

### III-345 – RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE ROCHAS COM OS PRÓPRIOS RESÍDUOS DO SEU BENEFICIAMENTO (ESTUDO DE CASO)

**Júlio César Simões Prezotti<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, ES, Brasil. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento Básico pela Universidade de São Paulo, Campus São Carlos, SP, Brasil. Consultor Sócio-Proprietário da Empresa Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Ltda, Vila Velha, ES, Brasil.

**Daniel Wernersbach Muzzi**

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, ES, Brasil. Analista Ambiental da Empresa Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Ltda, Vila Velha, ES, Brasil.

**Priscila Gonçalves da Silva**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, ES, Brasil. Analista Ambiental da Empresa Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Ltda, Vila Velha, ES, Brasil.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Henrique Moscoso, nº. 1.019 - Centro – Vila Velha - ES - CEP: 29.100-021 - Brasil - Tel: +55 (27) 3229-2671 - Fax: +55 (27) 3229-2671 - e-mail: [julio@manancialprojetos.com.br](mailto:julio@manancialprojetos.com.br).

#### RESUMO

O Presente Projeto, a qual visa a recuperação de área degradada pela mineração por meio do enclausuramento, em célula, da lama desidratada (teor de umidade abaixo de 30%) proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais, diferencia-se dos aterros industriais convencionais em vários aspectos. Além de garantir a deposição adequada dos resíduos oriundos do setor de mármore e granito, prevê a diminuição do impacto ambiental característico da implantação de aterros. Isso porque não houve necessidade de escavar uma célula, já que se trata de uma antiga cava de exploração de rochas para produção de britas, já desativada há vários anos. A deposição da Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO) nessa célula proporcionará o surgimento de uma nova jazida de futuros insumos para processos industriais, como construção de estradas, fabricação de cimento e de pré-moldados, a exemplo do que já acontece em países europeus, possibilitando, assim, uma Jazida Artificial de Resíduos Industriais (JARI). Ao fim da vida útil da célula de deposição da LBRO, será realizado um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), o qual prevê a recuperação do relevo topográfico originalmente existente por meio da recomposição das curvas de nível do terreno, finalizando com uma cobertura vegetal superficial de acordo com as condições atuais existentes no seu entorno (pastagem para bovinos). Outra vantagem refere-se ao investimento financeiro necessário para sua implantação: cerca de 30% dos custos de implantação de um aterro convencional de mesmo porte e com a mesma finalidade. Pioneiro no Estado do Espírito Santo - Brasil, a JARI, localizada na cidade de Nova Venécia, noroeste do Estado, nacionalmente conhecida como a Capital Nacional do Granito, possui área de 6.000 m<sup>2</sup> e capacidade para receber 80.000 m<sup>3</sup> de LBRO. Sua operação visa, além de auxiliar os empreendedores do setor de rochas ornamentais a destinar seus resíduos de forma ambientalmente sustentável, servir de modelo conceitual a ser utilizado no setor de rochas para a recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração, tendo em vista a existência significativa de áreas com esse potencial no Espírito Santo e no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rochas ornamentais, lama abrasiva, área degradada, jazida artificial.

#### INTRODUÇÃO

No Brasil, mais de 90% dos investimentos do parque industrial do setor de rochas ornamentais são realizados no Estado do Espírito Santo, o qual é responsável por 65% das exportações do país e 50% da produção de todo o mercado nacional, configurando-se no líder absoluto na produção nacional de rochas. Em consequência, verifica-se que o volume de resíduos gerados pelo beneficiamento de rochas ornamentais, incluindo mármore e granitos, é bastante significativo. Dentre esses resíduos, destaca-se a Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO) que, em geral, é descartada em córregos, ravinas, lagos e rios, havendo a formação de grandes depósitos a céu aberto que afetam esteticamente a paisagem (Figuras 1 e 2). A lama do desdobramento dos blocos, enquanto fluida, afoga plantas e animais e deprecia o solo. Quando seca, o pó resultante se espalha,

contaminando o ar, os recursos hídricos e causando danos à saúde de homens e animais (MENEZES et al., 2002).



**Figura 1: Degradação do solo e da paisagem causada pela disposição inadequada de LBRO.**



**Figura 2: Degradação do solo e paisagem causada pela disposição inadequada de LBRO.**

Observa-se que, se por um lado a atividade de exploração e beneficiamento de Rochas Ornamentais causa um extenso impacto ambiental, por outro ela não pode ser simplesmente paralisada devido a sua importância econômica para o Estado e para o País, sendo necessária, portanto, a busca de soluções técnicas que viabilizem a sustentabilidade ambiental do setor.

Neste contexto, destaca-se a importância do presente trabalho - pioneiro no Espírito Santo - que busca aliar a necessidade de recuperação de uma área anteriormente degradada pela mineração de rochas, com a necessidade de construção de células de aterro industriais para os resíduos do beneficiamento das mesmas. Dessa forma, resolver-se-á dois problemas concomitantemente, e ainda será possível a formação de uma nova jazida de futuros insumos para processos industriais como construção de estradas, fabricação de cimento e de pré-moldados, a exemplo do que já acontece em países europeus, possibilitando, assim, o surgimento de uma Jazida Artificial de Resíduos Industriais (JARI).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização qualitativa da Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO)**

A caracterização qualitativa da LBRO foi realizada com base na NBR 10.004/04 – Resíduos Sólidos/Classificação, por meio de amostragens em lamas fluidas desidratadas provenientes do processo de desdobramento de rochas ornamentais coletadas em três empresas de beneficiamento de rochas em operação no município de Nova Venécia, ES. Foram analisados os metais pesados existentes nos extratos lixiviados (NBR 10.005/2004) e no extrato solubilizado (NBR 10.006/2004) da LBRO, e o pH das amostras coletadas, cujos resultados foram utilizados como referência para a elaboração do presente projeto. Os resultados obtidos nas análises laboratoriais efetuadas indicam a classificação dos resíduos semi-sólidos desidratados (lama fluida desidratada – Figura 3) como Classe II-A.



**Figura 3: LBRO submetida à desidratação por filtro prensa (umidade inferior a 30%).**

### Caracterização quantitativa da Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO)

A caracterização quantitativa da LBRO foi realizada com base na lama abrasiva desidratada resultante do processo de serragem e submetida a um processo de desidratação até uma umidade inferior a 30%. Este é o principal resíduo, em termos quantitativos e qualitativos, resultante do processo de beneficiamento de rochas ornamentais.

Considerando as dimensões dos blocos de granito em termos de valores médios (Tabela 1), as características operacionais dos teares (Tabela 2) e os insumos utilizados no processo de serragem (Tabela 3) foi determinada a quantidade de lama abrasiva gerada em cada serrada. Estes dados estão de acordo com o levantamento de campo realizado através de entrevistas com funcionários das empresas com experiência na operação do processo de beneficiamento de rochas ornamentais.

**Tabela 1: Dimensões médias dos blocos de rochas ornamentais.**

Dimensões	Valores médios
Comprimento (C)	2,90m
Largura (L)	2,40m
Altura (H)	1,80m
Peso do bloco (P)	33t
Massa específica do bloco (M)	2,63t/m <sup>3</sup>

**Tabela 2: Características operacionais médias dos teares.**

Características	Valores médios
Número de lâminas (n)	75
Número de chapas (N)	74
Espessura média das chapas (E)	2,00cm
Largura dos casqueiros (Lc)	8,00cm
Número serrada por tear/mês (Nt)	8

Para cada serrada, a perda de rocha no corte das chapas ( $P_{rocha}$ ) é correspondente a 31,6%, conforme demonstra a equação 1:

$$\left. \begin{aligned} L - (2 \times Lc) &= X \\ X - (N \times E) &= Y \\ (Y \times H \times C) &= Z \\ P_{rocha} &= Z \times M \end{aligned} \right\} \text{equação (1)}$$

Assim, temos  $P_{rocha} = 10.441\text{Kg}$ .

Acrescentando-se ainda os insumos utilizados para cada serrada de bloco de rochas, tem-se:

**Tabela 3: Quantidades médias de insumos utilizados em uma serrada.**

Insumos	Valores médios
Granalha (Gra)	420Kg
Cal (Cal)	300Kg
Cimento (Cim)	25Kg
Argila (Arg)	15Kg
Lâminas de aços	1 Jogo com 75 lâminas com peso 15 kg/lâmina gasto em cada 4 serradas

Considerando:

- Peso de lâmina nova: 15Kg
- Peso da lâmina usada: 5Kg
- Perda no desgaste do corte ( $P_{corte}$ ): 10Kg
- Vida útil da lâmina: 1 jogo de 75 lâminas (Lam) a cada 4 serradas (S)

Chega-se à perda de lâmina por serrada ( $P_{lam}$ ) por meio da equação 2:  $P_{lam} = (Lam \times P_{corte})/S$  equação (2)

Assim,  $P_{lam} = (75 \times 10)/4 = 187,5 \text{ Kg}$

O peso total dos res. sólidos gerados por serrada que irão compor a lama fluida ( $P_{tot}$ ) é dado pela equação 3:

$$P_{tot} = (P_{rocha} + Gra + Cal + P_{lam} + Cim + Arg) \quad \text{equação (3)}$$

Assim,  $P_{tot} = (10.441\text{Kg} + 420\text{Kg} + 300 \text{ kg} + 187,5\text{Kg} + 25 \text{ Kg} + 15 \text{ Kg}) = 11.388,5 \text{ Kg/serrada}$

Considerando-se o acréscimo nesse valor devido à umidade proveniente da água utilizada como veículo dos insumos e para resfriamento das lâminas, e após passar por um sistema de desidratação resultando em uma umidade entre 16% e 30%, o peso total da lama abrasiva desidrata gerada por serrada é dado pela equação 4.

$$P_{LBRO} = P_{tot} \times 1,16 \text{ e } P_{LBRO} = P_{tot} \times 1,30 \quad \text{equação (4)}$$

Assim, Média  $\approx 14.007,86 \text{ Kg/serrada}$ .

### Caracterização da área

A célula utilizada para deposição da LBRO é resultante do processo de extração de rocha para fabricação de britas, ocorrido há anos e atualmente finalizado, sendo que o fundo e as laterais da referida célula foram esculpidos na rocha durante essa extração, ficando uma única abertura de acesso.

A rocha escavada (Figura 4) possui área superficial de cerca 6.214,84 m<sup>2</sup>, com cota de terreno no seu fundo praticamente plana de 97,55 metros e cota na altura máxima de 120,00 metros, ou seja, com uma profundidade de 22,45 m no ponto mais alto. Essas características resultaram em um dos fatores determinantes para escolha da área, tendo em vista os altos custos de escavação de células para aterro, além da necessidade de localizar áreas propícias para implantação de bota fora do material escavado.



**Figura 4: Área degradada por mineração no Município de Nova Venécia, ES.**

Levantamentos planialtimétricos e estudos de sondagem geotécnica, visando a caracterizar o tipo de solo e o nível do lençol freático no entorno do empreendimento, indicaram a não existência de lençol freático. Esse fato está relacionado à área em questão ser resultante de uma antiga área de mineração, extração de rocha para fabricação de brita, sendo, portanto, o fundo da área da célula e toda área do seu entorno em um raio de 200 metros constituídos de rocha.

Essas características específicas da área proporcionam condições ideais quanto à locação de aterro em relação ao lençol freático, visto que a NBR 13.896/1977 sugere que a base do aterro seja 3,0 metros acima do nível d'água no período de maior precipitação, fato esse que será atendido facilmente devido a base da célula estar esculpida na rocha.

O recurso hídrico mais próximo é uma lagoa artificial existente, construída a uma distância horizontal de cerca 60,0 metros da parte mais próxima da referida célula (base do talude), utilizada para dessedentação animal, e para captação de água por meio de caminhão tanque pela empresa de mineração em operação próximo ao local do aterro, para umectação de suas vias de acesso e pátios de estocagem de brita.

### Vida útil

Para o cálculo da vida útil da célula de resíduos foi considerado o quantitativo mensal recebido pela Central de Tratamento de Resíduos do Beneficiamento de Rochas Ornamentais de Nova Venécia – CTR Nova Venécia, em operação no Pólo Agroindustrial existente distante cerca de cinco (05) quilômetros da presente célula, ao longo de um ano, no período de abril de 2007 e abril de 2008, quando foram recebidos cerca de 1.100,00m³/mês de LBRO.

Segundo informações obtidas, cerca de 90 % das empresas de beneficiamento de rochas de Nova Venécia destinam seus resíduos para a CTR-NV na forma fluida, a qual a desidratada por meio de sistema constituído de filtro prensa reduzindo o teor de umidade na faixa de 20%, o que possibilita um cálculo da vida útil bem próximo da realidade, caso o presente aterro industrial venha a receber todos os resíduos desidratados pela CTR-NV.

De posse dos dados apresentado na Tabela 04, da massa específica da LBRO e da capacidade volumétrica da célula, pode-se estimar a vida útil de operação do aterro como descrito a seguir (equação 5).

Volume anual de LBRO:  $V_{\text{anual}} = V_{\text{mensal}} \times 12$  equação (5)

Assim,  $V_{\text{anual}} = 13.200 \text{ m}^3$

Sendo a volume útil ( $V_{\text{útil}}$ ) do aterro igual a 81.270,01 m³, tem-se uma vida útil para a célula de 6,20 anos. Considerando peso o específico da LBRO desidratada entre 16 e 30% de umidade igual a  $\rho = 1,65 \text{ g/cm}^3$  ( $\rho = 1.650 \text{ Kg/m}^3$ ), e o volume total da célula de 81.270,01 m³, tem-se (equação 6):

$\rho = m/V$  equação (6)

Logo,  $m = 134.095,517 \text{ t}$ , sendo essa a capacidade de recebimento de resíduos pela célula de LBRO durante os 6,20 anos previstos de funcionamento.

### Sistemas de controle ambiental e monitoramento ambiental

Na área do aterro foram construídos dispositivos de controle ambientais para implantação da única célula de resíduos proposta (calhas de escoamento das águas superficiais, talude de contenção dos resíduos, captação das águas superficiais precipitadas no interior das células, dentre outros).

O monitoramento ambiental consistirá na caracterização físico-química periódica da qualidade da água superficial da lagoa existente próxima à célula, e das águas coletadas no interior da célula proveniente das águas pluviais precipitadas no seu interior. Esse monitoramento indicará eventual contaminação do corpo hídrico receptor local mais próximo ao empreendimento. Não foi possível a instalação de poços de monitoramento do lençol freático à montante e à jusante da célula, tendo em vista ser todo o seu entorno constituído de rochas. No caso das águas pluviais coletadas no interior da célula, serão direcionadas à CTR-NV para o devido tratamento, cujos custos serão devidamente pagos conforme os preços em vigência da referida Central de Tratamento.

### RESULTADOS OBTIDOS

A célula de resíduos (Figura 5) iniciou sua operação no Município de Nova Venécia no mês de julho de 2.009, quando obteve a Licença de Operação (L.O.) do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA.



Até a presente data (março/2011), a presente célula de resíduos já recebeu cerca de 10.000 m<sup>3</sup> de resíduos, o equivalente a 12% do volume calculado para seu preenchimento total visando à recuperação da área degradada.



**Figura 5: Célula com os resíduos depositados entre julho/2.009 e março/2.011.**

Os resíduos chegam em caminhões basculantes, os quais descarregam os resíduos em uma rampa construída para essa finalidade situada na parte superior da célula, conforme indicação nas Figuras 6 e 7. Para tanto, foram empregados mecanismos de segurança para realização adequada da atividade.



**Figura 6: Acesso à rampa de descarregamento de resíduos, situada na parte superior da célula. Detalhe das sinalizações referentes à segurança para a realização dos serviços.**



**Figura 7: Caminhão sendo basculado para deposição de resíduos no interior da célula.**

Os controles ambientais são realizados semestralmente, conforme solicitações das condicionantes da L.O. obtida junto ao IEMA, de modo a monitorar a água da lagoa artificial e das águas pluviais precipitadas e acumuladas no interior da célula (Figura 8). Em relação à água da lagoa artificial, os resultados já obtidos com os monitoramentos realizados indicam que todos os parâmetros analisados encontram-se dentro dos limites aceitáveis pelas normatizações pertinentes a esses tipos de líquidos. Em relação às águas acumuladas no interior da célula, os resultados já obtidos indicam valores elevados para a salinidade do líquido, o que comprova a impossibilidade de lançá-lo diretamente no meio ambiente. Destaca-se ainda o fato de que o líquido acumulado no interior da célula somente ocorre após a incidência de chuvas, e que esse acúmulo dá-se temporariamente já que a Região Norte do Estado, a qual contempla o Município de Nova Venécia, é caracterizada por ser uma área com déficit hídrico. Desse modo, a evaporação ocorre de forma rápida, não tendo sido necessário, até o presente momento, o envio de líquidos para empresas de beneficiamento de rochas de Nova Venécia.



**Figura 8: Coleta de amostras de água no interior da célula ocasionadas após a incidência de chuvas no local, para realização de análises laboratoriais.**

Em relação ao encerramento da célula, uma vez atingida a cota final de aterramento, ou seja, ao se atingir o relevo original das cotas de nível do terreno natural diminuindo-se uma altura de 0,50 metros referente à colocação de argila/solo orgânico para plantio das gramíneas, conforme levantamento planialtimétrico realizado, serão dadas por encerradas as atividades de operação do aterro, quando deverá proceder-se a continuação do Plano de Recuperação da Área Degradada.

O uso futuro proposto para a área do aterro após o encerramento da célula de resíduos será para pastagem de gado bovino, conforme solicitação do proprietário do local e de acordo com a finalidade a que se destina a propriedade rural e do tipo da vegetação já existente no entorno. Essas medidas primam pela preservação ambiental e pela recuperação do impacto visual, além da proteção superficial do solo contra a erosão superficial e preservação das características da paisagem natural da região.

As Figuras 9 e 10 apresentam a situação da área degradada anterior à deposição de resíduos, e o resultado final prevista a ser obtido após o encerramento da célula de resíduos com a recomposição vegetacional do local.



**Figura 9: Situação da área degradada anterior à deposição de resíduos.**



**Figura 10: Fotomontagem da área degradada após o encerramento futuro da célula de resíduos e a recomposição vegetacional.**

## CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados e nos resultados positivos que vem sendo obtidos, o presente trabalho proporcionará a recuperação de uma área degradada pela mineração; a implantação de um aterro industrial em que não foi necessária a escavação de célula, o que diminuirá o impacto ambiental desse tipo de empreendimento; e a formação de uma jazida artificial para uma possível utilização futura como insumo de novos processos industriais.

Destaca-se que, além dos benefícios ambientais apresentados, o presente aterro industrial apresenta indicadores financeiros bastante favoráveis à sua implantação, que, incluindo instalações físicas, projetos e licenciamentos ambientais, resultou em um custo de implantação de aproximadamente 30% dos custos necessários para

implantação de um aterro convencional de mesmo porte e com a mesma finalidade. Ainda, o caráter diferenciado proposto para o tipo de disposição final de resíduos amplia a possibilidade para o recebimento de outros tipos de resíduos não perigosos, e é o que vem acontecendo atualmente nesse aterro industrial, com os estudos que estão sendo realizados para o recebimento de resíduos provenientes de Sistema de Tratamento de Efluentes Industriais (STEI) de lavanderias Classe II-B e provenientes da perfuração de poços de petróleo *onshore* Classe II-A.

Nesse sentido, a proposta apresentada pode servir de modelo conceitual a ser utilizado no setor de rochas para a recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração, tendo em vista a existência significativa de áreas com esse potencial no Espírito Santo e no Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: *Resíduos Sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro. 2004.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10005. *Lixiviação de resíduos - Procedimento*. Rio de Janeiro. 2004.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10006. *Solubilização de resíduos - Procedimento*. Rio de Janeiro. 2004.
4. MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. de A., FERREIRA, H. C. (2002). Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. *Cerâmica* [online], 48 (306), 92-101. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132002000200008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132002000200008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 16 ago. 2010.