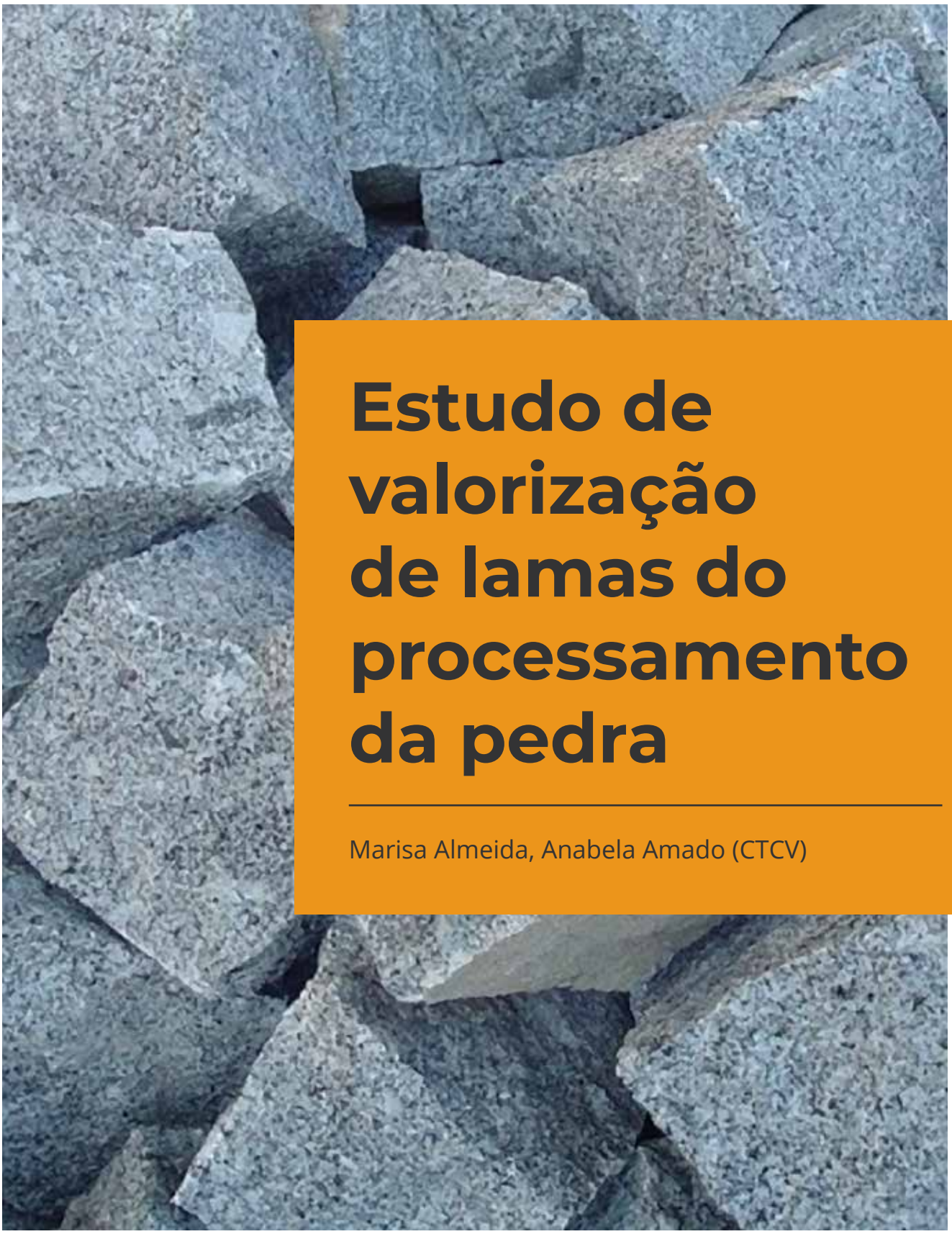

# Estudo de valorização de lamas do processamento da pedra

Marisa Almeida, Anabela Amado (CTCV)

PROJETO QUALIFICAÇÃO 2020
ECOEFICIÊNCIA E COMPETITIVIDADE

ANIET
ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA EXTRACTIVA E TRANSFORMADORA

Cofinanciado por:
COMPETE 2020
PROGRAMA OPERACIONAL COMPETITIVIDADE E INTERNACIONALIZAÇÃO
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

## Índice


| | |
|---|---|
| **2** | Introdução |
| **3** | Caraterização do setor da rocha ornamental |
| **6** | Tipologia dos resíduos na indústria da rocha ornamental |
| **8** | Caraterização das lamas geradas no setor |
| **10** | Ensaios de incorporação das lamas em materiais cerâmicos de construção |
| **13** | Conclusões |
| **14** | Nota final |

# INTRODUÇÃO

A prevenção da produção de resíduos e o fomentar da sua reutilização e reciclagem com vista a prolongar o seu ciclo de vida e desenvolver estratégias de economia circular deve ser cada vez mais uma prioridade do setor da pedra, tendo em conta que os resíduos gerados neste setor são uma das maiores fontes de resíduos na União Europeia (UE), os quais se caracterizam principalmente pelo material removido da superfície para permitir a exploração, resíduos de rochas e os remanescentes gerados durante a atividade extrativa e de transformação da pedra.

A atividade desenvolvida no âmbito do projeto SIAC n.º 16121, promovido pela ANIET (Associação Nacional da Indústria Extrativa e Transformadora) e concretizado pelo CTCV (Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro), pretendeu desenvolver uma metodologia de valorização de resíduos cujo destino final é essencialmente a deposição em aterro, contribuindo-se deste modo para a redução de impactes ambientais associados à armazenagem e eliminação destes materiais, bem como para um uso mais eficiente e racional dos recursos naturais.

Para tal, foram desenvolvidas tarefas, incluídas na atividade "Promover processos de ecoeficiência e cooperação entre empresas e entidades tecnológicas", nomeadamente, um estudo de mercado de potenciais destinos para as lamas de processamento da Pedra, incluindo simbioses industriais.

Este estudo tem como objetivo fazer uma caracterização ao sector das rochas ornamentais, identificando as várias possibilidades de melhoria da sua gestão de resíduos de modo a implementar medidas para a prevenção da poluição e pavimentar a sua evolução para uma economia circular.

Foram ainda realizados ensaios de incorporação de lamas do processamento da pedra em composições cerâmicas, na perspetiva de solucionar os problemas relacionados com este tipo de resíduos, proporcionando assim as simbioses industriais e a valorização de recursos, promovendo-se estratégias de eco inovação e de economia circular.

# CARATERIZAÇÃO DO SETOR DA ROCHA ORNAMENTAL

A indústria da pedra ornamental é um dos mais antigos setores da indústria da pedra com maior interesse e potencial, constituindo o setor de maior valor acrescentado, cujo produto é essencialmente para exportação. O setor produz uma vasta gama de produtos sobretudo para a construção civil, como material de revestimento de paredes e de pavimentos, bem como blocos de grandes dimensões para variadas funções, desde estátuas a pedras tumulares, entre outros. Este setor engloba dois tipos de atividades económicas: a extração (CAE 8) e a transformação (CAE 23).

A atividade extrativa engloba a extração dos maciços de rocha ornamental em locais favoráveis à sua ocorrência. Verificando-se que em Portugal, a maioria das pedreiras de exploração de rocha ornamental são à superfície, ou seja, em céu aberto.

A atividade transformadora de rochas ornamentais tem como principais processos o corte e dimensionamento das rochas nas dimensões pretendidas, seguido de vários processos de polimento e acabamentos através de máquinas industriais de corte preciso ou artesãos especializados (Velho et al, 1998).

Apesar da diversidade existente, a designação comercial para os vários tipos de rocha ornamental engloba apenas os seguintes tipos: mármore, calcário, granito e ardósia, cuja componente estética, juntamente com a resistência mecânica e durabilidade, tornam estas rochas bastante apelativas no mercado (Velho et al, 1998).

As atividades extrativas e transformadoras no setor das rochas ornamentais englobam um conjunto complexo de processos e maquinaria

para realizar a sua atividade, conforme o fluxograma geral apresentado de seguida.

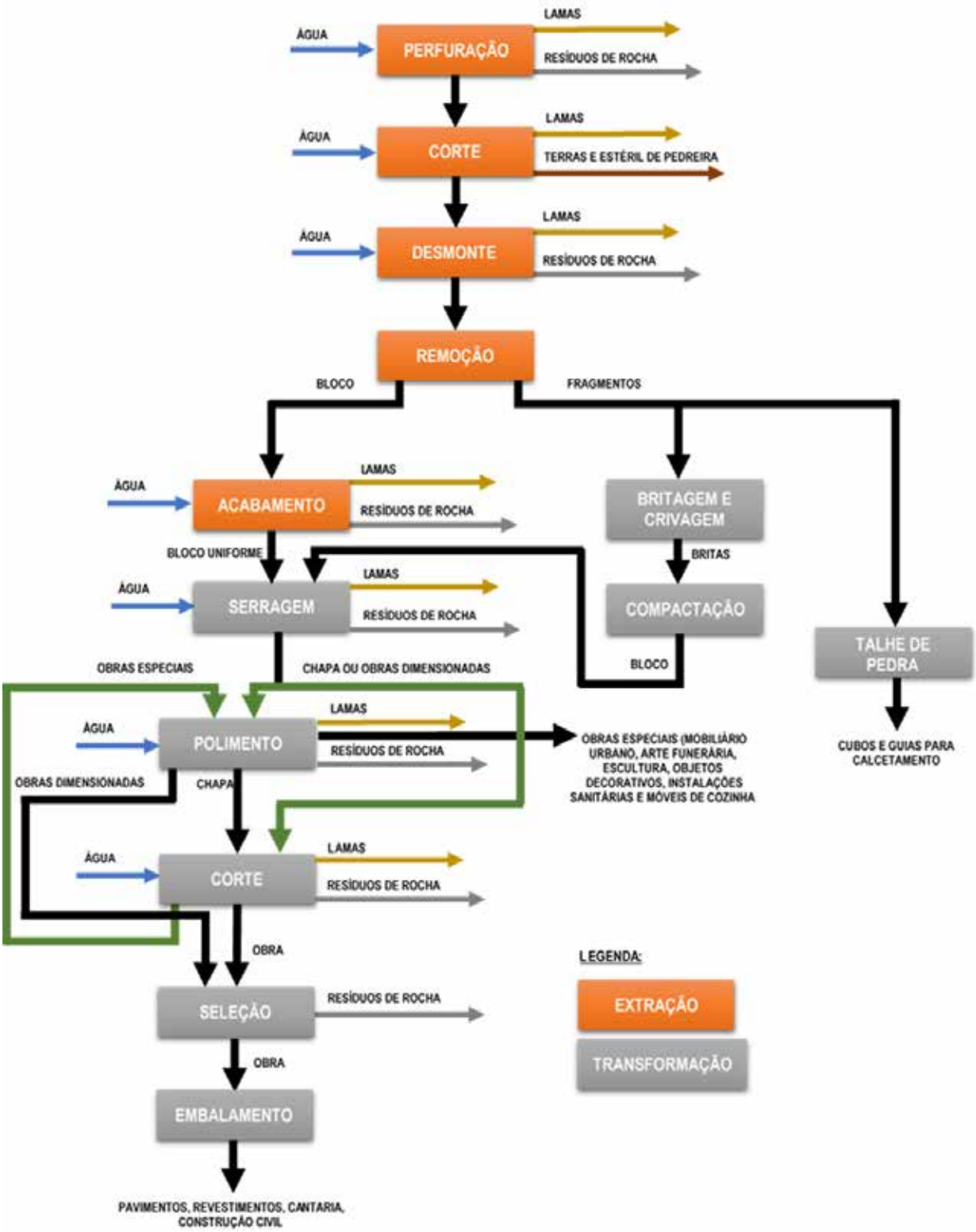


Figura 1 – Fluxograma geral da pedra ornamental (adaptado de INETI, 2001)

## Extração:

Os locais de extração variam muito na sua dimensão tanto a nível de superfície como de profundidade, podendo os materiais mais brandos ser explorados de forma mais simples sem recurso a explosivos (ex: calcário de Ançã) e os mais duros com extração através de explosivos (ex: mármore de Vila Viçosa) (Carvalho, 2011).

Em Portugal, a maioria das pedreiras de exploração de rocha ornamental são à superfície, ou seja, a céu aberto, o que traz várias vantagens, como maior produtividade, melhor gestão de recursos humanos, maior recuperação com menor diluição, não havendo limites a nível do tamanho e peso do equipamento utilizado (Silva, 2014).

De modo a alcançar os elementos rochosos de interesse é necessário remover as camadas superficiais existentes, gerando uma elevada quantidade de material estéril. Seguidamente é feita a remoção do material através de perfuração, explosivos ou serragem com fio diamantado (INETI, 2001). Atualmente as empresas estão a substituir os explosivos pelo fio diamantado, devido aos diversos constrangimentos e legislação a cumprir na utilização dos explosivos.

Após a individualização de cada talhada, é feito o derrube e esquartejamento do maciço em blocos, identificando os que possuem valor comercial. Valoriza-se a homogeneidade, a aplicabilidade e a dimensão do bloco, sendo estes levados para armazenamento e encaminhados mais tarde para indústrias especializadas na transformação da pedra no produto final pretendido.

## Transformação:

As principais fases de transformação da rocha ornamental são a serragem, transformação do bloco em chapa, corte e polimento, transformação da chapa ou bloco em ladrilho ou mosaico, e seleção e acabamento.

A serragem consiste no esquadrejamento dos blocos dando-lhes uma forma paralelepipedal, geralmente através do uso de equipamentos de corte diamantado, com sistema de refrigeração por injeção de água. Após a serragem, os blocos são cortados e transformados em pequenas peças (ladrilhos, mosaicos ou cantarias) de dimensões personalizadas (através de processos mecânicos automatizados ou manualmente) utilizando água em circuito fechado, que se mistura com as partículas e poeiras geradas durante o corte da pedra, formando lamas.

Segue-se o polimento com abrasivos e, se necessário, o corte com as medidas pretendidas, seguindo para a biselagem e polimento dos topos. A fase de seleção e acabamento é um trabalho manual feito por operários especializados.

# TIPOLOGIA DOS RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DA ROCHA ORNAMENTAL

A indústria de extração de pedra gera grandes volumes de resíduos (de materiais naturais inertes), e a forma como estes resíduos são tratados afetam diretamente os impactes gerados nesta indústria, bem como o desempenho ambiental dos materiais produzidos. Os resíduos gerados na indústria transformadora das rochas ornamentais são criados maioritariamente nas fases de corte e de serragem que geram partículas sólidas ao cortar a pedra. Cerca de 5% destas partículas são emitidas para o ar e o restante é removido pela corrente de água de arrefecimento, que é subsequentemente submetida a um processo de decantação resultando em resíduos sob a forma de lamas (Mendoza et al, 2014).

Assim, verifica-se que as atividades da extração e transformação da rocha ornamental geram um grande volume de resíduos inertes, maioritariamente sólidos na extração e lamas na transformação, apresentando-se de seguida uma breve descrição dos principais resíduos gerados no setor:

## Pó de pedra:

Ocorre durante os vários processos da extração e transformação da rocha ornamental, nomeadamente, nos processos de perfuração, desmonte, carga, transporte e descarga de material, assim como na transformação, é gerado essencialmente nos processos de polimento e acabamento, na personalização do produto final.

Este pó é um resíduo inerte, tendo em conta que como constitui uma fração fina do produto comercializável possuí a mesma composição. Este material pode ser utilizado em pavimentação de caminhos e como material ligante em obras de construção civil (ex: muros), mas o seu destino mais comum atualmente é em aterro.

## Lamas:

Surgem na extração de pedra ornamental nas operações de desmonte com fio diamantado e de beneficiação do bloco devido à utilização de serras de corte, empregando água, que auxilia na limpeza, arrefecimento e lubrificação dos processos. Quando estas águas são sujeitas a decantação, as partículas finas de rocha sedimentam formando uma lama, que é encaminhada como material de enchimento para recuperação de pedreiras (INETI, 2001). Na transformação, as lamas são geradas em grandes quantidades num circuito fechado de circulação de água pelos vários processos de serragem e de corte, onde esta se mistura com as partículas de rocha, sendo depois enviada para um decantador, onde é feita a sedimentação das partículas sólidas através de floculantes, formando assim as lamas. Após a sedimentação, a água é enviada de novo para o circuito e as lamas remanescentes vão para um filtro prensa de forma a aumentar a sua concentração e diminuir o seu volume.

Estas lamas são normalmente depositadas em aterros, no entanto, atualmente uma parte destes materiais são incorporados como matéria-prima em processos de fabrico de outros produtos e processos construtivos como pavimentação de caminhos, material para fundações ou mesmo como ligante em trabalhos da construção civil (ex: em calçada portuguesa).

## Restos/aparas de rocha:

Surgem, no processo de transformação da rocha ornamental, devido aos ajustes das características do bloco de pedra às necessidades da maquinaria de corte e às especificidades do produto final a conceber, gerando resíduos como material com defeito ou partido e extremidades da chapa

serrada sem utilidade, constituindo assim resíduos inertes, em medida em que, possuem uma composição igual à do produto comercializável.

Estes processos geram resíduos de grandes dimensões, que, sempre que possível, são reaproveitados para o fabrico de outros produtos de dimensões diferentes e recuperados, sendo também encaminhados para a construção civil. As aparas sem possibilidade de recuperação e reutilização são muitas vezes encaminhadas para a recuperação paisagística de pedreiras.

Atualmente existem vários estudos que analisam a possibilidade de incorporar as lamas e restos/aparas de pedra provenientes do setor da rocha ornamental em vários outros setores, possibilitando a mitigação ou até mesmo a prevenção dos impactes ambientais gerados por estes materiais no seu fim de vida, contribuindo para o desenvolvimento da economia circular no setor da rocha ornamental.

As investigações desenvolvidas por diversos autores vão no sentido de avaliar a viabilidade da incorporação de lamas e restos/aparas de pedra em diversos tipos de materiais de construção civil, nomeadamente, na produção de betão, argamassas, em produtos cerâmicos e vidro e na agricultura as lamas podem servir para regularizar a acidez dos solos.

Nos produtos de cerâmica, as lamas podem ser utilizadas como substituto do feldspato, areia e de alguma parte dos minerais de argila necessários à composição cerâmica e no vidro a areia de sílica, enquanto, no betão podem funcionar como substitutos de uma percentagem de cimento. Por sua vez, as aparas podem substituir o cimento no fabrico de betão e argamassas.

Atualmente, existem no mercado casos de reaproveitamento de resíduos do setor da pedra ornamental. Um deles é o Papel de Pedra, uma combinação de $CaCO3$ com uma pequena quantidade de resinas não-tóxicas de Polietileno que age como ligante. Este produto reaproveita os minerais presentes nos resíduos do setor da pedra para produzir um tipo de papel duradouro, resistente a fungos e impermeável.

A principal utilização dos resíduos da extração de rochas ornamentais é na construção civil e em obras públicas tais como estradas e barragens. A construção civil em Portugal incorpora, em várias atividades (pavimentação de caminhos, material de enchimento, material para fundações, material ligante), resíduos provenientes do setor da pedra ornamental (granito e mármore) como matérias-primas secundárias.

# CARATERIZAÇÃO DAS LAMAS GERADAS NO SETOR

Por forma a verificar o carácter inerte das lamas geradas no setor das rochas ornamentais, foram realizadas análises químicas a lamas e ao respetivo lixiviado, de acordo com a metodologia indicada no Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, resultantes da atividade de transformação de várias empresas do setor (granito).

As várias amostras ensaiadas foram lixiviadas com água em condições definidas: adicionou-se a quantidade de água calculada após o teste de humidade, de forma a obedecer uma relação líquido sólido (L/S)=10 l/kg, durante a extração. A lixiviação decorreu à temperatura de 20±5ºC, durante 24 h±0,5 h, num agitador a 10 rpm.

Após as 24 horas os componentes não dissolvidos são separados por filtração e a concentração dos componentes a serem determinados são medidos no filtrado (eluato), usando métodos adequados.

Os resultados obtidos para a ecotoxicidade constam nos quadros seguintes e são comparados, para efeitos de classificação de resíduos como inertes, não perigosos ou perigosos, com os valores constantes da Tabela 2 e 3 da Parte B do Anexo IV do referido diploma.

Aqueles valores permitem classificar as lamas analisadas como "inertes", de acordo com os critérios de aceitação estipulados no DL n.º 183/2009. Salienta-se que o parâmetro fluoreto encontra-se no limite do critério dos resíduos "inertes", o qual poderá ser consequência da composição química das matérias-primas naturais em apreço.

Verifica-se, ainda, que a maioria dos parâmetros analisados encontra-se abaixo do limite de

quantificação do equipamento, nomeadamente, parâmetros orgânicos (COT, BTEX, PCB, óleo mineral, HAP), As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn, cloreto, sulfato e índice de fenol.

Naqueles quadros encontram-se ainda os valores limite quantificados na legislação holandesa relativa ao solo – Dutch regulations on dangerous substances - Soil quality decree, os quais foram aplicados noutros estudos de lixiviação efetuados a materiais de construção. Estes limites, considerados como uma referência na área, apresentam-se genericamente menos exigentes que os da legislação portuguesa, para a deposição de resíduos inertes em aterro, consequência dos diferentes objetivos pretendidos.

Se considerarmos estes limites holandeses, os valores obtidos no estudo realizado encontram-se consideravelmente inferiores, nomeadamente, o valor de fluoreto que no DL 183/2009 se encontrava no limite.

Pelo exposto, pode-se verificar que a deposição de lamas, assim como pó de pedra e restos/aparas de pedra (referido anteriormente como inertes) diretamente nos solos não gera riscos para o meio ambiente, podendo ser mesmo um dos

Quadro I – Análise química das lamas

| Parâmetro (mg/kg) | Valor obtido | | | | Valor limite | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | DL 183/2009 | Holanda |
| COT | <10 000 l.q. | <10 000 l.q. | <10 000 l.q. | <10 000 l.q. | 30 000 | - |
| BTEX | <0,028 l.q. | <0,028 l.q. | <0,028 l.q. | <0,028 l.q. | 6 | 4,75 |
| PCB | <0,023 l.q. | <0,023 l.q. | <0,030 l.q. | <0,025 l.q. | 1 | 0,5 |
| Óleo mineral | <200 l.q. | <200 l.q. | <200 l.q. | <200 l.q. | 500 | 500 |
| HAP | <0,023 l.q. | <0,023 l.q. | <0,030 l.q. | <0,025 l.q. | 100 | 50 |

< l.q. - inferior ao limite de quantificação; COT: Carbono Orgânico Total; BTEX: Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno; PCB: policlorobifenilos 7 congéneres ; HAP: Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

Quadro II – Análise química do eluato das lamas

| Parâmetro (mg/kg) | Valor obtido | | | | Valor limite DL 183/2009 | | | Valor limite Holanda |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | Inertes | Não perigosos | Perigosos | |
| pH (Escala de Sorensen) | 7,8 | 7,7 | 7,6 | 7,6 | - | - | - | - |
| Condutividade (25°C) (µS/cm) | 174 | 94 | 102 | 132 | - | - | - | - |
| Arsénio (As) | <0,10 l.q. | <0,10 l.q. | <0,10 l.q. | <0,20 l.q. | 0,5 | 5 | 25 | 0,9 |
| Bário (Ba) | 0,296 | 0,139 | 0,293 | 0,260 | 20 | 100 | 300 | 22 |
| Cádmio (Cd) | <0,01 l.q. | <0,01 l.q. | <0,01 l.q. | <0,01 l.q. | 0,04 | 2 | 5 | 0,04 |
| Crómio total (Cr) | <0,05 l.q. | <0,05 l.q | <0,05 l.q. | <0,05 l.q. | 0,5 | 20 | 70 | 0,63 |
| Cobre (Cu) | <0,6 l.q. | <0,6 l.q. | <0,6 l.q. | <0,6 l.q. | 2 | 50 | 100 | 0,9 |
| Mercúrio (Hg) | <0,005 l.q. | <0,005 l.q. | <0,005 l.q. | <0,005 l.q. | 0,01 | 0,5 | 2 | 0,02 |
| Molibdénio (Mo) | 0,100 | <0,030 l.q | <0,030 l.q | 0,043 | 0,5 | 10 | 30 | 1 |
| Níquel (Ni) | <0,25 l.q. | <0,25 l.q. | <0,25 l.q. | <0,25 l.q. | 0,4 | 10 | 40 | 0,44 |
| Chumbo (Pb) | <0,05 l.q. | <0,05 l.q. | <0,05 l.q. | <0,05 l.q. | 0,5 | 10 | 50 | 2,3 |
| Antimónio (Sb) | <0,010 l.q. | <0,010 l.q. | <0,010 l.q. | <0,010 l.q. | 0,06 | 0,7 | 5 | 0,16 |
| Selénio (Se) | <0,010 l.q. | <0,010 l.q. | <0,010 l.q. | <0,010 l.q. | 0,1 | 0,5 | 7 | 0,15 |
| Zinco (Zn) | <0,2 l.q. | <0,2 l.q. | <0,2 l.q. | <0,2 l.q. | 4 | 50 | 200 | 4,5 |
| Cloreto | <100 l.q. | <100 l.q. | <100 l.q. | 110 | 800 | 50 000 | 25 000 | 616 |
| Fluoreto | 9 | 10 | 7 | 8 | 10 | 250 | 500 | 18 |
| Sulfato | 437 | 325 | <100 l.q. | 911 | 1 000 | 20 000 | 50 000 | 1 730 |
| Índice de fenol | <0,10 l.q. | <0,10 l.q. | <0,10 l.q. | <0,10 l.q. | 1 | - | - | 1,25 |
| COD | 32 | 34 | 21 | 36 | 500 | 1 000 | 1 000 | - |
| SDT | 1000 | 450 | 540 | 530 | 4 000 | 60 000 | 100 000 | - |

< l.q. - inferior ao limite de quantificação; COD: Carbono Orgânico Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais

materiais mais adequados para a pavimentação de caminhos, material de enchimento em obras de construção civil, material para fundações, ligante em trabalhos da construção civil, entre outros trabalhos no setor da construção civil e mesmo na correção de solos, contribuindo para o fecho do ciclo de vida do produto, facto que sustenta a proposta da Comissão, da introdução da definição de "backfilling" (deposição em aterro), na versão revista da Diretiva Quadro dos Resíduos.

# ENSAIOS DE INCORPORAÇÃO DAS LAMAS EM MATERIAIS CERÂMICOS DE CONSTRUÇÃO

Com os ensaios de incorporação pretendeu-se desenvolver uma metodologia inovadora de destino final que inclua a valorização das lamas por incorporação em materiais de construção (nomeadamente tijolos cerâmicos), valorizando resíduos cujo destino final atual é a deposição em aterro, contribuindo-se deste modo para a redução de impactes ambientais associados à armazenagem e eliminação destes materiais, bem como para um uso mais eficiente e racional dos recursos naturais (nomeadamente materiais argilosos, que serão substituição em parte pelas lamas).

De entre os resíduos gerados no setor das rochas ornamentais, nomeadamente na transformação, destacam-se as lamas da ETAR. Conforme já referido estas lamas surgem nos processos de serragem e de corte, devido à utilização de água, que auxilia na limpeza, arrefecimento e lubrificação dos mesmos.

O estudo perspetivou a valorização daquelas lamas, resultante da transformação de pedras graníticas para incorporação em duas composições cerâmicas, do subsetor do tijolo, correspondentes a duas empresas cerâmicas, contemplando a caraterização laboratorial com a realização de vários ensaios.

## Ensaios cerâmicos após secagem e cozedura

Os ensaios cerâmicos após secagem e cozedura foram realizados nas pastas fornecidas pelas empresas cerâmicas e em composições formu-

ladas com as referidas pastas (tijolo) e diferentes percentagens de lamas da transformação de pedra de granito, conforme quadros seguintes.

A preparação das várias composições para conformação envolveu a secagem em estufa elétrica a 110ºC e posterior desagregação/moagem em moinho de martelos, de forma a obter material com granularidade inferior a 1,0 mm, tanto o resíduo como a pasta cerâmica. Para efetuar os ensaios cerâmicos foi necessário conformar provetes de ensaio. Com este fim, foram preparados provetes paralelepipédicos (≈ 12x3x1 cm) conformados por extrusão, numa fieira laboratorial com dispositivo de vácuo (≈ 0,85 bar).

A secagem dos provetes efetuou-se, primeiramente, à temperatura ambiente e posteriormente, em estufa elétrica a 100-110ºC. A cozedura dos provetes foi realizada, no laboratório, em forno elétrico programável às temperaturas de pirómetro de 800º, 850º e 900ºC para a pasta FS-P0 e 920º, 950º e 980ºC para a pasta AM-P0, tendo em conta que as temperaturas máximas de cozedura nos fornos das duas fábricas são diferentes.

Desta forma, no laboratório foi utilizado um ciclo

Quadro III – Composições formuladas com a pasta cerâmica FS-P0

| Materiais | Composições | | | |
|---|---|---|---|---|
| | FS-P0 | FS-P2,5 | FS-P5 | FS-P10 |
| Pasta cerâmica | 100% | 97,5% | 95% | 90% |
| Lamas | 0% | 2,5% | 5% | 10% |

Quadro IV – Composições formuladas com a pasta cerâmica AM-P0

| Materiais | Composições | | | |
|---|---|---|---|---|
| | AM-P0 | AM-P5 | AM-P10 | AM-P15 |
| Pasta cerâmica | 100% | 95% | 90% | 85% |
| Lamas | 0% | 5% | 10% | 15% |

de cozedura com taxa de aquecimento de 2ºC/min, patamar de 120 min à temperatura máxima e arrefecimento natural dentro do forno.

Nos provetes cozidos das várias composições foi avaliada visualmente a cor de cozedura e a eventual presença de defeitos, tendo sido efetuado, também, o ensaio de manifestação de eflorescências, tendo-se verificado que nas incorporações ensaiadas com as duas pastas cerâmicas não se observam alterações significativas.

Os resultados obtidos após secagem e cozedura das várias composições ensaiadas são os constantes dos quadros V e VI. Dos resultados obtidos conclui-se que as lamas do processamento da pedra apresentam potencialidade para ser incorporadas industrialmente no sector cerâmico, nomeadamente no sector da construção, no tijolo e abobadilha.

O estudo laboratorial realizado com a composição cerâmica FS-P0 permitiu verificar que as caraterísticas tecnológicas desta pasta de referência, nomeadamente os parâmetros de secagem e cozedura, não sofreram alterações significativas, no que concerne às incorporações com adição de 2,5% e 5% de lamas, demonstrando a viabilidade de incorporação deste tipo de resíduo na indústria cerâmica.

Relativamente ao estudo com a composição cerâmica AM-P0 verificou-se algumas melhorias nos parâmetros de secagem e cozedura, nomeadamente na incorporação com adição de 10% de lamas, perspetivando a possibilidade de alguma melhoria dos produtos finais com aquela percentagem de incorporação.

Quadro V – Resultados obtidos após secagem e cozedura com a pasta FS-P0

| Parâmetro | FS-P0 | FS-P2,5 | FS-P5 | FS-P10 |
|---|---|---|---|---|
| **Temperatura de secagem: 110°C** | | | | |
| Humidade de extrusão* (%) | 17,5 | 17,9 | 17,8 | 17,8 |
| Retração verde-seco (%) | 5,45 ± 0,17 | 5,73 ± 0,19 | 5,61 ± 0,25 | 5,18 ± 0,16 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm²) | 54 ± 3 | 54 ± 2 | 54 ± 4 | 53 ± 2 |
| **Temperatura de cozedura: 800°C** | | | | |
| Retração seco-cozido (%) | -0,55 ± 0,05 | -0,56 ± 0,02 | -0,54 ± 0,02 | -0,53 ± 0,02 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm²) | 49 ± 3 | 51 ± 3 | 49 ± 2 | 40 ± 11 |
| Absorção de água (%) | 15,4 ± 0,2 | 15,1 ± 0,1 | 15,4 ± 0,1 | 16,1 ± 0,2 |
| **Temperatura de cozedura: 850°C** | | | | |
| Retração seco-cozido (%) | -0,47 ± 0,04 | -0,48 ± 0,02 | -0,48 ± 0,02 | -0,49 ± 0,04 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm²) | 69 ± 2 | 66 ± 4 | 65 ± 6 | 63 ± 2 |
| Absorção de água (%) | 15,3 ± 0,2 | 15,2 ± 0,1 | 15,2 ± 0,1 | 15,9 ± 0,1 |
| **Temperatura de cozedura: 900°C** | | | | |
| Retração seco-cozido (%) | -0,31 ± 0,03 | -0,29 ± 0,05 | -0,27 ± 0,04 | -0,31 ± 0,04 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm²) | 102 ± 3 | 99 ± 4 | 101 ± 3 | 92 ± 6 |
| Absorção de água (%) | 14,9 ± 0,3 | 15,1 ± 0,1 | 15,3 ± 0,1 | 15,9 ± 0,1 |

* base húmida

Quadro VI – Resultados obtidos após secagem e cozedura com a pasta AM-P0

| Parâmetro | AM-P0 | AM-P5 | AM-P10 | AM-P15 |
|---|---|---|---|---|
| **Temperatura de secagem: 110°C** | | | | |
| Humidade de extrusão* (%) | 19,4 | 19,2 | 20,1 | 19,9 |
| Retração verde-seco (%) | 4,90 ± 0,07 | 4,93 ± 0,12 | 4,62 ± 0,21 | 4,76 ± 0,33 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm²) | 45 ± 1 | 45 ± 2 | 47 ± 2 | 45 ± 2 |
| **Temperatura de cozedura: 920°C** | | | | |
| Retração seco-cozido (%) | -0,18 ± 0,03 | -0,21 ± 0,03 | -0,17 ± 0,04 | -0,19 ± 0,04 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm²) | 63 ± 5 | 61 ± 2 | 68 ± 3 | 60 ± 2 |
| Absorção de água (%) | 18,2 ± 0,2 | 18,2 ± 0,1 | 18,5 ± 2,5 | 18,7 ± 0,2 |
| **Temperatura de cozedura: 950°C** | | | | |
| Retração seco-cozido (%) | -0,03 ± 0,06 | -0,03 ± 0,02 | 0,06 ± 0,04 | 0,05 ± 0,03 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm²) | 65 ± 3 | 66 ± 5 | 71 ± 3 | 65 ± 3 |
| Absorção de água (%) | 18,4 ± 0,1 | 18,0 ± 0,1 | 17,6 ± 0,1 | 18,5 ± 0,2 |
| **Temperatura de cozedura: 980°C** | | | | |
| Retração seco-cozido (%) | 0,43 ± 0,12 | 0,42 ± 0,11 | 0,61 ± 0,05 | 0,57 ± 0,11 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm²) | 72 ± 3 | 74 ± 4 | 82 ± 5 | 75 ± 4 |
| Absorção de água (%) | 17,7 ± 0,3 | 17,2 ± 0,6 | 16,6 ± 0,3 | 17,6 ± 0,3 |

* base húmida

# CONCLUSÕES

Ao longo dos processos de extração e transformação da rocha ornamental são gerados vários tipos de resíduos, os principais são as lamas, o pó de pedra e os restos/aparas de pedra que, por possuírem basicamente os mesmos componentes do produto final, podem ser considerados inertes.

Estes resíduos inertes são compostos por minerais e matéria-prima com valor económico, principalmente no setor da construção civil e agricultura, no entanto, apesar dos inúmeros estudos comprovando a aplicabilidade destes resíduos, existem ainda diversos constrangimentos legais e técnicos na sua implementação na prática.

Neste contexto, as lamas, pó de pedra e restos/aparas de pedra gerados na extração e transformação da rocha ornamental, classificados com resíduos, cumprem de forma inequívoca os requisitos definidos pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, para poderem ser considerados subprodutos e não resíduos da produção, uma vez que são "quaisquer substâncias ou objetos resultantes de um processo produtivo cujo principal objetivo não seja a sua produção quando verificadas as seguintes condições:

a) Existir a certeza de posterior utilização da substância ou objecto;"

As lamas, pó de pedra e restos/aparas de pedra podem ser utilizadas no próprio processo de transformação da rocha ornamental ou noutros processos industriais de diferentes setores industriais (construção civil, cerâmica, betão, argamassas, controlo de aterros, agricultura, vidro, plástico, etc.);

b) A substância ou objecto poder ser utilizado diretamente, sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal;"

As lamas, pó de pedra e restos/aparas de pedra podem ser utilizadas, nas diversas aplicações, diretamente ou após processos de redução da granulometria como seja a trituração ou moagem (nomeadamente para os restos/aparas de pedra), recorrendo à prática industrial normal.

c) A produção da substância ou objecto ser parte integrante de um processo produtivo;"

No processo de extração e transformação da rocha ornamental são produzidos vários resíduos, entre os quais os que se pretendem que venham a ser considerados subprodutos, nomeadamente as lamas (oriundas da extração e transformação quando as atividades utilizam água), pó de pedra (oriundo da extração e transformação–polimento e acabamento), os restos/aparas de pedra (inerente à transformação).

d) A substância ou objecto cumprir os requisitos relevantes como produto em matéria ambiental e de protecção da saúde e não acarretar impactes globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana, face à posterior utilização específica."

O pó de pedra e os restos/aparas de pedra têm a mesma composição química dos produtos comercializáveis e como as lamas são resíduos inertes (conforme análises químicas e respetivo lixiviado), os quais podem ser diretamente ou após redução granulométrica, utilizados para o fabrico de outros materiais, promovendo-se a extensão do seu ciclo de vida, bem como simbioses industriais que promovem a economia circular.

Desta forma, a incorporação de resíduos da pedra ornamental no próprio setor ou noutros sectores, consiste numa forma ambientalmente correta de gerir aqueles resíduos, promovendo estratégias de economia circular e simbioses industriais, onde um "resíduo" de uma indústria se "transforma" em "matéria-prima secundária" de outra indústria, contribuindo para a sustentabilidade e preservação ambiental.

# NOTA FINAL

O presente artigo foi desenvolvido no âmbito do Projeto "Ecoeficiência e competitividade", projeto n.º POCI-02-0853-FEDER-016212 promovido pela ANIET - Associação Nacional da Indústria Extractiva e Transformadora e financiado pelo Portugal 2020 no âmbito do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização.

Cofinanciado por:

COMPETE 2020 PROGRAMA OPERACIONAL COMPETITIVIDADE E INTERNACIONALIZAÇÃO

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

CTCV

ANIET
ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA
EXTRACTIVA E TRANSFORMADORA

Cofinanciado por:
COMPETE 2020
PROGRAMA OPERACIONAL COMPETITIVIDADE E INTERNACIONALIZAÇÃO
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional