

APLICAÇÃO DE SUB-PRODUTOS DA INDÚSTRIA EXTRATIVA E TRANSFORMADORA DE ROCHAS ORNAMENTAIS CARBONATADAS EM COMPÓSITOS PÉTREOS

R. Martins^{1*}, A. Azzalini¹, J. Velez¹, L. Lopes^{1,2}, P. Afonso¹, P. Faria^{1,3}, P. Mourão⁴, V. Pires⁵

(1) Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Portugal, *rubenvm@uevora.pt

(2) Instituto Ciências da Terra, Polo de Évora, Portugal

(3) GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal

(4) Departamento de Química e Bioquímica, Universidade de Évora, Portugal and CHANGE & MED

(5) (5) Laboratório HERCULES — Herança Cultural, Estudos e Salvaguarda e IN2PAST — Lab. Associado para a Investigação e Inovação em Património, Artes, Sustentabilidade e Território, Universidade de Évora, Portugal

INTRODUÇÃO

A indústria de extração e transformação de pedra ornamental carbonatada produz elevadas quantidades de resíduos que são depositados a céu aberto em escombrelas e depósitos de lamas carbonatadas (Fig. 1). A aplicação industrial destes resíduos permite acrescentar valor, transformando-os num subproduto, contribuindo assim para o enquadramento dos subsectores de extração e transformação de calcário e mármore, no “Plano de Ação para a Economia Circular”, promovendo o crescimento sustentável. Desta forma, esta investigação demonstrou que as lamas de reciclagem como matéria-prima são passíveis de integrar a produção de ligantes através da sua incorporação no fabrico de materiais compósitos de rochas ornamentais, substituindo parcial ou totalmente as resinas epoxídicas tradicionalmente utilizadas neste tipo de produtos. O trabalho constante neste artigo reflete a investigação realizada no Departamento de Geociências da Universidade de Évora, no âmbito do projeto “Calcinata, (Projeto de I&D Empresas em Co-promoção, com referência nº 72239 cofinanciado pelo Alentejo 2020, Portugal 2020 e União Europeia através do Programa “Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)”).

RESULTADOS

Lamas – Caracterização Química

As análises químicas (Tabela 1) efectuadas por espectrometria atómica revelaram um material fundamentalmente carbonatado. Todas as lamas carbonatadas têm percentagens significativas de CaO e apresentam uma percentagem relevante de perda de ignição.

Formulação de ligantes constituídos por lamas carbonatadas e resina

Tabela 2: Resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial após 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
ANCA – 50%NC / 50%Res.	102,12
ANC5 – 47%NC / 53%Res.	96,04

NM – Lama de Mármore; NC – Lama de Calcário; Res – Resina.

A caracterização mecânica do ligante foi efectuada através da avaliação da resistência à compressão uniaxial das diferentes formulações com diferentes percentagens de contribuição de lamas de calcário e de mármore e de resina. Os provetes foram mantidos para cura ao ar e foram ensaiados aos 7, 14 e 28 dias, verificando-se um aumento da resistência à compressão uniaxial ao longo deste período, atingindo valores mais elevados de compressão uniaxial aos 28 dias (Tabela 2).

Formulações de compósitos com ligante 52/48 e agregados de mármore

Definidas as formulações com melhor desempenho, em termos de ensaios de resistência à compressão uniaxial (NP EN 1926-2008) (Tabela 3), foram efectuados os restantes ensaios de caracterização (Tabela 4), nomeadamente:

- determinação da resistência à flexão sob carga concentrada (NP EN 12372, 2008);
- densidade aparente e porosidade (NP EN 1936-2008);
- absorção de água à pressão atmosférica (NP EN 13755);
- iv) absorção de água por capilaridade (NP EN 1925-2000).

Tabela 3: Formulações de compósitos de pedra e resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial para as várias formulações.

Formul.	Agregados					Ligantes	Resistência média à compressão uniaxial (MPa)
	BA	B1	B2	NC	NM	Res	
F1	30%	30%	40%	52%	48%	48%	73,30
F2	20%	20%	60%	52%	48%	48%	69,06
F3	35%	15%	50%	52%	48%	48%	61,11
F4	40%	40%	20%	52%	48%	48%	91,96
F5	30%	30%	40%	52%	48%	48%	52,26
F6	20%	20%	60%	52%	48%	48%	76,33
F7	35%	15%	50%	52%	48%	48%	81,20
F8	40%	40%	20%	52%	48%	48%	88,19

Formul.	Agregados					Ligantes	Resistência média à compressão uniaxial (MPa)
	BA	B1	B2	NC	NM	Res	
F1	30%	30%	40%	52%	48%	48%	73,30
F2	20%	20%	60%	52%	48%	48%	69,06
F3	35%	15%	50%	52%	48%	48%	61,11
F4	40%	40%	20%	52%	48%	48%	91,96
F5	30%	30%	40%	52%	48%	48%	52,26
F6	20%	20%	60%	52%	48%	48%	76,33
F7	35%	15%	50%	52%	48%	48%	81,20
F8	40%	40%	20%	52%	48%	48%	88,19

O agregado de mármore, fornecido pela empresa Marvisa, era constituído por três tipos, com os seguintes intervalos granulométricos: BA (4 mm / 6,3 mm), B1 (8 mm / 14 mm) e B2 (14 mm / 25 mm) (Tabela 3).



Fig. 1. Depósito de lamas carbonatadas em Vila Viçosa.

MATERIAIS

As amostras de lamas foram recolhidas diretamente dos filtros prensa das empresas: António Galego & Filhos - Mármore SA, referida como M(AGF) e A.L.A. de Almeida SA, referida como M(A). As lamas carbonatadas calcárias foram recolhidas na Solancis - Sociedade Exploradora de Pedreiras SA, designada por C(S) e na MVC - Mármore de Alcoçaba Lda, designada por C(MVC). As lamas provenientes do corte e processamento de mármore e calcários, juntamente com um agregado marmóreo previamente selecionado e disponibilizado pela empresa Marvisa, Mármore Alentejanos Lda., constituíram diversas formulações com resina poliéster, com vista à produção de compósitos pétreos.

NOVOS RESULTADOS

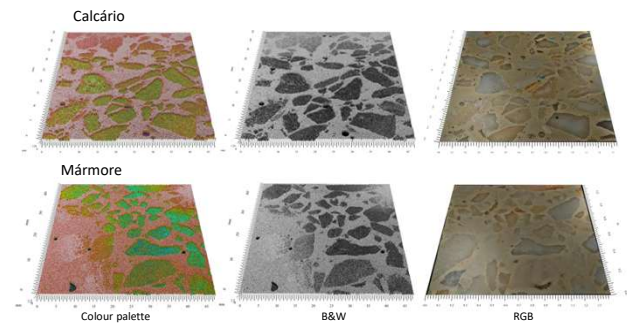


Fig. 2. Mapas microtopográficos de placas com aglutinante de lama calcária e mármore.

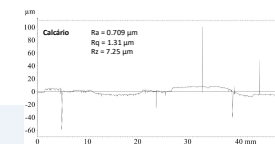


Fig. 3. Perfil de rugosidade do aglutinante de lamas de calcário.

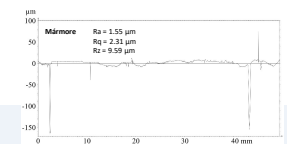


Fig. 4. Perfil de rugosidade do aglutinante de lamas de mármore.

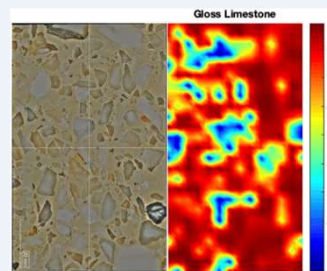


Fig. 5. Mapas de brilho em superfícies polidas de aglutinante de lamas de calcário.

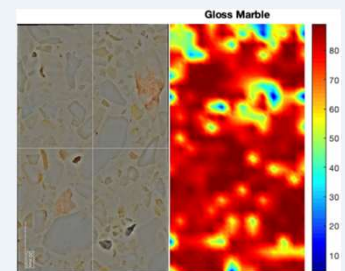


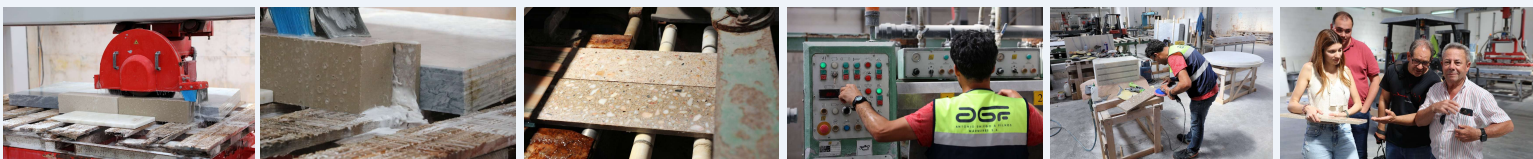
Fig. 6. Mapas de brilho em superfícies polidas de aglutinante de lamas de mármore.

CONCLUSÕES

A utilização de resina de poliéster em substituição da resina epoxy parece viável. O preço da resina epoxy é, em média, quatro vezes superior ao da resina poliéster, o que torna os produtos compósitos de pedra substancialmente mais caros.

Como um dos objetivos da investigação era a redução da resina e a sua substituição parcial por lamas carbonatadas, a investigação incorporou gradualmente percentagens sucessivamente mais elevadas de carga sólida, sem comprometer a resistência dos provetes. Assim, a percentagem ideal de ligante foi de: 52% de lama carbonatada e 48% de resina poliéster.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e à flexão são promissores, tendo em conta o facto das formulações terem sido efectuadas com um misturador mecânico, ligeiro.



AGRADECIMENTOS

Investigação desenvolvida no âmbito do projeto “CALCINATA - Produção de argamassas à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas da indústria de rochas ornamentais (mármore e calcário)” com a referência ALT20-03-0247-FEDER-072239. Projeto cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) no âmbito do ALENTEJO 2020 (Programa Operacional Regional do Alentejo). Agradecimentos especiais a: Associação Cluster Portugal Recursos Minerais, co-gestora do projeto e ao Gabinete de Apoio ao Projeto da Universidade de Évora; Serviços de Ciência e Cooperação e Serviços Administrativos da Universidade de Évora, e aos Serviços Técnicos da Universidade de Évora e em particular ao Sr. Artur Calhau pela cedência dos misturadores, sem os quais não teria sido possível realizar as formulações.

REFERÊNCIAS

- Afonso, P.; Azzalini, A.; Faria, P.; Lopes, L.; Martins, R.; Mourão, P.; Pires, V. (2023). Mortar Based on Sludge from Carbonate Dimension Stone Processing Industry - an Experimental and Feasibility Approach. 2023 Geo-Resilience Conference. The British Geotechnical Association Catalogue da Pedra Portuguesa. Assimagra: Recursos Minerais de Portugal, consulted on April 15, 2023 https://www.assimagra.pt/images/publicacoes/Cat%C3%A1logo%20da%20Pedra%20Portuguesa_2012_compactado.pdf, DOGM (1992). Ministério da Indústria e Energia, Direcção Geral de Geologia e Minas. Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas. Vols. 1 - 4. Germano, D.; Lopes, L.; Gomes, C.; Santos, A.; Martins, R. (2014). O Impacte das Pedreiras Inactivas na Fauna, Flora e Vegetação da Zona dos Mármoreiros: Problema ou Benefício? Callipole - Revista de Cultura, 21, 149-171. Câmara Municipal de Vila Viçosa UNEG. Portal das Rochas Ornamentais Portuguesas. <https://geoportal.ineg.pt/pd/pdo/roq/>, consulted on April 15, 2023. Jovanović, L.P.F. (2002). Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FPP. Ciência dos Materiais, Licenciatura em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, pp. 76.