27º. Encontro Técnico AESABESP

ROCHAGEM COM USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MARMORARIAS E RESÍDUOS ORGÂNICOS DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO: UMA REVISÃO

Rogério Pires Santos [(1)]
Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais- PPGECAM-Universidade de Caxias do Sul -UCS. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense - IFSUL-Campus Camaquã-RS.
Geraldo Antônio Reichert [(2)]
Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRGS. Engenheiro do Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre. Professor do Curso de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul – UCS
Endereço (1,2): Universidade de Caxias do Sul-UCS - Rua Francisco Getúlio Vargas-1130-Cidade Universitária – CEP: 95.070-560 - Caxias do Sul-RS-e-mail: rogerio.santos@camaqua.ifsul.edu.br.

RESUMO

As atividades de mineração causam impactos significativos ao meio ambiente, pois o desenvolvimento dessa atividade implica supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além de causar poluição do ar, entre outros aspectos negativos. Uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas pode ser a rochagem, que consiste basicamente na incorporação de rochas/minerais ao solo. Uma fonte considerável de resíduos minerais para a rochagem é a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, pois em serrarias que produzem blocos de 20 mm de espessura, de 25 a 30% do bloco de granito são perdidos como partículas finas, e considerando que o mercado brasileiro produz 240.000 toneladas deste resíduo por ano, contabilizando apenas o mármore e o granito, a utilização de resíduos de marmorarias e resíduos orgânicos, como o de *Eichornia crassipes*, em consórcio, pode gerar um substrato rico em matéria orgânica e mineral, composto por micro e macronutrientes essenciais a nutrição vegetal, favorecendo a recuperação de áreas degradadas por mineração, em especial, proporcionando uma melhoria da qualidade do subsolo exposto pela atividade, com consequente recuperação do local e fechamento do ciclo de um resíduo de igual origem mineral.

PALAVRAS-CHAVE: remineralização, rochagem, impactos ambientais.

INTRODUÇÃO

As atividades de mineração causam impactos significativos ao meio ambiente, pois o desenvolvimento dessa atividade implica supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além de causar poluição do ar, entre outros aspectos negativos (MECHI e SÁNCHES, 2010).

Pode-se considerar que geralmente toda atividade de mineração resulta em supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Por outro lado, o solo superficial, o qual apresenta maior índice de fertilidade é removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos acarretando em assoreamento dos corpos d'água do entorno, sendo necessário a sua recuperação, preferencialmente paralela à atividade de extração, sempre que possível.

Segundo Silva *et al.* (2008), a degradação de uma área *"...ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas, a camada fértil do solo é removida ou enterrada e a qualidade do regime de vazão do sistema hídrico, alterada.*"

Da mesma forma, o art. 1º do Decreto Federal nº 97.632/1989, que regulamenta o art. 2º, VIII, da Lei Federal n° 6.938/1981, prevendo a inserção do dever de recuperar no processo de estudo da viabilidade ambiental da atividade mineraria, estabelece que:

> (...) os empreendimentos que se destinem à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente um plano de recuperação de área degradada.

De acordo com Silva *et al.* (2008, p.324):

> Ocorre que algumas obras de engenharia promovem a degradação, pois retiram os horizontes superficiais do solo, principalmente para empréstimo em aterros e barragens, expondo horizontes inferiores, onde o material não apresenta agregação e os processos erosivos se acentuam. A ausência de matéria orgânica e a baixa disponibilidade de nutrientes, nessas situações, não permitem o estabelecimento de vegetação, facilitando a ação dos agentes erosivos.

Uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas é a rochagem, que consiste basicamente na incorporação de rochas em forma de pó ou grânulos ao solo. Esta técnica é conhecida mundialmente desde o século XVIII, por meio dos estudos de James Hutton (BACKEY, 1967). No Brasil a técnica é conhecida desde a década de 1950, segundo Beneduzzi (2011).

Em processos naturais de intemperismo das rochas e formação do solo, participam diferentes reações que podem ocorrer de forma simultânea, tornando difícil prever como o mineral irá se dissolver. O aumento do potencial para dissolução da rocha se dá na desintegração estrutural da mesma, facilitando a ação de ácidos orgânicos presentes na rizosfera e permitindo que os nutrientes estejam mais facilmente disponíveis para as plantas (RAMOS, C. G. *et al*., 2014 a). Considerando que as plantas necessitam de micro e macronutrientes, (estes presentes nas rochas), de fundamental importância são os estudos envolvendo a técnica da rochagem, como forma de minimizar a necessidade de fertilizantes minerais, na sua maioria importados e de alto custo, com grandes implicações econômicas e ambientais negativas.

A lei federal 12.890/2013 estabelece alguns critérios para a rochagem no Brasil, considerando-a uma técnica válida e reconhecida legalmente, definindo o composto produzido como:

> Art. 3(...)
> e) remineralizador, o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo;

OBJETIVO

O objetivo deste artigo é estudar e avaliar a eficiência da aplicação da técnica de rochagem a partir de resíduos de atividades de marmorarias, consorciado com resíduos orgânicos para fins de recuperação de áreas degradadas por mineração.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo constitui-se de uma revisão da literatura especializada, realizada entre setembro de 2015 e novembro de 2015, no qual se realizou consulta a livros e periódicos presentes na Biblioteca da Universidade de Caxias do Sul (UCS) e artigos científicos selecionados através de busca no banco de dados *Scielo* e *Web for Science*. Ao todo foram consultadas trinta e cinco referências nacionais e estrangeiras, posteriormente

sintetizadas as informações à cerca do tema e analisadas de forma crítica proporcionando uma revisão bibliográfica e definição do estado da arte referente ao tema.

RESULTADOS

Recuperação de áreas degradadas por mineração: processos e técnicas

> As atividades de mineração em geral causam degradação ambiental, descaracterizando o ambiente natural, porém as técnicas de restauração ecológica possibilitam a reconstrução de um ambiente onde seja possível, dentro das limitações técnicas, o restabelecimento do equilíbrio ecológico (TREVISAN *et al*.,2011).

Considerando a recuperação dessas áreas, as mesmas encontram-se constituídas por um substrato quase sempre muito compacto e pobre em nutrientes, e nesta situação, o crescimento das plantas é mais difícil.

Outrossim, o restabelecimento de comunidades vegetais nativas é uma das formas mais utilizadas para recuperar áreas degradadas pela mineração, promovendo um novo uso do solo que visa a conservação ambiental (ALMEIDA e SÁNCHES,2015).

No entanto, existem muitas dificuldades na implementação das medidas propostas nos Programas de Recuperação de Áreas Degradas - PRADs, sendo frequente a ocorrência de problemas relativos ao manejo do solo e das plantas, o que compromete o sucesso da revegetação (ALMEIDA e SÁNCHES, 2015).

A exigência legal de recuperar áreas degradadas pela mineração vigora há anos no Brasil, no entanto persistem dificuldades de ordem técnica e econômica para a condução adequada de recuperação de áreas degradadas. Segundo Bitar (1997) os procedimentos descritos nos PRADs muitas vezes não são seguidos na prática. Segundo Dias e Sánches (2001) a fiscalização e a avaliação dos resultados efetivos da implantação de medidas de recuperação ambiental em minerações são raramente implementados de modo sistemático, devido a múltiplas razões.

Almeida e Sánches (2015) descrevem que nos locais de mineração, em geral há dois tipos de áreas, onde é necessária a revegetação:

> (i) áreas de mata ciliar que, segundo o Código Florestal Brasileiro, são áreas de preservação permanente (APP) e devem ser revegetadas exclusivamente com espécies nativas
>
> (ii) áreas operacionais da mineração, incluindo margens de cavas, áreas de disposição de rejeitos, locais de estocagem, instalações de beneficiamento, oficinas, escritórios e demais construções, cuja revegetação pode, muitas vezes, ser feita com outras espécies e depende da reabilitação planejada e dos objetivos de uso da área após o encerramento da mineração.

Na revegetação de áreas degradadas, tem sido usualmente recomendada a aplicação do modelo sucessional, o qual separa as espécies vegetais em grupos ecológicos com características comuns e funções diferentes na dinâmica da floresta (WEST *et al.*, 1981; SWAINE e WITHMORE, 1988).

Impactos ambientais provenientes da geração de resíduos de marmorarias

Para Santo, Lira e Ribeiro (2012, p. 126):

> O reaproveitamento de resíduos é uma alternativa econômica e ecologicamente viável que proporciona um destino definitivo para os resíduos oriundos não só da construção civil, como também de indústrias de mineração, por exemplo, extração de mármore e granito.

Durante o beneficiamento dos blocos de rochas ornamentais, entre 25% a 30% são transformados em pó, sendo que no Brasil, estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas ao ano de resíduos destas rochas, o que implica em um problema de grande magnitude, caso não sejam tomadas medidas corretas de gestão e destinação final adequadas, incluindo medidas de reutilização deste resíduo (FORMIGONI, 2006).

Considerando a atividade de marmorarias, estas:

> (…) produzem enormes quantidades de resíduos em forma de lama, formada por finos a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas de mármore. Esta lama residual é um rejeito que se tornou um problema ambiental pela quantidade produzida (FERREIRA e NUNES, 2007).

Mello (2004) caracterizou as marmorarias no Estado de São Paulo, apresentando as seguintes características, as quais não divergem da maioria das empresas do ramo no restante do país, destacando-se que:

- a quase totalidade destas empresas é de pequeno e médio porte;
- são empreendimentos essencialmente familiares;
- sua maioria empregam entre cinco e quinze funcionários;
- os treinamentos são desenvolvidos normalmente na própria empresa;
- equipamentos específicos de segurança, como artefatos de filtragem de ar, equipamentos e bancadas de trabalho com design econômico quase sempre estão ausentes;
- o maquinário utilizado tem, na maioria das vezes, de seis a sete anos de funcionamento;
- as perdas de processo chegam a 20% dos insumos pétreos trabalhados;
- o gerenciamento da qualidade dos produtos é praticamente todo feito por observação visual, principalmente em pequenas e médias empresas, mas também não descartado em empresas de maior porte;
- a preocupação com descarte e aproveitamento com resíduo, bem como a emissão de poeira e a geração de ruídos, é baixa, sobretudo em empresas menores.

O setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos principais de resíduos, como se pode visualizar no quadro 1:

Quadro 1: Descrição de resíduos gerados por marmorarias

Resíduo	Características	Volume produzido
Retalhos de rocha	Proveniente de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%. Estes retalhos muitas vezes são jogados no pátio da própria empresa.	Perda de 10% a 20%. Estes retalhos muitas vezes são jogados no pátio da própria empresa.
Lama de serraria	Proveniente da serragem dos blocos de rochas (após a extração), além do polimento e lustro das chapas. Esta lama é o resíduo gerado em maior quantidade.	Entre 30% a 40% em volume dos blocos serrados.
Lama de marmoraria	Ocorre em forma de finos formados a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas geradas nas serrarias.	A lama é produzida em 2% do total de volume processado. NBR 10.004: classificado como classe II A (material inerte), em que se faz menção das rochas, no entanto, não faz referência específica aos finos e lama gerados.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Nunes (2007).

Os resíduos gerados por atividades de marmorarias proporcionam significativos impactos ambientais, considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais, pois segundo Santiago *et al.* (2015):

> A atividade industrial de produção e venda de produtos beneficiados de granito como chapas, ladrilhos e outros produtos com aceitação no mercado externo e interno, torna-se cada vez mais importante, tanto para a geração de saldos positivos na balança de pagamentos do Brasil, quanto para a geração de empregos e renda no país.

Ainda, segundo esses autores, a produção de rochas ornamentais apresentou crescimento nas últimas décadas, sendo os estados de maior produção: Espirito Santo, Minas gerais e Bahia.

As rochas ornamentais comercialmente mais importantes são os granitos que podem ser colocados em partes externas e interna da construção civil, por serem mais resistente que o mármore, e sua cor não se alterarem com intempéries, sendo tratados desde tempos remotos como artigos de luxo em construções (SANTIAGO *et al*.,2015).

A indústria de rochas ornamentais está relacionada com a indústria de construção civil, e também é responsável por diversos impactos ambientais desde a extração mineral até a fase de polimento das peças. Esses impactos incluem poeira, ruído e vibrações, lama e fragmentos de rocha.

Diante desta realidade vários autores tem pesquisado sobre a utilização destes resíduos, a exemplo de Calmon *et al*. (1997); Neves *et al*.(1999); Lima Filho *et al*. (1999) e Gonçalves (2000).

Considerações sobre a rochagem

Segundo Santo, Lira e Ribeiro (2012), o granito é uma rocha plutônica ácida, com aproximadamente 75% de sílica; cristais de 1 a 5 mm, ou maiores, considerando estes autores que existe uma grande importância no estudo de aplicações de resíduos na construção civil, pois:

> (...) a geração destes não ocorre apenas nos canteiros de obra, mas também em outros setores que fornecem matéria-prima para a indústria da construção. Sendo assim, o montante de resíduos gerados pelas empresas de britagem de granito pode ser reaproveitado e inserido novamente no processo produtivo, oferecendo uma nova possibilidade de comercialização (SANTO; LIRA e RIBEIRO, 2012. p. 134).

A rochagem é uma técnica que vem sendo utilizada em escala internacional para suprir necessidade de fertilização de solos para fins de agricultura, mais difundida entre agricultores que cultivam produtos orgânicos, sendo alvo de inúmeras pesquisas nesta área. Entretanto, para fins de recuperação de áreas degradadas, ainda carece de aprofundamento.

Segundo Leonardos *et al*. (1976), a rochagem proporciona a diversificação de fontes de nutrientes, promovendo novas condições de suprimento de minerais, como a incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, sendo considerada como um tipo de remineralização, onde o pó de rocha é utilizado para reformular solos pobres ou lixiviados, com fundamento básico na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e consequentemente na produtividade sustentável.

Experimento conduzido por Ramos *et al.* (2004 b), em Nova Prata, RS, a partir de resíduos de rochas vulcânicas ácidas, demonstraram que todos os macronutrientes e a maioria dos micronutrientes descritos na literatura estiveram presentes em quantidades variáveis na amostra estudada, evidenciando um possível potencial para liberação de nutrientes ao solo e que a utilização de soluções de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, testadas no estudo referido, como agentes extratores, mostraram-se eficientes na disponibilização de nutrientes minerais às plantas, corroborando estudos anteriores sobre a técnica.

Da mesma forma, Silva *et al.* (2008), em experimento realizado em área degradada oriunda da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP, apresentou consideráveis resultados, utilizando resíduos de basalto consorciados com resíduos de esterco bovino ou plantas de aguapé (*Eichornia crassipes*), ou lodo de esgoto, proporcionando melhoramento nas condições químicas do subsolo e para as variáveis microbiológicas, concluindo que a rochagem realizada com basalto proporcionou resultados positivos.

Wang *et al.* (2000), na condução de experimento com a cultura de arroz realizado na China, relacionaram o crescimento de algumas plantas com a oferta de potássio proveniente da aplicação da técnica de rochagem a partir de gnaisse, concluindo que a presença de potássio influenciou no crescimento da cultura de arroz e que o crescimento das plantas se mostrava mais expressivo nas porções onde a fração granulométrica mais fina era dominante, corroborando outros estudos em que a rochagem promoveu o rejuvenescimento de solos, especialmente comparando-se o efeito a maior proporção de silte.

No entanto, devido aos baixos teores solúveis de nutrientes disponíveis em pó de rochas, esse material tem sido pouco utilizado como fertilizante para as plantas, encontrando resistência por parte dos agricultores que adotam a agricultura convencional. A maior desvantagem está relacionada à dificuldade de liberação dos nutrientes que, geralmente, estão temporariamente indisponíveis para os vegetais (HARLEY; GILKES, 2000). Porém, pode apresentar vantagens quando da utilização desses materiais, pois além de permitir que pequenas reservas ou resíduos de exploração sejam aproveitados, constitui-se em adubação mais completa e com vários nutrientes (COLA e SIMÃO, 2012).

Uma alternativa para aumento da disponibilidade de nutrientes de rochas é a solubilização biológica. Diversos microrganismos conseguem solubilizar nutrientes, através da decomposição de minerais silicados (GARCIA JUNIOR, 1991). As bactérias do gênero *Acidithiobacillus* são ótimas oxidantes do enxofre, capazes de produzir ácido sulfúrico (SO_4^{2-}) a partir do enxofre elementar, proporcionando a liberação de fósforo e potássio insolúveis, por efeito do baixo pH (GARCIA JÚNIOR, 1991).

Aliado a este fato, a aplicação de enxofre elementar com bactérias do gênero *Acidithiobacillus* ao solo proporciona uma maior produção de SO_4^{2-} que é requerido em grandes quantidades pelas plantas, e seguido pela ação direta e indireta do H_2SO_4 sobre o pH do solo, especialmente para aplicação em solos de elevado pH (STAMFORD *et al*. 2008).

Assim, segundo Stamford *et al*. (2008), o ácido sulfúrico produzido na reação microbiológica de bactérias oxidantes do enxofre pode atuar sobre as rochas disponibilizando os nutrientes pela redução do pH.

Em um subsolo exposto, mesmo de uma área degradada, conserva atividade microbiológica, embora em menor grau, necessitando assim, de complementação em matéria orgânica.

Outrossim, Ramos *et al*. (2014 b) obtiveram bons resultados, concluindo que houve disponibilidade de nutrientes para o meio aquoso indicado e que todas as amostras liberaram macronutrientes e micronutrientes importantes para o crescimento das plantas, além da não disponibilidade de alumínio para o meio aquoso, o que é uma grande vantagem, porque o alumínio é um elemento tóxico para as plantas.

Uma fonte considerável de resíduos minerais para a rochagem é a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, pois segundo Gonçalves (2000), em serrarias que produzem blocos de 20 mm de espessura, de 25 a 30% do bloco de granito são perdidos como partículas finas, e considerando que o mercado brasileiro produz anualmente 240.000 toneladas deste resíduo por ano, considerando o mármore e o granito. Outrossim, considerando-se que as empresas do setor são em sua maioria pequenas e médias empresas, que utilizam equipamentos defasados, a geração pode ainda ser maior, gerando para estas um passivo ambiental considerável, pois a geração deste resulta em um resíduo passível de contaminação dos solos e assoreamento de recursos hídricos.

Classificação de resíduos sólidos gerados por marmorarias

Os resíduos sólidos de forma geral se não manejados de forma correta podem causar uma série de impactos ambientais negativos. Desta forma a lei federal 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu uma série de diretrizes e objetivos referentes ao tema.

A Norma NBR 10.004/2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Quanto à classificação, podem ser classificados em resíduo classe I - Perigoso; resíduo classe II – Não perigoso: resíduos classe II A- não inerte; resíduos classe II B- Inerte.

Os resíduos gerados por empresas beneficiadoras de rochas ornamentais podem ser classificados seguindo a metodologia da NBR 10.004/2004, como resíduos sólidos não perigosos, classe II A, não inerte, segundo Gonçalves (2000).

A composição química de resíduos provenientes de corte de blocos de granito (RCG), para fins ornamentais, segundo Gonçalves (2000), a partir de revisão de outros trabalhos é apresentada na Tabela 1:

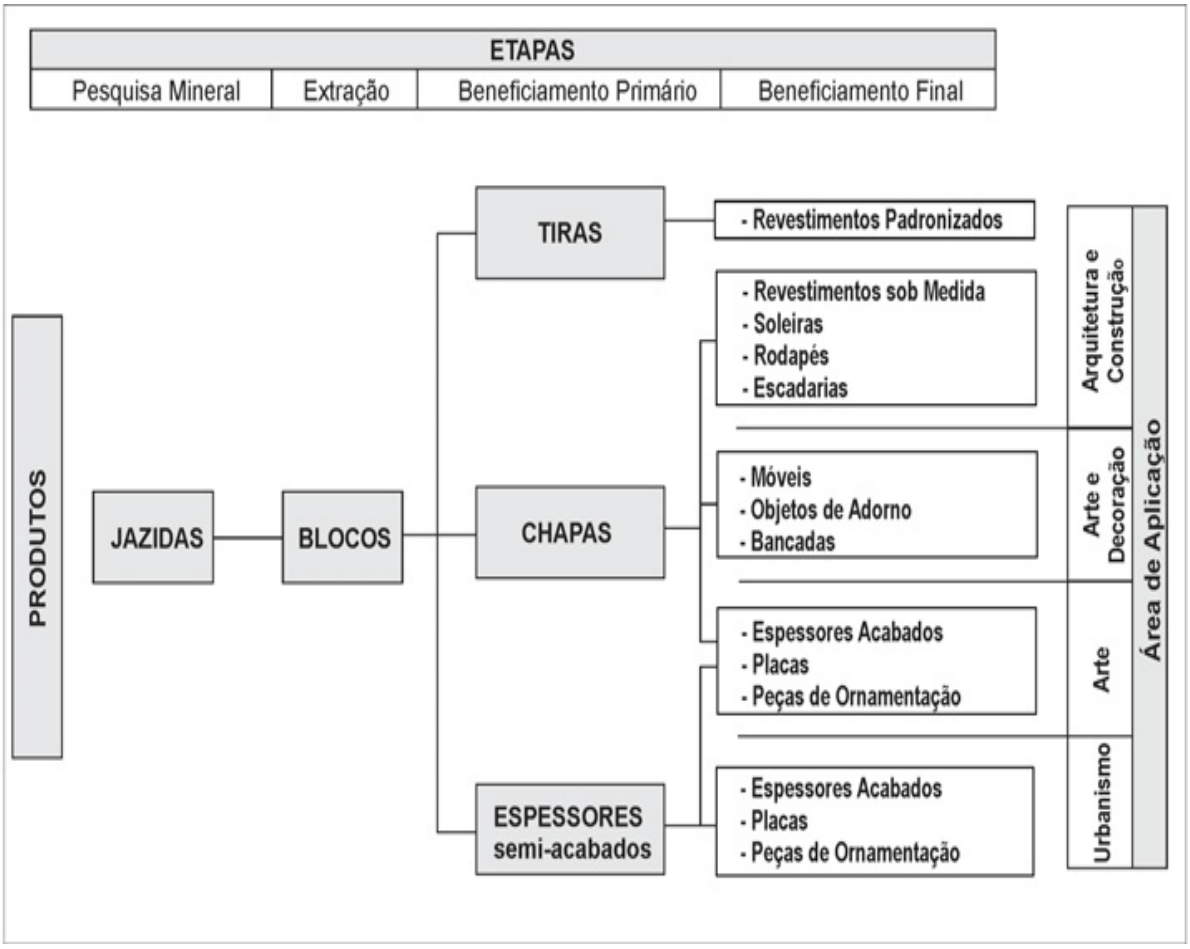
Tabela 1: Caracterização química de amostras de RCG estudadas por diferentes autores

Teor (%)	Calmon (1997)	Gonçalves (2000)	Moreira *et al* (2003)
SiO_2	59,95	59,62	65,95
Fe_2O_3	6,05	9,49	7,89
Al_2O_3	10,28	12,77	12,84
CaO	6,51	4,83	3,01
MgO	3,25	1,96	1,47
K_2O	4,48	5,30	4,19
TiO_2	0,92	---	0,93
SO_3	---	0,03	---
Na_2O	3,39	2,72	2,39

Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2000.

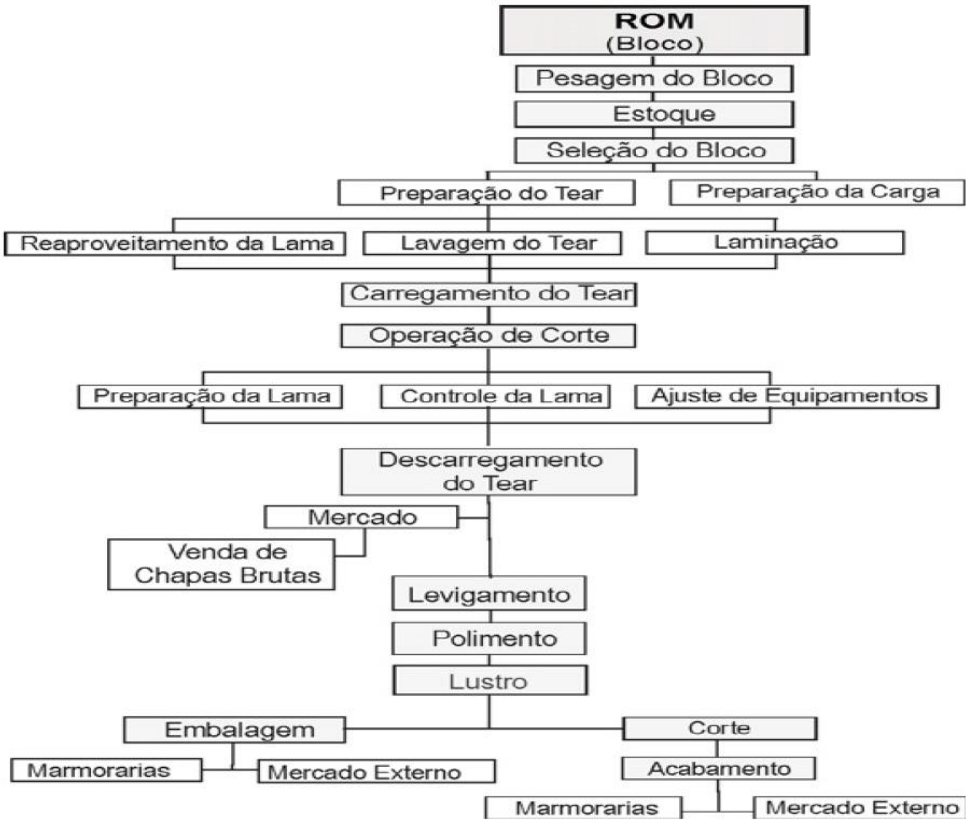
Nas Figuras 1 e 2, podem-se visualizar os fluxogramas de processo produtivo e acabamento de rochas ornamentais.

Figura 1:Etapas e Principais Produtos na Indústria de Rochas Ornamentais



Fonte: Margueron & Mello, 2005.

Figura 2: Fluxograma do Processo de Beneficiamento Primário e Secundário de Rochas Ornamentais



Fonte: Margueron & Mello, 2005.

O processo industrial de produção de rochas ornamentais, como visto nas Figuras 1 e 2, gera resíduos finos, onde predominantemente há pó de rochas, e em quantidades insignificantes, resíduos metálicos provenientes do desgaste da serra de corte da rocha e granalha. Este resíduo apresenta-se desta forma já beneficiado, pronto para o uso em rochagem, o que viabiliza economicamente o processo, embora possam ser também utilizados resíduos provenientes da mineração e resíduos maiores das fases de acabamento, como fragmentos, pedaços de rochas e cacos, os quais podem passar por uma fase de trituração e moagem.

POSSIBILIDADE DE USO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS CONSORCIADOS COM RESÍDUOS DE ROCHAS

Diversos resíduos orgânicos de origem vegetal podem ser utilizados como fonte de nutrientes para atividade agrícola, por tratar-se de processo natural de ciclagem de nutrientes (MALAVOLTA,1989).

Um subsolo exposto, como o de uma área degradada por mineração, ainda pode possuir uma atividade de micro-organismos, principalmente bacteriana, no entanto muito baixa e lenta para promover a restauração natural de um ecossistema, por tratar-se de um processo ecológico de sucessão, sendo necessária assim uma ação proativa neste sentido (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

Uma alternativa pode ser a utilização de resíduos orgânicos, agrícolas, sanitários ou industriais. Neste sentido, existe a possibilidade do uso de plantas aquáticas, macrófitas que se tornam um problema onde ocorrem, gerando, por exemplo, eutrofização.

Um dos problemas deste processo é a elevada proliferação das macrófitas aquáticas, que podem impedir os múltiplos usos dos recursos hídricos como, por exemplo, geração de energia elétrica, irrigação, navegação, pesca e recreação (Figura 3).

Figura 03: Detalhe de eutrofização causada pela proliferação de macrófita *Eichornia crassipes* em represa.



Fonte: Instituto Biológico de São Paulo (2015).

Um grande problema ambiental provocado pela proliferação de macrófitas aquáticas, de forma indireta, é o resultado da remoção destas dos locais de ocorrência e a consequente disposição inadequada. Segundo o Instituto Biológico de São Paulo (2015):

> (...) a planta daninha aquática que causa mais problemas no Brasil é o aguapé *Eichhornia crassipes*), uma espécie muito vigorosa que dobra sua área a cada 6-7 dias, quando em condições ótimas de crescimento, chegando a produzir 480 toneladas de massa verde/ha/ano. Em segundo lugar aparece a alface d'água (*Pistia stratiotes*), uma espécie que cobre totalmente o ambiente aquático, desenvolvendo-se rapidamente nos ambientes poluídos e provocando profundas alterações no ecossistema.

Assim, a possibilidade de uso destas plantas, como *Eichornia crassipes*, na incorporação ao solo em consórcio com resíduos de marmorarias, pode ser uma alternativa de solução promissora na destinação final destes resíduos.

Malavolta (1989) efetivou a determinação química dos micronutrientes e macronutrientes presentes na planta de *Eichornia crassipes* com fins de utilização da mesma como adubo verde, considerando a sua viabilidade para tal fim, devido às altas concentrações de matéria orgânica e minerais, sendo a sua composição: N: 10.3 mg; P:1.6 mg; K:49.0 mg; Ca:25.8 mg; Mg:10.5 mg; S:3.3 mg; B:25.0 mg; Ca:10.436 mg; C:l.9 mg; Cu:10.2 mg; Fe:8.969 mg; Mn:1.415 mg; Mo:2.3mg; Ni:4.0 mg e Zn:41.6mg.

Em solos que recebem resíduos de origem vegetal, normalmente o Ca e o Mg aumentam em solução, quando o pH é menor que 6,0. Assim, em solos com altos teores de Al pode haver complexação desse elemento com ânions orgânicos, tornando-o não tóxico para as plantas (PAVINATO e ROSOLEM, 2008), o que diminui o efeito ácido do Al proveniente de rochas vulcânicas acidas.

Desta forma o potencial de *Eichornia crassipes* como complemento na composição de um substrato orgânico composto de resíduos de rochas pode ser promissor na recuperação de áreas degradadas, como corroborado por Silva *et al* (2008), favorecendo a reutilização/reciclagem de resíduos de mineração, agrícolas ou sanitários, com o aproveitamento de resíduos minerais provenientes de atividades de mineração e/ou beneficiamento de rochas e resíduos provenientes de limpeza de represas, lagos e canais de irrigação/drenagem, que contém grandes quantidades de *Eichornia crassipes* , a qual muitas vezes é um problema econômico e ambiental para estes recursos hídricos, demandando custos para remoção e disposição destes resíduos.

Considerando o resíduo orgânico *Eichornia crassipes*, este de pode aumentar devido à massa verde crescer 15% ao dia, acumulando 800 kg por hectare, dobrando-a a cada seis ou sete dias. Sob condição ótima, produz até 480 toneladas de massa verde por hectare/ano, com um incremento de volume de 4,8% ao dia (GENTELINI *et al.*, 2008). Esta característica pode conferir em condições indesejadas, sério problema sanitário em represas, lagos, canais de irrigação ou drenagem, gerando um resíduo orgânico a ser corretamente destinado.

Outro ponto considerável para a consorciação de matéria orgânica vegetal à matéria mineral, para fins de rochagem é o fato de proporcionar um acréscimo de nutrientes e favorecer a formação de um meio propício ao desenvolvimento da vida microbiológica, potencializando os efeitos da remineralização e formação do solo (SILVA *et al.*,2008).

Desta forma, promove-se a recuperação do solo degradado, favorecendo a sucessão ecológica necessária ao processo de recuperação, com o estabelecimento inicial da biomassa, formações campestres de cobertura vegetal e posteriormente a colonização por espécies arbustivo-arbóreas.

CONCLUSÕES

Diante do exposto a utilização de resíduos de marmorarias e resíduos orgânicos de *Eichornia crassipes*, em consórcio, pode gerar um substrato rico em matéria orgânica e mineral, composto por micro e macronutrientes essenciais a nutrição vegetal, favorecendo a recuperação de áreas degradadas por mineração, em especial, proporcionando uma melhoria da qualidade do subsolo exposto pela atividade com consequente recuperação do local, pois a rochagem proporciona uma melhoria da qualidade dos solos, sendo que em condições apropriadas os minerais dispostos permanecem por mais tempo no solo, e são absorvidos lentamente pelas plantas, promovem retenção de água e recuperação do solo seguindo os pressupostos do desenvolvimento sustentável.

RECOMENDAÇÕES

A partir das conclusões apresentadas, recomenda-se a efetivação de pesquisas sobre o tema, a fim de testar as hipóteses descritas, colaborando desta forma para a correta gestão e destinação de resíduos minerais, eliminando assim em caso de confirmação destas, passivos ambientais, proporcionando soluções técnicas, locacionais e sustentáveis para resíduos gerados pela cadeia produtiva de mineração e beneficiamento de rochas ornamentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, R. O. P. O; SÁNCHEZ, L.E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação de desempenho. Revista Árvore, vol 29, n° 001, Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, MG. 2005.

2. BENEDUZZI, E. Rochagem: agregação das rochas como alternativa sustentável para fertilização e adubação de solos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Trabalho de conclusão do curso de Geologia. 90 fl. il. Porto Alegre. 2011.

3. BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado em Engenharia Mineral. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1997.

4. BRASIL. Lei 12.890 de dez de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm. Acesso em 07.09.2015.

5. CALMON, J.L; TRISTÃO, F.A; LORDÊLLO, F.S.S; SILVA, S.A. Aproveitamento do resíduo do corte de granito para produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, Anais... Salvador, BA: ANTAC. 1997.

6. COLA, G.P.A; SIMÃO, J.B.P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. Revista Verde. Mossoró, v. 7, n. 4, p. 15-27, out-dez.2012.

7. DIAS, E.G.C.S.; SÁNCHEZ, L.E. Deficiências na implementação de projetos submetidos à avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo. Revista de Direito Ambiental, n.23, p.163-204.2001.

8. FERREIRA, A. C. B.; NUNES, E. C. D. Reaproveitamento e incorporação de resíduo de mármore em poliamida 66. 2007.

9. FORMIGONI, *et. al.* Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais. Disponível em: http://junic.unisul.br/2007. Acesso em: 17.11.2015.

10. GARCIA JÚNIOR, O. Isolation and characterization of *Thiobacillus thiooxidans* and *Thiobacillus ferrooxidans* from mineral mines. Rev. Bras. Microbiol. 20, p. 1-6. 1991.

11. GENTELINI, A. L. *et al*..Produção de biomassa das macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Egeria densa* (egeria) em sistema de tratamento de efluente de piscicultura orgânica. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 29, n. 2, p. 441-448, abr./jun..2008.
12. GOBBO, L.A.; MELLO, I.S.C.; QUEIRÓZ, F.C.; FRASCÁ, M.H.B.O. Aproveitamento de Resíduos Industriais. In: MELLO, I.S.C. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A.2004.
13. GONÇALVES, J.P. Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Dissertação de Mestrado, 120 fl. il. Porto Alegre.2000.
14. HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. Nutrient Cycling in Agroecosystems. v.56, p. 11-36.2000.
15. INSTITUTO BIOLÓGICO DE SÃO PAULO. Controle de macrófitas aquáticas. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/artigos_ok.php?id_artigo=72#. Acesso em: 10.10.2015.
16. LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. Anais... 29 Congr. Brasil. Geol., Belo Horizonte, p. 137-145.1976.
17. LIMA FILHO, V.X., BEZERRA, A.C., SANTOS, F.C., NOGUEIRA, R.E.F.Q., FERNANDES, A.H.M.. Estudo da viabilidade técnica da substituição dos p's cerâmicos convencionais por pó de granito na injeção de peças cerâmicas à baixa pressão. *In*: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Anais... Natal/RN, Nov.2000.
18. MALAVOLTA, E. *et al*.. Sobre a composição mineral do aguapé (*Eichornia crassipes)* An.Esalq, Piracicaba, 46 (parte 1): 155-162.1989.
19. MARGUERON,C.; MELLO, E.F. Estratégias Competitivas para Empresas de Rochas Ornamentais na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Vol. 28-2 .2005.
20. MECHI, A.; SANCHES, D. L. The Environmental Impact of Mining in the State of São Paulo. *Estud. av.* [online]. vol.24, n.68, p. 209-220.2010.
21. MELLO, I.S.C. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A.2004.
22. NEVES, G., PATRÍCIO, S.M.R., FERREIRA, H.C., SILVA, M.C., Utilização de resíduos da serragem de granitos para confecção de tijolos cerâmicos. In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais... Florianópolis/SC. Jun.,1999.
23. PAVINATO,P.S; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo:decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2008, vol.32, n.3, p. 911-920. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n3/a01v32n3.pdf. Acesso em 10.10.2015.
24. RAMOS, C.G. *et al* . A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management p. 30–35.2014(a).
25. RAMOS, C.G. *et al.* Caracterização de rocha vulcânica ácida para aplicação em rochagem. Comunicações Geológicas. n. 101, especial III, p.1161-1164, IX CNG/2º CoGePLiP, Porto, 2014(b).
26. SANTO, R. A.; LIRA,B. B e RIBEIRO, M. A. C. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. Revista Holos. Ano 28, Vol 5, p.125-135. 2011.
27. SANTIAGO, E. Q. R.; LIMA, P. R. L.; LEITE, M. B.; TOLEDO FILHO, R. D. Mechanical behavior of recycled lightweight concrete using EVA waste and CDW under moderate. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v.2, p.211-221. 2009.
28. SILVA, E.A. *et al*. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um solo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. R. Árvore, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.323-333.2008.
29. STAMFORD, N.P.; LIMA, R.A.; LIRA, M.A. & SANTOS, C.E.R.S. Effectiveness of phosphate and potash rocks with Acidithiobacillus on sugarcane yield and their effects in soil chemical attributes. World J. Microbiol. Biotechnol. p. 2061-2066.2008.
30. SWAINE, M.D.; WHITMORE, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. Vegetatio, 75:81-86.1988.
31. THEODORO S.H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. Academia Brasileira de Ciências,78(4): 721-730. Anais...2006.
32. THEODORO S. H. *et al*. Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization of the tucuruí degraded land for agroforest reclamation. Academia Brasileira de Ciências, 85(1):21-23. Anais...2013.
33. TREVISAN, D.C. *et al*. Avaliação dos indicadores de desenvolvimento do solo em áreas em recuperação. COPEC – Science and Education Research Council – SHEWC.2011.
34. WANG, J.G., ZHANG, F. S., ZHANG, X. L.; CAO. Y. P. Release of potassium from Kbearing minerals:

Effect of plant roots under P deficiency. In: HINSINGER, P. (edit.) Nutrient cycling in agroecosystems. Kluwer Academic Publishers. p. 45-52.2000.
35. WEST, D.C.; SHUGART, H.H.; BOTKIN, D.B. (Eds.) Forest succession: concepts and applications. New York: Springler-Verlag.1981.