

ESCOMBREIRAS E DEPÓSITOS DE LAMAS PROVENIENTES DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS CARBONATADAS – UM CASO DE ESTUDO DE APLICAÇÃO DE “NATAS” NA PRODUÇÃO DE LIGANTES À BASE DE RESINA PARA A PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS PÉTREOS

WASTE AND SLUDGE DEPOSITS FROM THE CARBONATED ORNAMENTAL ROCK INDUSTRY – A CASE STUDY ON THE APPLICATION OF “NATAS” IN THE PRODUCTION OF RESIN-BASED BINDERS FOR THE PRODUCTION OF STONE COMPOSITES

*Afonso, Paula, Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Évora, Portugal, pafonso@uevora.pt**

Azzalini, Antônio, Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Évora, Portugal, antonioazzalini@hotmail.com

Lopes, Luís, Departamento de Geociências, Instituto Ciências da Terra, Polo de Évora, Universidade de Évora, Évora, Portugal, lopes@uevora.pt

Faria, Paula, Departamento de Geociências, Universidade de Évora, GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Évora, Portugal, pagf@uevora.pt

Mourão, Paulo, Departamento de Química e Bioquímica, CHANGE & MED, Universidade de Évora, Évora, Portugal, pamm@uevora.pt

Martins, Ruben, Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Évora, Portugal, rubenvm@uevora.pt

Pires, Vera, Departamento de Geociências, Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Évora, Portugal, vlcp@uevora.pt

**autor para correspondência*

RESUMO

A indústria extrativa e transformadora de calcários e mármore ornamentais tem particular expressão em Portugal. Os principais núcleos extrativos de mármore localizam-se no *triângulo do mármore* formado pelos concelhos de Estremoz, Borba, Vila Viçosa. Por sua vez, a extração de calcários tem maior expressão no Maciço Calcário Estremenho, abrangendo os concelhos de Rio Maior, Alcobaça, Porto de Mós e Fátima. Devido ao grande número de pedreiras e serrações e atendendo às técnicas utilizadas e aos elevados padrões de qualidade exigidos aos produtos finais de pedra natural, levam inevitavelmente à produção de desperdícios pétreos e lamas carbonatadas, estas últimas, vulgarmente denominadas de “natas”. O Departamento de Geociências da Universidade de Évora, atendendo à proximidade com a Zona dos Mármore, implementou uma linha de investigação que estuda o potencial destes desperdícios como matérias-primas em aplicações industriais. O projeto Calcinata (Projeto de I&dt Empresas em Copromoção) é o mais recente projeto a explorar este potencial. Pelas suas características físicas e químicas as “natas” possuem forte capacidade de ligação com resinas permitindo a utilização como matéria-prima em argamassas para a produção de compósitos de origem pétreo de base mais sustentável. Os fragmentos rochosos amontoados em escombrelas são contrastantes com a paisagem circundante pelo que o seu aproveitamento como matéria-prima deve ser implementado, por exemplo, na produção de agregados e outros produtos de base carbonatada em indústrias que incorporem este tipo de material.

ABSTRACT

The extractive and processing industry of ornamental limestone and marble is particularly important in Portugal. The main extractive marble centers are in the *marble triangle* formed by the Municipalities of Estremoz, Borba and Vila Viçosa. The exploitation of limestones has its greatest expression in the Estremenho Limestone Massif, covering the municipalities of Rio Maior, Alcobaça, Porto de Mós and Fátima. Due to the large number of quarries and processing units, the techniques used and the high-quality standards required for final ornamental stone products, inevitably lead to the production of stone waste and carbonated sludge, the latter commonly known as “natas”. The Department of Geosciences at the University of Évora, given the proximity of the Marble Zone, has implemented a line of research that studies the potential of these wastes as raw materials in industrial applications. Calcinata project (Projeto de I&dt Empresas em Co-promoção), is the most recent project, in this context, to explore this potential. The “natas”, given its physical and chemical characteristics, have a strong ability to bind with resins, thus allowing its use as a raw material in mortars to be used in the production of composites of stone origin with a more sustainable base. The rocky fragments piled up in heaps contrast with the surrounding landscape so, its use should be implemented mainly to produce aggregates and carbonated products usable as raw materials in industries that incorporate this type of material.

1. INTRODUÇÃO

A indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas, mármore e calcários produz elevadas quantidades de rejeitados posteriormente depositados a céu aberto em escombreliras e depósitos de lamas carbonatadas, com inevitáveis impactes ambientais. As zonas afetadas à extração são dominadas por cavidades, algumas com profundidades superiores a 100 m e de taludes verticalizados e por relevos positivos que correspondem às escombreliras e aos depósitos de “natas”. Particularmente as escombreliras são constituídas por blocos de diferentes dimensões, normalmente não excedendo 1 m³, mas depositados de forma aleatória no seu topo. Muitas destas escombreliras apresentam taludes exageradamente verticalizados e atendendo ao despejo livre, aparentam forte instabilidade.

Entre os vários impactes ambientais salienta-se a redução do coberto vegetal, diminuição da atividade agrícola e forte perturbação dos ecossistemas. A deposição de “natas” a céu aberto, para além dos impactes referidos anteriormente, tem como consequência a impermeabilização dos solos, alteração das linhas de água com significativa redução da qualidade da mesma, diminuição da qualidade do ar, redução do processo fotossintético das plantas e impacte visual, sendo este último bastante marcante, sendo a cor branca dos depósitos muito contrastante com todo o ambiente circundante, fundamentalmente rural (Martins, 1997).

Nas unidades extrativas, os desperdícios resultam do ciclo produtivo, fundamentalmente de operações de perfuração, corte e desmonte. O baixo rendimento neste subsector e em particular na Zona dos Mármore no Alentejo, região sul de Portugal, deve-se em grande parte às características geológicas do maciço e ao elevado grau de fracturação. Tal facto é responsável por baixos rendimentos na extração, entre 10 % e 30 %, implicando que o restante material desmontado vá alimentar escombreliras e depósitos de lamas carbonatadas. No caso particular das pedreiras os desperdícios constituídos por fragmentos rochosos contribuem com cerca de 95 % e as lamas carbonatadas com cerca de 5 %. As unidades transformadoras,

possuem um ciclo produtivo completamente distinto das pedreiras, estando vocacionadas para o processamento e melhoramento das propriedades físicas e visuais da matéria-prima, conferindo-lhes um padrão estético comercialmente aceitável. Neste subsector, o desperdício provém de operações associadas a processos de corte e tratamento de superfícies, nomeadamente polimento de chapas e ladrilhos, sendo estas, as principais linhas de produção de uma serração de rochas ornamentais. Assim, as serrações são responsáveis pela produção de 30 % de desperdícios nos processos ligados ao corte de blocos para sua divisão em chapas e 30 % noutras operações de corte e acabamento de superfícies, contribuindo com cerca de 58 % de fragmentos rochosos e 42 % de lamas carbonatadas.

Relativamente aos fragmentos rochosos, as empresas gradualmente têm adotado o aproveitamento dos blocos não utilizáveis como rocha ornamental para a produção de alvenaria, com recurso a martelos hidráulicos acoplados em retroescavadoras. Porém, particularmente no caso do Alentejo, por ser uma região de baixa densidade populacional e com centros urbanos de pequena dimensão, quer a construção civil, quer as construções rodoviária e ferroviária não são suficientes para absorver a quantidade de escombros que diariamente são produzidos.

No entanto, há claras diferenças entre o Triângulo do Mármore e o Maciço Calcário Estremenho, que abarca uma extensa região entre Santarém e Leiria, fazendo com que os problemas sentidos na Zona dos Mármore sejam mais prementes que os da zona central de Portugal, desde logo pela generalizada utilização dos fragmentos rejeitados na indústria de rochas ornamentais nas fábricas de cal aí existentes.

2. AS PEDREIRAS E A ECONOMIA CIRCULAR

Tradicionalmente estes desperdícios são considerados como resíduos por não possuírem aproveitamento industrial que lhes confira um valor económico. Contudo, apresentam elevados graus de pureza, características físicas e químicas que os tornam materiais com elevado potencial para utilização em diversas indústrias, principalmente naquelas que incluem nos seus processos produtivos carbonato de cálcio (CaCO_3). A validação científica e tecnológica das características das “natas” conferem-lhes a possibilidade ou capacidade de serem incorporadas em processos industriais, permitindo assim a sua classificação como subprodutos da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas.

Em dezembro de 2015, a Comissão Europeia criou o “Plano de Ação para a Economia Circular”, com vista à promoção do crescimento sustentável. Por outro lado, o atual enquadramento político nacional para a economia circular (Plano de Ação para a Economia Circular em Portugal), aprovado através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A/2017, de 23 de novembro, consiste em definir uma estratégia nacional para a economia circular, assente na produção e eliminação de resíduos e nos conceitos de reutilização, reparação e renovação de materiais e energia. O sistema operativo do desenvolvimento linear reflete-se na extração de recursos, seguindo-se a fase de processamento e transformação em produtos, posteriormente vendidos, terminando o percurso, após a vida útil, como material descartável. Uma economia circular é entendida como uma economia que promove ativamente o uso eficiente e a produtividade dos recursos por ela dinamizados, através de produtos, processos e modelos de negócio assentes na desmaterialização, reutilização, reciclagem e recuperação dos materiais (Fig. 1). Desta forma, procura-se extrair valor económico e utilidade dos materiais, equipamentos e bens pelo maior tempo possível,

em ciclos energizados por fontes renováveis (Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A / 2017). Assim a conceção de produtos e serviços para a circularidade exige uma visão sistémica, conhecimento, informação e métodos - de designers, a engenheiros, a arquitetos. Mas exige também a experiência de quem instala, repara, transporta – de mecânicos, a eletricitas, a transportadores. É esta combinação que tem maior potencial na abordagem ao desenho de materiais, componentes reutilizáveis, produtos duráveis e reparáveis, separáveis, a produção com mínimo desperdício ou impacto ambiental, a utilização de subprodutos ou resíduos para novos produtos, e a remoção de materiais que suscitem preocupação procurando substâncias alternativas não impactantes (Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A / 2017).



Fig. 1 – Economia linear *versus* economia circular.

Qualquer aproveitamento industrial destes materiais, bem como projetos de investigação no sentido de valorizar estes rejeitos, como o projeto Calcinata, revestem-se de particular interesse, inserindo-se perfeitamente no modelo de produção do tipo “Economia Circular”, na medida que contribuirá para a redução de um desperdício da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas, conferindo-lhes um valor económico e contribuindo para a redução do passivo ambiental proveniente desta indústria.

Por outro lado, é de salientar que pedreiras antigas e respetivas escombrelas que ao longo dos anos vão desenvolvendo vegetação e ficando naturalmente integradas na paisagem, por vezes criam ecossistemas ideais que beneficiam e promovem a diversidade da avifauna. O desenvolvimento de novos biótopos contribui ainda para uma maior variedade de comunidades vegetais, que podem ir desde a vegetação característica de habitats rochosos até às comunidades dependentes dos habitats aquáticos ou higrófilos providenciados por várias dessas pedreiras (Germano *et al*, 2014). Um estudo desenvolvido por David Germano, no âmbito do Mestrado em Qualidade e Gestão do Ambiente, Especialização em Ecologia e Gestão Ambiental, da Universidade de Évora, evidencia o elenco de cinquenta e três espécies de aves existentes na zona das pedreiras, algumas das quais consideradas fauna estritamente protegida, de acordo com Anexo II da Convenção de Berna (Germano *et al*, 2014). Realce-se a avifauna com espécies com estatuto de “quase ameaçada”, como exemplo a águia cobreira, o andorinhão-real e o picanço barreteiro. Também é observável o chasco-ruivo que possui o estatuto de espécie vulnerável. Por outro lado,

devido à existência de biótopos aquáticos registre-se a fixação do pato-real e do guarda-rios e como espécies residentes o melro e o chapim-azul. A biodiversidade faunística, não se restringe à avifauna, havendo registos de uma variedade considerável de vertebrados terrestres, como o coelho-bravo, a rela-meridional, a raposa, a cobra-de-água-viperina, o cágado-mediterrâneo, o sapo-comum, a doninha e o morcego (Germano, 2013).

3. DEPÓSITOS DE NATAS

As lamas carbonatadas (natas), sendo depositadas em depósitos a céu aberto, apesar de serem em menor quantidade que as escombreliras e de menores dimensões acabam por ser mais impactantes, principalmente do ponto de vista visual (Fig. 2). Atualmente não têm aproveitamento industrial, no entanto, possuem elevados graus de pureza, características físicas e químicas que os tornam materiais com elevado potencial para a sua utilização em diversas indústrias, principalmente naquelas que incluem nos seus processos produtivos carbonato de cálcio (CaCO_3). A comprovação científica e tecnológica das características das lamas carbonatadas conferem-lhes a possibilidade, ou capacidade de serem incorporadas noutros processos industriais, permitindo assim a sua classificação como subprodutos da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas.

A investigação desenvolvida no âmbito do Projeto Calcinata teve como objetivo estudar a aplicação das lamas carbonatadas provenientes do processamento de mármore e calcários, como parte integrante de ligantes resinosos, posteriormente incorporados em compósitos pétreos. Atualmente, estes compósitos são industrialmente produzidos com recurso a resinas epóxi que, quando aplicadas em placas de revestimentos de exteriores e sujeitas a radiação UV proveniente dos raios solares, são sujeitas a reações químicas com conseqüente degradação das suas propriedades (Juvandes, 2002). Um dos fatores determinantes para os preços de mercado demasiadamente altos para compósitos pétreos é o valor comercial das resinas epóxi. No projeto Calcinata estudaram-se ligantes produzidos à base de lamas carbonatadas e resinas poliéster, resinas estas muito mais económicas que as epoxídicas e igualmente com bons desempenhos.



Fig. 2 – Depósito de “natas” em Vila Viçosa.

3.1. Materiais e Métodos

A metodologia implementada respeita uma sequência lógica na investigação das lamas carbonatadas, tendo em consideração a diversidade das mesmas, na medida que são provenientes do tratamento de mármore e de calcários. Assim, procedeu-se a uma campanha de amostragem desenvolvida na Zona dos Mármore (Estremoz, Borba e Vila Viçosa) e no Maciço Calcário Estremenho (Santarém), tendo-se procedido à secagem à temperatura ambiente e posterior desagregação em moinho de maxilas Retsch – BB200. A recolha de lamas carbonatadas marmóreas foi efectuada nas empresas António Galego & Filhos – Mármore SA, referenciadas como M(AGF) e A.L.A. de Almeida SA., referenciada como M(A). As lamas carbonatadas calcárias foram colhidas nas empresas Solancis - Sociedade Exploradora de Pedreiras SA, referenciadas como C(S) e MVC - Mármore de Alcobaça Lda., referenciadas como C(MVC). Seguiu-se uma fase dedicada à caracterização física e química das lamas carbonatadas. A distribuição granulométrica das partículas constituintes das amostras de lama carbonatada foi obtida pela conjugação das análises granulométricas da fração composta pelas partículas de diâmetro esférico equivalente (d.e.e.) > 0.063 mm e da fração composta pelas partículas de diâmetro esférico equivalente (d.e.e.) < 0.063 mm. A distribuição granulométrica da fração constituída pelas partículas de d.e.e. > 0.63 mm, foi determinada por peneiração, segundo a Norma E234-1969, Especificação LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil). As análises granulométricas da fração inferior a 0.063 mm foram efetuadas no Laboratório Ambiterro, da Universidade de Évora, tendo a distribuição dimensional das partículas sido determinada com recurso a um sedimentógrafo, da marca Micromeritics, modelo Sedigraph 5100, com fontes de raios-X.

Para determinação da massa volúmica da lama carbonatada, fundamental para a formulação das composições, foi utilizada a norma NP EN 1097-7 2002 - Determinação da massa volúmica do filler – Método do Picnómetro.

As composições químicas efetuadas às lamas carbonatadas, foram determinadas no Laboratório Ambiterro, da Universidade de Évora a partir das frações < 63 µm, tendo-se determinado a perda ao rubro e os teores dos seguintes elementos maiores: Mn, Ti, Ca, K, Si, Al, Mg, Na e Fe, expressos sob a forma de óxidos: MnO, TiO₂, CaO, K₂O, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Na₂O e Fe₂O₃, através de Espectroscopia de Emissão Ótica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES). Terminada a fase de caracterização das lamas carbonatadas, teve início um novo estágio com a constituição de formulações com diferentes contributos percentuais de lama carbonatada e resina poliéster, de marca Recapoli 2196 da Empresa Castro Composites e consequente avaliação físico-mecânica.

As misturas foram efetuadas com recurso a um misturador manual, sendo posteriormente depositadas em moldes de 15 cm x 15 cm x 15 cm. De modo a avaliar a evolução dos valores de resistência ao longo tempo, inicialmente testaram-se as formulações com três tempos de cura: 7, 14 e 28 dias. Terminados os períodos estabelecidos os blocos cúbicos foram cortados em provetes de 5 cm x 5 cm x 5 cm e submetidos a ensaios de resistência à compressão uniaxial, de acordo com a norma NP EN 1926:2008 e com recurso a uma prensa de compressão Pegasil.

3.2. Resultados

Relativamente às análises de distribuição granulométrica, observou-se grande semelhança entre as distribuições granulométricas das partículas constituintes das amostras de calcário e de mármore, possuindo dimensões máximas de 2 mm.

As massas volúmicas determinadas pelo método do picnómetro revelaram os seguintes valores: M(A) – 2.537 g/cm³. M(AGF) – 2.559 g/cm³. C(S) – 2.490 g/cm³ e C(MVC) – 2.493 g/cm³. No que diz respeito à caracterização química, obtiveram-se os resultados referentes aos teores dos elementos maiores constantes no Quadro 1.

Quadro 1 - Percentagem dos elementos maiores nas quatro amostras de "natas".

Amostras	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂
M(AGF)	0.545	2.549	45.504	3.156	0.228	0.253	0.564	0.030	0.017
C(MVC)	0.278	0.357	52.580	0.337	0.089	0.092	0.583	0.004	0.006
C(S)	0.276	0.297	54.189	0.301	0.089	0.143	0.620	0.004	0.011
M(A)	0.716	3.537	51.555	0.829	0.274	0.362	0.670	0.008	0.026

As amostras previamente desagregadas foram sujeitas a peneiração, obtendo-se a fração composta pelas partículas de diâmetro esférico equivalente inferior a 63 µm. Esta fração permitiu efetuar uma análise mineralógica global, tendo as "natas" carbonatadas se revelado marcadamente carbonatadas, com picos na Difração de raios-X (DRX), bem definidos na Calcite.

Terminada a fase de caracterização das natas calcárias e marmóreas, iniciou-se um novo estágio que incluiu a formulação de ligantes constituídos por resina poliéster e nata com diferentes percentagens. A caracterização mecânica do ligante foi fundamental para validar o seu desempenho, uma vez que o seu comportamento mecânico será condicionante do comportamento mecânico dos compósitos que o incorporem. Com base nos resultados assim obtidos, em conjugação com os resultados da caracterização física dessas formulações referidas anteriormente, será então possível definir a composição ótima do ligante. Assim, foram efetuadas algumas formulações preliminares em contexto laboratorial, com vista à determinação das composições que garantissem misturas mais homogêneas e com maior compacidade, partindo-se de seguida para misturas moldadas em moldes de dimensões 15 cm x 15 cm x 15 cm. Após desmoldagem, os provetes permaneceram em cura ao ar e à temperatura ambiente e foram testados aos 7, 14 e 28 dias, tendo-se verificado resistência à compressão uniaxial crescente com o tempo atingindo-se valores mais elevados aos 28 dias. Esses resultados são apresentados no quadro 2.

Quadro 2 - Resistência mecânica à compressão (R.M.C.) uniaxial aos 28 dias de cura.

Formulações	R (MPa)
ANM3 – 54.43%NM / 45.57%Res.	102.73
ANM4 – 50%NM / 50%Res.	98.35
ANM5 – 47%NM / 53%Res.	96.23
ANM6 – 52%NM / 48%Res.	106.37
ANC3 – 52.31%NC / 47.69%Res.	103.20
ANC4 – 50%NC / 50%Res.	102.12
ANC5 – 47%NC / 53%Res.	96.04

4. ESCOMBREIRAS

O sector das rochas ornamentais reveste-se de características muito específicas, na medida que o principal objetivo na extração é a obtenção de blocos de dimensão comerciável, são, com elevado padrão estético, homogêneo e isento de defeitos estruturais. Apesar de alguma variação na tipologia e nos padrões que os calcários revelam, não é tão marcante como nos mármore, onde por vezes do mesmo bloco podem sair diferentes padrões. O grau de exigência que os mercados revelam,

associado a fatores geológicos, onde a fracturação dos maciços e as descontinuidades naturais se mostram determinantes, faz com que os rendimentos de extração sejam baixos, na maioria das unidades extractivas e tendo como consequência a elevada produção de pedra rejeitada do ponto de vista ornamental. Assim, a acumulação constante de pedra em escombreyras leva inevitavelmente à degradação paisagística, no entanto, é importante perceber-se que estes núcleos extrativos constituem zonas industriais, bem individualizadas, devendo haver legislação adequada atendendo à especificidade desta atividade importante para a manutenção de Portugal como o 7º maior exportador mundial. Estas escombreyras são constituídas por potencial matéria-prima, especialmente para a produção de agregados. No entanto, não deve ser ignorado o facto que este mesmo material futuramente pode vir a ser utilizado para recuperação ambiental de pedreiras como enchimento de cavidades ou suavização de taludes. Para que o seu aproveitamento seja eficaz e efetuado de forma economicamente sustentável, é fundamental que materiais de diferentes características, como solos, fragmentos rochosos e natas, não sejam misturados no mesmo depósito, o que nem sempre acontece. A situação torna-se ainda mais gravosa quando se verifica a acumulação nestes depósitos de resíduos urbanos inviabilizando assim qualquer tipo de aproveitamento destes materiais. Por outro lado, também se admite o recobrimento de escombreyras com o solo resultante das destapações, com vista ao desenvolvimento de coberto vegetal.

Sendo as escombreyras potenciais fontes de pedra para a produção de agregado, seria expectável que a construção civil e as construções rodoviária e ferroviária pudessem eliminar um número significativo de escombreyras contribuindo assim para uma mitigação dos impactes ambientais. Porém, no caso particular do Alentejo, a baixa densidade populacional e a existência pontual de grandes obras como foi a autoestrada A6 que liga Marateca a Elvas, concluída em 1999 e a ferrovia, Corredor Internacional Sul, Évora – Elvas/Caia, iniciada em setembro de 2019 e encontrando-se à data em construção, não têm sido suficientes para garantirem uma eliminação significativa das escombreyras. Estima-se que desde o início da construção da ferrovia do Alentejo nos três troços, Évora N – Freixo, Freixo – Alandroal, ambas com extensões de 20 500 m e Alandroal – Caia, com uma extensão de 37 266 m, tenham até à data absorvido cerca de 1 850 000 t de agregados de origem marmórea, como pó e britas para betão e *tout-venant*, estando excluída a sua utilização como balastro e sub-balastro. Considerando a produção de agregados ornamentais para a ferrovia, o valor ascende a 2 850 000 t. Tal valor corresponde aproximadamente a 1 600 000 m³. Perante estes valores percebe-se que a existência de obras de grande dimensão como a linha férrea, não resolve o problema dos aterros em zonas de forte atividade extrativa, porém, em casos pontuais reflete-se na redução substancial de algumas escombreyras (Fig. 3).



Fig. 3 – Escombreyra na Zona de Pardais em junho de 2019 e janeiro de 2023.

De realçar algumas iniciativas pontuais que, desde há alguns anos, têm assumido as escombrelas como matérias-primas de elevado valor, integrando-se perfeitamente na filosofia da economia de reciclagem. Refere-se o caso particular da empresa Marvisa, Mármore Alentejanos Lda. que criou uma linha de produção de agregados ornamentais, tendo desde 2017 produzido até à data cerca 1 000 000 t, fundamentalmente destinada à exportação.

5. CONCLUSÕES

A pedra natural pode tornar-se um recurso escasso nas próximas gerações, aumentando os constrangimentos já existentes no acesso aos materiais de construção e recursos naturais. Neste sentido, é fundamental a promoção de linhas de investigação focadas no desenvolvimento de produtos baseados numa economia circular sustentável.

Com base na análise realizada no artigo, podem ser identificadas as seguintes conclusões com vista à reutilização das natas:

- Em relação à análise granulométrica, apesar de colhidas em locais diferentes, verifica-se grande proximidade granulométrica entre as amostras de natureza calcária e também entre as amostras de natureza marmórea. A composição mineralógica das amostras M(A), M(AGF), C(S) e C(MVC) revelou lamas marcadamente carbonatadas, com picos na DRX, bem definidos na calcite.
- Relativamente à composição química, todas as lamas carbonatadas possuem percentagens significativas de CaO e na perda ao rubro (C(MVC) – 43.50%; C(S) – 43.30%; M(AGF) – 42.97%; M(A) – 42.15%). M(AGF) e M(A) com expressão na SiO₂ e M(AGF) algo magnésiana (MgO).
- Verificou-se que os resultados obtidos para a mistura composta por 50% de lama carbonatada calcária e 50% de resina, superaram em 4 MPa os valores obtidos para igual formulação com lamas carbonatadas marmóreas. Por outro lado, as formulações com 47% de lama carbonatada e 53% de resina permitiram resultados idênticos para natas calcárias e marmóreas. À proporção 52% de lama carbonatada e 48% de resina a formulação com a lama carbonatada de mármore revelou uma resistência mecânica à compressão de 3 MPa superior à do calcário, tendo estas duas mostrado os melhores desempenhos.

Os estudos desenvolvidos revelaram a possibilidade de substituição de resinas epoxídicas pelas resinas poliéster, refletindo-se a vantagem económica nos preços dos produtos finais, a que acresce a utilização de lamas carbonatadas que, para além de reduzirem a quantidade de resina usada, garantem o consumo de um produto até agora tratado como resíduo. A redução percentual de resina como ligante, devido à incorporação de lamas carbonatadas revela-se favorável, na medida em que se diminui substancialmente a quantidade de resina nos compósitos e levando ao aproveitamento de um resíduo da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas, vulgarmente depositadas a céu aberto com evidentes impactes ambientais. Os estudos prosseguirão com a formulação de diferentes composições integrando agregados provenientes da britagem de mármore, com diferentes granulometrias, constituindo assim compósitos pétreos ambientalmente mais sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Trabalho realizado no âmbito do projeto “CALCINATA – Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais (mármore e calcários)” com a referência ALT20-03-0247-FEDER-072239. Projeto cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) enquadrado no ALENTEJO 2020 (Programa Operacional Regional do Alentejo).

Os autores agradecem especialmente à Associação Cluster Portugal Mineral Resources, co-gestora do projeto e ao Gabinete de Apoio aos Projectos da Universidade de Évora.

Vera Pires agradece ao Contrato Programa entre FCT e a Universidade de Évora no âmbito do concurso estímulo ao emprego científico institucional 2018, à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) no âmbito dos projetos UIDB/04449/2020 e UIDP/04449/2020—através do laboratório HERCULES

REFERÊNCIAS

- Germano, D. L. C. (2013). *Análise da Evolução da Recuperação Ecológica em Pedreiras de Mármore Inactivas no Anticlinal de Estremoz: Avifauna, Flora e Vegetação*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Qualidade e Gestão do Ambiente, especialização em Ecologia e Gestão Ambiental; Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Março 2013, 169 pp.
- Germano, D.; Lopes, L.; Gomes, C.; Santos, A.; Martins, R. (2014). *O Impacte das Pedreiras Inactivas na fauna, Flora e Vegetação da Zona dos Mármore: Problema ou Benefício?* Callípole, Revista de Cultura nº 21; Câmara Municipal de Vila Viçosa; pp. 149 – 171.
- Juvandes, L.F.P. (2002). *Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FRP*. Ciência dos Materiais, Licenciatura em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, pp. 76.
- Martins, R. (1997). *Aplicações Industriais de "Natas" Resultantes da Indústria Transformadora de Rochas Ornamentais Carbonatadas*. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro, 150 p.
- Martins, R.; Lopes, L.; Ventura, A. (2011). *Estudos para o Aproveitamento de Subprodutos da Indústria Extractiva e Transformadora de Rochas Ornamentais Carbonatadas*, 222 – 232, in Edgar B. A. e Maria J. D.C. Ed., *Técnicas Aplicadas a la Caracterización y Aprovechamiento de Recursos Geológico-Mineros*, Volumen II: Procesos Experimentales 242 p., Red Minería XXI, CYTED e Instituto Geológico y Minero de Espanha. ISBN 978-84-96023-97-0.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A / 2017. *LIDERAR A TRANSIÇÃO: Plano de Ação para a Economia Circular em Portugal 2017-2020*; <https://eco.nomia.pt/contents/ficheiros/paec-pt.pdf>.