Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2013
Outubro / 2013

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Revisão bibliográfica dos estudos sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção

Literature review of studies on the application of the processing sludge of ornamental rocks in the production of building materials

Bastos, R. S. (1); Uliana, J. G. (2); Calmon, J. L. (3); Tristão, F. A. (4); Vieira, G. L. (5); Degen M. K. (6).

(1) Mestranda em engenharia civil, PPGEC/UFES.
(2) Mestranda em engenharia civil, PPGEC/UFES.
(3) Professor Doutor, PPGEC/UFES.
(4) Professor Doutor, PPGEC/UFES.
(5) Professora Doutora, PPGEC/UFES.
(6) Aluno de iniciação científica, UFES.
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Av. Fernando Ferrari, nº 514, Goiabeiras, Vitória, ES. CEP 29075-910.

Resumo

Os processos industriais, de maneira geral, geram vários tipos de resíduos. A coleta, manuseio e destinação adequada destes materiais são geralmente custosos, porém visam sempre à minimização da degradação ambiental que pode ser provocada. A reinserção do resíduo em cadeias produtivas é de difícil implementação, sendo, porém de grande importância e objeto de estudo de diversas pesquisas.
Considerando que a construção civil é uma indústria que consome volume significativo de recursos naturais e que há nela um potencial expressivo de aproveitamento de resíduos para a produção de materiais de construção, a utilização destes subprodutos industriais apresenta-se como uma contribuição para a otimização de insumos e consequentemente para o desenvolvimento sustentável.
O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de rochas ornamentais, sendo o Espírito Santo o estado brasileiro com maior representatividade no setor. Para produzir as chapas, blocos de rocha são serrados em teares, transformando aproximadamente 25% do bloco em resíduo. Misturado à água e componentes como a granalha de aço e cal, dependendo do sistema de corte, o resíduo transforma-se em uma lama que passa por filtros e precisa ser descartada, sendo direcionada a aterros especializados. Devido ao montante de resíduo gerado e aos custos e dificuldades para destinação, este resíduo tem sido alvo de estudos para sua utilização na construção civil há vários anos.
Este artigo trata-se de uma revisão bibliográfica sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção. Esta revisão foi realizada a partir do histórico de publicações no Brasil e tem o intuito de levantar as principais informações, características e propriedades dos produtos produzidos com o objetivo de organizar e catalogar facilitando novas pesquisas.
Como resultado deste estudo foi possível identificar as variadas aplicações do resíduo em matrizes cerâmicas, betuminosas e cimentícias para produtos como blocos, telhas, placas de revestimento, tijolos solo-cimento, argamassas e concretos. Pelas características que o resíduo possui, em geral, sua aplicação está baseada no efeito fíler, sendo incluído em sua condição de material fino, buscando melhoria do comportamento mecânico, elevação da durabilidade e redução no uso de agregados ou aglomerantes.
Pode-se concluir, portanto, que existem diversas opções fundamentadas para aproveitamento do resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção demandando assim, uma adesão significativa por parte das empresas fabricantes no que tange a produção de produtos com este material residual.
Palavra-Chave: resíduo; rochas ornamentais; mármore; granito; estado da arte.

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Abstract

The industrial processes, in general, generates several types of wastes. The gathering, handling and proper disposal of these materials are generally expensive, but always aimed at minimizing the environmental degradation that may be caused. The reintegration of the waste in supply chains is difficult to implement, however, has a huge importance and because of that is study subject by many researches.

Considering that civil construction is an industry that consumes significant amount of natural resources and it has an expressive potential to recovery wastes for production of building materials, the use of industrial by-products is presented as a contribution to the optimization of inputs and consequently for sustainable development.

Brazil is one of the largest producers of ornamental rocks, being the Espirito Santo the brazilian state with the largest representation in the industry. To produce plates, the rock blocks are sawn into looms, turning approximately 25% of the block in residue. Mixed with water and components such as steel grit and lime, depending on the cutting system, the residue becomes a sludge which passes through filters and must be discarded, being directed to specialized landfill. Due to the amount of waste generated and the costs and difficulties for the destination, this residue has been investigated for its use in civil construction for several years.

This article comes up a literature review about the application of the processing sludge of ornamental rocks on the production of building materials. This review was undertaken from historical publications in Brazil and aims to identify the main information, characteristics and properties of products produced with the aim of organizing and cataloging facilitating new research.

As a result of this study was possible to identify various applications of the residue in ceramic matrices, bituminous and cementitious with products such as blocks, tiles, flooring boards, soil-cement bricks, mortar and concrete. Based on the characteristics that the residue has, in general, their application is based on the filler effect, being included in their condition of fine material, seeking improved mechanical behavior, increased durability and reduced use of aggregates or agglomerates.

Concluding, therefore, there are several options grounded for using the processing sludge of ornamental rocks waste in the production of construction materials requiring thus a significant accession by the manufacturers regarding the production of stuffs with this residual material.

Keywords: waste, ornamental rocks, marble, granite; state of the art

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

1 Introdução

Diante dos altos níveis de poluição, a crescente quantidade de produção de resíduos e a elevada utilização de recursos naturais, espera-se que o desenvolvimento de novos materiais e processos construtivos estejam não somente ligados aos aspectos econômicos, mas também aos aspectos ambientais, sociais.

Tal desenvolvimento deve-se basear no desenvolvimento sustentável e em modelos cíclicos de produção e consumo, onde os materiais possam voltar para as fases iniciais de produção após o fim de sua vida útil ou, no caso dos resíduos, serem reaproveitados antes do seu descarte. Assim, todos os recursos empregados são otimizados e a geração de resíduos é reduzida a um mínimo reciclável (JOHN e AGOPYAN, 2000).

Sendo a construção civil um dos maiores e mais importantes setores industriais do mundo, sua participação no consumo de matérias-primas é elevada, além de gerar quantidades significativas de resíduos. Entretanto, devido a grande variedade de produtos gerados, a construção civil também é uma grande absorvedora dos seus próprios resíduos como também de resíduos de outros setores industriais.

Dentre os resíduos gerados na cadeia produtiva estão àqueles provenientes da produção de rochas ornamentais. Destaque-se aqui, a lama do beneficiamento de rochas ornamentais gerada no processo de corte dos blocos em chapas onde, durante esse processo, 25% a 30% do volume do bloco (FREIRE e MOTA, 1995; GONÇALVES, 2000; GONÇALVES e MOURA, 2002; MOTHÉ FILHO *et al*., 2005; CAVALCANTI, 2006, BINICI *et al*., 2007) sofre desgaste, transformando-se em um pó de pedra que, misturado com a água e outros componentes, torna-se uma lama acinzentada, também denominada de lama abrasiva.

O Brasil é um dos países que mais se destaca mundialmente na produção e comercialização de rochas ornamentais. De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), o país é o sétimo maior exportador mundial de rochas em volume físico, atrás apenas da China, Índia, Turquia, Itália, Irã e Espanha. A extração brasileira de rochas totaliza 5,2 milhões de toneladas/ano, sendo os estados do Espirito Santo, Minas Gerais e Bahia responsáveis por 80% dessa produção. Dentre esses estados destaca-se o Espírito Santo como o principal produtor, com 47% do total brasileiro (ABIROCHAS, 2009).

A elevada produção nacional gera, consequentemente, elevadas quantidades de resíduos, estes por sua vez, geram custos e dificuldades para destinação, portanto tem sido alvo de estudos para sua utilização na construção civil há vários anos.

Diante do exposto, este artigo trata-se de uma revisão bibliográfica sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção. Esta revisão foi realizada a partir do histórico de publicações no Brasil e tem o intuito de levantar as principais informações, características e propriedades dos produtos produzidos com o objetivo de organizar e catalogar facilitando novas pesquisas.

2 Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO)

O processo de desdobramento dos blocos de rochas ornamentais acontece por etapas. De acordo com Gonçalves (2000) a primeira delas é a pesquisa e definição dos locais de extração dos blocos, após a definição do local inicia-se a retirada dos blocos. Já nesta

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

etapa é gerado o resíduo de lavra que são pedaços de rochas que não foram aproveitados ou rochas que fissuraram (GONÇALVES, 2000). Os blocos, então, são cortados em formatos retangulares com volume variando entre 5 a 10 m³ e transportados até as beneficiadoras.

O desdobramento do bloco em chapas é feito através de equipamentos denominados teares, que podem ser convencionais ou multi fios. Os teares convencionais fazem o corte do bloco através de lâminas metálicas com o auxílio da polpa abrasiva (lama abrasiva). A polpa abrasiva é uma mistura de água, pó de rocha, granalha de ferro e cal que é aspergida sobre os blocos durante o processo de corte e serve para lubrificar e resfriar as lâminas, evitar a sua oxidação, limpar os canais entre as chapas e servir como um abrasivo para facilitar o corte.

Os teares multi fios, por sua vez, fazem o corte dos blocos através de fios diamantados. Com esse tipo de tear é usado apenas água para resfriar e lubrificar os fios e o resíduo gerado nesse tipo de equipamento é uma mistura dessa água e pó de rocha proveniente do desgaste do bloco durante o seu processo de corte.

Em ambos os casos, a lama é encaminha a lagoas ou tanques de sedimentação onde a água é reaproveitada e o material sólido é enviado para aterros. Em algumas beneficiadoras, a parte sólida antes de ser descartada, ainda passa por equipamento denominado filtro prensa que tem como finalidade diminuir ainda mais o teor de umidade do material para maior reaproveitamento da água.

Após o desdobramento dos blocos ocorre o processo de beneficiamento secundário das rochas que consiste no polimento e lustro das placas, reduzindo a rugosidade da superfície serrada para imprimir brilho. Esse polimento ocorre através de um equipamento denominado politriz e neste processo também é gerado um resíduo, em quantidade menor, constituído de água, pó de pedra, resinas e materiais provenientes do desgaste das sapatas de polimento. Este resíduo também é descartado e lançado nos tanques de sedimentação onde é misturado com a lama proveniente do corte dos blocos, passando pelos mesmos processos citados anteriormente.

Vale ressaltar que tanto a estocagem do resíduo nos pátios das empresas quanto o transporte e disposição final em aterros industriais geram custos consideráveis. Além disso, conforme destaca Reis (2008), as indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais são consideradas pelos ambientalistas como fontes de contaminação e poluição do meio ambiente devido ao grande volume de resíduo gerado e ao descarte do mesmo que, em muitos casos, acontece diretamente nos ecossistemas.

Durante o processo de desdobramento do bloco em chapas por meio de teares cerca de 25% a 30% do volume do bloco resulta em pó (FREIRE e MOTA, 1995; GONÇALVES, 2000; GONÇALVES e MOURA, 2002; MOTHÉ FILHO *et al*., 2005; CAVALCANTI, 2006, BINICI *et al*., 2007). Estima-se que no Brasil são geradas cerca de 1.600.000 ton/ano da lama do beneficiamento (MOURA *et al*., 2006). Calmon (2010) considera que no estado do Espírito Santo, maior produtor nacional, esse valor chegue a 60.000 toneladas por mês.

Quando a lama abrasiva não é enviada para aterros ela é descartada inadequadamente, o que afeta esteticamente a paisagem, além de acarretar custos de armazenamento e poluição ambiental. Além disso, no caso da lama ser jogada diretamente em rios acarreta

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

a poluição das águas e consequentemente impactos ambientais como o comprometimento da sobrevivência animal e vegetal, além do assoreamento do rio.

3 Utilização de LBRO em materiais de construção

3.1 Matrizes betuminosas

Em misturas asfálticas a utilização de materiais de enchimento é de grande importância para melhorar o desempenho reológico, mecânico, térmico e de sensibilidade à água (SANTANA, 1993 apud SOUZA, RODRIGUES e SOUZA NETO, 2005). Sendo a LBRO um material sem atividade química e de baixa finura, seu uso em matrizes betuminosas se torna oportuno.

O resíduo, atuando como um fíler irá preencher os vazios entre os agregados, contribuindo para um maior equilíbrio da mistura e aumentando a estabilidade da mesma, sem o aumento no teor de asfalto (SOUZA, RODRIGUES e SOUZA NETO, 2005). Seus benefícios também se estendem aos aspectos acústicos da massa betuminosa, pois a incorporação da LBRO contribui para redução dos índices de ruídos (CONCEIÇÃO, CARANASSIOS e RIBEIRO, 2010).

Os aspectos mecânicos da pavimentação asfáltica mantém suas características dentro do exigido pelo DNIT, mesmo em misturas com 100% de incorporação de resíduo em relação à massa de agregado graúdo (CONCEIÇÃO, CARANASSIOS e RIBEIRO, 2010).

Além de atuar como um fíler, a LBRO pode ser utilizada como sub base asfáltica (SILVA, 2011).

O papel de fíler da LBRO contribui para sua incorporação em matrizes betuminosas, mas ainda é fundamental o aprofundamento dos estudos nesse tipo de matriz para que o resíduo possa ser adequadamente introduzido nessa cadeia produtiva.

3.2 Matrizes cerâmicas

É justificável a aplicação da LBRO como matéria prima na indústria cerâmica uma vez que suas propriedades e as das matérias-primas utilizadas nessa indústria são próximas. A cerâmica vermelha não apresenta problemas de aceitação desse resíduo uma vez que sua coloração não será prejudicada.

O resíduo incorporado em diferentes teores em relação á massa da argila provoca uma queda da retração e aumento do módulo de ruptura (MELLO e AGOSTINHO, 2005; COCHI, 2006). Há altas temperaturas todas as composições são indicadas para fabricação de produtos extrudados (MELLO e AGOSTINHO, 2005).

Observa-se uma tendência de diminuição da resistência à compressão simples com o aumento da proporção do resíduo empregado, sendo essa queda significativa quando os teores de adição do resíduo estão acima dos 50% (CALMON *et al.,* 1998, LIMA, 2010). Essa diminuição da resistência pode ser atribuída à uma porosidade mais alta quando se utiliza maiores quantidades do rejeito em temperaturas mais baixas (SILVA, *et al.* 2005)

A absorção de água: não altera significativamente com o aumento da quantidade de resíduo sendo 50% de resíduo um traço básico para o seu reaproveitamento (CALMON *et al.* 1998). Valores superiores da LBRO aumentam os índices de absorção de água e os diminuem quando a temperatura de sinterização se eleva (SILVA *et al*., 2005).

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Observa-se que as propriedades físico-mecânicas são afetadas tanto pela temperatura de sinterização quanto pela quantidade de resíduo adicionado (MOREIRA, FREIRE e HOLANDA, 2003). Além disso, a microestrutura das peças de cerâmica também sofrem alterações, com a diminuição da sua porosidade aparente e a formação de uma estrutura bem densificada e suave (MANHÃES, MOREIRA e HOLANDA, 2009).
Os corpos cerâmicos contendo até baixos teores (até 20%) em peso de resíduo de rocha ornamental apresentaram propriedades promissoras (retração linear, absorção de água e resistência mecânica) para serem utilizados na fabricação de tijolos maciços, blocos cerâmicos e telhas, dependendo da temperatura de queima. (MOREIRA, MANHÃES e HOLANDA, 2005). Assim, devem-se evitar quantidades excessivas de resíduo na fabricação de cerâmica vermelha (MOREIRA, FREIRE e HOLANDA, 2003; MOREIRA, MANHÃES e HOLANDA, 2005; PONTES e VIDAL 2005).
Além da produção de blocos, telhas, tijolo de solo cimento, existe a possibilidade de aplicação da LBRO para produção de cerâmica vitrificada (DANTAS, 2008; SOUZA, PINHEIRO e HOLANDA, 2011), apesar da incorporação do resíduo atenuar os problemas de sinterização, para a produção de porcelanato, as propriedades físicas são melhoradas com a presença do resíduo (DANTAS, 2008). Nestes casos, o resíduo contribui para um maior grau de vitrificação devido a presença de feldspato sódico, um fundente natural presente na LBRO (SOUZA, PINHEIRO e HOLANDA, 2011).
De maneira geral a incorporação do resíduo em matrizes cerâmicas não prejudica as propriedades tecnológicas desses produtos. Diante disso, vale considerar os custos financeiros envolvidos e a sua compensação quanto aos ganhos com a preservação ambiental.

3.3 Matrizes cimentícias

As pesquisas desenvolvidas com a utilização da LBRO em matrizes cimentícias são diversas e as aplicações se referem à produção de concretos, argamassas, blocos, peças pré-moldadas e cimento, atuando como adição mineral, substituto de agregados e até mesmo de aglomerante.
Para concretos, o resíduo incorporado como adição mineral em teores de até 10% em relação à massa de cimento, tem efeito benéfico aumentando a resistência à compressão e à tração e reduzindo a absorção de água por capilaridade e imersão (GONÇALVES, 2000; GONÇALVES et al.. 2002), para uma relação a/c de 0,65, houveram melhores resultados com teores de 20% (ALVES, 2008) possivelmente devido ao maior número de poros e melhor aproveitamento da atuação do resíduo como fíler sendo que, em geral, houve uma redução da trabalhabilidade das misturas dosadas com a adição do material.
Porém, no caso da substituição de cimento por LBRO em teores de 10% e 20% houve uma redução significativa da resistência à compressão (LAMEIRA, TENÓRIO e LIMA, 2005; LOPES et al. 2006), comprovando a ausência de comportamento pozolânico, do material, mesmo após uma tentativa de ativação através de tratamento térmico a temperaturas de até 900 ºC (SCHMIDT et al. 2011).
Quanto a utilização do resíduo como substituto de agregado miúdo natural, em teores de até 50% os resultados de resistência à compressão foram melhores com ganhos significativos em relação ao concreto referência mantida a granulometria natural do resíduo (LAMEIRA, TENÓRIO e LIMA, 2005), no entanto reduziu em pesquisas que

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

avaliaram a substituição de 50% da areia exclusivamente por pó de mármore (FORNER, LINTZ e BOZZA, 2005) o que possivelmente está relacionado a composição química deste material, cujo principal composto é o óxido de cálcio, sendo que são as rochas graníticas que contém os maiores teores de sílica, principal composto da areia natural.

Diante da necessidade específica do uso de finos em concreto auto-adensável, a LBRO tem sido testada em diversas pesquisas por suas características similares aos finos adotados atualmente no mercado. Os concretos produzidos, após a devida dosagem de teor de fíler (resíduo) e de superplastificante, apresentam resultados de propriedades no estado fresco e endurecido nos parâmetros estabelecidos para este tipo de concreto (LISBOA, 2004;CALMON et al., 2005) sendo inclusive realizadas algumas aplicações práticas de moldes e fôrmas que confirmaram a alta capacidade de preenchimento do concreto auto-adensável com LBRO sem qualquer tipo de compactação e ausência de sinais de segregação (LISBOA et al., 2004). Os aspectos de durabilidade do concreto auto-adensável produzido com LBRO foram verificados a partir de uma dosagem definida previamente e as propriedades de permeabilidade ao ar, absorção de água por sucção capilar, resistência à carbonatação, resistência à corrosão de barras de aço imersas no concreto e resistência ao ataque por sulfatos tiveram, em geral, resultados de comportamento superior aos concretos tradicionais (BARROS, 2008).

Muitos estudos também se basearam na utilização de LBRO para a produção de blocos e outros diversos tipos de peças pré-fabricadas. Blocos de vedação, blocos estruturais e peças para pavimentação confeccionadas com o resíduo como substituição ao cimento atingiram os requisitos estabelecidos de absorção e resistência à compressão com teores de até 10% (MOURA et al. 2007) e quando o resíduo atuou como substituto da areia fina na produção de blocos estruturais também obteve resultados positivos para as mesmas propriedades avaliadas (FALCÃO, STELLIN JÚNIOR, 2001). O resíduo foi utilizado de forma eficiente como adição em ladrilhos hidráulicos para piso tátil (REIS, 2008) e blocos paisagísticos (FREIRA, QUEIROZ e CATANASSIOS, 2009).

Estudos de dosagem para fabricação de blocos e meio fios com a incorporação do resíduo analisando a resistência à compressão obteve resultados positivos para estas aplicações (COELHO, CAMARINI e TRISTÃO, 2010) e a análise específica para meio fios indica um traço com menor consumo de cimento através da utilização de LBRO (DESTEFANI *et al*., 2010).

Como parte de um projeto de pesquisa, foi realizada uma produção piloto de blocos de vedação em uma indústria de pré-fabricados de Feira de Santana, Bahia, para verificação *in loco* da viabilidade de produção com o uso do resíduo a partir de uma análise de custos comparativa com a produção convencional (MOURA *et al*. 2007; MOURA, LEITE, 2011).

A LBRO também possui resultados benéficos em argamassas e esta aplicação foi uma das pioneiras na década de 90. A substituição de cal em argamassas de assentamento produzidas com resíduo do corte de granito foi eficiente alcançando os mesmos parâmetros das argamassas de referência (CALMON *et al.* 1997; MENEZES *et al*. 2009) e em argamassas de revestimento com resíduo do corte de mármore também, obtendo resultados de ensaios mecânicos de resistência das argamassas com resíduo superiores, possivelmente devido aos efeitos do resíduo no teor de ar incorporado e densidade de massa. (GONÇALVES et al. 2011).

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Para avaliar as possibilidades de inserção na matriz cimentícia buscando melhoria de seu desempenho mecânico, pesquisas avaliaram a ativação mecânica de LBRO através de moagem em 12 e 24 horas, sendo comparadas com a argamassa referência e argamassa com resíduo na condição natural em diferentes percentuais de adição, o que resultou em valores de resistência à compressão inferiores aos de referência, embora tenha se verificado incrementos significativos para os resultados de resistência a tração (OLIVEIRA et al. 2011a), quando em substituição de cimento por resíduo nas diferentes condições, os resultados de resistência a compressão mesmo após moagem também foram inferiores aos valores de referência (OLIVEIRA et al. 2011b) evidenciando que diferentes energias de moagens não produziram significativa diferença nos materiais a ponto de provocar mudança efetiva no comportamento da matriz.

Estudos com argamassa de revestimento indicam a possibilidade de aplicação de LBRO em substituição a areia, sendo que teores de 10% ocasionaram um aumento na resistência à compressão (MOURA, GONÇALVES e LEITE, 2002) e em geral, havendo substituição, há uma redução do índice de consistência e melhor incorporação da água de amassamento (REIS; TRISTÃO, 2011).

Em argamassas auto-adensáveis dada a necessidade de utilização de finos, o resíduo com granulometria de 200µm associado a fibras de borracha e polipropileno apresentaram um desempenho favorável nas propriedades do estado fresco e endurecido (MELO, SILVA e BARBOSA, 2011).

Há também a possibilidade de substituição parcial do clínquer para a fabricação de cimento (GOBBO; MELLO, 2005) e em cimento composto associado à escória de aciaria (BORGES, BORLINI, OLIVEIRA, 2010; ARRIVABENE, 2012).

3.4. Outros materiais

Além da utilização em matrizes cimentícias, cerâmicas e betuminosas o resíduo também é matéria-prima para o desenvolvimento de outros materiais, enfatizando sua aplicação na produção de materiais vítreos.

Observada a composição química do resíduo, é possível identificar um elevado potencial para sua utilização na fabricação de vidros, devido à presença de óxido formador de rede vítrea (SiO_2) e de outros óxidos componentes (Al_2O_3, CaO, K_2O, Na_2O e MgO). Pesquisas apontam a viabilidade técnica da produção de vidro sodo-cálcico (BABISK, 2009) e de vidro borossilicato (MARÇAL, 2011) com tratamento térmico após a devida adequação de composição química.

Para produção de lã mineral e lã de vidro visando o mercado de isolamento térmico e acústico, foi realizada uma caracterização completa do resíduo e uma comparação da composição química típica dos materiais (RODRIGUES et al., 2011). A partir daí, com a inclusão de escória de ferro silício manganês, foi possível obter misturas capazes de produzir com tratamento térmico uma lã mineral que atende os parâmetros exigidos e cujos resultados de difração de raios X está similar ao encontrado na literatura (RODRIGUES, 2009).

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

4. Discussões

Considerando os princípios de sustentabilidade, o ideal é projetar a fabricação de determinado produto visando à geração mínima de material residual. A partir desta condição buscam-se estratégias de reciclagem para este mínimo resíduo produzido e por último, quando não existem outras opções, descarta-se o material em aterros específicos.
O problema ambiental enfrentado no setor de rochas ornamentais vistas à difícil tarefa de descarte do volume de resíduo do beneficiamento provocou no meio acadêmico a demanda pela busca de soluções.
As pesquisas brasileiras apresentadas neste artigo demonstram uma série de possibilidades viáveis tecnicamente para utilização deste material residual como sub-produto, mas vale ressaltar que os materiais a serem usados na construção civil devem atender às exigências físicas, mecânicas, químicas e ambientais das normas, e devem ser resistentes, duráveis e trabalháveis, para que sejam superiores ou similares aos produtos já existentes no mercado.
A operacionalização da utilização de um resíduo industrial na construção civil já se efetivou em diversos casos, exemplo deste processo é a escória de alto forno. Já tratada atualmente como um co-produto, a escória é alvo de pesquisas há anos e é utilizada como importante componente na fabricação de cimento, tendo inclusive uma classificação e normas específicas para sua aplicação (MEHTA; MONTEIRO, 2008).
As aplicações da LBRO em geral estão baseadas em suas características de composição química, mineralogia e granulometria sendo fundamentadas pela ausência de reação com outros compostos das matrizes e pela participação do material fino na formação de bases cerâmicas e no preenchimento de poros, demandando apenas uma observação específica quanto à presença de pequena fração de granalha de aço.
Materiais não-reativos de baixa granulometria com potencial de utilização em produtos para a construção são tratados como adições minerais do tipo fíler, cujo comportamento beneficia a matriz ao melhorar as propriedades mecânicas e de durabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Como para os materiais em geral, no caso dos concretos, materiais que atuam como adições minerais somente podem ser utilizados com base nos subsídios decorrentes de estudo experimental prévio (ABNT, 2000).
Quanto ao possível volume de utilização de resíduo, destacam-se as aplicações com maiores teores de resíduo incorporado, como as de adição em cerâmica vermelha para produção de tijolos e telhas e também as de adição em concretos, argamassas e produtos cimentícios como blocos e peças pré-fabricadas em geral.
Sendo assim, utilizada dentro de teores limites para cada tipo de aplicação, a LBRO pode ser incluída na produção de determinados materiais de construção e efetiva-se como opção tecnicamente viável diante da necessidade de obtenção dos requisitos mínimos para os materiais produzidos conforme as normas regulamentadoras, identificadas nas pesquisas aqui apresentadas.
Vale ressaltar ainda que, a utilização de LBRO para a fabricação de materiais de construção, diante do volume gerado, possibilita a redução da extração de recursos naturais como argila, calcário e areia e até mesmo a diminuição de utilização do cimento, mesmo que em pequenos percentuais, evitando o impacto ambiental que estas atividades acarretam.

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

5. Conclusões e trabalhos futuros

Esta revisão bibliográfica apresenta as principais informações sobre a aplicação do resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção durante os últimos dez anos no Brasil.

Pode ser observado a partir desta literatura que existem diversos estudos visando o aproveitamento do resíduo para materiais na cadeia da construção civil, em pavimentação, estruturas, vedações e acabamento que apresentam alternativas com potencial efetivo de aplicação, desde que comprovadas as devidas características definidas em norma para cada produto analisado.

Para que os setores de rochas ornamentais e construção civil atuem em parceria de forma sustentável, faz-se necessária uma operacionalização efetiva da utilização da lama residual na produção industrial de materiais de construção seja diretamente nos canteiros de obra, nas concreteiras ou nas fábricas de produtos vítreos, cimentícios e cerâmicos. O que demanda de novos estudos voltados aos aspectos logísticos, operacionais, econômicos e de divulgação.

Além disso, sabendo que o resíduo é aplicado justamente por suas características químicas e físicas, há também que se avaliar a variabilidade do resíduo proveniente de diferentes pontos de amostragem e como esta situação pode influenciar nos resultados dos materiais a serem produzidos.

A partir destas informações, é preciso que ainda assim continuem sendo incentivadas e orientadas novas pesquisas que busquem aplicações cada vez melhores e mais viáveis diante da realidade dos setores de mineração e construção para que seja possível efetivar as técnicas de reciclagem analisadas, visto que o resíduo é na verdade um sub-produto com propriedades bastante benéficas para os materiais de construção.

Portanto, a LBRO com suas diversas possibilidades de utilização em matrizes betuminosas, cerâmicas, cimentícias e também na fabricação de outros materiais, concretiza-se como uma importante oportunidade para o setor de construção absorver mais este resíduo industrial na tentativa de mitigar os impactos ambientais que ambos provocam.

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

6 Referências

ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). **O setor de rochas ornamentais e de revestimento**. Informe 005/2009. São Paulo. 2009. Disponível em site: <http://www.abirochas.com.br>. Acesso em: 27 set. 2012.

ARRIVABENE, L. F. **Adição de Resíduo da Indústria de Granito em Escória de Aciaria BOF visando sua utilização na Produção de Cimento**. Tese (Doutorado em Metalurgia e Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Metalurgia, Universidade de São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654**: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto. Rio de Janeiro, 2000.

BABISK, Michelle Pereira. **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais. Instituto Militar de Engenharia, 2009.

BARROS, P.G.S. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil : Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2008.

BINICI, Hanifi; KAPLAN, Hasan; YILMAZ, Salih.Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete. In: **Scientific Research and Essay**. V. 2, n. 9, p. 372-379. Turkey: sep. 2007.

BORGES, A.C.; BORLINI, M.C.; OLIVEIRA, J.R. Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduo do Beneficiamento de Granito e Escória de Aciaria LD na Fabricação de Cimento Portland. In: Jornada de Iniciação Científica, 18., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÊLLO, F. S. S.; DA SILVA, S. A. C.; MATTOS, F. V. Reciclagem do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas. In: Encontro Nacional de Edificações e Comunidades Sustentáveis, 1., 1997, Canela. **Anais...**Canela: ANTAC. 1997.

CALMON, J.L. **Resíduos industriais e agrícolas.** Capítulo 51. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. Ed. G.C. Isaia. 2.ed. São Paulo, IBRACON, 2010. 2v.

CALMON, J.L.; MORATTI, M., SOUZA, F.L.S.; CENCI, D.S. **Concreto auto-adensável (CAA) utilizando resíduo de serragem de rochas ornamentais como fíler**. Publicações IBRACON, 2005.

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

CALMON, João Luiz; TRISTÃO, Fernando A.; LORDÊLLO, Fernando. S. S. ; DA SILVA, Sérgio A. C. ; MATTOS, Flávio. V. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de tijolos de solo cimento**.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Qualidade no processo construtivo, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: ANTAC. 1998.

CAVALCANTI, Diogo Jatobá de Holanda. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementosestruturais.** 2006. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa deMestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2006.

COCHI, M.C. Análise da incorporação de lama manufaturada do mármore em cerâmica estrutural. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17., 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...**Paraná: CBECIMat: 2006.

Coelho, Maria Antonina Magalhães; Camarini, Gladis; Tristão, Fernando Avancini. Estudos preliminares para fabricação de artefatos pré-fabricados de concreto com incorporação de resíduos de marmorarias. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 52., 2010, Fortaleza. **Anais...**Ceará: IBRACON, 2010.

CONCEIÇÃO, M.N.; CARANASSIOS, A.; RIBEIRO, R.C.C. Avaliação mecânica e acústica do pavimento asfáltico formado com resíduos oriundos do beneficiamento de rochas ornamentas. In: Jornada de Iniciação Científica, 18., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

DANTAS, A.P.A. **Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

DESTEFANI, A. Z.; HOLANDA, J. N. F.; ALEXANDRE, J.; XAVIER, G. C., SABOYA, F. J. A. Avaliação da dosagem através do método de Rede Simplex para fabricação de meio-fio com utilização do rejeito de rochas ornamentais. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 52., 2010, Fortaleza. **Anais...**Ceará: IBRACON, 2010.

FALCÃO, I.P.; STELLIN JÚNIOR, A. Utilização de finos de serrarias do espírito santo nas indústrias de construção civil**.** In: Jornadas IBERMAC Materiais de Construção, 1., 2001, Madri. **Anais...**Espanha: IBERMAC, 2001.

FORNER, Marcelo; LINTZ, Rosa Cristina Cecche; BOZZA, Jose Liberato. Resíduos das indústrias de lavra e de polimento de rochas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v.5, p. 767-772, 2005.

FREIRE, A. S.; MOTTA, J. F. M. Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito. In: **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, ano XXV, Edição 123, p. 98-108, jul./ago. 1995.

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

GOBBO, Luciano de Andrade, MELLO, Ivan Sergio de Cavalcanti. Reciclagem dos resíduos finos da serragem de mármores e granitos pela indústria do cimento. In: I Congresso internacional de Rochas Ornamentais, 1. Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 2., 2005, Guarapari. **Anais...**Espírito Santo: 2005.

GONÇALVES, G. P.; ALEXANDRE, J.; DIAS, D. P.; XAVIER, G. C.; DIAS JÚNIOR, N. S.; ALMEIDA, L. L. P. Incorporação de resíduo proveniente de usina de beneficiamento de mármore na confecção de argamassas. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53., 2011, Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: IBRACON, 2011.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos**. 2000. 135p. Dissertação (Mestrado) – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W.A. Reciclagem do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na construção civil. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 3, 2002, Recife. **Anais...** Recife, 2002, p. 179-189.

GONÇALVES, J.P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos.** 2000, 153 f. Dissertação (mestrado) –Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2000.

GONÇALVES, J.P.; MOURA, W.A.; DAL MOLIN, D.C.C. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição em propriedades mecânicas do concreto**. Ambiente construído.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, RS. Vol. 2, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 53-68.

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: **Seminário de Reciclagem e Resíduos Sólidos Domésticos**. São Paulo: SP. 2000.

LAMEIRAS, R.M.; TENÓRIO, J.J.L.; LIMA, L.A. Avaliação do potencial de utilização do resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG) em concretos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v.5, p. 317-332, 2005.

LIMA, R.C.O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

Lisbôa, Edvaldo Monteiro. **Obtenção do Concreto Auto-Adensável Utilizando Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito e Estudo de Propriedades Mecânicas.** Maceió, 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil.

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

LOPES, J.L.M.P.; BACARJI, E.; PAZINI, E.J.; RÊGO, J.H.S.; PEREIRA, A.C. Estudo do potencial de utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) como fíler na produção de concretos. In: Seminário de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás, 3., 2006, Goiânia. **Anais...**Goiás**:** COMPEEX, 2006.

MANHÃES, J.P.V.T.; MOREIRA, J.M.S.; HOLANDA, J.N.F. Variação microestrutural de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental. **Cerâmica**, 55, p. 371-378, 2009.

MARÇAL. Rubens Lincoln Santana Blazutti. **Fabricação de vidros especiais a partir de resíduos da indústria de rochas ornamentais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência dos Materiais. Instituto Militar de Engenharia, 2011.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** Ed. Ibracon, 3ª ed., São Paulo, 2008.

MELLO, R.M., AGOSTINHO, L.F.D. Avaliação da utilização da lama proveniente do acabamento de mármores e granitos como matéria prima em cerâmica vermelha. In: Congresso Internacional de Rochas Ornamentais, 1.; Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, 2., 2005, Guarapari. **Anais...**Espírito Santo, 2005.

MELO, B. C.; SILVA, T. N. M.; BARBOZA, A. S. R. Produção de Argamassas com Adição de Fibras de Borracha e Polipropileno e Resíduos do Beneficiamento de Mármore e Granito. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53., 2011, Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: IBRACON, 2011.

MENEZES, R.R.; FARIAS FILHO, J.; FERREIRA, H.S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamasas. **Cerâmica.** 55, p. 263-270, 2009.

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**, 49, p. 262-267, 2003.

MOREIRA, J.M.S.; MANHÃES, J.P.V.T.; HOLANDA, J.N.F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, 51, p. 180-186, 2005.

MOTHÉ FILHO, H. F.; POLIVANOV, H.; MOTHÉ, C. G. Reciclagem dos resíduos sólidos de rochas ornamentais. In: **Anuário do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, v. 28-2, p. 139-151, 2005.

MOURA, W.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. **Sitienbus,** Feira de Santana, n 26, p 49-61, 2002.

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

MOURA, W.A.; LEITE, M.B. Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, 64(2), 147-154, abr. jun. 2011.

MOURA, W.A.; LIMA, M.B.L.; CALMON, J.L.; MORATTI, M.; SOUZA, F.L.S. Utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO) como substituição parcial do cimento na produção de blocos pré-moldados de argamassa. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 11, 2006, Florianópolis. **Anais...**Porto Alegre: ANTAC, 2006.

MOURA. W.A.; CALMON, J.L.; LIMA, M.B.L.; MORATTI, M.; CORREIA, R.F.; SENNA D.O.; BOAVENTURA, M.C. **Relatório final do projeto utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO) na produção de peças pré-moldadas para habitação de interesse social**. Relatório Final de Projeto. UFES. UEFS. 2007.

OLIVEIRA, D.M.; OLIVEIRA, T.N.; BEZERRA, A.C.S.; GOMES, V.J.; PEIXOTO, R.A.F. Utilização de resíduo de granito como substituição ao cimento Portland em matrizes cimentícias. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53., 2011, Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: IBRACON, 2011b.

OLIVEIRA, T.N.; OLIVEIRA, D.M.; BEZERRA, A.C.S.; GOMES, V.J.; PEIXOTO, R.A.F. Produção de matrizes cimentícias aditivadas com resíduo de corte e beneficiamento de granito. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53., 2011, Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: IBRACON, 2011a.

PONTE, I.F.; VIDAL, F.W.H. Valorização de resíduo de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 5., 2005, Recife. **Anais...**Pernambuco: SRONE, 2005.

REIS, A. S. **Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

REIS, A.S., **Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em engenharia civil, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

REIS, A.S.; TRISTÃO, F.A. Estudo da influência do resíduo de beneficiamento de granito em produtos cimentíceos. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53., 2011, Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: IBRACON, 2011.

@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

RODRIGUES, G.F.; ALVES, J.O.; TENÓRIO, J.A.S.; ESPINOSA, D.C.R. Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos. **Tecnol. Metal. Mater. Miner**., São Paulo, v. 8, n. 3, p. 203-207, jul.-set. 2011.

RODRIGUES, Girley Ferreira. Reciclagem de resíduos visando à produção de lã mineral. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto,2009.

SCHMIDT, B.; MEDEIROS, M. H. F.; MATOS, A.; DUARTE, T.; RIO, J.; COUTINHO, J. S. Aplicação de tratamento térmico em resíduos de pó de pedra para substituição parcial do cimento. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53., 2011, Florianópolis. **Anais...**Santa Catarina: IBRACON, 2011.

SILVA, A.A.A. Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 7., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: CNEG, 2011.

SILVA, J.B.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A.M.; ACCHAR, W. Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. **Cerâmica**, 51, p. 325-330, 2005.

SOUZA, A.J.; PINHEIRO, B.C.A.; HOLANDA, J.N.F. Efeito da adição de resíduo de rocha ornamental nas propriedades tecnológicas e microestrutura de piso cerâmico vitrificado. Cerâmica, 57, p. 212-218, 2011.

SOUZA, J.N.; RODRIGUES, J.K.G.; NETO, P.N.S. **Utilização do resíduo proveniente da serragem de rochas graníticas como material de enchimento em concretos asfálticos usinados a quente**. Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.