



08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL E ANÁLISE DE SOLUBILIDADE DE MACROELEMENTOS ASSOCIADOS A RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Amanda Péres da Silva Nascimento¹ – amanda.peresb6@hotmail.com

Eduardo Baudson Duarte² – eduardo_duarte_12@hotmail.com

Mirna Aparecida Neves¹ – mirnaan@gmail.com

Diego Lang Burak³ - dlburak@hotmail.com

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Departamento de Geologia – Alegre, ES, Brasil

² Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Programa de Pós-Graduação em Agroquímica – Alegre, ES, Brasil

³ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Agronomia – Alegre, ES, Brasil

Resumo. A produção de rochas ornamentais para uso na construção civil gera grande quantidade de resíduos, dentre os quais se destaca um material de granulação muito fina, também chamado de lama abrasiva. Esses resíduos têm sido descartados ou armazenados em depósitos ou aterros, que ainda funcionam sem critérios de seleção ou triagem, mas que estocam materiais com grande potencial de aproveitamento em função de sua constituição. Os resíduos da lama abrasiva, compostos em grande parte pelo pó da rocha processada, possuem componentes minerais que podem ser úteis em outros processos produtivos. O trabalho aqui apresentado investigou o potencial de liberação de elementos químicos a partir dos resíduos finos gerados na serragem de diferentes tipos de rochas, usando diferentes tipos de teares. A mensuração da concentração de elementos foi feita no extrato solubilizado produzido conforme procedimentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Os resultados mostram que quantidades consideráveis de K, Na e Ca são liberadas dos resíduos e que a concentração desses elementos no eluato depende tanto do tipo de rocha serrada quanto do processo de serragem. A fina granulação e o pH elevado dos resíduos podem ser os fatores determinantes do tipo e quantidade de elementos solubilizados.

Palavras-chave: Lama abrasiva, resíduos industriais, gestão.

1. INTRODUÇÃO

O principal polo produtor de rochas ornamentais da América Latina está na região Sudeste do Brasil e age como grande impulsionador econômico. O Estado do Espírito Santo é responsável por mais da metade das exportações brasileiras de rochas ornamentais (AGUIAR *et al.*, 2014), sendo considerado o maior polo extrativista e de beneficiamento (SILVA, 2011) com destaque para o município de Cachoeiro de Itapemirim, localizado no sul do Estado.

No processamento desses materiais pétreos podem ocorrer perdas de até 80% do material processado (CAMPOS *et al.*, 2014; SANTOS & GALEMBECK, 2016). Os resíduos são constituídos de pó e pedaços de rocha com várias dimensões, desde centímetros até metros, além de restos de insumos industriais, tais como abrasivos e polidores (CALMON & SILVA, 2006). Na serragem dos blocos de rocha para conformação de placas, a geração da lama abrasiva merece atenção, pois a expressiva quantidade de resíduos produzida leva à dificuldade de destinação e armazenamento dos mesmos.

A serragem pode ser feita em dois tipos de teares: um deles usa lâminas de aço e o outro usa fios diamantados. O processo convencional é o que usa lâminas de aço, onde os teares são dotados de lâminas que se movimentam sobre os blocos de rocha sob a asperção de uma polpa de serragem ou “lama abrasiva”, composta por granalha de aço (grãos milimétricos facetados), cal e água (BRAGA *et al.*, 2010). O atrito entre lâmina, granalha e rocha, causa cominuição ou diminuição do tamanho da granalha, que com o tempo perde seu poder abrasivo. A lama é então descartada compondo um resíduo constituído por pó de rocha, cal e finos metálicos provenientes do desgaste das lâminas e da granalha. No tear com lâminas diamantadas não é necessário o uso de granalha e cal; assim, o resíduo gerado é composto, basicamente, de pó de rocha e água (MOREIRA *et al.*, 2003).

Trabalhos anteriores mostram que é possível o uso de resíduos de rocha ornamental em vários processos produtivos, como em cerâmica (TAGUCHI *et al.*, 2014; REIS *et al.*, 2015; PRADO *et al.*, 2009), concreto (BACARJI *et al.*, 2013), materiais vítreos (SCARINCI *et al.*, 2000) e até no tratamento de drenagem ácida de mina (BARROS *et al.*, 2009). No setor agrícola, o pó de rocha pode ser usado no enriquecimento mineral e correção de acidez de solos (THEODORO & LEONARDOS, 2006; RAYMUNDO *et al.*, 2013), que pode ser uma alternativa ambientalmente segura e de baixo custo extremamente importante em países como o Brasil.

O uso desses materiais como matéria-prima em outros processos produtivos pode transformar resíduos em subprodutos úteis diminuindo as grandes quantidades que são depositadas em aterros e contribuindo com a minimização dos impactos ambientais. Diante dessa problemática, o setor tem o importante desafio de conciliar o desenvolvimento industrial com o desenvolvimento sustentável. Neste trabalho, foram conduzido estudos para caracterização textural de resíduos provenientes do beneficiamento de alguns tipos de rochas, selecionados de forma a abranger diferentes composições mineralógicas, bem como a execução de ensaios de solubilização para avaliação da disponibilidade de alguns macroelementos que podem ser liberados em sua forma iônica para o meio aquoso.

2. METODOLOGIA

A coleta dos resíduos foi realizada na empresa de beneficiamento de rochas ornamentais Bramagran - Brasileiro Mármore e Granitos LTDA, no município de Castelo, Sul do Estado do Espírito Santo. Foram amostrados quatro tipos de resíduos de diferentes rochas ornamentais diretamente da saída do tear (Quadro 1), tanto de tear convencional quanto de

tear diamantado, evitando-se mistura de resíduos de diferentes rochas. Os litotipos são em sua maioria de origem magmática e somente o VB é definido como um resíduo proveniente de rocha metamórfica.

Quadro 1 – Materiais rochosos que forneceram os resíduos coletados neste trabalho, selecionados de acordo com o tipo de tear e o tipo comercial de rocha ornamental.

Rocha	Minerais principais	Nome comercial da rocha	Código	Tipo de tear
Quartzo-diorito	Plagioclásio, quartzo, Muscovita	Patagônia	Pa	
Quartzito	Quartzo, plagioclásio, biotita	White Macaúbas	WM	Diamantado
Quartzo-diorito	Plagioclásio, muscovita, quartzo, biotita, turmalina, pirita	Dália White	DW	
Sieno-granito	K-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita, anfibólio, piroxênio	Verde Bahia	VB	Convencional

As amostras de resíduos foram secas em temperatura de 42°C com a utilização de uma estufa com circulação forçada de ar e exaustão. Após 48 horas, as amostras foram transferidas para um almofariz de ágata e com o auxílio de um pistilo foi efetuada a desagregação dos aglomerados formados pelas partículas finas presentes nas amostras.

Para a análise granulométrica foram seguidos os procedimentos da NBR 7217 (ABNT, 1987). As amostras foram retiradas dos frascos de coleta com o auxílio de espátulas e acomodadas em placas de petri, com a obtenção de cerca de 180 g de cada tipo de resíduo. O material foi submetido à secagem em estufa a 42°C, por aproximadamente vinte e quatro horas.

Após secas, as amostras foram novamente pesadas, destorroadas e submetidas a peneiramento em um agitador elétrico, por 10 minutos na frequência de 10 Hz. Foi utilizado um conjunto de peneiras com as seguintes aberturas: 60 mesh (> 250 µm), 115 mesh (250-125 µm), 250 mesh (125-63 µm), 325 mesh (63-45 µm) e o caxilho ou fundo coletor (< 45 µm), que representa respectivamente as classes: areia média, areia fina, areia muito fina, silte grosso e silte fino/argila. As frações retidas foram, então, pesadas em balança de precisão para o posterior processamento dos dados e análise no *software* Gradistat (BLOTT & PYE, 2001), que possui sua interface associada ao Microsoft Excel, para o cálculo de parâmetros texturais.

Para a realização do teste de solubilização foram adotados os procedimentos da NBR 10.006 (ABNT, 2004a), sendo o ensaio efetuado em triplicata. A extração do eluato foi feita com 50 g do material seco e desagregado, misturado em 200 mL de água deionizada e isenta de orgânicos. Realizou-se a diluição e agitação manual constante das misturas por 5 min em baixa velocidade. As misturas permaneceram em repouso por sete dias em temperatura ambiente controlada de 25° C. Depois da etapa de repouso, as misturas foram filtradas em membrana filtrante de 0,45 µm de porosidade, sendo assim obtidos os extratos solubilizados.

Após a extração do eluato foram medidos os valores de pH das soluções geradas. A quantificação de Na e K presente nos extratos foi determinada por fotômetro de chama e as concentrações de Ca e Mg foram determinadas por espectrometria de absorção atômica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo de serragem de blocos para compor placas de revestimento ocorre uma intensa cominuição do material rochoso, e isso contribui para a produção de um resíduo com granulometria muito fina. A distribuição granulométrica de cada tipo de resíduo (Figura 1) mostra que os materiais compreendem grãos predominantemente de tamanho 0,125 mm; 0,063 mm e 0,044 mm. Porém, litotipos diferentes produzem resíduos com distribuição granulométrica ligeiramente distinta. Dentre os materiais analisados, o Patagonia (Pa) é a rocha que produz um resíduo mais fino, seguido pelo Verde Bahia (VB), White Macaúbas (WM) e Dália White (DW). Isso se deve às diferentes composições mineralógicas apresentadas pelas rochas, onde minerais de maior dureza tendem a gerar resíduos de granulometria mais grossa, quando comparado a minerais de menor dureza, bem como a existência de fraturamentos e texturas maciças, que também podem influenciar na granulometria do resíduo gerado.

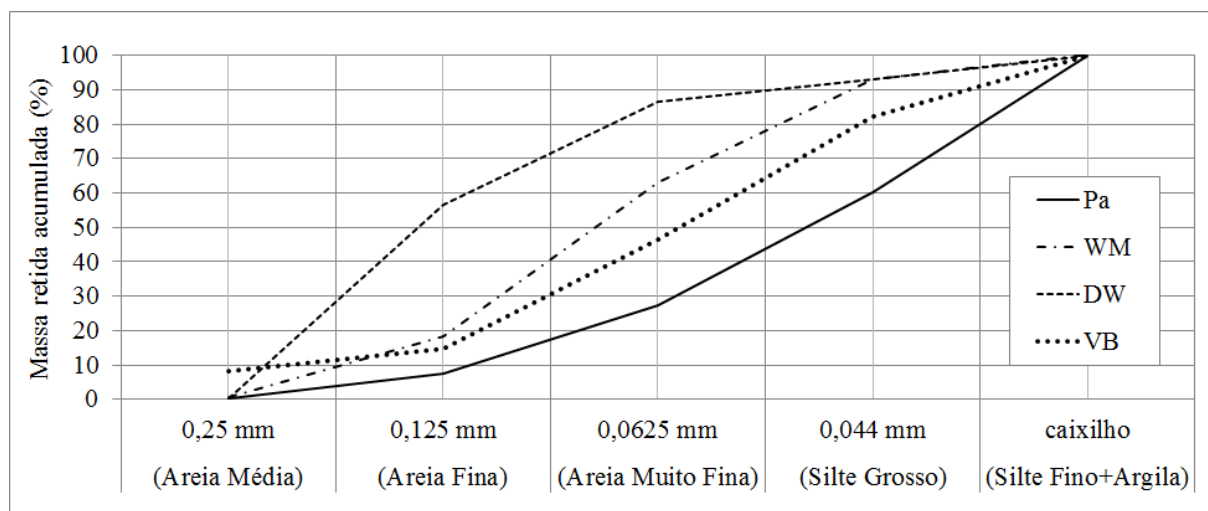


Figura 1 – Distribuição granulométrica das amostras (Pa: Patagônia; WM: White Macaúbas; DW: Dália White e VB: Verde Bahia).

Na obtenção do extrato solubilizado identificou-se valores de pH entre 8,24 e 10,27 (Tabela 1). O material que forneceu resíduo com o maior valor de pH foi o VB, serrado em tear convencional, que utiliza cal como um dos insumos de serragem. Contudo, conforme a norma 10.004 (ABNT, 2004b), nenhuma das amostras apresentou pH dentro da faixa que poderia atribuir a característica de corrosividade ao resíduo.

Tabela 1 - Valores de pH do eluato extraído dos resíduos por meio do teste de solubilidade (Pa: Patagônia; WM: White Macaúbas; DW: Dália White e VB: Verde Bahia).

Código da amostra	Número de amostras	pH do eluato			
		Média	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo
Pa	12	8,56	0,32	8,27	8,91
WM	12	8,46	0,36	8,24	8,88
DW	12	8,52	0,15	8,37	8,67
VB	12	10,13	0,17	9,94	10,27

De acordo com o teste de solubilidade (Tabela 2), o resíduo VB apresentou maior disponibilidade de Na e K, diferindo significativamente dos demais materiais estudados. Por outro lado, apresentou menor solubilidade de Ca. Já o resíduo DW apresentou a segunda maior solubilidade de K e um dos maiores teores de Ca. Independentemente dos tipos de rocha, a solubilidade de Mg não diferiu de forma significativa ($p > 0,05$).

Tabela 2 – Concentração de macroelementos no eluato extraído dos resíduos pelo teste de solubilidade (Pa: Patagônia; WM: White Macaúbas; DW: Dália White e VB: Verde Bahia).

Resíduo	Na (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)
Pa	127,60±1,29c	125,60±1,01c	4,55±0,25a	1,29±0,10
WM	115,87±8,07c	76,80±2,84d	5,03±0,51a	1,07±0,15
DW	197,07±3,87b	146,27±2,78b	4,43±0,89a	1,42±0,05
VB	352,53±2,63a	248,80±2,08a	1,31±0,43b	0,70±0,37
F	534,92	992,05	8,96	2,3162
p	< 0,0001	< 0,0001	0,0061522	0,15224 ^{ns}

Nota: médias seguidas por uma mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); ns (não significativo) pelo teste F da análise de variância.

4. CONCLUSÕES

Os resíduos provenientes da serragem de rochas ornamentais são compostos predominantemente por partículas de tamanho menor que 0,044 mm. Essa característica é muito importante para utilização destes materiais em outros processos produtivos, já que a energia que geralmente é dispendida na moagem poderá ser economizada.

Os valores de pH do extrato solubilizado estão fora dos níveis que poderiam ser considerados corrosivos.

A análise dos extratos solubilizados apresentou resultados significativos do macronutriente K, assim como de Na. Recomenda-se um estudo mais aprofundado desses resíduos, principalmente a execução de novas análises químicas, como a quantificação de elementos-traço presentes nesses materiais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Bramagran - Brasileiro Mármore e Granitos Ltda, pelo fornecimento dos materiais estudados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7217 – Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 3 p., 1987.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004 - Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 77 p., 2004a.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10006 - Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 3 p., 2004b.

- Aguiar, M.C.; Gadioli, M.C.B.; Babisk, M.P.; Candido, V.S.; Monteiro, S.N.; Vieira, C.M. (2014), Characterization of a granite waste for clay ceramic addition. *Materials Science Forum (Online)*, 775-776, 699-704.
- Bacarji, E.; Toledo Filho, R.D.; Koenders, E.A.B.; Figueiredo, E.P.; Lopes, J.L.M.P. (2013), Sustainability perspective of marble and granite residues as concrete fillers. *Construction and Building Materials*, 45, 1–10.
- Barros, R.J., Jesus, C., Martins, M., Costa, M.C. (2009), Marble stone processing powder residue as chemical adjuvant for the biologic treatment of acid mine drainage. *Process Biochemistry*, 44, 477–480.
- Blott, S.J.; Pye, K. (2001), GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237-1248.
- Braga, F. S.; Buzzi, D. C.; Couto, M. C. L.; Lange, L. C. (2010), Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15, 3.
- Calmon, J.L. e Silva, S.A.C. (2006), “Mármore e granitos no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções”, in *A gestão de recursos hídricos e a mineração*, Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM, Brasília.
- Campos, A.R.; Vidal, W.F.H.; Azevedo, H.C.A.; Castro, N.F. (2014), “Resíduos: tratamento e aplicações industriais” in *Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento*, CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) e MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), Rio de Janeiro, p. 431-492.
- Moreira, J. M. S.; Freire, M. N.; Holanda, J. N. F. (2003), Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 49.
- Prado, A.C.A., Taguchi, S.P., Neves, M.A., Soares, R.H., Fonseca, A.B. (2012), Use of fine wastes from dimension stone industry in the manufacture of ceramic tile. *Materials Science Forum*, 727/728, 703-709.
- Raymundo, V., Neves, M. A., Cardoso, M. S. N., Bregonci, I.S., Lima, J.S.S., Fonseca, A. B. (2013), Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)*, 17, 47-53.
- Reis, A. S., Della-Sagrillo, V.P., Valenzuela-Diaz, F.R. (2015), Analysis of dimension stone waste addition to the clayey mass used in roof tile production. *Materials Research*, 18, 63-69.
- Sales, E.M.; Santos, J.C.M.; Costa, A.B.; Lisboa, V.N.F.; Medeiros, A.M. (2014), “Odores Provenientes de Graves Problemas Ambientais”, *XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, Florianópolis.
- Santos, J. e Galembeck, F. (2016), “Caracterização de Rochas Ornamentais: Aplicação de Conceitos Mecanoquímicos”, *22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, Natal, p. 1125-1136.
- Silva, A.A.A. (2011), “Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva”, *VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão*, Niterói.
- Scarinci, G., Brusatin, G., Barbieri, L., Corradi, A., Lancellotti, I., Colombo, P., S. Hreglich, S., Dall’Igna, R. (2000), Vitrification of industrial and natural wastes with production of glass fibres. *Journal of the European Ceramic Society*, 20, 2485-2490.
- Taguchi, S.P., Santos, J.C., Gomes, T.M., Cunha, N.A. (2014), Evaluation of technological properties of red ceramics incorporated with dimension stones waste from diamond wire loom. *Cerâmica*, 60, 291-296.
- Theodoro, S. H.; Leonardos, O. H. (2006), The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78, 721-730.

TEXTURAL CHARACTERIZATION AND SOLUBILITY ANALYSIS OF MACROELEMENTS ASSOCIATED WITH DIMENSIONAL STONES WASTES

Abstract. *The production of dimension stones for building generates high quantities of wastes, mainly a thyni-grained material, also called abrasive slurry. These wastes are stored or discarded in deposits or landfills, which still work without selection or screening, but storing material with high potential for exploitation due to the material composition. The wastes from the abrasive slurry are composed essentially by rock powder and have components that can be applied in other productive processes. The aim of this work was to investigate the potential of different types of dimension stone wastes, produced by different types of looms, for the release of chemical elements by solubilization. The measurement of element concentrations were made in the solubilized extract produced according to the proceedings of the Brazilian Association of Technical Standards. Results show that considerable quantities of K, Na, and Ca are liberated from these wastes and the element concentrations in the eluate depends on both the type of rock sawed and the type of sawing process. The thin granulation and the high*

pH-values of the wastes can be the factors that control the kind and the quantities of liberated elements.

Keywords: *abrasive slurry, industrial wastes, management.*