podem ocorrer calcários com tons amarelados e avermelhados. Neste núcleo existe cerca de uma dezena de explorações em atividade e tal como nos outros dois núcleos, nestas pedreiras onde hoje trabalham apenas 2 ou 3 pessoas, chegaram a trabalhar algumas dezenas, tendo muitas já cessado a sua atividade.

Devido a uma tectónica muito ativa, neste maciço é pouco evidente o reconhecimento de qualquer estrato, apresentando-se mesmo numa estrutura quase caótica. Assim, como não há a possibilidade de seguimento de camadas específicas, a extração da rocha é pouco seletiva. Ainda em consequência da intensa tectonização a que o maciço esteve sujeito, ele apresenta uma estruturação bastante “emalhetada”, que conduz a uma elevada resistência ao arranque, dificultando o seu desmonte mecânico, sendo frequente o desmonte com recurso a explosivos. A pedra de calçada é produzida manualmente, pois em face das suas características, não é possível o uso de métodos mecânicos (cunhas hidráulicas).

Em termos do seu enquadramento geológico, o Núcleo de Explorações de Alenquer encontra-se incluído nas folhas 30 D (Alenquer) e 30 B (Bombarral) da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50 000 (Fig. 4). A área das serras de Ota e de Atouguia das Cabras faz parte do extenso maciço calcário do Jurássico Superior, localizando-se entre a Bacia Cenozóica do Baixo Tejo a Este, e o grande anticlinal da Serra de Montejunto, mais a Noroeste. Estas exposições calcárias do Oxfordiano-Titoniano pertencem à extensa mancha que se inicia, aproximadamente, 1 km a Norte de Alenquer,

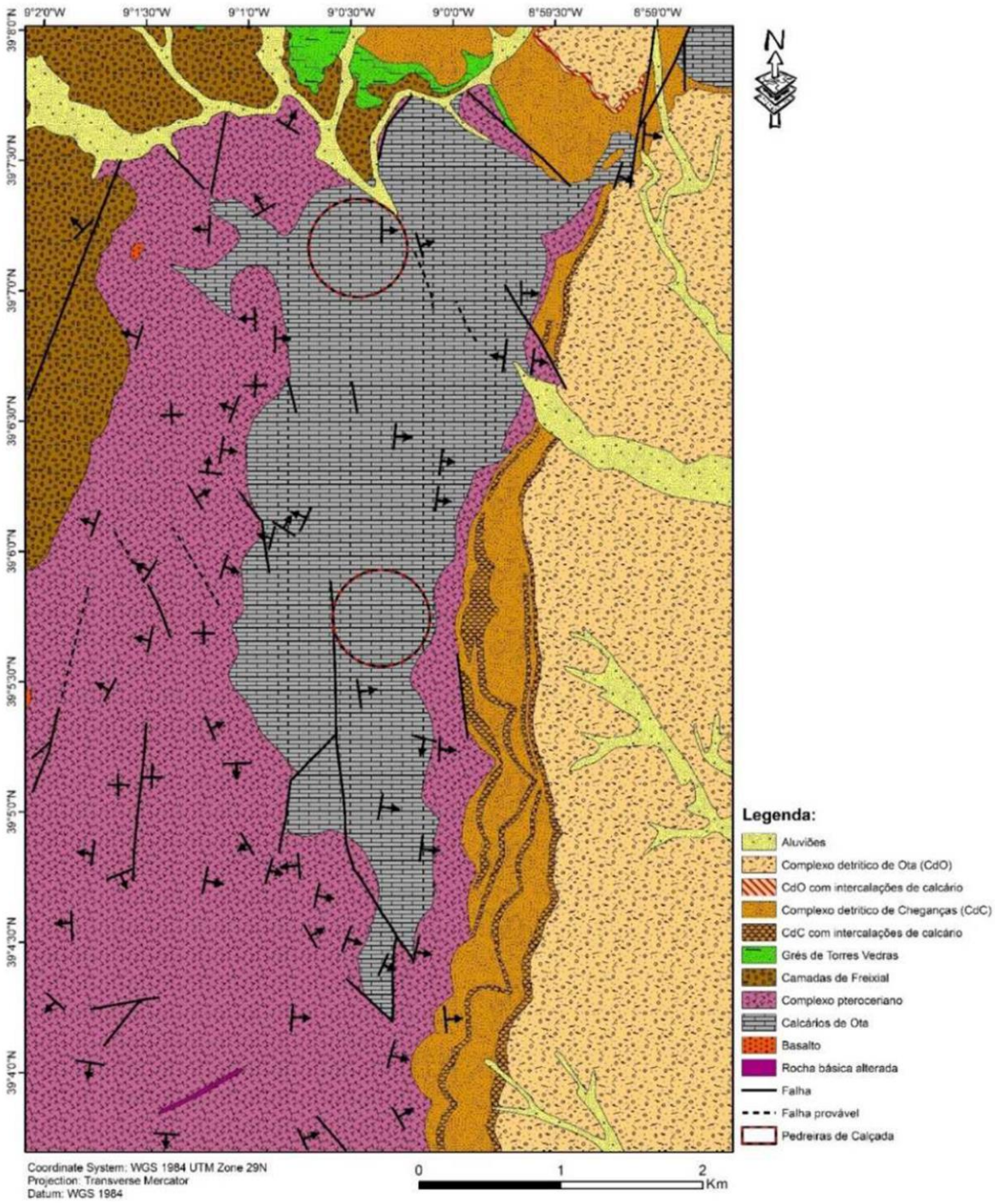

Figura 4 **-** Enquadramento geológico das pedreiras de calçada do Núcleo de Explorações de Alenquer [Fonte: adaptado das Folhas 30 D, Alenquer, e 30 B, Bombarral, da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:50 000 (Rocha, 2016)].

alinhada no sentido Norte - Sul, com cerca de 7 km de comprimento e uma largura máxima de 2,5 km, a Oeste de Ota, apresentando o afloramento apenas 200 a 300 m de largura na sua extremidade Sul (Zbyszewski & Torre de Assunção, 1965).

Os Calcários de Ota (J^{3-4}), que fazem parte de uma formação recifal complexa, são relativamente homogéneos, de grão fino e claro, cuja fácies oolítica é contemporânea do recife, o qual se teria formado na sua periferia (Paradela & Zbyszewski, 1971). As litologias, que constituem esta unidade, distribuem-se por calcários micríticos, bioclásticos, calciclásticos, microbrechóides, micro-conglomeráticos e microcristalinos, com oólitos e oncólitos dispersos, com frequentes estruturas derivantes de bioturbação e, ainda, calcários oolíticos e pisolíticos, com abundantes oncólitos, alternando com calcários microcristalinos.

Estes calcários terão uma espessura superior a 250 m, pois uma sondagem ali realizada para captação de água, chegou a esta profundidade sem atingir a base da formação. Admite-se que possam ter uma espessura que ascenda a cerca de 400 m (Manuppella & Balacó Moreira, 1984).

Resultados e discussão

Caracterização petrográfica

A caracterização petrográfica de uma rocha ornamental tem como finalidade a sua descrição em termos de estrutura, textura, composição mineralógica, classificação petrográfica, assim como evidenciar as características que poderão influenciar o comportamento mecânico, a durabilidade e inevitavelmente o valor estético de cada rocha.

Estudo macroscópico

O aspeto visual de uma rocha é um factor determinante para a sua seleção, muitas vezes em detrimento das suas características físico-mecânicas. O método de observação utilizado foi a simples visualização à vista desarmada, mas, quando necessário, recorreu-se ao auxílio de uma lupa monocular.

O calcário de Alenquer apresenta um aspeto compacto, maciço, uma boa coesão e uma superfície após clivagem bastante lisa (calcário vidraço), com uma textura cristalina. Macroscopicamente não apresenta porosidade observável e apenas se verifica a existência de veios de espessura milimétrica, por vezes um pouco mais espessos, preenchidos por cristais de calcite. A matriz apresenta cor branca com uma leve tonalidade acinzentada, suportando alguns bioclastos e oólitos. Dentro do conteúdo fossilífero, que foi possível observar, destaca-se a presença de fragmentos de conchas de bivalves e gastrópodes, totalmente recristalizados por cristais de calcite.

O calcário de Porto de Mós/Alcanede apresenta cor branca que, por vezes, em certos estratos, pode ocorrer com uma leve tonalidade bege a azulada. Corresponde a um calcário compacto com uma estrutura homogénea e textura cristalina. A superfície após clivagem também se apresenta lisa, mas um pouco mais rugosa ao tato do que o calcário de Alenquer. Nestes calcários surgem igualmente alguns filonetes de calcite, embora sejam pouco abundantes. Também nestas rochas é

visível a presença de algum conteúdo aloquímico, nomeadamente oólitos, pisólitos e restos de conchas recristalizadas de gastrópodes.

O calcário de Alqueidão da Serra apresenta uma coloração cinzenta-escura a negra, igualmente homogénea e com uma estrutura maciça. São visíveis pontuações de sulfuretos metálicos, de dimensão aleatória, mas de tamanho inferior a 10 milímetros. Também são observáveis laivos de calcite espática de cor clara, que podem corresponder a restos de fósseis ou a microfissuras preenchidas por calcite. Em todas as observações macroscópicas realizadas neste tipo de calcário, não foram identificados quaisquer fósseis. De referir ainda que, aquando da sua serragem para obtenção de provetes, foi visível óleo em suspensão na água.

Caracterização colorimétrica

A cor dos calcários foi determinada com um espectrofotómetro portátil CM-700d de marca Konica Minolta e os resultados médios de L*a*b* estão apresentados na figura 5. O calcário de Alenquer tem uma cor cinzento bastante claro, quase branco, bastante homogéneo, com baixo coeficiente de variação dos índices colorimétricos, indicador de reduzida diversidade mineral. O calcário de Porto Mós/Alcanede é semelhante ao de Alenquer, mas apresenta uma variação dos seus índices colorimétricos ligeiramente mais elevada que o anterior. Já o calcário de Alqueidão da Serra tem uma cor cinzento-escuro quase negro e apresenta-se relativamente homogéneo, mas com um elevado coeficiente de variação dos índices colorimétricos, indicando uma maior complexidade cromática, que poderá ser indicativo de uma maior diversidade mineral.

Estudo microscópico

O estudo microscópico das rochas consistiu na observação e análise de lâminas delgadas em um microscópio de modelo Nikon ECLIPSE C*i* POL. Estes calcários foram classificados segundo as classificações de Folk (1959) e de Dunham (1962).

O calcário de Alenquer apresenta uma textura cristalina de grão fino, a matriz é composta por calcite microcristalina (micrite) de cor acastanhada e translucida ao microscópio ótico, onde também surge calcite esparítica, apenas a preencher descontinuidades e componentes aloquímicos (Fig. 6). Dispersos na matriz e correspondendo aos componentes aloquímicos, existem oólitos, *pellets* e inúmeros bioclastos, sendo os mais comuns os restos de bivalves, com forma alongada e encurvada, e os gastrópodes. Segundo adaptação à classificação de Folk (1959), este calcário corresponde a um *Pelbiomicrito*, e pela classificação de Dunham (1962), podemos defini-lo como um *Wackestone*.

O calcário de Porto Mós/Alcanede é formado predominantemente por precipitação química e também comporta vestígios de algum material aloquímico (*pellets*, bioclastos, oólitos), possuindo uma matriz micrítica onde, por vezes, é abundante a calcite espática a preencher poros, descontinuidades e bioclastos (Fig. 7). Pela classificação de Dunham (1962) estamos na presença de um *Wackstone* e,

segundo a adaptação à classificação de Folk (1959), podemos definir este calcário como um *Pelbiomicritoesparito.*

O calcário de Alqueidão da Serra é formado de precipitação química e também contém algum material aloquímico. Ele ajusta-se a um biomicrito parcialmente espatizado, onde surgem abundantes opacos que correspondem a sulfuretos metálicos e matéria carbonosa, com uma certa orientação, que, provavelmente, foi consequência do metamorfismo de contacto (Fig. 8). Em adaptação à classificação de Folk (1959), podemos definir este calcário como um *Biomicritoesparito*, e segundo Dunham (1962) estamos na presença de um *Wackstone*.

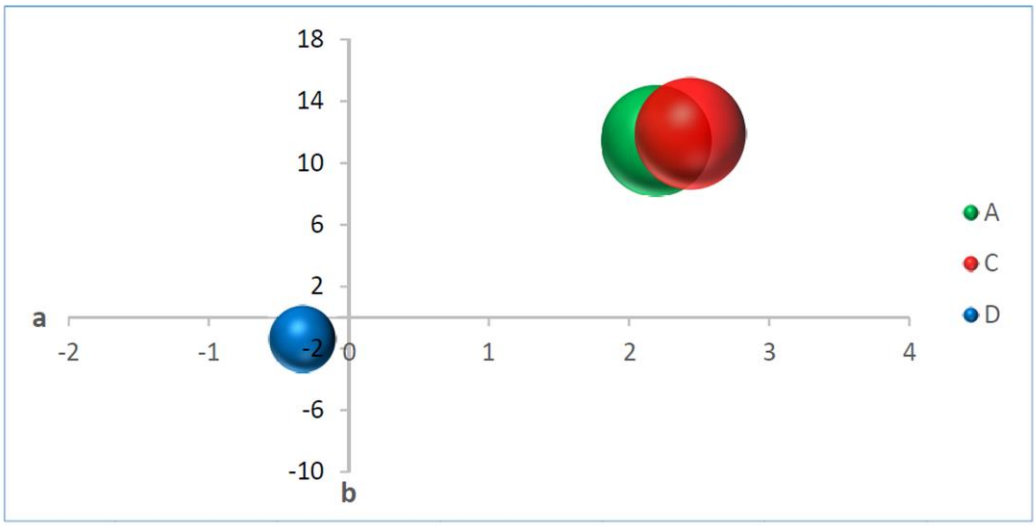

Figura 5 **-** Projeção dos valores médios de L*, a*, b* das amostras de cada calcário, o volume das esferas corresponde ao valor do índice L*. A. Alenquer. C. Porto de Mós/Alcanede. D. Alqueidão da Serra [Fonte: Rocha, 2016].

Caracterização mineralógica e química

A difratometria de raios X permitiu verificar que os calcários de Alenquer e de Porto de Mós/Alcanede apresentam constituição semelhante. Observou-se a presença de calcite, havendo ainda a referir vestígios de quartzo e de minerais argilosos. O calcário de Alqueidão da Serra apresenta uma composição um pouco mais diversificada, observando-se igualmente o predomínio da calcite, embora com menor intensidade. Foram ainda identificadas a presença de pirite e calcopirite, para além de minerais de argila.

A análise química foi realizada por espetrómetria de fluorescência de raios X portátil, da marca Niton, modelo Thermo Scientific Niton XL3t XRF com tecnologia GOLDD+. O estudo foi realizado sobre a superfície serrada de várias amostras de cada calcário. A análise de fluorescência de raios X permitiu avaliar a concentração de 43 elementos químicos nas diferentes amostras de cada calcário. Os valores obtidos não correspondem a um total de medida próximo de 100 %, consequência da impossibilidade da técnica de analisar os elementos leves com massa atómica inferior ao magnésio.

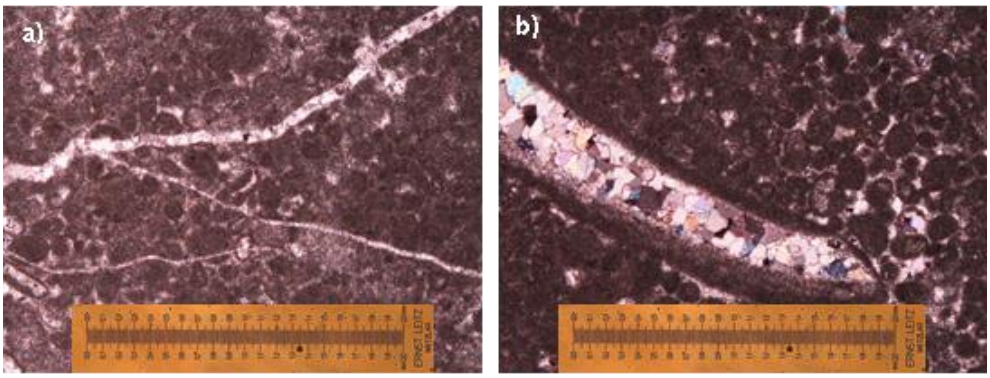

Figura 6 **-** Fotomicrografias do calcário de Alenquer em nicóis cruzados e ampliadas 4x. a. matriz constituída por pelóides e alguns oólitos onde se observa filonetes preenchidos por cristais de calcite (esparite). b. bioclasto preenchido por calcite espática [Fonte: Rocha, 2016].

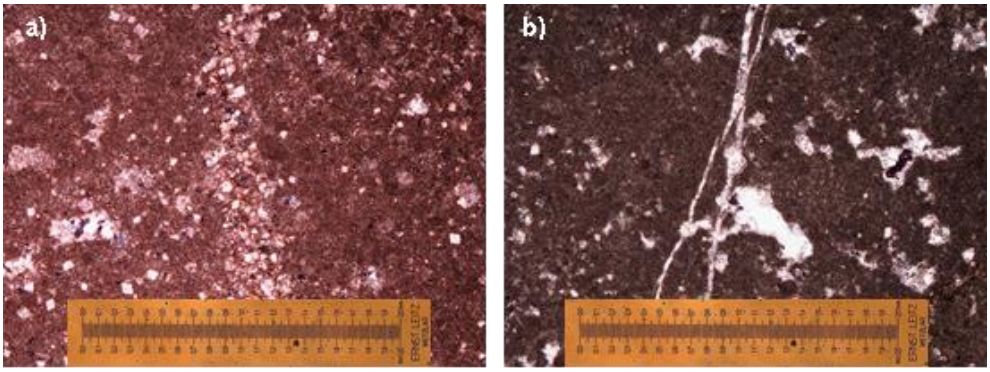

Figura 7 **-** Fotomicrografias do calcário de Porto Mós/Alcanede em nicóis cruzados e ampliadas 4x. a. matriz micrítica onde surge simultaneamente cimento de calcite espática. b. nódulos de cristais de calcite que também preenchem os veios [Fonte: Rocha, 2016].

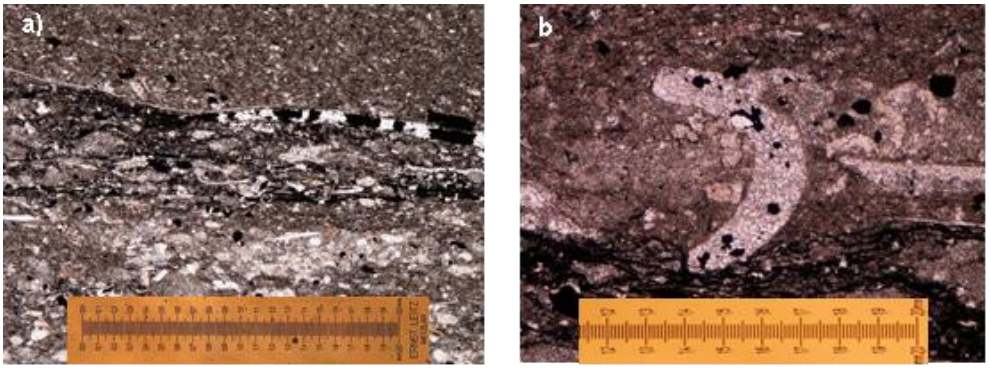

Figura 8 **-** Fotomicrografias do calcário de Alqueidão da Serra em nicóis cruzados. a. matriz micrítica onde há abundancia de calcite espática e opacos que também surgem a preencher veios, notando-se ainda uma certa orientação de bandas de minerais (ampliação 4x). b. bioclasto preenchido por calcite espática (ampliação 10x).

Embora fosse tido em atenção, não se considerou que esta característica fosse impeditiva da apresentação e análise dos resultados, pois permite comparar os três calcários. Apenas se

consideram os elementos maiores e que foram avaliados na generalidade das medições, sendo expressos em percentagem (Tab. I).

Verificou-se que os calcários de Alenquer e de Porto de Mós/Alcanede são quimicamente semelhantes, sendo quase totalmente constituídos por cálcio e um pouco de sílica. No calcário de Alqueidão da Serra, para além do predomínio do cálcio como nos anteriores (mas em menor quantidade), observou-se maior concentração em outros elementos, em particular silício, alumínio e ferro, o que poderá estar relacionado com o carácter mais margoso deste calcário e com o metamorfismo de contacto que o terá afetado.

Tabela I - Composição química dos calcários em percentagem (Fonte: Rocha, 2016).

Localização			
Elemento	**Alenquer**	**Porto de Mós/ /Alcanede**	**Alqueidão da Serra**
Ca	49,53	49,55	40,68
Si	0,61	0,46	7,56
K	0,14	0,15	1,60
Fe	0,09	0,09	2,28
Ba	0,04	0,04	0,05
Ti	0,03	0,03	0,08
S	0,08	0,12	1,13
Cl	0,04	0,08	0,04
Al	-	-	4,97
Mn	-	-	0,04
Sr	-	-	0,95

Conclusões

Os fatores que intervêm na seleção de uma pedra natural para aplicação como elemento construtivo são de natureza vária, sendo, contudo, o factor estético frequentemente decisivo nessa seleção. Assim, torna-se imperativo evidenciar algumas particularidades estéticas que caracterizam cada um dos calcários estudados. O calcário de Alqueidão da Serra é distinto dos outros dois, apresentando uma coloração quase negra, onde, por vezes, sobressaem pontuações douradas de pirite. Os calcários de Alenquer e de Porto de Mós/Alcanede, apesar de terem colorações semelhantes, evidenciam aspectos diferenciadores entre si. O calcário de Porto de Mós/Alcanede apresenta uma coloração mais homogénea, com uma tonalidade que se aproxima mais do branco, mas não patenteia o brilho que o calcário de Alenquer emana. Neste, destaca-se ainda a abundância de cristais de calcite, tanto em pontuações como em filonetes e, também, a recristalização do material fossilífero disperso na matriz, que lhe confere um belo efeito estético.

Os três calcários apresentam características que cumprem, quase na totalidade, os requisitos mínimos de desempenho estabelecidos por Henriques et al. (2009), para as pedras de melhor qualidade a aplicar na calçada portuguesa.

Dada a variabilidade vertical e lateral que se observa nos maciços calcários, que por vezes ocorre mesmo no espaço restrito da própria pedreira, é recomendado que qualquer caracterização desta pedra para fins comerciais se realize em áreas limitadas do maciço e sempre que se observem variações significativas desta matéria-prima.

Agradecimentos: Este trabalho foi apoiado pela FCT-MEC através de fundos nacionais e, quando aplicável, cofinanciados pelo FEDER no âmbito da parceria PT2020 do projeto UID/Multi/00073/2013 do Centro de Geociências.

Referências bibliográficas

Azerêdo, A. C. (2007). Formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica). *Comunicações Geológicas*, *94*, 29-51.

Bairrada, E. M. (1985). *Empedrados artísticos de Lisboa: a arte da calçada mosaico*. Lisboa: Ed. Autor.

Cabrera, A., & Nunes, M. (1990). *Olhar o Chão.* Lisboa: Imprensa Nacional - Casa da Moeda.

Carvalho, F., Midões, C., Machado, S., Sampaio, J., Costa, A., & Lisboa, V. (2011). *Maciço Calcário Estremenho: Caracterização da situação de referência*. Relatório interno, não publicado. Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

DGEG (2016). *Cadastro nacional de pedreiras*. Lisboa: Direção Geral de Energia e Geologia.

Dornelas, C., Castela, I., & Dornelas, L. (2006). *Técnicas de calçada: manual do formando*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.

Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Memoir of the American Association of Petroleum Geologists*, *1*, 108-121.

Ferreira, A. (2000). *Dados geoquímicos de base de sedimentos fluviais de amostragem de baixa densidade de Portugal Continental: Estudo de factores de variação regional.* Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Folk, R. L. (1959). Practical petrology classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, *43*, 1-38.

Gorani, G. (1989). *Portugal, a corte e o país nos anos de 1765 a 1767*. Lisboa: Lisóptima Edições.

Henriques, A. M. E., Moura, A. A. C., & Santos, F. A. (2009). *Manual da calçada portuguesa*. Lisboa: Direção Geral de Energia e Geologia.

Inês, N. (2010). *Paleotipologias diagenéticas em formações carbonatadas do Jurássico Médio da Bacia Lusitânica: análise multiscala e aplicações à caracterização de reservatórios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Manuppella, G., & Balacó Moreira, J. C. (1984). Calcários da serra de Ota. *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*, *26*(1-4), 25-34.

Matos, E. (2004). *Lisboa das calçada*s. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.

Matos, E. (2012). A arte da calçada à portuguesa. *Portugalglobal, 49*, 17-19.

Moura, A., & Velho, J. L. (2012). *Recursos geológicos de Portugal*. Coimbra: Palimage.

Moura, A. C., Carvalho, C., Almeida, I., Saúde, J., Ramos, J., Augustos, J., … Sobreiro, S. (2007). *Mármores e calcários ornamentais de Portugal*. Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

MNA (2016). *Mosaicos romanos nas coleções do Museu Nacional de Arqueologia: Ars musiva (as artes e os artífices musivos)*. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia.

NP EN 1342:2014, Norma Portuguesa. Cubos e paralelepípedos de pedra natural para pavimentos exteriores - Requisitos e métodos de ensaio (2ª ed.). Caparica: Instituto Português da Qualidade I.P.

Paradela, P. L., & Zbyszewski, G. (1971). Hidrogeologia Geral do Centro e Sul de Portugal. In *I Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica. Livro Guia da Excursão, nº 9*. Lisboa: Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos.

Pimenta, J. G. (2008). *Pavimento urbano: Adequação ao uso - reflexões a propósito do espaço público no contexto do Centro Histórico de Lisboa*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Pinto, A. C. R. (2006). *Manual de pedra natural para a arquitetura.* Lisboa: Direção Geral de Geologia e Energia.

Roc2c (2020). *História da calçada portuguesa*. https://www.roc2c.com /pt/ calcada/historia/historia-da-calcada-portuguesa

Rocha, F. J. G. (2016). *Caracterização físico-mecânica de calcários utilizados na calçada portuguesa (Alqueidão da Serra, Porto de Mós/Alcanede e Alenquer).* Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Coimbra.

Santos, F. J. A. (2004). Inovação e competitividade no sector da calçada portuguesa. *Rochas & Equipamentos*, *73*, 8-28.

Zbyszewski, G., & Torre de Assunção, C. (1965). *Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 30-D, Alenquer*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

Zbyszewski, G., Manuppella, G., & Veiga Ferreira, O. (2006). *Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 27-C, Torres Novas* (2ª ed.). Lisboa: Departamento de Geologia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.

Zbyszewski, G., Manuppella, G., Veiga Ferreira, O., Mouterde, R., Ruget-Perrot, C., & Torre de Assunção, C. (2000). *Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50 000. Notícia Explicativa da Folha 27-A, Vila Nova de Ourém* (2ª ed). Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro.