

Aproveitamento dos resíduos de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais

Leonardo Cattabriga Freire

Bolsista do Programa Capacitação Institucional, Engenheiro de Petróleo e Gás, UNES

Nuria Fernandez Castro

Orientadora, Engenheira de Minas, M. Sc.

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Co-Orientador, Engenheiro de Minas, D. Sc.

Resumo

O beneficiamento de rochas ornamentais é gerador de grandes quantidades de resíduos, depositados diariamente em aterros, como os finos (lama abrasiva) que podem ser transformados em subprodutos ou até mesmo utilizados na composição direta em argamassas e blocos e os resíduos grossos (mistura de casqueiros e aparas) passíveis de uso na composição de blocos (estruturais, de vedação e pavimentação). Este trabalho aborda o estudo dos resíduos para sua possível utilização e o desenvolvimento de uma planta piloto de processamento da lama abrasiva com intuito de se obter subprodutos. Descrevem-se aqui, as atividades desenvolvidas e em andamento como, quantificação e qualificação dos resíduos, estudos de utilização e desenvolvimento de rota de processamento.

1. Introdução

A mineração é um dos setores industriais que maior quantidade de resíduos gera. Na Europa, em 2008, 27,8% de todos os resíduos gerados foi proveniente da indústria mineral, o que representou mais de 700 milhões de toneladas de resíduos nesse ano (EUROSTAT, 2012). A maior parte desses resíduos (quase 600 Mt em 2008 que correspondem a quase 1,5 toneladas *per capita*) é constituída de solo e rochas, sendo considerados pela legislação europeia como não perigosos e, em alguns casos, como inertes, mas certamente, representam um problema para o qual diversas soluções já estão sendo aplicadas e outras estudadas (CASTRO, 2012).

As atividades extrativas e de transformação das rochas ornamentais contribuem para a geração de grandes volumes de resíduos como: rocha, resíduos finos do beneficiamento (lama abrasiva), restos de aço, plásticos, resinas, abrasivos, papelão, óleos, graxas e outros. O presente trabalho é focado no aproveitamento dos resíduos de rochas ornamentais (grossos ou finos) que representam o maior problema.

A grande quantidade de resíduo fino de rochas ornamentais (lama abrasiva) apresenta potencial poluidor, pois se depositado em locais inadequados ou com percentual de umidade superior a 30% há risco de contaminação do lençol freático ou, se alcançar algum córrego ou rio, pode ocasionar turbidez e assoreamento afetando a biodiversidade local. Tendo em vista ainda que a lama abrasiva possui pH elevado e é composta de substâncias químicas, tais como óxidos de ferro e de alumínio, este resíduo é caracterizado como Resíduo Classe II A - Não Inerte, pela NBR 10004 (ABNT, 2004), devendo ser depositado em aterros acordo à Instrução

Normativa - IN 19/2005 do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo - IEMA. (GODOI, 2009).

No caso do Estado do Espírito Santo, que concentra em torno de 90% do beneficiamento de rochas ornamentais do país, estima-se que sejam produzidas 1,5 Mt por ano e para sua adequada disposição o estado conta com 16 associações de empresários e mais de 30 aterros licenciados.

Entretanto, mais atraente que uma simples estocagem e descarte desse resíduo, torna-se mais interessante a possibilidade de se conseguir meios para diminuir a geração desses resíduos e, quando possível, a utilização de métodos para o seu aproveitamento, obtendo assim benefícios técnicos e econômicos de ganho social e ambiental podendo até conferir vantagens competitivas as empresas do setor de rochas ornamentais. Assim, a atividade produtiva enfrenta um grande desafio seja para seu descarte, estocagem ou aproveitamento.

Esses fatores levaram o Centro de Tecnologia Mineral mediante seus pesquisadores a desenvolver diversos trabalhos que buscam a utilização de resíduos e rejeitos de rochas ornamentais como: aproveitamento de resíduos de pedreiras e finos de serrarias (ALMEIDA *et al*, 2002), desenvolvimento de vidros (BABISK, 2009), tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais (CAMPOS *et al*, 2007), utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais (MACHADO *et al*, 2008), utilização do rejeito oriundo do corte de mármore como carga e recobrimento de papel (MORANI *et al*, 2008), aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na produção de cosméticos (OLIVEIRA *et al*, 2009), aproveitamento econômico de rejeitos de lavra de granitos nas pedreiras (SILVA *et al*, 2003), aplicação de rejeitos oriundos do corte de mármore como carga na indústria polimérica (SOUZA *et al*, 2008), aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais e de revestimento (VIDAL, 2003), entre outros.

Tais pesquisas indicam que o aproveitamento dos resíduos de rochas ornamentais é uma alternativa viável ao seu descarte, porém falta uma implementação concreta dos trabalhos e, até o momento, não houve iniciativa, por parte das empresas, em dar andamento aos estudos para se chegar a uma aplicação a nível industrial. No entanto, o volume de resíduos que está sendo depositado diariamente nos aterros é tão grande que os órgãos ambientais estão dificultando cada vez mais o licenciamento de novos aterros e pressionando os empresários para sua utilização.

Ante esse grande problema, as empresas uniram-se na busca de soluções para os resíduos e, nos dois pólos produtores do Estado, Nova Venécia e Cachoeiro de Itapemirim, foram criadas associações com esse fim. No pólo de Cachoeiro de Itapemirim foi criada a Associação Ambiental Monte Líbano – AAMOL, formada por um conjunto de 75 empresas do setor que depositam mensalmente 15.000 toneladas desses resíduos no aterro. A AAMOL é responsável por receber, tratar e dispor os resíduos do setor, assim como implantar ações concretas no que se refere a desenvolvimento sustentável.

Este trabalho descreve as ações realizadas buscando novas alternativas de utilização dos resíduos finos depositados no aterro da AAMOL.

2. Objetivo

Desenvolver aplicações industriais para a utilização dos resíduos da produção de rochas ornamentais (lavra e beneficiamento).

3. Metodologia

Para a elaboração deste trabalho foi realizado, em primeiro lugar, um amplo estudo bibliográfico de trabalhos realizados visando à aplicação industrial desses resíduos. Foi realizada articulação com empresas e instituições do setor com intuito de se desenvolver tecnologia, para aproveitamento de resíduo, a nível industrial e por meio de medições *in loco* em empresas do setor e no aterro e com dados e informações da AAMOL e do IEMA foi realizada a quantificação dos resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais. Para qualificar esses resíduos foi feita a amostragem e coleta de oito amostras de resíduos (lama abrasiva) nos caminhões provenientes de empresas que realizam a deposição do resíduo nas instalações da AAMOL. Foi realizada também uma amostragem de resíduos (lama abrasiva e casqueiros) no próprio aterro da AAMOL de acordo com a NBR 10007 (ABNT, 2004).

As amostras foram preparadas e alíquotas retiradas para sua caracterização mediante análise granulométrica, química e mineralógica (Difratometria de raio X, Fluorescência de raio X, Lupa binocular e Microscopia Ótica). Com base nessa caracterização e o interesse da associação em encontrar aplicações imediatas, foram selecionadas duas linhas de trabalho diferentes: o desenvolvimento de produtos para construção civil utilizando os resíduos e o estudo de uma rota de processamento dos resíduos buscando a individualização de seus constituintes, com o objetivo de se obter vários produtos. Dos resultados obtidos, busca-se desenvolver um processo piloto em parceria com a indústria.

4. Resultados e Discussões

4.1. Articulação

Foi buscada a parceria com diversas instituições e empresas tendo-se conseguido, até agora, a assinatura de um acordo de cooperação tecnológica com a AAMOL, a parceria de várias empresas produtoras e foram encaminhados para assinatura dois Termos de Cooperação, o primeiro com o Departamento de Engenharia Civil da Faculdade do Centro Leste – UCL, por intermédio da Enga. Maria Antonina M. Coelho e o segundo com as Indústrias Nucleares do Brasil - INB, Unidade de Buena, por intermédio do Eng. de Produção Geverson Diniz Barbosa.

4.2. Quantificação dos resíduos gerados

A maior parte dos resíduos do setor de rochas ornamentais é constituída por resíduos grossos gerados nas próprias pedreiras (blocos não aproveitados por estar fora de padrão, fragmentos de rocha, rocha alterada do capeamento, entre outros). Com base nos levantamentos de campo realizados em visitas a empresas, chegou-

se a uma taxa de aproveitamento média, nas pedreiras de rocha ornamental, de 30%. Considerando que a produção do Brasil, em 2012, alcançou 9 Mt (ABIROCHAS, 2012), pode se estimar que foram geradas quase 22 Mt desse tipo de resíduo nesse ano no país.

Já no beneficiamento são gerados dois tipos principais de resíduos: resíduo muito fino misturado com os insumos da serragem e resíduo grosso, na forma de casqueiro e aparas (restos do aparelhamento dos blocos e corte das chapas). Essas percentagens foram calculadas mediante medições nas empresas. Os blocos, que possuem em média 9 m³ de volume, são serrados em chapas de 2 ou 3 cm de espessura em equipamentos denominados teares, nos quais lâminas e granalha de aço ou fios diamantados penetram no bloco, gerando sulcos de corte ao longo do bloco até ocorrer a separação em chapas. As laterais do bloco, de uns 15-20 cm de espessura, não são aproveitadas, transformando-se em resíduos grossos. O volume de resíduos grossos foi medido após a serragem de blocos em chapas, em diversas empresas e com diversos tipos de equipamento, resultando em um valor médio de 14% do volume inicial do bloco serrado. O volume de finos gerados corresponde ao volume dos sulcos de corte, sendo esse processado por desagregação da rocha e, nos dois tipos de tear utilizados pela indústria, esse volume, medido nas empresas, correspondeu a 26% do volume inicial do bloco (SOUZA *et al.*, 2012).

Extrapolando esses resultados e considerando a produção nacional de rochas transformadas é possível estimar que sejam gerados em torno de 1,5 Mt do resíduo fino (pó de rocha) e 0,8 Mt de resíduo grosso (casqueiros), só no beneficiamento, anualmente no país.

4.3. Caracterização dos resíduos grossos

Com o intuito de aproveitar esses resíduos para a substituição da areia natural na composição de concreto para blocos de construção, eles foram britados e obtida sua distribuição granulométrica, que é ilustrada na Tabela 1. Pode-se observar uma boa distribuição para sua utilização como areia, com pouca geração de finos,

Tabela 1 – Distribuição granulométrica do resíduo (Casqueiro)

Fração (µm)	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Retida %	Passante %	Retida %	Passante %
-2000+1700	1,34	98,66	1,44	98,56
-1700+850	27,68	70,98	28,29	70,27
-850+425	22,66	48,32	22,89	47,39
-425+74	38,68	9,64	37,96	9,43
-74	9,64	0,00	9,43	0,00
Total	100,00	--	100,00	--

Fonte: Elaboração do Autor

4.4. Caracterização dos resíduos finos

Trata-se de um resíduo muito fino, com d_{50} médio inferior a $37\mu\text{m}$, característica típica deste resíduo que pode conter grande percentual de argila.

Quanto à composição química, esta varia, pois os resíduos são provenientes de materiais (rochas) diferentes. Os valores médios da composição das amostras analisadas e dos encontrados na literatura são apresentados na Tabela 2. As composições químicas das amostras confirmam os resultados obtidos nas análises por difração de raios X, indicando uma elevada concentração de SiO_2 seguida de Al_2O_3 e Fe_2O_3 , e em menor concentração MnO e P_2O_5

Tabela 2 – Composição Média Química dos materiais coletados na AAMOL (% em massa).

(%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	TiO_2	K_2O	Na_2O	P_2O_5	PF
Média dos Resíduos Coletados	61,79	14,33	9,36	4,56	1,14	0,12	1,04	3,66	2,24	0,35	1,05
Desvio Padrão	4,4	0,93	2,53	1,34	0,87	0,03	0,71	0,94	0,18	0,23	0,29
Média da Literatura	63,48	13,19	6,90	4,59	1,44	0,12	0,52	3,81	2,61	0,22	3,08

Fonte: Elaboração do Autor

4.5. Aplicações em estudo

4.5.1. Argamassa

Foi promovida a articulação da AAMOL com a empresa ARGAMIL, fabricante de argamassa com resíduos de rochas ornamentais de Santo Antonio de Pádua (RJ), com tecnologia desenvolvida pelo CETEM e o Instituto Nacional de Tecnologia - INT. Como consequência, a AAMOL está projetando a construção de uma fábrica de argamassa em suas instalações. O projeto está em fase de análise de viabilidade por uma equipe contratada pela associação.

4.5.2. Blocos Estruturais, Vedação e Pavimento

Estão sendo estudadas diversas misturas para a fabricação de vários tipos de blocos de construção nas instalações da AAMOL. A associação já conta com o equipamento e serão produzidos blocos com a incorporação de lama e agregados de resíduos de rochas, em diversos traços. Os produtos serão caracterizados mecanicamente no laboratório da UCL e no CETEM.

4.6. Processamento dos resíduos

Além da busca de aplicações diretas, está sendo estudada a possibilidade de separar desses resíduos componentes ambientalmente indesejáveis como argila ou granalha, buscando obter um resíduo inerte e talvez outros produtos para a indústria. Esta linha segue uma idéia original do Eng. Geverson Diniz Barbosa da INB.

Está sendo realizado um estudo de bancada de um processo que inclui sedimentação, separação em meio denso e separação magnética.

5. Conclusão

As características desses resíduos apontam que sua utilização para a indústria da construção civil é possível. Os estudos na busca de uma melhora nos traços, incorporando maior quantidade de resíduo (lama abrasiva e casqueiros), para sua utilização em blocos estão em andamento. Em paralelo está sendo feita uma tentativa de separação da lama abrasiva em diversos subprodutos que, se viabilizado industrialmente, poderia gerar novos produtos para o mercado e conseqüentemente diminuir os impactos ambientais causados pelo beneficiamento de rochas ornamentais.

6. Seção Agradecimentos

Agradeço ao CETEM pela Bolsa do Programa de Capacitação Institucional. Também agradeço aos meus familiares e amigos por sempre acreditarem no meu futuro, a todos os companheiros do CETEM/ES e da COPM em especial Núria Fernandez Castro, aos companheiros, Francisco Hollanda Vidal, Julio Guedes, Roberto Carlos Ribeiro da Conceição, Antonio Odilon, Michelle Santos, Reginaldo Severino Vieira, Patrick dos Santos Alves, Claudio Márcio, Roberto Espindola, Jorge Andrade e ao Famoso colega apelidado de Melancia.

7. Referências Bibliográficas

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Situação Brasileira do Setor de Rochas Ornamentais. São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ALMEIDA, S. L. M. ; PONTES, I. F. Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras e Finos de Serrarias de Rochas Ornamentais Brasileiras, p. 89-100 dos **Anais III Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais / Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste**, novembro/dezembro 2001, Salvador – Editado pelo CETEM/CBPM, Rio de Janeiro, 2002.

BABISK, M. P., **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais**, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro – RJ, 2009.

CAMPOS, A. R.; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais. **XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - ENTMME**. Ouro Preto – MG. Novembro 2007.

CAMPOS, A. R.; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. **VII Seminário Nacional de Rochas Ornamentais do Nordeste – VII SRON**. Fortaleza. Novembro 2009.

CASTRO, N.F.; Dados e informações sobre os resíduos gerados no processo de beneficiamento de rochas ornamentais, levantados no Núcleo Regional do Espírito Santo do CETEM. Comunicação Pessoal. 2012

EUROSTAT – Statistics Explained. European Commission. Disponível em: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics_-_long-term_trends. Acesso em: 10/10/2012.

GODOI, F.K.R. O desafio do Licenciamento para Micro e Pequenas Empresas. VI Seminário Nacional de APL de Base Mineral. Vitória. Fevereiro 2009.

MACHADO, R. V., RIBEIRO, R. C. C. E ANDRADE, F. V., Utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais, **XVI Jornada de Iniciação Científica do Cetem**, Rio de Janeiro – RJ, 2008.

MORANI, B. M., RIBEIRO, R. C. C. AND CARANASSIOS, A., Utilização do rejeito oriundo do corte de mármore como carga e recobrimento de papel, **XVI Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral**, Rio de Janeiro – RJ, 2008.

OLIVEIRA, C. N., QUEIROZ, J. P. E RIBEIRO, R. C.C., Aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na produção de cosméticos, **XVII Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral**, Rio de Janeiro – RJ, 2009.

SILVA, D. C.; VIDAL, F. W. H. Aproveitamento Econômico de Rejeitos de Lavra de Granitos nas Pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena, p. 341-360 do Livro Rochas Industriais: pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais, Edição Livro Técnico, Fortaleza, 2003.

SOUZA, L. R., RIBEIRO, R. C. C. AND CARRISSO, R. C. C., Aplicação de rejeitos oriundos do corte de mármore como carga na indústria polimérica, **XVI Jornada de Iniciação Científica do Cetem**, Rio de Janeiro – RJ, 2008.

SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N.F; Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de rochas ornamentais. In: **JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20**, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CETEM, 2012.

VIDAL, F.W.H. Aproveitamento de Rejeitos de Rochas Ornamentais e de Revestimento, p. 221-229. **Anais IV Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais**, novembro 2003. Fortaleza.