

DEPÓSITOS DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS: COMPOSIÇÃO, DIMENSIONAMENTO E POSSÍVEIS USOS NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL

DEPOSITS OF DIMENSION STONE WASTES: COMPOSITION, SIZING AND USE FOR BUILDING

Beatriz Carvalheira MOREIRA¹, Mirna Aparecida NEVES², Matheus Marcolongo PINHEIRO², Wenderson Abreu Rosa NASCIMENTO³, Jeruza Lacerda Benincá BARBOSA², Adolf Heinrich HORN¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais. Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte – MG.

E-mail: bia_moreira@hotmail.com; hahorn@gmail.com

²Universidade Federal do Espírito Santo. Alto Universitário, S/N Guararema, Alegre – ES.

E-mails: mirnaan@gmail.com; matheus.marcolongo05@gmail.com; jeruzabnink@hotmail.com

³Itabira Agro Industrial S.A. Fazenda Monte Líbano, SN - Zona Rural, Cachoeiro de Itapemirim – ES.

E-mail: wendersonambiental@gmail.com

Introdução

Materiais e métodos

Mapeamento dos depósitos

Seleção de depósitos para coleta de amostras

Análise física e química dos resíduos

Resultados e discussão

Crescimento dos depósitos de resíduos em Cachoeiro de Itapemirim (ES)

Dimensionamento dos depósitos e projeções de crescimento

Granulometria e composição dos resíduos armazenados nos depósitos

Possibilidades de uso dos resíduos no setor de construção civil

Conclusões

Agradecimentos

Referências

RESUMO - A produção de rochas ornamentais no Brasil é uma importante atividade minerária, especialmente no Estado do Espírito Santo, responsável por grande parte da exportação dos mármore e granitos brasileiros. O processo de beneficiamento dos blocos rochosos, gera grande quantidade de resíduos formados pela Lama de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO), além dos fragmentos de blocos. O objetivo desse trabalho é estimar a quantidade de resíduos da LBRO armazenados em depósitos no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES), definir suas características físicas e químicas e sugerir aplicações no setor de construção civil. Foram utilizados métodos de geoprocessamento e visitas em campo para delimitar e quantificar o volume dos depósitos identificados em imagens aéreas. A composição química das amostras coletadas em furos de sondagem foi comparada com dados de trabalhos publicados, que estudaram aplicabilidade desses resíduos na produção de cerâmica vermelha, concreto, cimento e argamassa, tijolos e vidrados. A composição físico-química dos resíduos é compatível com a dos materiais já testados, indicando a viabilidade do seu uso como matéria-prima no setor da construção civil. Porém, a separação de resíduos provenientes dos principais grupos litológicos (mármore e granitos), e de teares multifios e convencionais, permitirá maior controle de qualidade e aplicações mais nobres.

Palavras-chave: Lama abrasiva. Uso de resíduos. Gestão de resíduos sólidos.

ABSTRACT - The production of dimension stones in Brazil is relevant mining activity, especially in the State of Espírito Santo, which exports a major part of the Brazilian marbles and granites. Rock blocks processing generates enormous quantity of waste through the discarding of the Dimension Stone Processing Slurry (DSPS), besides block fragments. This work aims to estimate the quantity of DSPS wastes stored in the Municipality of Cachoeiro de Itapemirim (ES), to define its physical and chemical characteristics, and to suggest applications in building, through comparison with bibliographic data. Geoprocessing methods, together with field survey, were used for delimiting and quantifying the volume of the deposits identified in aerial images. The chemical composition of the samples collected in drilling holes was compared with data from previous works that tested the applicability of these wastes to produce red ceramic, concrete, cement and mortar, bricks, and glassy. The chemical composition of the deposited wastes is compatible with the tested materials, indicating the technical viability of their usage as raw material for the building sector. Nevertheless, the segregation of wastes providing from the two main lithological types (marble and granitic rocks), and of conventional and diamond wire looms, will allow better quality control and most noble applications.

Keywords: Abrasive slurry. Use of waste. Waste management.

INTRODUÇÃO

Em 2019, a produção de rochas ornamentais no Brasil atingiu 9,2 milhões de toneladas, envolvendo granitos, quartzitos, mármore, ardósia e outros tipos de rocha (ABIROCHAS, 2020a). No primeiro trimestre de 2020, a produção foi 5,6% menor, quando comparada ao mesmo período de 2019, possivelmente pelos efeitos da pandemia da Covid-19. Ainda assim,

as exportações alcançaram cerca de US\$ 200 milhões, onde o estado do Espírito Santo foi responsável por quase US\$ 164 milhões (ABIROCHAS, 2020b).

A produção de resíduos pelo setor é relevante, tendo em vista as grandes quantidades geradas e a concentração em poucos polos industriais. Pesquisas indicam que cerca de 25% a 30% do bloco serrado é transformado em pó e agregado à LBRO (Mathiello et al., 2019) que posteriormente é descartada.

Em uma área produtiva da Espanha (O Porriño), González (2005) calcula que a produção de resíduos ultrapassa 300.000 m³ por ano; enquanto em Portugal, Oliveira (2005) estima que 3,5 milhões de m³ estão estocados em um único depósito da região (Aterro do Moinho). No Brasil, Buzzi (2008) relata que são produzidas cerca de 14,8 t de resíduo para cada bloco de rocha beneficiado.

O processo de beneficiamento de rochas ornamentais envolve a serragem de blocos de rocha em chapas (ou placas) e o polimento das chapas. A serragem dos blocos de rocha (ou desdobramento) é feita por teares convencionais, onde se utiliza uma polpa composta geralmente por granalha, cal e água, denominada de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO). A LBRO é distribuída por cima dos blocos por chuveiros e recircula no sistema enquanto possuir poder abrasivo. Posteriormente, é depositada em tanques de armazenamento temporários (Braga et al., 2010) e finalmente conduzida para aterros industriais. Durante o processo, o pó da rocha serrada fica agregado à LBRO e passa a compor o resíduo que será posteriormente descartado. Existem também

os teares de fios diamantados (ou multifios), que fazem uso somente da água para resfriar, lubrificar e limpar os fios. Nesse caso, o resíduo a ser descartado é composto apenas pelo pó da rocha. O polimento das chapas é feito por pastilhas abrasivas e água, após aplicação de resinas e outros produtos sobre a chapas, conferindo brilho e acabamento às mesmas. Nesse processo, é produzida a lama de politriz, que é direcionada aos tanques de decantação para separação das fases líquida e sólida, sendo que a primeira recircula e a segunda é descartada junto com a LBRO da serragem (Braga et al., 2010).

A Instrução Normativa n° 11/16 do Instituto Estadual de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Espírito Santo - IEMA (IEMA, 2016) regulamenta a atividade de disposição da LBRO. Essa instrução define que a LBRO, composta por pó de rocha, com ou sem elementos abrasivos e outros insumos do processo de beneficiamento, é um resíduo sólido Não Perigoso – Classe II.

Devido à falta de dados consistentes relativos à quantidade total de resíduo gerado e o possível reaproveitamento deste material em outros setores produtivos, o que irá trazer grandes benefícios do ponto de vista ambiental, o objetivo deste trabalho é quantificar a produção dos resíduos, estudar sua composição química e propor possíveis usos. Os resíduos depositados constituem material valioso por conter pó de rocha moída e seu aproveitamento, além de minimizar as quantidades estocadas, poderá gerar fonte de renda.

Por ser um dos principais polos produtores de rochas ornamentais do Espírito Santo, o município de Cachoeiro de Itapemirim foi escolhido como área de estudo (Figura 1).

MATERIAIS E MÉTODOS

Mapeamento dos depósitos

Para a localização e o dimensionamento da área dos depósitos, foram utilizadas imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução de 30 metros (USGS, 2014), imagens do Satélite Alos (*Advanced Land Observing Satellite*) com resolução de 12 metros (NASA, 2011), imagens do *Google Earth Pro* dos anos de 2003, 2011 e 2019, além de mapas topográficos e hidrográficos (IBGE, 2016).

Esses dados foram processados no programa Arcgis 10.4.1 (ESRI, 2016), por meio da ferramenta ArcMap. O programa Spring 5.4.3 (INPE, 2017) foi usado para refinamento de grade

e melhora na resolução da imagem SRTM.

A partir destes materiais, foi criada uma grade composta por quadriláteros de 4 quilômetros quadrados sobre a área do município de Cachoeiro de Itapemirim. A fotointerpretação para delimitação dos depósitos foi feita em uma quadrícula por vez, por meio de análise visual, com escala de observação em 1:5.000. As áreas com cor e textura semelhantes às de depósitos conhecidos foram delineadas nas imagens, compondo polígonos georreferenciados. Esses locais foram visitados em trabalhos de campo para confirmar a existência de depósitos nestas áreas sugeridas no processamento das imagens. Os polígonos com

depósitos confirmados foram exportados para o Arcgis 10.4.1 para compor os mapas de localização.

As áreas dos polígonos foram calculadas, indicando uma estimativa da área ocupada pelos depósitos nos anos de 2003, 2011 e 2019. A

projeção considera permanência das condições econômicas e do crescimento observado nos últimos 16 anos (entre 2003 e 2019). O volume dos depósitos foi inferido por meio da multiplicação da área por uma profundidade estimada por meio da topografia.

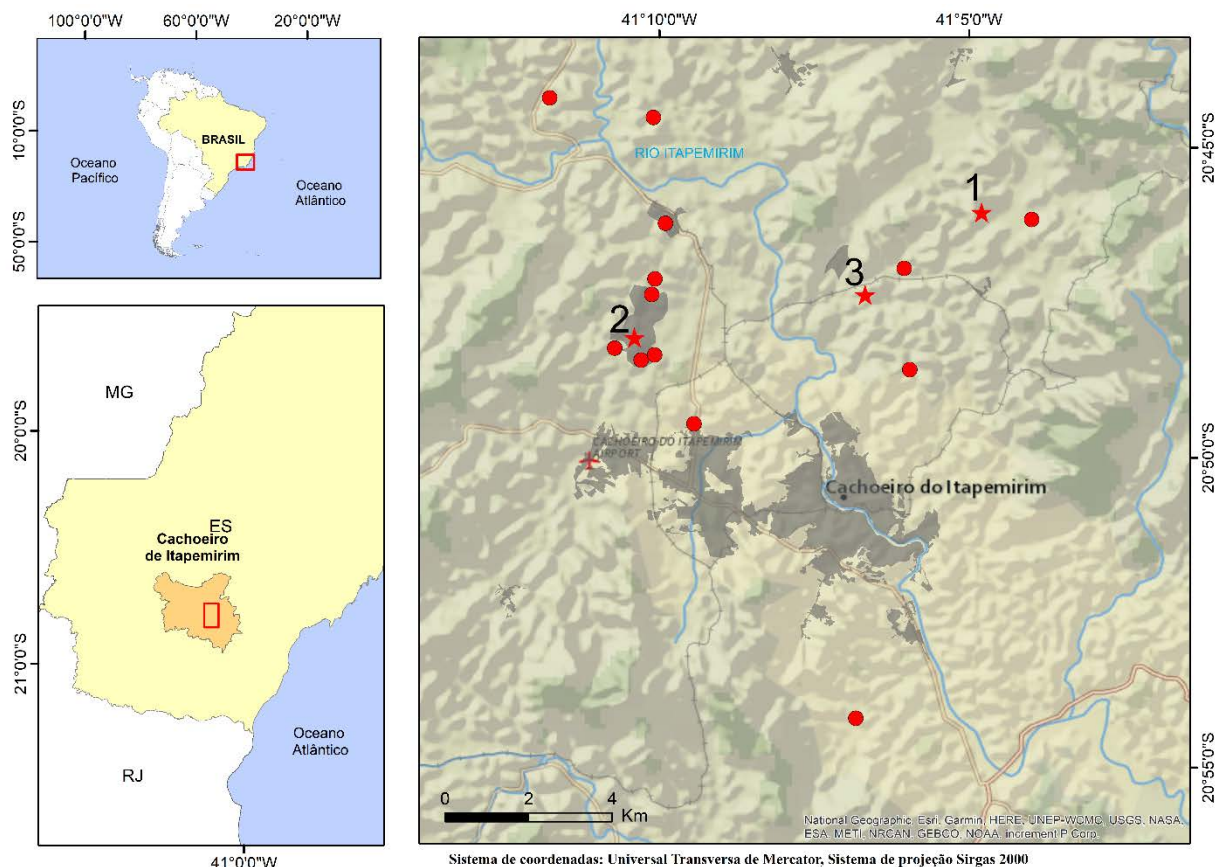


Figura 1 - Depósitos de resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES). Os pontos vermelhos indicam a posição dos depósitos registrados pelos autores em imagem aérea de 2019 e confirmados por visita de campo em 2020; as estrelas 1, 2 e 3 são as áreas-exemplo apresentadas na Figura 4.

A estimativa da profundidade foi sempre conservadora, ou seja, buscou-se inferir a profundidade com valores correspondentes ao valor mínimo mais provável, balizados por observações da topografia local e informações obtidas em visitas aos depósitos. O volume de material depositado só é passível de ser inferido para o ano de 2019, quando foram feitos os trabalhos de campo. Os dados referentes a cada ano analisado permitiram gerar um modelo linear do crescimento dos depósitos e, a partir deste modelo, foram feitas projeções para anos subsequentes, até o ano de 2035.

Devido à estimativa conservadora e porque, provavelmente, nem todos os depósitos puderam ser identificados visualmente nas imagens (em função da escala de observação), o volume estimado se refere à quantidade mínima de resíduos depositados no município.

Seleção de depósitos para coleta de amostras

Amostras de resíduos foram coletadas em oito

depósitos no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES) escolhidos após a visita ao Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA) para obter informações sobre os possíveis sítios de deposição e posterior visita aos aterros para levantamento das condições e de permissão para o acesso. Foram utilizados trados mecânico e manual para a perfuração dos furos de sondagem (Figuras 2a e 2b), com intervalo de amostragem entre 1 e 2 metros de profundidade até atingir a base do depósito, totalizando 70 amostras (Figura 2c).

Análise física e química dos resíduos

Para as análises laboratoriais, as amostras foram secas em estufa com temperatura máxima de 60° C, destorroadas, homogeneizadas e quarteadas. Posteriormente, uma alíquota de 100 g (base seca) de cada amostra foi tamisada em peneira de abertura 2,00 mm, colocadas em garrafas plásticas com 200 mL de água deionizada e agitadas durante 6 horas em um agitador rotativo para não voláteis



Figura 2 - (a) Coleta de amostras em um dos depósitos estudados, por meio de (b) trado mecanizado e (c) detalhe do amostrador com o resíduo de LBRO, coletado em profundidade.

(TE-743). Após esta etapa, as amostras foram passadas em peneira de abertura 0,053 mm, separando as frações passante e retida. A fração retida foi seca em estufa a 100° C e as amostras foram passadas em um agrupamento de peneiras de abertura: 0,250 mm, 0,125 mm, 0,090 mm e 0,075 mm.

A composição química das amostras foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX). A preparação das amostras envolveu a trituração de 8 g de cada amostra em almofariz de ágata. Foram confeccionadas pastilhas fundidas e para cada 1g de amostra foram utilizados 9g de Tetraborato de Lítio e 1,5g de Carbonato de lítio. Os dados químicos são expressos em porcentagem em peso de óxidos: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂, SO₃, P₂O₅ e MnO. Além desses, também foram lidos: SrO, ZrO₂, CuO, Cr₂O₃, BaO, ZnO e Br que, pelos baixos teores, foram somados e considerados

como “outros”. A perda ao fogo foi determinada pela perda de massa no processo de calcinação.

Os resultados foram comparados com dados da literatura, buscando verificar se os componentes se encaixam dentro do range composicional de resíduos já testados como matéria-prima para fabricação de cerâmica vermelha, concreto, cimento e argamassa, tijolos e vidrados. Para isso, foram compilados dados publicados em trabalhos científicos onde os autores testaram e comprovaram a adequabilidade da aplicação de resíduos da LBRO nesses produtos. Foram considerados apenas trabalhos de periódicos indexados e de considerável circulação. A compilação envolveu 60 composições determinadas por FRX, a mesma técnica usada no presente trabalho para medir a composição química principal das amostras de resíduos coletadas em depósitos que armazenam a LBRO.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento dos depósitos de resíduos em Cachoeiro de Itapemirim (ES)

A Figura 3 mostra a distribuição de depósitos de resíduos da LBRO no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES) nos anos de 2003, 2011 e 2019. No ano de 2003, apenas três depósitos foram identificados. Provavelmente mais depósitos existiam nessa época, porém de pequeno porte, pois não são visíveis na escala do mapeamento. O crescimento nos anos subsequentes foi considerável, pois no ano de 2011, esse número triplicou, identificando-se nove depósitos e, no ano de 2019, foram identificados, na mesma escala de observação, 16 depósitos.

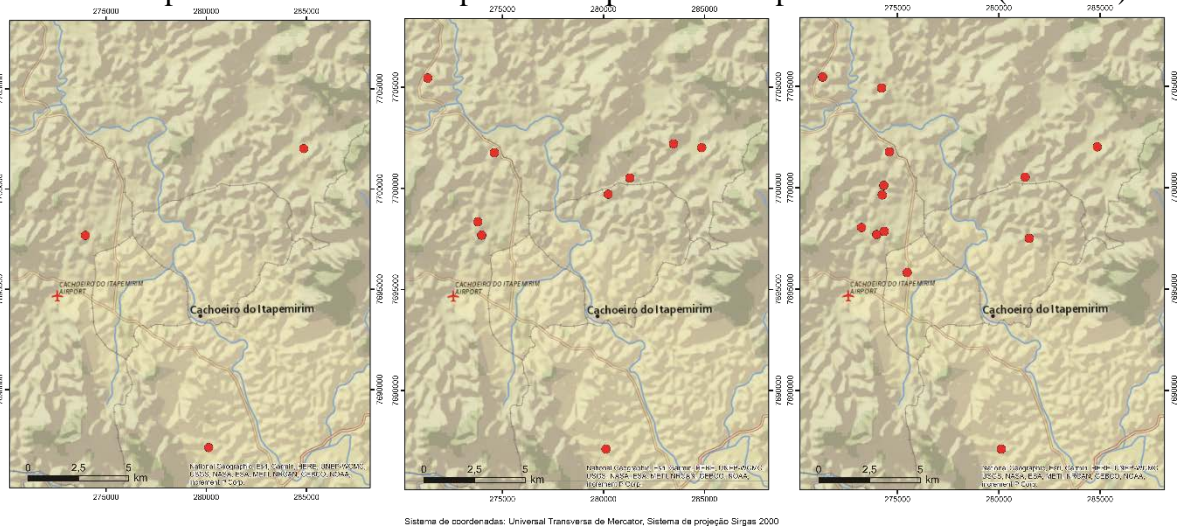
Cada área de disposição de resíduos foi

analisada em detalhe nas imagens dos anos 2003, 2011 e 2019. Foram selecionados três áreas-exemplos representativas que ilustram os casos observados (Figura 4) e, por questão de sigilo, as coordenadas geográficas dessas áreas não são reveladas. Na área-exemplo 1, os depósitos de resíduos que existiam em 2003 cresceram até 2011 e, em 2019, a deposição foi interrompida. A área-exemplo 2 é outro caso típico, em que um terreno baldio passou a ser usado para deposição de resíduos e, em 2019, a área foi aterrada, mantendo o resíduo sob o aterro. Na área-exemplo 3, um aterro licenciado e construído de forma projetada, expande-se até 2019, encontrando-se em atividade até a visita de campo em 2020.

Dimensionamento dos Depósitos e Projeções de Crescimento

O crescimento da produção de resíduos de LBRO no município de Cachoeiro de Itapemirim

(ES) é expressivo, conforme medições das áreas de disposição observadas em imagens aéreas dos anos 2003, 2011 e 2019 e dos volumes estimados para os 15 depósitos visitados (Tabela 1).



Sistema de coordenadas: Universal Transversa de Mercator, Sistema de projeção Sirgas 2000

Figura 3 - Depósitos de resíduos finos do beneficiamento de rochas ornamentais existentes no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES) nos anos de (a) 2003, (b) 2011 e (c) 2019 (os pontos vermelhos indicam a localização de depósitos identificados em imagem aérea).

a) área- exemplo 1:



b) área- exemplo 2:



c) área- exemplo 3:



Figura 4 - Três exemplos de áreas com depósitos mapeados nesse trabalho e evolução de seu crescimento com base nas imagens dos anos de 2003, 2011 e 2019.

O volume total de resíduos calculado para o ano de 2019 foi estimado em 3.111.848 m³ por meio da multiplicação das áreas pelas profundidades dos depósitos existentes nesse ano (Figura 5). O ajuste do modelo linear, projetado

a partir das medições nos anos 2003, 2011 e 2019, permite prever o crescimento dos depósitos, o que foi feito até o ano 2035, quando espera-se chegar em um volume total estimado de 6.189.531 m³.

Tabela 1 - Área dos depósitos vistos em imagem aérea dos anos 2003, 2011 e 2019, com estimativas de profundidade e volume atual.

Depósito número	Área dos depósitos (m ²)			profundidade estimada (m)	volume atual estimado (m ³)
	2003	2011	2019		
1	0,0	0,0	7.136,0	7,0	49.952,0
2	0,0	0,0	10.656,0	3,0	31.968,0
3	0,0	0,0	17.343,0	3,0	52.029,0
4	0,0	0,0	20.551,0	3,0	61.653,0
5	0,0	0,0	24.142,0	2,0	48.284,0
6	0,0	0,0	26.328,0	3,0	78.984,0
7	0,0	5.385,0	5.385,0	3,0	16.155,0
8	0,0	10.970,0	8.473,0	3,0	25.419,0
9	0,0	12.992,0	12.992,0	2,0	25.984,0
10	0,0	24.177,0	55.550,0	10,0	555.500,0
11	0,0	28.056,0	53.936,0	5,0	269.680,0
12	0,0	79.069,0	86.582,0	12,0	1.038.984,0
13	2.468,0	2.468,0	2.468,0	2,0	4.936,0
14	2.616,0	12.720,0	23.064,0	5,0	115.320,0
15	9.018,0	55.640,0	73.700,0	10,0	737.000,0
TOTAL	14.102,0	231.477,0	428.306,0		3.111.848,0

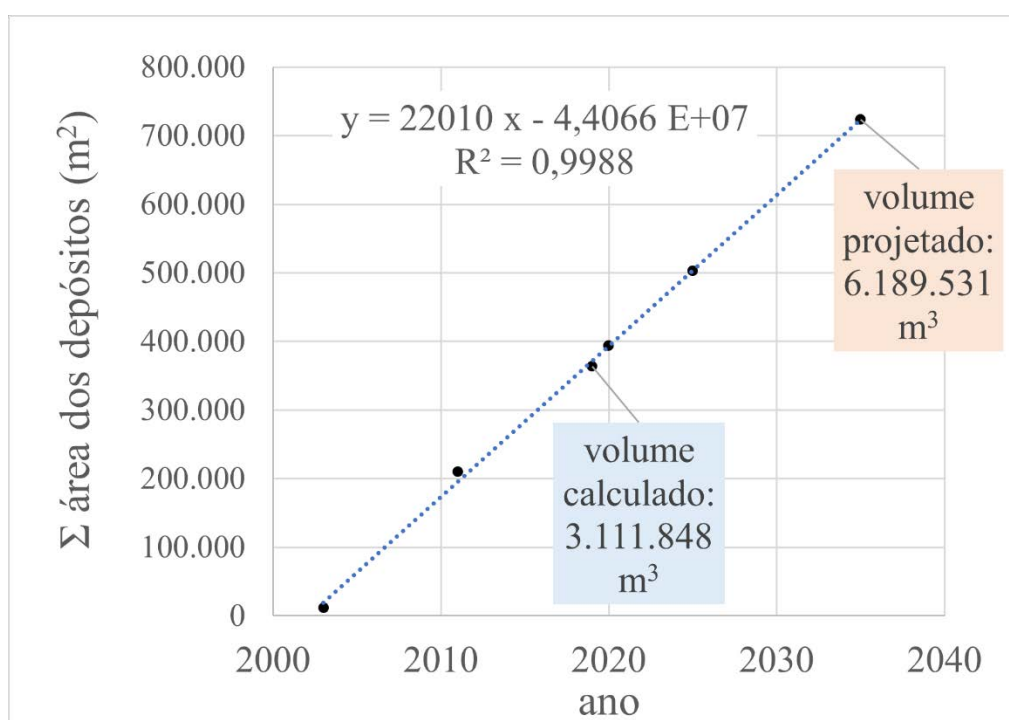


Figura 5 - Evolução da área ocupada por depósitos de resíduos da lama de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO) no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES).

Obviamente, não é possível garantir que haverá continuidade das condições do mercado, principalmente em decorrência da situação de pandemia que afeta a economia mundial em 2020. Porém, após a superação da crise, é possível elucubrar que haverá um crescimento ainda maior do que o previsto, tendo em vista que os setores produtivos engajarão mais esforços no

sentido de ampliar a produção.

O dimensionamento apresentado acima é coerente quando comparado com os dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2020a), relativos aos valores arrecadados (acumulados) com exportação de rochas processadas, em dólar estadunidense (US\$) (Figura 6).

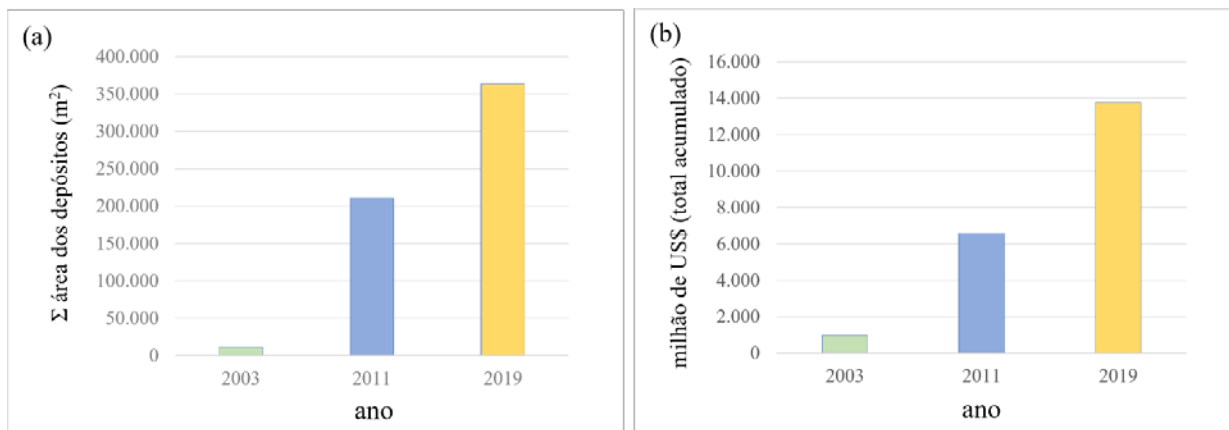


Figura 6 - (a) Somatório das áreas dos depósitos de resíduos medidas nesse trabalho e (b) valores arrecadados (acumulados) com exportações de rochas ornamentais processadas no Brasil, onde o Espírito Santo contribuiu com 82% do total, segundo dados da ABIROCHAS (2020a).

Granulometria e composição dos resíduos armazenados nos depósitos

Os resíduos estudados nos depósitos investigados apresentam granulometria predominantemente menor do que 0,053mm e perfaz 82%. As partículas de 0,053mm atingem 6%, seguidos de 2% de 0,075mm; 4% possuem

tamanho de 0,090mm, 3% são de 0,125mm e 3% perfazem a faixa granulométrica de 0,250mm (Figura 7).

A composição química principal dos resíduos finos gerados pelo descarte da LBRO, depositados nos locais estudados, é apresentada na Tabela 2

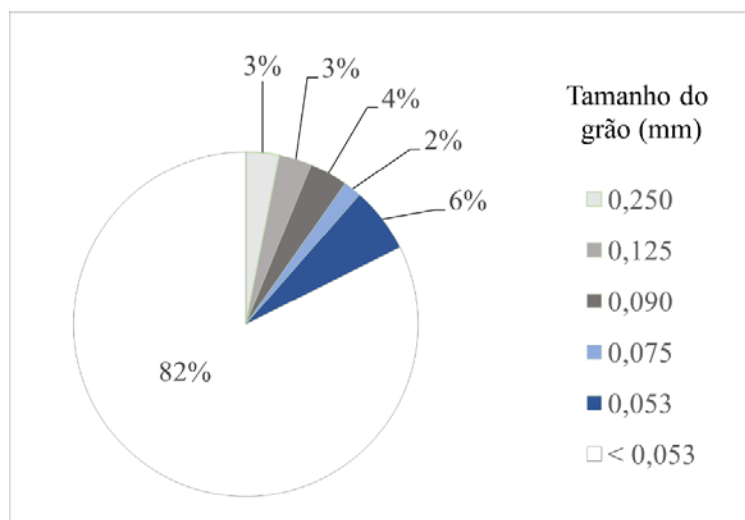


Figura 7 - Granulometria dos resíduos armazenados em depósitos no Município de Cachoeiro de Itapemirim (ES) (a porcentagem das frações é o valor médio das amostras analisadas).

O SiO₂ perfaz mais da metade da constituição química do material com teor médio de 53%. Após o SiO₂, o Al₂O₃ seguido do CaO apresentam maiores concentrações com aproximadamente 12% e 10% em média, respectivamente. Destaca-se que o CaO possui grande variabilidade, podendo atingir um teor de 79%. Observa-se também que entre a composição química principal, o Fe₂O₃ possui teor médio de 6%, seguido do MgO com 4,5%, K₂O com 3,45% e Na₂O com 2,64%. Estes componentes são comumente encontrados nas rochas silicáticas e carbonáticas que são serradas durante o processo de beneficiamento. Porém, é importante ressaltar que os insumos utilizados

como a cal fornece grande quantidade de cálcio, assim como o uso da granalha durante a serragem influencia diretamente na concentração de Fe₂O₃. Elementos secundários e traços como BaO, ZrO₂, SrO, ZnO, Rb₂O, CuO, Cr₂O₃ e Br estão inclusos em “outros”. A perda ao fogo varia de 15,08% a 23,72%, sendo que os valores mais altos se encontram em amostras de um mesmo depósito que armazena apenas resíduo de polimento de mármore.

Possibilidades de Uso dos Resíduos no Setor de Construção Civil

Tendo em vista a grande quantidade de resíduo de LBRO gerada no ano de 2019 estimado em 3.111.848 m³ e considerando sua

composição química e física espera-se que esse material tenha potencial de aproveitamento em outras linhas de produção. No levantamento realizado nesse trabalho, foram compilados dados publicados em periódicos científicos, que comprovam a adequabilidade do uso desse tipo de resíduo em cerâmica vermelha, concreto, cimento e argamassa, tijolos e vidrados.

Dentre os trabalhos consultados, 18 são

dedicados à aplicação do resíduo como matéria-prima para produção de cerâmica vermelha. Nesses trabalhos, a composição da massa cerâmica geralmente envolve argila com porcentagens diferentes da LBRO gerada no beneficiamento de rochas silicáticas (referidas como granitos) (e.g. Vieira et al., 2004; Sultana et al., 2005; Moreira et al., 2008; Prado et al., 2012).

Tabela 2 - Composição química dos resíduos finos da lama de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO) (valores em %).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO	Outros	PF
1	48,06	12,29	5,91	16,82	6,39	4,69	2,48	0,71	0,15	0,24	0,08	0,56	1,60
2	53,93	13,20	4,91	13,83	4,88	4,93	2,62	0,55	0,12	0,22	0,07	0,34	0,40
3	54,09	13,05	5,28	13,38	4,96	5,02	2,53	0,59	0,14	0,23	0,06	0,35	0,30
4	53,01	14,31	6,07	8,21	8,91	4,03	2,18	1,23	0,36	0,44	0,10	0,42	0,54
5	36,86	10,07	10,04	21,38	13,60	3,39	1,89	0,86	0,20	0,34	0,13	0,65	0,39
6	45,78	11,88	6,98	15,39	11,63	3,15	1,85	1,53	0,31	0,55	0,10	0,37	0,36
7	66,77	13,43	6,35	3,99	1,01	5,13	2,64	0,23	0,07	0,13	0,07	0,12	0,06
8	63,08	14,08	7,76	4,15	2,05	4,46	2,27	1,13	0,10	0,56	0,09	0,15	0,04
9	61,07	14,56	8,93	3,94	1,38	5,25	2,77	0,96	0,12	0,49	0,10	0,34	0,04
10	59,44	14,58	7,07	5,02	3,60	5,36	2,85	0,71	0,10	0,34	0,09	0,43	0,21
11	65,88	13,18	8,93	2,57	1,08	5,09	2,20	0,56	0,00	0,19	0,11	0,15	0,03
12	59,84	14,86	8,78	4,90	2,37	4,17	2,31	1,37	0,13	0,78	0,11	0,29	0,05
13	61,03	13,42	9,11	5,44	1,11	5,09	2,99	0,69	0,14	0,33	0,11	0,37	0,07
14	60,56	14,10	7,11	5,55	2,75	4,83	2,83	0,89	0,12	0,44	0,10	0,40	0,15
15	59,27	13,95	7,75	7,11	2,24	4,71	3,05	0,85	0,12	0,33	0,10	0,41	0,23
16	54,81	13,19	14,02	6,04	2,17	4,55	2,86	0,94	0,09	0,46	0,15	0,44	0,17
17	60,35	14,01	7,33	6,05	1,61	4,81	3,01	0,97	0,13	0,50	0,09	0,43	0,49
18	62,11	14,53	6,56	5,31	1,52	4,97	2,97	0,75	0,13	0,37	0,08	0,33	0,29
19	31,61	6,78	2,36	42,20	12,15	2,12	1,11	0,43	0,09	0,13	0,06	0,24	0,70
20	9,90	1,92	0,90	71,84	13,29	0,51	0,18	0,11	0,09	0,05	0,04	0,03	1,14
21	23,01	5,46	2,20	52,25	13,34	1,39	0,69	0,33	0,08	0,08	0,06	0,22	0,85
22	9,41	1,45	0,66	79,16	7,46	0,38	0,16	0,11	0,11	0,00	0,02	0,03	1,03
23	53,67	11,10	3,76	13,42	10,35	4,07	1,90	0,57	0,11	0,20	0,07	0,27	0,33
24	34,20	7,01	2,92	39,82	10,39	2,46	1,19	0,47	0,12	0,11	0,26	0,21	0,87
25	54,53	14,77	13,19	5,69	1,75	3,64	3,76	1,32	0,51	0,47	0,14	0,14	0,00
26	53,83	13,49	9,61	5,96	1,87	3,86	2,79	0,84	0,00	0,33	0,10	4,66	2,68
27	61,26	15,01	7,48	3,52	1,39	4,15	4,47	0,75	1,04	0,34	0,06	0,30	0,21
28	62,32	15,05	6,01	3,50	1,72	3,82	4,13	1,05	0,61	0,43	0,05	0,09	1,23
29	58,07	14,01	10,52	5,18	1,69	3,95	3,15	0,96	0,37	0,51	0,11	0,12	1,37
30	61,06	13,36	7,98	4,80	1,87	4,16	3,20	0,98	0,51	0,49	0,08	0,26	1,26
31	65,59	17,83	2,72	1,22	0,38	2,67	1,39	0,33	0,43	0,15	0,00	0,16	7,04
32	53,55	13,42	9,96	5,72	2,41	3,77	3,26	0,91	0,56	0,38	0,10	0,42	5,50
33	62,45	13,31	9,30	4,13	1,22	3,86	2,93	0,71	0,54	0,36	0,08	0,27	0,81
34	59,87	13,15	7,14	5,04	2,09	3,97	3,23	0,70	0,53	0,30	0,06	0,09	3,77
35	69,89	15,76	1,89	1,00	0,00	3,56	1,07	0,00	0,00	0,00	0,06	0,60	6,18
36	51,66	12,18	5,97	8,31	4,07	2,97	2,51	0,64	0,00	0,36	0,05	1,13	10,15
37	46,31	9,97	8,55	10,42	3,45	3,51	2,22	0,54	0,00	0,34	0,09	4,02	10,57
38	43,90	10,31	8,50	11,75	2,72	3,33	2,53	0,63	0,00	0,35	0,07	4,17	11,75
39	58,02	14,41	6,88	4,85	1,53	3,43	2,17	0,54	0,00	0,32	0,06	1,01	6,77
40	47,55	11,26	4,90	11,48	5,96	2,71	3,35	0,80	0,52	0,39	0,06	0,05	10,98

* PF = perda ao fogo

Outros acrescentam quartzo, feldspato e calcita (Menezes et al., 2005) na massa cerâmica; caulim, *grog*, bentonita e *loess* (Hojamberdiev et al., 2011) ou caulim, quartzo e feldspato sódico (Souza et al., 2010a). As porcentagens de resíduo acrescidas à massa variam entre 10% (Moreira et al., 2003; Torres et al., 2009; Rodrigues et al., 2012) e 60% em peso (Reis et al., 2015; Taguchi et al., 2014). Segadães et al. (2005) utilizam 30% de resíduo do processamento de rochas silicáticas

e carbonáticas (mármore) na massa cerâmica e afirmam que foi possível diminuir a temperatura de sinterização tradicional. Também com essa mistura, mas na proporção de 50%, Acchar et al. (2006) relatam melhora nas características dos corpos cerâmicos. Isso porque os resíduos promovem o acondicionamento físico dos grãos (Reis et al., 2015) e maior estabilidade dimensional para as placas cerâmicas (Moreira et al., 2003; Taguchi et al., 2015).

Tabela 2 – Parte 2 - Composição química dos resíduos finos da lama de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO) (valores em %).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO	Outros	PF
41	61,72	15,29	5,30	5,46	2,68	3,53	3,84	1,01	0,58	0,42	0,06	0,11	0,00
42	59,85	14,56	8,52	5,22	2,30	3,26	3,44	1,19	0,63	0,64	0,09	0,32	0,00
43	50,69	14,03	11,18	6,12	3,13	2,59	3,35	1,40	0,55	0,69	0,10	0,09	6,09
44	56,85	13,88	10,73	5,82	2,25	3,32	3,63	1,56	0,48	0,69	0,10	0,09	0,59
45	65,26	12,39	6,01	3,96	1,79	3,23	3,39	0,74	0,60	0,34	0,06	0,07	2,15
46	66,55	12,48	3,26	4,08	2,09	3,07	3,71	0,50	0,65	0,31	0,06	0,05	3,19
47	61,07	12,84	6,14	4,83	2,69	3,03	3,26	0,97	0,57	0,50	0,09	0,08	3,91
48	50,67	8,00	5,55	8,39	9,20	1,93	2,22	0,48	0,61	0,23	0,08	0,12	12,43
49	61,37	13,79	7,65	4,50	2,01	3,57	3,27	1,27	0,71	0,46	0,08	0,11	1,14
50	54,86	13,48	10,36	6,48	2,74	3,46	3,28	1,68	0,61	0,81	0,12	0,13	1,99
51	56,80	13,54	10,02	6,03	2,59	3,06	3,19	1,45	0,50	0,61	0,11	0,13	1,91
52	68,52	8,85	2,19	1,95	2,13	2,73	3,20	0,21	0,22	0,23	0,00	0,06	9,70
53	55,83	13,87	10,66	6,25	2,45	3,49	3,49	1,30	0,58	0,39	0,13	0,41	1,15
54	63,04	13,45	7,86	4,20	1,47	3,97	3,14	0,56	0,45	0,40	0,10	0,12	1,14
55	57,92	14,40	10,61	4,94	2,07	3,42	3,44	1,21	0,51	0,56	0,12	0,10	0,69
56	64,27	11,58	7,97	4,49	1,93	3,47	3,05	1,06	0,46	0,37	0,08	0,08	1,20
57	67,99	11,47	6,33	3,42	1,23	3,90	3,16	0,60	0,44	0,00	0,08	0,11	1,27
58	59,45	13,47	5,07	4,91	2,64	4,11	3,61	0,72	0,55	0,33	0,06	0,09	4,97
59	61,63	12,98	3,77	5,07	2,14	4,53	2,98	0,42	0,49	0,28	0,05	0,05	5,61
60	59,25	12,94	4,63	5,74	2,15	4,77	3,43	0,49	0,41	0,26	0,06	0,11	5,58
61	58,49	13,73	5,96	4,76	2,10	2,95	2,72	0,73	0,50	0,29	0,00	0,10	7,59
62	66,73	14,62	3,73	2,18	0,76	0,67	2,26	0,91	0,54	0,00	0,04	0,09	7,31
63	38,70	9,60	2,86	15,48	11,51	2,69	2,42	0,41	0,43	0,00	0,06	0,07	15,54
64	37,70	8,27	2,08	12,14	12,77	2,03	1,88	0,28	0,39	0,17	0,06	0,07	21,92
65	47,09	11,07	2,88	7,76	9,97	2,63	2,22	0,45	0,38	0,00	0,07	0,08	15,08
66	35,30	7,31	2,26	14,73	11,99	1,85	1,94	0,36	0,31	0,17	0,00	0,07	23,72
67	33,75	8,75	2,26	14,05	12,45	2,19	1,62	0,47	0,46	0,00	0,06	0,08	23,71
68	52,99	0,00	4,63	5,41	4,60	2,06	2,21	0,71	0,49	0,00	0,06	0,07	11,97
69	38,21	8,89	2,50	11,83	11,87	2,13	2,05	0,37	0,36	0,00	0,06	0,07	2,38
70	39,24	8,86	3,16	12,19	10,77	2,20	1,88	0,39	0,43	0,00	0,05	0,07	20,36
Média	53,56	12,03	6,41	10,61	4,50	3,45	2,64	0,76	0,34	0,32	0,08	0,40	4,36
Mediana	57,97	13,26	6,34	5,71	2,39	3,50	2,81	0,71	0,39	0,34	0,08	0,14	1,25
Desv. Pad.	12,63	3,35	3,05	14,25	4,10	1,14	0,86	0,38	0,23	0,20	0,04	0,85	6,03
Min	9,41	0,00	0,66	1,00	0,00	0,38	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Max	69,89	17,83	14,02	79,16	13,60	5,36	4,47	1,68	1,04	0,81	0,26	4,66	23,72

* PF = perda ao fogo

Por outro lado, o resíduo reduz a plasticidade da massa (Moreira et al., 2008), o que pode causar possíveis problemas na conformação dos

produtos cerâmicos (Silva et al., 2005). As temperaturas de sinterização utilizadas nos testes são variáveis, desde 900°C (Rodrigues et al.,

2012 – que utilizam 10% de resíduo silicático na massa argilosa) até 1150°C (Silva et al., 2005 – que utilizam até 50% de resíduo). El-Maghraby et al. (2011) usam temperaturas mais altas, que chegam a 1220°C; enquanto Souza et al. (2010a) usam um range de 950 a 1250°C, mesmo acrescentando componentes fundentes na massa. A compilação aqui realizada não permite apontar a porcentagem ótima de resíduo para uma temperatura de sinterização mínima ideal, provavelmente devido à grande variabilidade composicional dos materiais e diferentes condições experimentais.

Também foram compilados dados de 29 trabalhos que testaram o resíduo da LBRO para uso em concreto, cimento e argamassa. Esse aproveitamento foi considerado extremamente relevante do ponto de vista econômico e ambiental, tendo em vista a grande quantidade que seria aproveitada e a redução no consumo de cimento. Os trabalhos consultados geralmente fazem a substituição do cimento por porcentagens diferentes de resíduo do processamento de rochas granitoides (e.g. Gonçalves et al., 2002; Singh et al., 2016; Medina et al., 2017; Mittri et al., 2018), carbonáticas (e.g. Al-Zboon & Al-Zouby, 2015; Rana et al., 2015) ou de misturas entre esses dois tipos (Sadek et al., 2016; Ghorbani et al., 2018). Diferente dos citados, Allam et al. (2014) substituem a areia, e não o cimento, por resíduo do processamento de granito. No uso de resíduos silicáticos, as porcentagens testadas variam de 5% (e.g. Bacarji et al., 2013; Elmoaty, 2013; Uliana et al., 2015) até 50% (Sadek et al., 2016; Soltan et al., 2016).

O range também é amplo no uso de resíduos de mármore, variando também entre 5% (Almeida et al., 2007) e 50% (Yen et al., 2011 – acrescentando outros tipos de resíduos); agregando-se também resíduo de granito (Ghorbani et al., 2018), sílica ativa (Khodabakhshian et al., 2018) e superplastificantes (Sardinha et al., 2016) na mistura para concreto. Para uso em argamassa, recomendam resíduos silicáticos na proporção de 10% (Mármol et al., 2010) a 40% (Azevedo et al., 2019), bem como de mármore (Buyuksagis et al., 2017). Alguns estudos mostram que a densidade e a resistência à compressão dos compostos de cimento diminuem com o aumento do teor de resíduo (Sardinha et al., 2016), enquanto outros (Mashaly et al., 2016; Buyuksagis et al., 2017) observam que a porosidade aparente aumenta com o teor de resíduo de mármore. Estes fatores podem

impactar diretamente na resistência das argamassas (Azevedo et al., 2019).

No caso dos tijolos, foram compilados dados de 8 trabalhos científicos. A maioria mostra a possibilidade de uso de resíduos de mármore cálcicos e magnesianos (Hamza et al., 2011; Eliche-Quesada et al., 2012; França et al., 2018; Barros et al., 2020), mas também testam misturas de resíduos de granito e mármore (Hamza et al., 2011), de traquito e de basalto (Manca et al., 2014). O tijolo ecológico produzido por Barros et al. (2020) apresentou alta resistência à compressão 350% maior do que o estabelecido pela norma, além de baixa absorção de água, resistência ao fogo e boa estabilidade térmica. Estes autores indicam o uso de até 90% de resíduo com 10% de resina de poliéster. França et al. (2018) estudam misturas de resíduo e cimento analisando os parâmetros de resistência mecânica, absorção de água e durabilidade, obtendo características superiores quando comparadas aos tijolos sem adição de resíduo. Dentre os trabalhos consultados, Lima et al. (2010) é o único que relata resultados negativos para esse tipo de uso.

Foram encontrados 5 trabalhos em periódicos científicos que testam o uso de resíduo da LBRO em vidrados e que apresentam dados composicionais. Lu et al. (2018) usam resíduo do processamento de rocha granítica para produção de cerâmica vítrea, acrescentando aditivos para sinterização e hidrolisados; enquanto Torres et al. (2004) usam uma mistura de 50% em argila com resíduo com mais de 70% de SiO₂. Silva et al. (2019) testa a fabricação de porcelana acrescentando 10% de resíduo de quartzito, com 80% de SiO₂. Souza et al. (2010b) analisa uma mistura de 47,5% de resíduo de gnaiss (rocha metamórfica silicática) com caulim e quartzo, substituindo feldspato potássico. O trabalho de Kim & Park (2020) é o único que testa o resíduo de mármore (baixa sílica, alto carbonato de cálcio e alta perda ao fogo), mas usa junto a vários outros tipos de resíduo (rejeito da mineração de ouro, lama vermelha e rejeito de ferro níquel). Esses trabalhos apontam resultados positivos, mas é importante observar que os teores de sílica exigidos geralmente são mais altos e os de ferro mais baixos, ou seja, recomenda-se o uso de resíduos oriundos de teares de fios diamantados (ou multifios).

Na figura 8, a composição química dos resíduos coletados nos depósitos estudados é comparada com a dos resíduos testados para uso

em cerâmica vermelha (Uso 1), concreto, cimento e argamassa (Uso 2), tijolo (Uso 3) e vidro e porcelana (Uso 4).

Na leitura dos gráficos, considera-se que,

quanto maior a amplitude das caixas (“box-plot”), maior a variabilidade dos teores de determinado constituinte aceitáveis para os usos indicados.

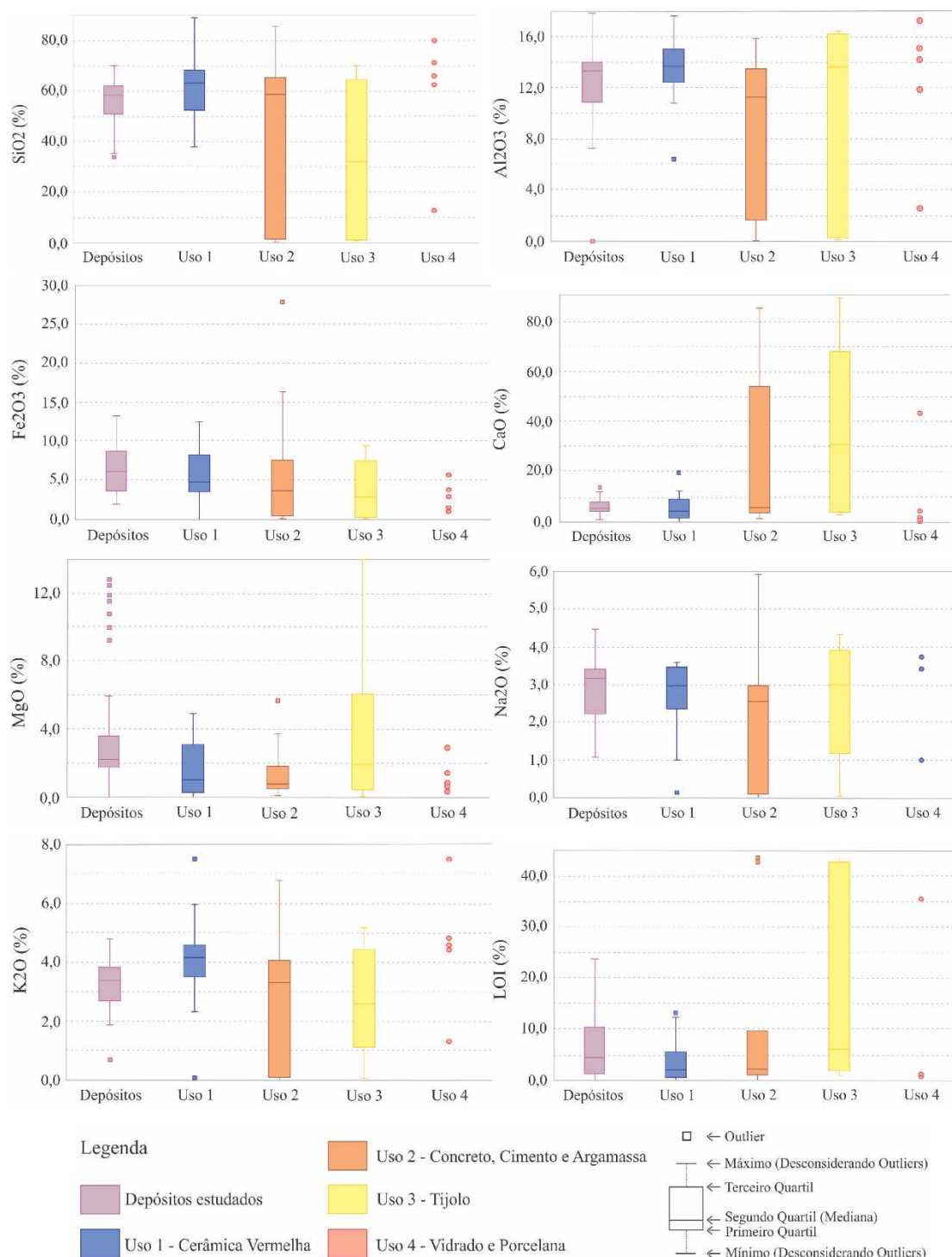


Figura 8 - Comparação da composição química principal dos resíduos investigados em comparação com a composição de aplicações já testados.

De maneira geral, os resíduos estudados nesse trabalho, identificados como “Depósitos” na figura 8, possuem características químicas semelhantes às dos materiais estudados pelos diversos autores que concluem a adequabilidade de seu uso nos casos cujos dados foram compilados.

O Fe_2O_3 , que seria um fator limitante a diversos usos por induzir ferruginização e pigmentação nos produtos, não aparece nos Depósitos de forma muito diferente dos teores medidos nos materiais testados. Em uma das amostras testadas para o Uso 2 (concreto/cimento/argamassa), há um valor anômalo de

ferro, muito acima do valor máximo medido nas amostras dos Depósitos, sem que isso produzisse um resultado negativo no teste. Porém, o Uso 4 (vidrados) é o mais restritivo para o teor desse elemento, indicando necessidade de triagem para permitir o aproveitamento em vidrados

Os usos 2 e 3 (concreto/cimento/argamassa e tijolos) são os menos restritivos quanto à composição química, ou seja, a variabilidade de teores é maior do que aquela encontrada nos depósitos estudados. Importante relatar, porém, que no Uso 2 (concreto/cimento/argamassa), o teor de MgO é mais restritivo, isto ocorre porque este componente, ao ser hidratado, pode se expandir e gerar porosidade em uma estrutura rígida de concreto (Salomão & Pandolfelli, 2008).

Esta seria uma propriedade que limitaria o uso dos resíduos depositados, indicando a necessidade de triagem para evitar introduzir resíduos ricos em MgO neste tipo de aplicação. Contudo, considerando-se que geralmente esse constituinte provém dos mármore e seu teor é muito baixo em rochas granitoides, a separação é facilitada e pouparia também a desagregação de valor ao resíduo de mármore, que pode ter aplicações mais nobres já que constitui um “calcário” finamente moído.

Os teores de Na₂O chamam atenção no Uso 2,

devido à sua variabilidade, podendo atingir até 5,92%, e nos Depósitos, os valores estão entre 1,07% e 4,47% (Figura 8). O estudo de Mittri et al. (2018) relata que, embora a normativa para o uso em pozolona determine o teor máximo de Na₂O em 1,5%, o teor de álcalis disponível em Na₂O em seu experimento foi de 2,21%, sem comprometer sua ação na atividade pozolânica. No entanto, apontam para a necessidade de se atentar para uma concentração de álcalis excessiva, pois pode ocorrer reação álcali-sílica com a sílica ativa existente nos agregados (Mittri et al., 2018).

Para o Uso 4 (vidrados), as matérias primas geralmente são ricas em sílica. Os teores de sílica livre (quartzo) em rochas são inversamente proporcionais ao cálcio e magnésio, além da perda ao fogo, que é mais baixa em rochas granitoides do que nas carbonáticas. Assim, a separação de resíduos provenientes da serragem de “granitos” e de mármore, aparece novamente como um critério mínimo de segregação de resíduos visando ao seu uso mais nobre. Outrossim, ressalta-se novamente a importância dos resíduos com baixo ferro, ou seja, aqueles provenientes da serragem em teares de fios diamantados ou multifios, os quais não deveriam ser misturados com aqueles provenientes de teares convencionais.

CONCLUSÕES

O crescimento da produção de resíduos da LBRO nos anos de 2003, 2011 e 2019 foi considerável, visto que de 2003 para 2011, o número de depósitos mapeados (escala de levantamento 1:5.000) triplicou e, de 2011 para 2019, quase dobrou.

O volume de resíduos acumulado em depósitos até 2019, foi estimado em 3×10^6 m³ e a projeção até o ano de 2035 é de, pelo menos, 6 milhões de m³.

Os resíduos da LBRO apresentam composição química principal de SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, MgO, K₂O e Na₂O cuja variabilidade de teores é semelhante a matérias primas estudadas

em 60 trabalhos que testaram positivamente o uso desse material para fabricação de cerâmica vermelha, concreto, cimento e argamassa, tijolos e vidrados. O tratamento prévio do resíduo será necessário para garantir o controle de qualidade da matéria-prima, com consequente agregação de valor.

Frente à grande quantidade existente de resíduo da LBRO, o baixo custo e a perspectiva de crescimento para os próximos anos, além da compatibilidade química com o uso em diferentes setores industriais, torna-se inquestionável a relevância dessa iniciativa, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação no Espírito Santo (FAPES – processo 84322853) pelo financiamento do projeto de pesquisa ao qual esse trabalho está vinculado. Agradecem também aos gestores dos depósitos de resíduos que permitiram a coleta de amostras, a ADAMAG, a J.A. Transportes e ao Sr. Paulo.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balanco das Exportações e**

Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2019. Brasília: Informe ABIROCHAS, 20 p., 2020a.

- ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Síntese das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no 1º Trimestre de 2020**. Brasília: Informe ABIROCHAS, 11 p., 2020b.
- ACCHAR, W.; VIEIRA, F. A.; HOTZA, D. Effect of marble and granite sludge in clay materials. **Materials Science and Engineering**, v. 419, p. 306-309, 2006.
- ALLAM, M.E.; BACKHOUM, E.S.; GARAS, G. L. Re-use of granite sludge in producing green concrete. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 9, n. 12, p. 2731- 2737, 2014.
- ALMEIDA, N.; BRANCO, F.; SANTOS, J.R. Recycling of stone slurry in industrial activities: Application to concrete mixtures. **Building and Environment**, v. 42, p. 810-819, 2007.
- AL-ZBOON, K. & AL-ZOU'BY, J. Recycling of stone cutting slurry in concrete mixes. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 17, p. 324-335, 2015.
- AZEVEDO, A.R.G.; MARVILA, M.T.; BARROSO, L.S.; ZANELATO, E.B.; ALEXANDRE, J.; XAVIER, G.C.; MONTEIRO, S.N. Effect of granite residue incorporation on the behavior of mortars. **Materials**, v. 12, n. 9, p. 1449-1163, 2019.
- BACARJI, E.; FILHO, R. D. T.; KOENDERS, E. A. B.; FIGUEIREDO, E. P. LOPES, J. L. M. P. Sustainability perspective of marble and granite residues as concrete fillers. **Construction and Building Materials**, v. 45, p. 1-10, 2013.
- BARROS, M.M.; OLIVEIRA, M.F. L.; RIBEIRO, R.C.C.; BASTOS, D.C.; OLIVEIRA, M.G. Ecological bricks from dimension stone waste and polyester resin. **Construction and Building Materials**, v. 232, p. 117-252, 2020.
- BRAGA, F.S.; BUZZI, D.C.; COUTO, M.C.L.; LANGE, L.C. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.15, n.3, p. 237-244, 2010.
- BUYUKSAGIS, I.S.; UYGUNOGLU, T.; TATAR, E. Investigation on the usage of waste marble powder in cement-bases adhesive mortar. **Construction and Building Materials**, v. 154, p.734-742, 2017.
- BUZZI, D.C. **Estudo de Classificação e Quantificação das Lamas Geradas no Processo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. Vitória, 2008. 365 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo.
- ELICHE-QUESADA, D.; CORPAS-IGLESIAS, F. A.; PÉREZ-VILLAREJO, L. IGLESIAS-GODINHO, F. J. Recycling of sawdust, spent Earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing. **Construction and Building Materials**, v. 34, p. 275-284, 2012.
- EL-MAGHRABY, HF.; EL-OMLA, M. M.; BONDIOLI, F.; NAGA, SM. Granite as flux in stoneware tile manufacturing. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 31, p. 2057-2063, 2011.
- ELMOATY, A. E. M. Mechanical properties and corrosion resistance of concrete modified with granite dust. **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 743-752, 2013.
- ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Software**. Sistema de Informação Geográfica para área de trabalho de computador. Versão 10.4.1. 2016.
- FRANÇA, B.R.; AZEVEDO, A.R.G.; MONTEIRO, S.N.; FILHO, F.C.G.; MARVILA, M.T.; ALEXANDRE, J.; ZANELATO, E.B. Durability of Soil-Cement Blocks with the Incorporation of Limestone Residues from the Processing of Marble. **Materials Research**, v. 21, n. 1, 2018.
- GHORBANI, S.; TAJU, I.; TAVAKKOLIZADEH, M.; DAVODI, A.; BRITO, J. Improving corrosion resistance of steel rebars in concrete with marble and granite waste dust as partial cement replacement. **Construction and Building Materials**, v. 185, p. 110-119, 2018.
- GONÇALVES, J.P.; MOURA, W.A.; MOLIN, D. C. C. D. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte e granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 1, p. 53-68, 2002.
- GONZÁLES, A. M. V. 2005. **Modelización Geoquímica de los Serrines de Granito**. Coruña, 2005. 295 p. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Química, Departamento de Química Analítica, Universidade da Coruña, Espanha.
- HAMZA, R.A.; EL-HAGGAR, S. KHEDR, S. Marble and Granite Waste: Characterization and Utilization in Concrete Bricks. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**, v. 1, n.4, p. 286-291, 2011.
- HOJAMBERDIEV, M.; EMINOV, A.; XU, Y. Utilization of muscovite granite waste in the manufacture of ceramic tiles. **Ceramics International**, v. 37, p. 871-876, 2011.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases e Referenciais Cartográficos**. 2016. Disp. em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>. Acesso em: 15 out 2019.
- IEMA – INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Instrução Normativa 011/2016: critérios e procedimentos técnicos para licenciamento da atividade de disposição de Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. IEMA, Vitória (ES), 2016.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **SPRING Software** - sistema de processamento de informações georreferenciadas, versão 5.4.3. 2017. Disp. em: <<https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>>. Acesso em: 17 ago 2019.
- KHODABAKHSHIAN, A.; BRITO, J.; GHALEHNOVI, M. SHAMSABADI, E. A.; Mechanical, environmental and economic performace of structural concrete containing sílica fume and marble industry waste powder. **Construction and Building Materials**, v. 169, p. 237-251, 2018.
- KIM, Y. & PARK, H. A value-added synthetic process utilizing mining wastes and industrial byproducts for wear-resistant glass ceramics. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 8, p. 2196-2204, 2020.
- LIMA, R.C.O.; NEVES, G.A.; CARVALHO, J. B.Q. Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 5, n. 2, 2010.
- LU, J.; LI, Y.; ZOU, C.; LIU, Z.; WANG, C. Effect of sintering additives on the densification, crystallization and flexural strenght of sintered glass-ceramics from waste granite powder. **Materials Chemistry and Physics**, v. 216, p. 1-7, 2018.
- MANCA, P.P.; ORRÚ, G.; DESOGUS, P. Recycling of sludge from ornamental stone processing as resource in civil constructions. **International Journal of Mining, Reclamation and Environment**, v. 29, p. 141-151, 2014.
- MÁRMOL, I. BALLESTER, P. CERRO, S. MONRÓS, G. MORALES, J. SÁNCHEZ, L. Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. **Cement & Concrete Composites**, v. 32, p. 617-622, 2010.
- MASHALY, A. EL-KALIOUBY, B.; SHALABY, B. N.; EL-GOHARY, A. M.; RASHWAN, M. A. Effects of marble sludge incorporation on the properties of cement composites and concrete paving blocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 731-741, 2016.
- MATHIELO, J.G.; JÚNIOR, A.C.; BONAMICO, E.A.; JÚNIOR, U.L.G. **Produção Limpa e Riscos Ambientais**. ABIROCHAS, 2019. Disp. em: <<http://cms.academia.darocha.com.br/wp-content/uploads/2019/08/5d653e1aa76ae.pdf>>. Acessado em 16 de abril de 2020.
- MEDINA, G.; BOSQUE, I.F.S.; FRÍAS, M.; ROJAS, M.I.S.; MEDINA, C. Granite quarry waste as a future eco-efficient supplementary cementitious material (SCM): scientific and technical considerations. **Journal of Cleaner Production**, v. 148, p. 467-476, 2017.
- MENEZES, R.R.; FERREIRA, H.S.; NEVES, G.A.; LIRA, H.L.L.; FERREIRA, H.C. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. **Journal of the**

- European Ceramic Society**, v. 25, p. 1149-1158, 2005.
- MITTRI, S.H.M.; DEGEN, M.K.; VIEIRA, G.L.; VAZZOLER, J.S.; RODRIGUES, L.H.C.H. Análise da caracterização pozolânica do resíduo de rochas ornamentais tratado termicamente e seu efeito nas propriedades mecânicas de concretos. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 6, p. 1186-1207, 2018.
- MOREIRA, J.M.S.; FREIRE, M.N.; HOLANDA, J.N.F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 49, p. 262-267, 2003.
- MOREIRA, J.M.S.; MANHÃES, J.P.V.T.; HOLANDA, J.N.F. Processing of red ceramic using ornamental rock powder waste. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 196, p. 88-93, 2008.
- NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. ALASKA SATELLITE FACILITY. **ALOS Global Digital Surface Model**. 2011. Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu>>. Acesso em: 26 jun 2020.
- OLIVEIRA, I.C.A. **As Lamas Resultantes da Indústria Transformadora das Rochas Ornamentais: recuperação paisagística de um aterro superficial de lamas em Pêro Pinheiro (Sintra)**. Lisboa, 60 p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Arquitetura Paisagista, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- PRADO, A.C.A.; BORGES, S.P.T.; NEVES, M.A. SOARES, R.H.; FONSECA, A.B. Use of fine wastes from dimension stone industry in the manufacture of ceramic tile. **Materials Science Forum**, v. 727-728, p. 703-709, 2012.
- RANA, A.; KALLA, P.; CSETENYI, L.J. Sustainable use of marble slurry in concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 94, p. 304-311, 2015.
- REIS, A.S.; DELLA-SANGRILLO, V.P.; VALENZUELA-DIAS, F.R. Analysis of dimension stone waste addition to the clayey mass used in roof tile production. **Materials Research**, v. 18, n. 2, p. 63-69, 2015.
- RODRIGUES, D.V.; XAVIER, G.C.; SABOYA, F.; MAIA, P.C.A.; ALEXANDRE, J. Durabilidade de peças cerâmicas vermelhas com adição de rejeito de rocha ornamental isenta de granalha. **Cerâmica**, v. 58, p. 286-293, 2012.
- SADEK, D.M.; EL-ATTAR, M.M.; ALI, H.A. Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 121, p. 19-32, 2016.
- SALOMÃO, R. & PANDOLFELLI, V.C. Hidratação e desidratação de óxido de magnésio em concretos refratários. **Cerâmica**, v. 54, n. 330, p. 145-151, 2008.
- SARDINHA, M.; BRITO, J. RODRIGUES, R. Durability properties of structural concrete containing very fine aggregates of marble sludge. **Construction and Building Materials**, v. 119, p. 45-52, 2016.
- SEGADÃES, A.M.; CARVALHO, M.A.; ACCHAR, W. Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. **Applied Clay Science**, v. 30, p. 42-52, 2005.
- SILVA, J.B.; HOTZA, D. SAGADÃES, A.M. ACCHAR, W. Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. **Cerâmica**, v. 51, p. 325-330, 2005.
- SILVA, K. R.; CAMPOS, L. F. A.; SANTANADA, L.N. Use of experimental design to evaluate the effect of the incorporation of quartzite residues in ceramic mass for porcelain tile production. **Materials Research**, v. 22, n. 1, 2019.
- SINGH, S.; NAGAR, R.; AGRAWAL, V. Performance of granite cutting waste concrete under adverse exposure conditions. **Journal of Cleaner Production**, v. 127, p. 172-182, 2016.
- SOLTAN, A.M.M.; KAHL, W.A.; EL-RAOOLF, F.A.; EL-KALIOUBY, B.A.H.; SERRY, M.A.K.; ABDEL-KADER, N.A. Lightweight aggregates from mixtures of granite wastes with clay. **Journal of Cleaner Production**, v. 117, p. 139-149, 2016.
- SOUZA, A.J.; PINHEIRO, B.C.A.; HOLANDA, J. N. F. Processing of floor tiles bearing ornamental rock-cutting waste. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 210, p. 1898-1904, 2010a.
- SOUZA, A.J.; PINHEIRO, B.C.A.; HOLANDA, J.N.F. Recycling of gneiss rock waste in the manufacture of vitrified floor tiles. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 685-689, 2010b.
- SULTANA, S.M.; AHMED, A. N.; ZAMAN, M.N.; RAHMAN, A.M.; BISWAS, P.K.; NANDY, P.K. Utilization of hard rock dust with red clay to produce roof tiles. **Journal of Asian Ceramic Society**, v. 3, n. 1, p. 22-26, 2018.
- TAGUCHI, S.P.; SANTOS, J.C.; GOMES, T.M. CUNHA, N.A. Avaliação das propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental proveniente do tear de fio diamantado. **Cerâmica**, v. 60, p. 291-296, 2014.
- TORRES, P.; FERNANDES, H.R.; AGATHOPOULOS, S. TULYAGANOV, D.U.; FERREIRA, J.M.F. Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations. **Journal of the European Ceramic Society**, v.24, p. 3177-3185, 2004.
- TORRES, P.; FERNANDES, H.R.; OLHERO, S. FERREIRA, J.M.F. Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 29, p. 23-30, 2009.
- ULIANA, J.G.; CALMON, J.L.; VIEIRA, G.L.; TEIXEIRA, J.E.S.L.; NUNES, E. Tratamento térmico da lama do beneficiamento de rochas ornamentais: aplicação como pozolana em matrizes cimentícias. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 8, n. 2, p. 100-123, 2015.
- USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **EarthExplorer**. 2014. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 19 out 2019.
- VIEIRA, C.M.F.; SOARES, T.M.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S.N. Incorporation of granite waste in red ceramics. **Materials Science and Engineering**, v. 373, p. 115-121, 2004.
- YEN, C.L.; TSENG, D.H.; LIN, T.T. Characterization of eco-cement paste produced from waste sludges. **Chemosphere**, v. 84, p. 220-226, 2011.

Submetido em 11 de janeiro de 2021

Aceito para publicação em 30 de maio de 2021