

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

Ruben Martins^{1(*)}, Antônio Azzalini¹, Jorge Velez¹, Luís Lopes^{1,2}, Paula Afonso¹, Paula Faria^{1,3}, Paulo Mourão⁴, Vera Pires⁵

¹ Universidade de Évora, Departamento de Geociências, Évora, Portugal

² Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra, Polo de Évora, Évora, Portugal

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

⁴ Universidade de Évora, CHANGE e MED, Departamento de Química e Bioquímica, Évora, Portugal

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

(*)Email: rubenvm@uevora.pt

RESUMO

Apresenta-se a investigação realizada no Departamento de Geociências da Universidade de Évora, no âmbito do projeto “Calcinata, (Projeto de I&DT Empresas em Copromoção, com referência nº 72239 cofinanciado pelo Alentejo 2020, Portugal 2020 e União Europeia através do Programa “Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)”). Este projeto teve como principal objetivo a caracterização e aplicação de subprodutos da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas. As lamas provenientes do corte e processamento de mármore e calcários, juntamente com um agregado marmóreo previamente selecionado, constituíram diversas formulações com resina poliéster, com vista à produção de compósitos pétreos. Os materiais estudados são provenientes do Anticlinal de Estremoz e do Maciço Calcário Estremenho. O projeto contou com a colaboração das empresas António Galego & Filhos – Mármore SA, A.L.A. de Almeida SA., Solancis - Sociedade Exploradora de Pedreiras SA, MVC - Mármore de Alcobaça Lda. e Marvisa, Mármore Alentejanos Lda. A gestão do projeto foi realizada pela Associação Cluster Portugal Mineral Resources em coordenação com Gabinete de Apoio aos Projetos da Universidade de Évora.

Palavras-chave: lamas carbonatadas, compósitos pétreos, subprodutos, mármore, calcário.

INTRODUÇÃO

As lamas carbonatadas (vulgarmente conhecidas por “natas”), resultam da extração e processamento industrial de mármore e/ou calcários explorados no Anticlinal de Estremoz e no Maciço Calcário Estremenho, respetivamente. Tratando-se de materiais homogêneos, basicamente monominerálicos, onde prevalece a calcite, confere a estes litotipos um elevado grau de pureza ($> 95\% \text{CaCO}_3$).

Esta característica é fundamental para fazer do mármore e do calcário rochas com um elevado potencial para aplicação industrial pelo que se justifica o estudo da viabilidade técnica e económica de aplicação em novos produtos, acrescentando-lhe valor económico e contribuindo

para a classificação dos rejeitados da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais, como subprodutos (Alves, 2015; Juvandes, 2002; Korneliussen et al., 2014; Ventura et al., 2009).

As características geológicas dos maciços calcários, caracterizados por uma elevada densidade de descontinuidades, associada aos elevados padrões de qualidade e homogeneidade exigidos na indústria das rochas ornamentais, leva invariavelmente a rendimentos produtivos, muito baixos, sendo que nas unidades extrativas oscila entre 10% e 30%, o que significa que 90% a 70% do material extraído é depositado diariamente em escomboreiras e depósitos de lamias carbonatadas. Nas pedreiras, estes rejeitos são constituídos por fragmentos rochosos (95%) e lamias (5%).

Nas unidades de processamento, as operações que prevalecem são as de corte e tratamento de superfícies, onde se destaca o polimento de chapas e ladrilhos. Assim, nas serrações, produzem-se em média 30% de rejeitos nos processos ligados ao corte de blocos para produção de chapas e 30% noutras operações de corte e acabamento de superfícies, sendo que 58% são fragmentos rochosos e 42% lamias carbonatadas (“natas”), denotando-se uma diferença substancial para os rejeitos produzidos na extração.

Estes rejeitos, excetuando algumas utilizações pontuais, não têm aplicação industrial, sendo acumuladas em depósitos a céu aberto, resultando impactes ambientais, tais como a redução do coberto vegetal, a diminuição da atividade agrícola, a impermeabilização dos solos, a alteração das linhas de água com significativa redução da qualidade da mesma, a alteração dos ecossistemas, a diminuição da qualidade do ar, a redução do processo fotossintético das plantas e o impacte visual, este último evidente devido à cor branca dos depósitos em contraste com o ambiente circundante (Martins, 1997; Fig. 1).



Figura 1. Depósito de lamias carbonatas (“natas”) a céu aberto.

Atendendo às propriedades físicas e químicas das “natas”, a investigação demonstrou a viabilidade da aplicação técnica destas lamias associadas a resinas poliéster, apresentando forte capacidade de ligação com agregados, permitindo assim, a sua utilização como matéria-prima em argamassas ligantes na produção de compósitos pétreos de base mais sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O planeamento da investigação seguiu um cronograma, previamente estabelecido no arranque do projeto (Fig. 2), no qual se considerou a diversidade das lamias provenientes dos mármore e calcários. A amostragem decorreu na Zona dos Mármore, com recolha de amostras de lamias

carbonatadas marmóreas nas empresas António Galego & Filhos – Mármore SA, referenciadas como M(AGF) e A.L.A. de Almeida SA., referenciada como M(A), e no Maciço Calcário Estremenho (Santarém) com recolha de amostras de lamas carbonatadas calcárias nas empresas Solancis - Sociedade Exploradora de Pedreiras SA, referenciadas como C(S), e MVC - Mármore de Alcobaça Lda., referenciadas como C(MVC). Por sua vez, os agregados de mármore, doravante apenas referidos como “agregados”, foram cedidos pela empresa Marvisa, Mármore Alentejanos Lda.

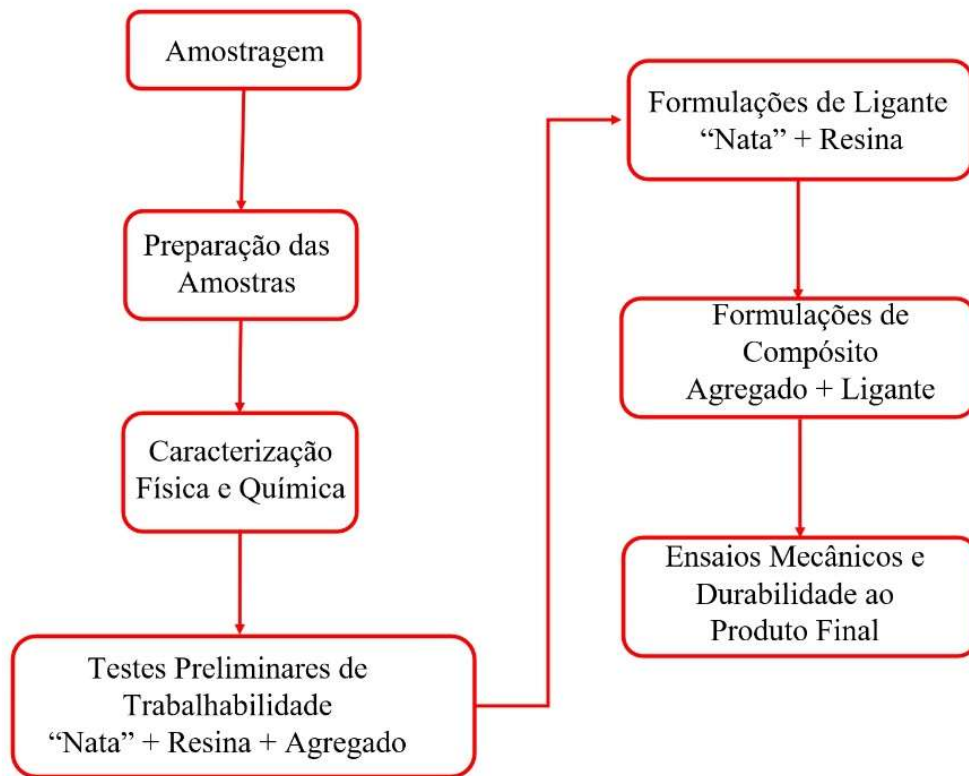


Fig. 2 - Fluxograma referente aos trabalhos realizados.

A campanha de amostragem teve em conta as empresas que melhor garantia davam em relação à integridade das “natas” recolhidas, isto é, sem possíveis contaminações, optando por amostras de um único litotipo, tendo sido obtidas nas descargas dos filtros-prensa (Fig. 3).



Fig. 3 – Amostragem da “nata” obtida do filtro-prensa da empresa Solancis SA.

Nos laboratórios do Departamento de Geociências da Universidade de Évora as amostras foram secas à temperatura ambiente, posteriormente desagregadas num moinho de maxilas Retsch – BB200 e de seguida ensacadas em lotes de 5 kg.

Seguiu-se uma fase do projeto dedicada à caracterização física e química das lammas carbonatadas, tendo sido submetidas ao grupo seguinte de ensaios:

1 - Distribuições granulométricas - Obtidas 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. > 0.063 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 (Afonso et al., 2023; Martins et al., 2023).

2 - Massas volúmicas - Foi utilizada a norma NP EN 1097-7 2002 - Determinação da massa volúmica do filler – Método do Picnómetro (Afonso et al., 2023).

3 - Composições químicas - Foram determinadas no Laboratório Ambiterro, da Universidade de Évora a partir das frações < 0.063 μ m, 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) (Afonso et al., 2023).

4 - Composições mineralógicas - Determinadas no Laboratório HERCULES da Universidade de Évora através da difração de raios-X em pós (DRX), em partículas de diâmetro esférico equivalente inferior a 0.063 mm. Utilizou-se um difratómetro Bruker D8 Discover com tubo de radiação CuK α operado a 40 kV e 40 mA e um detetor linear Lynxeye, (Martins et al., 2022).

Como o objetivo principal do estudo é a aplicação da “nata” juntamente com uma resina, constituindo assim um ligante para a produção de compósitos pétreos, realizaram-se vários testes expeditos a diferentes formulações constituídas por diferentes contributos percentuais de “nata” e resina poliéster.

Das formulações com melhor fluidez e tempos de secagem menores, produziram-se provetes cúbicos com 5 cm de aresta para ensaios de resistência mecânica à compressão uniaxial com recurso a uma prensa de marca Pegasil, de acordo com a norma NP EN 1926:2008. Para a obtenção dos referidos cubos, as argamassas foram inicialmente depositadas em moldes metálicos de 15 cm de aresta, tendo-se escolhido três tempos de cura: 7, 14 e 28 dias.

Na fase seguinte e depois de selecionado o ligante ideal (“nata” + resina), procedeu-se à realização de formulações onde o ligante foi misturado com o agregado de mármore com três composições granulométricas distintas, que possuíam dimensões nominais compreendidas entre 4 mm e 6.3 mm (Bago de Arroz - BA), 8 mm e 14 mm (Brita 1 - B1) e 14 mm e 25 mm (Brita 2 - B2).

Após a determinação da composição ótima (Ligante – “nata” e resina poliéster + Agregado – BA, B1 e B2), foram produzidos provetes para ensaios mecânicos e físicos mais detalhados, tais como resistência à flexão, ao impacto, ensaio de gelo/degelo, ensaio ao escorregamento, à

abrasão, entre outros, com vista à sua completa caracterização, tendo os tempos de cura sido idênticos aos das formulações do ligante.

RESULTADOS

a) Análise Granulométrica

A distribuição granulométrica das partículas constituintes das “natas” revelou-se um parâmetro nuclear no sucesso do desempenho dos ligantes, quer na fase de estudo da composição ideal de “nata” e resina, quer nas formulações de ligante e agregado, estando as curvas granulométricas representadas na figura 4.

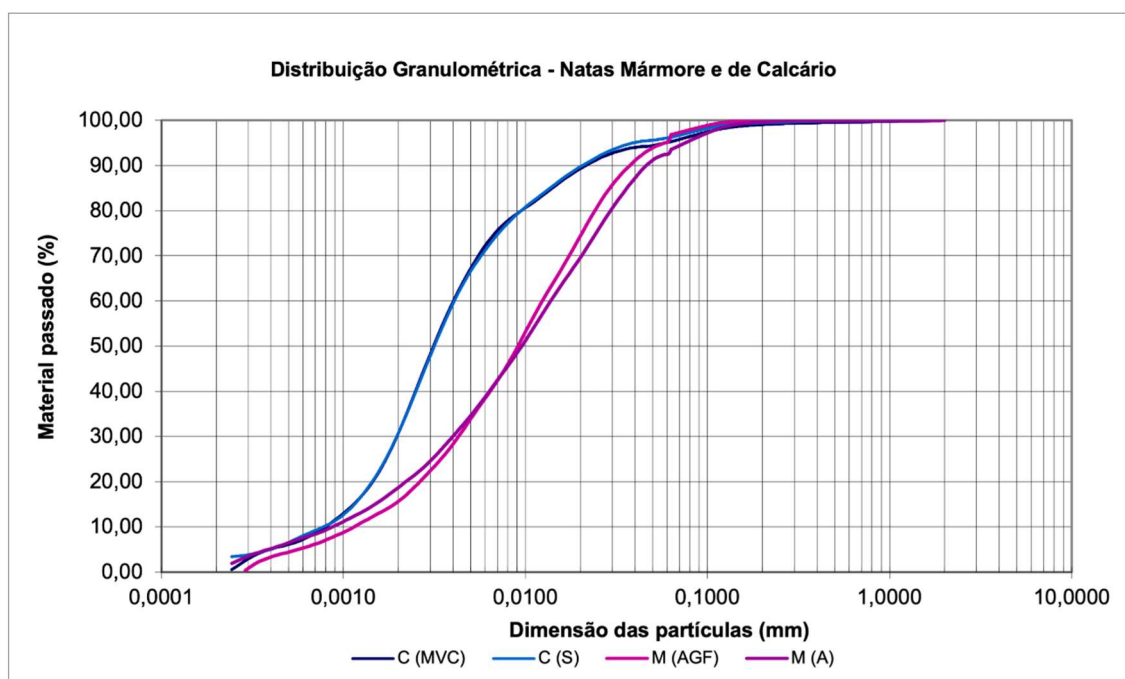


Fig. 4 – Distribuição granulométrica das “natas” de calcário e de mármore.

Tal como é observável nas curvas granulométricas patentes na figura 4, as “natas” de calcário [C(MVC) e C(S)] apresentam uma granulometria ligeiramente mais fina que as de mármore [M(AGF) e M(A)], não tendo sido ultrapassada a dimensão máxima de 2 mm.

b) Massas Volúmicas

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.

c) Análises Químicas

Não obstante a previsibilidade das composições químicas, obviamente associadas às composições mineralógicas e também ao conhecimento existente proveniente de trabalhos anteriores, foram realizadas as referidas análises especificamente às “natas”, sujeitas ao atual estudo, sendo os resultados contantes da Tabela 1.

Pela análise da tabela, percebe-se que todas as “natas” são predominantemente carbonatadas com percentagens significativas de CaO e perda ao rubro. Os mármore M(AGF) e M(A) apresentam-se mais siliciosos que os calcários, com uma percentagem de SiO₂ (2.5 – 3.5%),

naturalmente associada ao quartzo. O mármore M(AGF) revela-se ligeiramente dolomítico atendendo à presença de magnésio (MgO).

Tabela 1. Composição química e perda ao rubro (P.R.). Valores em percentagem (%).

AMOSTRAS	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P. R.
C(MVC)	0.278	0.357	52.580	0.337	0.089	0.092	0.583	0.004	43.50
C(S)	0.276	0.297	54.189	0.301	0.089	0.143	0.620	0.004	43.30
M(AGF)	0.545	2.549	45.504	3.156	0.228	0.253	0.564	0.030	42.97
M(A)	0.716	3.537	51.555	0.829	0.274	0.362	0.670	0.008	42.15

d) Composição Mineralógica

A análise mineralógica por difração de raios-X (DRX), tal como seria espectável, revelou o carácter carbonatado das lamelas, patente no pico bem definido da calcite (CaCO₃), principal mineral constituinte das rochas carbonatadas. Registaram-se ainda os picos referentes ao quartzo (SiO₂) e à dolomite CaMg(CO₃)₂ na amostra M(AGF) o que está em sintonia com o teor de MgO encontrado na análise química. A existência de um pico correspondente à ilite/moscovite, somente nos mármore é justificada por serem minerais comuns em rochas metamórficas, como é o caso do mármore.

e) Fluidez

A fluidez e trabalhabilidade são parâmetros importantes na medida que permitem dar uma ideia da facilidade de preenchimento dos vazios existentes entre os grãos de agregado, tendo-se realizado várias formulações com diferentes percentagens de “natas” e resina poliéster (Recapoli 2196 da Empresa Castro Composites), e posterior avaliação físico-mecânica. Contribuiu para a seleção da resina poliéster, Recapoli 2196 o facto de ser uma resina transparente, com filtro UV para evitar amarelecimento e ideal para vazamento sobre moldes de silicone na fabricação de peças decorativas de grande transparência, maquetes, protótipos, etc. (Martins, 2017; Odegard et al., 2011).

A medição da velocidade de fluência da mistura foi realizada em plano graduado e inclinado a 45°, medindo-se o tempo e a distância percorrida pela mistura até se verificar a sua paragem.

f) Resistência Mecânica à Compressão Uniaxial dos Provetes Constituídos por Ligante

Após a determinação das formulações com melhores desempenhos de fluidez, realizaram-se os ligantes que foram despejados em moldes de 15 cm de aresta e deixados a secar à temperatura ambiente, com tempos de cura de 7, 14 e 28 dias, para posterior obtenção de provetes cúbicos de 5 cm de aresta para ensaio de resistência à compressão uniaxial.

Esta fase foi crucial, na medida que o principal propósito desta investigação foi o de reduzir ao máximo a utilização da resina, aumentando os contributos da “nata” no ligante, sem comprometer a sua resistência, tendo-se obtidos os máximos valores no maior período de secagem (Afonso et al., 2023).

Na tabela 2 consta os diferentes ligantes, com as respetivas percentagens de “nata” e resina e os valores de Resistência Mecânica à Compressão (R.M.C.).

Tabela 2 - Resistência mecânica à compressão uniaxial aos 28 dias de cura.

ANM – “Nata” Mármore; ANC – “Nata” Calcário; Res. - Resina

Formulações	R (MPa)
ANM3 – 54%NM / 46%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%NC / 48%Res.	103.20
ANC4 – 50%NC / 50%Res.	102.12
ANC5 – 47%NC / 53%Res.	96.04

As formulações com melhores resultados foram as que possuíram as proporções de 52%/48%, tendo a formulação ANM6 (52%NM/48% Res) revelado o melhor desempenho. Assim, as formulações ANM6 e ANC3 foram selecionadas para a fase seguinte, de produção de protótipos de compósito com os agregados.

FORMULAÇÃO DE COMPÓSITOS PÉTREOS COM LIGANTE E AGREGADO

Tendo-se determinado quais os ligantes com melhor desempenho, evoluiu-se para a realização de diferentes compósitos, com a mistura do ligante com o agregado marmóreo, constituído por três frações granulométricas: Bago de Arroz (BA), Brita 1 (B1) e Brita 2 (B2) .

Para a determinação do contributo de cada fração na parcela “agregado” e a percentagem no compósito, também se realizaram ensaios a pequena escala com vista à determinação da trabalhabilidade do agregado, na mistura.

Após vários testes com diferentes percentagens de Agregado e Ligante, coincidentemente, as proporções ideais, foram respetivamente 52%/48%.

Assim, elaboraram-se 8 misturas, tendo sido 4 com ligante calcário (“nata” calcária + poliéster); 4 com ligante marmóreo (“nata” de mármore + poliéster), tal como é observável na tabela 3.

Tabela 3 – Formulações de Agregados (52%) / Ligante (48%) e os contributos percentuais individuais de cada um dos componentes. BA – Bago de Arroz; B1 – Brita 1; B2 – Brita 2; NC – Nata Calcária; NM – Nata Marmórea.

Formulações	Agregados (52%)			Ligantes (48%)		
	BA	B1	B2	NC	NM	Resina
F1	30%	30%	40%	52%		48%
F2	20%	20%	60%	52%		48%
F3	35%	15%	50%	52%		48%
F4	40%	40%	20%	52%		48%
F5	30%	30%	40%		52%	48%
F6	20%	20%	60%		52%	48%
F7	35%	15%	50%		52%	48%
F8	40%	40%	20%		52%	48%

Produziram-se de novo cubos com 15 cm de aresta (Fig. 5), em moldes metálicos para posterior corte de provetes cúbicos de 5 cm de aresta (Fig. 6) para ensaio de resistência mecânica à compressão (Tabela 4).



Figura 5 – Vibração do molde metálico preenchido com o compósito, para a remoção de bolhas de ar.

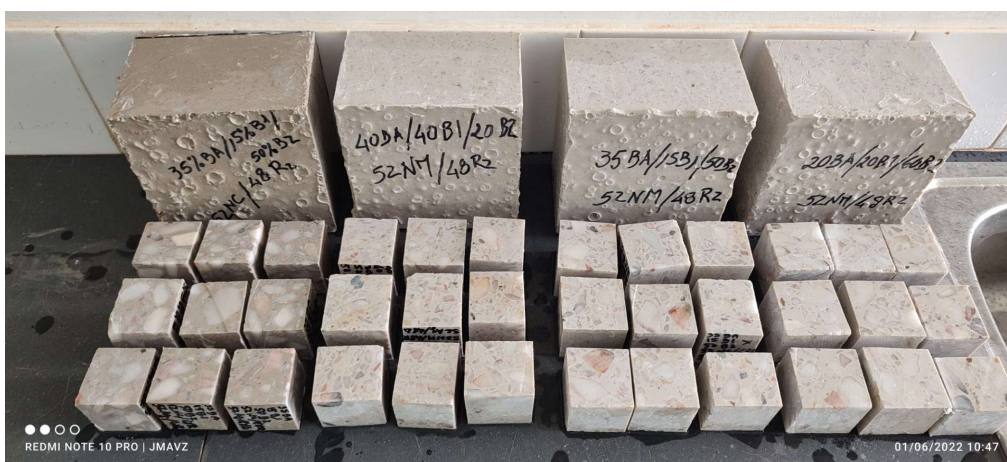


Figura 6 – Provetes cúbicos obtidos a partir dos blocos executados nos moldes.

Tabela 4 – Resistência Mecânica à Compressão (R.M.C.) das oito formulações aos 28 dias de cura.

Formulações	R.M.C. (MPa)
F1	73.30
F2	69.06
F3	61.11
F4	91.96
F5	52.26
F6	76.33
F7	81.20
F8	88.19

Da análise da tabela anterior conclui-se que as formulações com melhores resultados no ensaio de resistência mecânica à compressão são:

F4: 52% Agregados (40%BA / 40%B1 / 20%B2) + 48% Ligante (52% Nata Calcária + 48% Resina)

F8: 52% Agregados (40%BA / 40%B1 / 20%B2) + 48% Ligante (52% Nata Marmórea + 48% Resina),

A investigação prosseguiu com a preparação das formulações selecionadas em moldes paralelepípedicos de maiores dimensões (55 cm x 15 cm x 15 cm) (Fig. 7) para a obtenção de novos provetes para mais ensaios de caracterização e testes de polimento em contexto industrial.



Figura 7 – Formulações em moldes paralelepípedicos.

Terminado o tempo de cura, os provetes foram cortados de acordo com as dimensões requeridas para os ensaios a realizar posteriormente (cubos, paralelepípedos e chapas para polimento).

Na tabela 5 constam os resultados referentes à resistência mecânica à compressão, à flexão, massa volúmica aparente e porosidade aberta, absorção de água à pressão atmosférica e absorção de água por capilaridade.

Tabela 5 – Ensaios de caracterização do protótipo de compósito.

Ensaio	Agregado + Ligante	
	NM	NC
Resistência Mecânica à Compressão (MPa)	88.19	91.96
Resistência Mecânica à Flexão (MPa)	15.49	13.49
Vol. Poros Abertos (ml)	0.224	0.214
Vol. Aparente (ml)	117.01	104.59
Massa volúmica aparente (g/m ³)	2.279	2.263
Porosidade aberta (%)	0.191	0.203
Absorção de água à pressão atmosférica (%)	0.2	0.1
Absorção de água por capilaridade (%)	0.088	0.062

NM – Formulação com ligante de Nata Marmórea;

NC – Formulação com ligante de Nata Calcária.

Tendo-se obtido resultados bastante promissores, submeteram-se os blocos a um processamento industrial, tendo a empresa António Galego & Filhos – Mármore S.A., se associado à

investigação. Assim, nas suas instalações, os blocos foram cortados em placas de 2 cm de espessura e posteriormente polidas na linha de polimento de ladrilho (Fig. 8).

O resultado revelou superfícies homogeneamente polidas e com um padrão estético aceitável. Do ponto de vista cromático notou-se uma ligeira diferença entre as placas com ligante que incorporou “nata” de mármore, das placas que incorporaram ligante com “nata” de calcário, tendo esta última apresentado uma matriz de cor bege, mais escura. De facto, as placas de compósito que incorporaram “nata” de mármore, revelaram um padrão mais claro e esbranquiçado (Fig. 8).



Figura 8 – Processamento dos compósitos na Empresa António Galego & Filhos, Lda.

CONCLUSÕES

A investigação desenvolvida durante o Projeto Calcinata conseguiu provar que as lamas carbonatas (“natas”) que atualmente são um resíduo proveniente da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas, possuem características físicas e químicas que as tornam possíveis matérias-primas na produção de compósitos pétreos.

De destacar os seguintes aspetos:

- Análise granulométrica semelhante entre as amostras de natureza calcária e marmórea e entre as “natas” recolhidas nas diferentes unidades de transformação;
- Composição mineralógica das lamas marcadamente carbonatadas, com picos na DRX, bem definidos na calcite;
- Composição química, revela percentagens significativas de CaO na perda ao rubro, corroborando a composição mineralógica;
- A proporção 52% de lama carbonatada e 48% de resina, revelou na formulação com a lama carbonatada de mármore uma resistência mecânica à compressão de 3 MPa superior à do calcário;

- A possibilidade de substituição de resinas epoxídicas pelas resinas poliéster revela-se bastante vantajosa economicamente, pelo facto destas, serem quatro vezes mais económicas que as resinas epoxídicas;

- Os resultados obtidos, nos ensaios de resistência à compressão e flexão são promissores, devendo ser analisados à escala laboratorial, uma vez que apenas foi utilizado um misturador mecânico ligeiro de baixa capacidade para se proceder à homogeneização das formulações e um sistema vibratório para eliminação de bolhas de ar.

- A execução em contexto industrial com utilização de um misturador adequado e com câmara de vácuo, assegurará certamente um produto mais homogéneo, de maior densidade e menos defeitos estruturais, permitindo, seguramente, valores de resistência à compressão e flexão, superiores;

- Comparando a R.M.C. ($F_4 = 91.96$ MPa e $F_8 = 88.19$ MPa) com os valores de algumas rochas ornamentais, conclui-se que se encontram dentro do intervalo de valores para a Pedra Natural, tal como se demonstra no exemplos apresentados (Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas):

Calcários: Pedra de Ançã (23 MPa) – Banco de Baixo (167 MPa);

Mármore: Rosa Venado (70 MPa) – Branco Venado (102 MPa);

Granitos: Amarelo Vila Real (70 MPa) – Cinzento Alpalhão (253 MPa);

- Comparando a R.M.F. ($F_4 = 13,49$ MPa e $F_8 = 15,49$ MPa) com valores de algumas rochas ornamentais (Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas):

Calcários: Olho de Sapo (Arrimal) (9 MPa) – Branco do Mar (31 MPa);

Mármore: Rosa (15 MPa) – Creme Venado (29 MPa);

Granitos: Amarelo Figueira (6 MPa) – Cinzento Azulália (35 MPa);

- Comparando a absorção de água à pressão atmosférica (F_8 : 0.2%; F_4 : 0.1%) com alguns litotipos (<https://www.primeirapedra.com/stones/> acesso em 30 de junho de 2024):

Calcários (0.2% - 9.6%);

Granitos (0.2% - 1.05%);

Mármore (0.1%);

- A porosidade aberta dos dois compósitos apresenta valores aproximadamente de 0.2%, equivalente às porosidades abertas que se observam no mármore e que são inferiores às dos granitos (0.4%, 0.7%) e às dos calcários (0.4%, > 1%) segundo o Portal das Rochas Ornamentais Portuguesas, LNEG (<https://geoportal.lneg.pt/pt/bds/rop/> acesso em 30 de junho de 2024);

- O corte e polimento de placas revelou um material homogéneo, não obstante a mistura manual com recurso a um misturador ligeiro e um polimento de boa qualidade conferindo-lhe características próprias para comercialização;

- Considerações finais:

É possível a utilização de lamas carbonatadas em compósitos conferindo-lhe valor económico e possibilitando a sua classificação como subproduto e não como resíduo.

A utilização em compósitos pétreos de agregados provenientes da fragmentação e rolagem de blocos sem valor comercial como ornamental, afigura-se como uma possibilidade de aproveitamento neste tipo de produto.

A utilização de resina poliéster em compósitos pétreos revelou-se promissora, com vantagens económicas consideráveis.

Redução dos impactes ambientais provocados pela acumulação a céu aberto de rejeitos da indústria extrativa e transformador de rochas ornamentais carbonatadas.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi desenvolvido 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, cogestora 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.

Um especial agradecimento às empresas António Galego & Filhos – Mármore SA, A.L.A. de Almeida SA., Solancis - Sociedade Exploradora de Pedreiras SA, MVC - Mármore de Alcobaça Lda. e Marvisa, Mármore Alentejanos Lda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, P., Azzalini, A., Lopes, L., Faria, P., Mourão, P., Martins, R., Ribeiro, V. 2023. Escombrelas 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; Atas do 18º Congresso Nacional de Geotecnia (18CNG) Geotecnia e Alterações Climáticas, Évora, 14 a 17 de maio de 2023; ISBN: 978-989-54038-9-9.

Alves, T. 2015. Formulação de Pastas Cerâmicas a partir de Matérias-Primas Argilosas dos Concelhos de Vila Viçosa e Redondo para a Produção de Olaria Tradicional. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Geociências. Universidade de Évora. 259 p.

Comité Europeu de Normalização. CEN/TC 246 – Natural Stones. <https://standards.cen.eu/> consulta em 30 de junho de 2024

Instituto Português da Qualidade. NP EN 1097-7 2002 - Determinação da massa volúmica do filler – Método do Picnómetro

Instituto Português da Qualidade. NP EN 12372_2008 - Determinação de resistência à flexão por carga central

Instituto Português da Qualidade. NP EN 13755_2008 - Determinação da absorção de água à pressão atmosférica

Instituto Português da Qualidade. NP EN 1925_2000 - Coeficiente de absorção por capilaridade

Instituto Português da Qualidade. NP EN 1926_2008 - Determinação de resistência à compressão uniaxial

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.

Korneliussen, A.; Lopes, L.; Martins, R. 2014. Estremoz Marbles, Portugal – a potential resource for high whiteness industrial applications; V Global Stone Congress (22–25 October 2014), Antalya, Türkiye.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. NP E234-1969 – Análise granulométrica de filler

Martins, Dias da Silva K. A. 2017. Análise do envelhecimento acelerado de polímeros. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro.

Martins, R., Faria, P., Lopes, L., Pires, V., Mourão, P., Azzalini, A. 2021. Relatório Nº 01/2021 Entregável Nº E1.1 – Relatório Preliminar. <http://hdl.handle.net/10174/31722>.

Martins, R., Faria, P., Lopes, L., Pires, V., Mourão, P., Azzalini, A. 2022. Relatório Nº 01/2022 Entregável Nº E2.1 – Relatório sobre as especificações técnicas da nata e da argamassa. <http://hdl.handle.net/10174/33766>.

Martins, R., Lopes, L., Faria, P., Pires, V., Afonso, P., Mourão, Paulo., Velez, J. 2022a. Relatório Nº 02/2022 Entregável Nº E3.1 – Relatório sobre construção dos protótipos necessários para a validação dos resultados da solução estrutural. Ajuste de detalhe nas especificações dos protótipos. <http://hdl.handle.net/10174/33701>.

Martins, R., Lopes, L., Faria, P., Pires, V., Afonso, P., Mourão, Paulo., Velez, J. 2023. Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais (mármore e calcários) RELATÓRIO Nº 01/2023 Entregável Nº E7.6 – Relatório Final. <http://hdl.handle.net/10174/36916>.

Martins, R., V. 1997. Aplicações Industriais de "Natas" Resultantes da Indústria Transformadora de Rochas Ornamentais Carbonatadas. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro, pp. 150.

Odegard, G.M., Bandyopadhyay, A., 2011. Physical aging of epoxy polymers and their composites. J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys. <https://doi.org/10.1002/polb.22384>

Ventura, A., Martins, R., Andrade, G., Gomes, C., Lopes, L. 2009. Incorporação de lamas de serragem e polimento de rochas carbonatadas em pastas para produção de cerâmica monoporosa; Kéramica, Revista da Indústria Cerâmica Portuguesa, APICER, pp. 6-15.