



## 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<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mestrando do PPGECAm da Universidade de Caxias do Sul -UCS  
(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 é 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. 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 à 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. *Eichornia crassipes*. Impactos Ambientais.

Área Temática: Tema 12 - Resíduos sólidos.

### *Stonemeal with use of solid waste marble shops and organic waste of aquatic weeds in the recovery of degraded areas: Review*

### Abstract

Mining activities have significant impacts on the environment, for the development of this activity involves removal of vegetation, soil exposure to erosion processes with changes in the quantity and quality of surface and underground water resources, in addition to causing air pollution, among others negative. An alternative to the recovery of degraded areas is stonemeal, which basically consists of the incorporation of rocks / minerals to the soil. A major source of mineral waste for stonemeal is the processing industry of ornamental stones. The use of marble shops residues and organic waste, such as *Eichornia crassipes*, in partnership, can generate a rich substrate organic and mineral matter, composed of micro and essential macronutrients plant nutrition, promoting the recovery of degraded areas by mining, in particular providing an improved quality of the displayed subsoil by activity with consequent restoration of the site and closing cycle of the same mineral residue.

Keywords: Remineralization. *Eichornia crassipes*. Environmental Impact.

Theme Area: Theme 12- Solid waste.



## 1 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 SÁNCHEZ, 2010).

Pode-se considerar que geralmente toda atividade de mineração resulta em supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Desta forma, 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 a atividade de extração, sempre que possível (SILVA *et al.*, 2008).

Da mesma forma, o art. 1º do Decreto Federal nº 97.632, de 10 de abril de 1989, que regulamenta o art. 2º, VIII, da Lei Federal nº 6.938/81, 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). Considerando que as plantas necessitam de micro e macronutrientes, de fundamental importância são os estudos envolvendo a técnica da rochagem.

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. 3º (...)

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;

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

## 2 Metodologia

Este estudo constitui-se de uma revisão da literatura especializada, realizada entre setembro de 2015 e novembro de 2015, no qual se realizou uma 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.

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 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 (ALMEIDA e SÁNCHEZ, 2005).

No Brasil há exigência legal de recuperar áreas degradadas pela mineração, no entanto persistem dificuldades de ordem técnica e econômica para a recomposição adequada de áreas degradadas. Segundo Bitar (1997) os procedimentos descritos nos planos de recuperação muitas vezes não são seguidos na prática.

### 3.2 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 (GONÇALVES, 2000).



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).

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

### 3.3 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.

As rochas ornamentais comercialmente mais importantes são os granitos por ser mais resistente que o mármore, e sua cor não se alterar com intempéries (SANTIAGO *et al.*, 2015).

A rochagem é uma técnica que vem sendo utilizada 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. Outrossim, 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 minerais ao solo, sendo considerada como um tipo de remineralização, onde o pó de rocha é utilizado para reformular solos pobres ou lixiviados.

Experimento conduzido por Ramos *et al.* (2004), em Nova Prata, RS, a partir de resíduos de rochas vulcânicas ácidas, demonstrou 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 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; plantas de aguapé (*Eichornia crassipes*) e lodo de esgoto, proporcionando melhoramento nas condições químicas do subsolo e para as variáveis microbiológicas.

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.

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, a técnica pode apresentar vantagens, pois além de permitir que resíduos 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 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 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  $\text{SO}_4^{2-}$ , que é requerido em grandes quantidades pelas plantas, e seguido pela ação direta e indireta do  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sobre o pH do solo, especialmente para aplicação em solos de elevado pH (STAMFORD *et al.* 2008).

### *3.4 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.

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, foi revisada por Gonçalves (2000), a partir de outros trabalhos, demonstrando o alto teor de minerais presentes neste resíduo.

O processo industrial de produção de rochas ornamentais gera resíduos finos. 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.



### 3.5 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 necessário assim uma ação proativa neste sentido (PAVINATO e ROsolem, 2008).

Uma alternativa pode ser a utilização de resíduos orgânicos. Neste sentido, existe a possibilidade do uso de macrófitas aquáticas, as quais se tornam um problema onde ocorrem. 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.

Malavolta (1989) efetuou a determinação química dos micronutrientes e macronutrientes presentes na planta de *Eichhornia crassipes* com fins de utilização da mesma como adubo verde, considerando a sua viabilidade para tal fim, devido as altas concentrações de matéria orgânica e minerais.

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 alumínio pode haver complexação desse elemento com ânions orgânicos, tornando-o não tóxico para as plantas (PAVINATO e ROsolem, 2008).

Outro ponto considerável para a consociação 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 de vida microbiológica, potencializando os efeitos da remineralização e formação do solo (SILVA et al., 2008).

## 4 Conclusão

Diante do exposto a utilização de resíduos de marmorarias e resíduos orgânicos de *Eichhornia crassipes*, em consórcio, pode gerar um substrato rico em matéria orgânica e mineral, composto por nutrientes 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 promove uma melhoria da qualidade dos solos, sendo que em condições apropriadas os minerais dispostos permanecem por mais tempo, são absorvidos lentamente pelas plantas, promovendo retenção de água e recuperação do solo, seguindo os pressupostos do desenvolvimento sustentável.



## Referências

- 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.
- 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.
- 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. 184 p.
- 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](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm). Acesso em 07.09.2015.
- 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.
- 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.
- FERREIRA, A. C. B.; NUNES, E. C. D. Reaproveitamento e incorporação de resíduo de mármore em poliamida 66. **Revista eletrônica**. São Bernardo do Campo-SP. Disponível em: <http://revistaeletronica.sp.senai.br>. Acesso em: 10.10.2015.
- GARCIA JÚNIOR, O. Isolation and characterization of *Thiobacillus thiooxidans* and *Thiobacillus ferrooxidans* from mineral mines. **Rev. Bras. Microbiol.** 20, p. 1-6. 1991.
- 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.
- 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.
- 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.



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente  
Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

INSTITUTO BIOLÓGICO DE SÃO PAULO. **Controle de macrófitas aquáticas.** Disponível em: [http://www.biologico.sp.gov.br/artigos\\_ok.php?id\\_artigo=72#](http://www.biologico.sp.gov.br/artigos_ok.php?id_artigo=72#). Acesso em: 10.10.2015.

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.

MALAVOLTA, E. et al.. Sobre a composição mineral do aguapé (*Eichornia crassipes*) **An.Esalq**, Piracicaba, 46 (parte 1): 155-162, 1989.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

TREVISAN, D.C. et al. **Avaliação dos indicadores de desenvolvimento do solo em áreas em recuperação**. COPEC – Science and Education Research Council – SHEWC, 2011.

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.