



## Disposição de estéreis de mineração no contexto da exploração de rochas ornamentais e de revestimento no Estado do Espírito Santo

Yolacir Carlos de Souza Santos<sup>1</sup>

### RESUMO

Como qualquer outra atividade econômica, a extração de rochas ornamentais e de revestimento provoca no meio ambiente onde se insere diversos impactos no meio físico, biótico e antrópico (sócio-econômico), sendo em sua maioria negativos. Estes, de uma maneira geral, são funções diretas da fase do empreendimento minerário (prospecção, exploração, lavra e recuperação ambiental), contudo, muitos destes acompanham todo o ciclo de vida do empreendimento. Neste sentido, uma grande preocupação do setor de rochas ornamentais diz respeito à gestão dos resíduos gerados, e em última instância, aos métodos mais adequados para a disposição deste material. Assim sendo, e a partir da análise das informações de fiscalizações realizadas nos empreendimentos do Espírito Santo, buscou-se a caracterização da metodologia da disposição de estéril que vem sendo adotada pelo setor, e os principais impactos técnicos, econômicos e ambientais. Desta forma, restou verificado que a maior parte das minas realizam a disposição do estéril pelo método de aterro em encosta, o que traz diversos prejuízos operacionais e ao meio ambiente, sendo o método de pilhas ainda exceção no contexto mineral das rochas ornamentais e de revestimento.

**Palavras-chave:** Mineração. Rochas Ornamentais. Disposição de Estéreis.

---

<sup>1</sup>Graduado em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Possui Especializações em: Segurança do Trabalho; Geoprocessamento e Georreferenciamento; Gestão, Licenciamento e Auditoria Ambiental. Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Trabalha na Agência Nacional de Mineração – ANM, ES, Brasil. E-mail: yolacir@yahoo.com.br.

## ***Disposal of mining wastes in the context of the exploitation of dimensional stones in the State of Espírito Santo***

### **ABSTRACT**

*Like any other economic activity, the extraction of dimensional stones causes several environmental impacts in the physical, biotic and anthropic (socio-economic) environment, most of which are negative. These, in general, are direct functions of the mining project phase (prospecting, exploration, mining and environmental recovery), however, many of these accompany the entire life cycle of the project. In this sense, a major concern of the dimensional stone sector relates to the management of waste generated, and ultimately, the most appropriate methods for the disposal of this material. In this sense and based on information from inspections carried out in enterprises in Espírito Santo, an attempt was made to characterize the methodology for the disposal of waste material that has been adopted by the sector, and the main technical, economic and environmental impacts. In this way, it was verified that most of the mines carry out the disposal of the wastes by the method of Sidehill Fill, which brings several operational and environmental damages, being the method of Heaped Fill still exception in the mineral context of dimensional stones.*

**Keywords:** Mining. Dimensional Stones. Waste Disposal.

Artigo recebido em: 30/03/2023

Aceito em: 07/08/2023

## 1. INTRODUÇÃO

A atividade de mineração está atrelada a imensos desafios relacionados a questões econômicas, sociais e ambientais. Embora possa ser considerada uma atividade que proporciona empregos e riquezas para uma determinada região, também se caracteriza pelos seus inúmeros impactos ambientais. Estes estão relacionados à depleção de recursos não renováveis, problemas relacionados à saúde dos trabalhadores e comunidades ao entorno do empreendimento, e recentemente, por grandes desastres ambientais e sociais vinculados a rompimentos de estruturas de barragem de disposição de rejeitos (HEENETIGALA *et al.*, 2015).

Dentro deste contexto, e adentrando a vocação mineral capixaba, insta destacar que a exploração de rochas ornamentais e de revestimento (RO's) possui algumas características diferenciadas em relação às commodities minerais. De uma forma geral, é caracterizada como uma atividade que possui baixa intensidade tecnológica, reduzida exigência em termos de escala mínima de produção, caráter exógeno de inovação e apresenta a capacidade empreendedora do dirigente como fator crítico para a competitividade (SPÍNOLA; GUERREIRO; BAZAN, 2004).

Os impactos ambientais da atividade de exploração se iniciam na fase de prospecção e pesquisa mineral, prosseguindo em todo seu ciclo de vida. Contudo, os maiores impactos ambientais da atividade referem-se à fase da lavra propriamente dita, relacionados, dentre outros, a processos erosivos, carreamento de partículas sólidas para corpos hídricos a jusante do empreendimento, alteração paisagística, ruído, vibração, partículas em suspensão, contaminação do solo por graxas e óleos, contaminação de corpos hídricos com óleos, graxas, dejetos humanos, disposição de grande quantidade de estéreis etc. (SANTOS, 2016).

Neste sentido, um dos grandes problemas que assombra o setor das RO's diz respeito à quantidade de estéreis gerados durante a etapa de lavra. Especificamente sobre esta questão, Careddu (2019) assevera que apenas 49% de todo o material extraído *in situ* na jazida é efetivamente transformado em blocos comercializáveis; e deste total, 59% é transformado em produto, após a etapa de beneficiamento, fazendo com que o aproveitamento global da atividade atinja recuperações de apenas 29%.

Dentro deste contexto, a disposição de estéreis torna-se de fundamental importância para o setor, principalmente em face das restrições ambientais, regulatórias e mesmo operacionais. Assim, e considerando a importância da atividade mineral para a economia

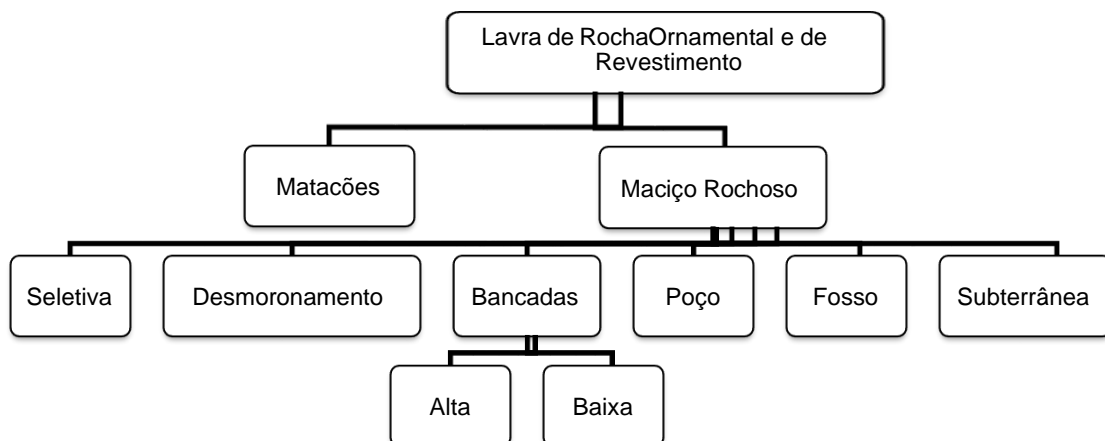
capixaba, faz-se necessário buscar o entendimento da atual situação do setor extrativo de RO's no que se refere às técnicas de disposição de estéreis que têm sido aplicadas nas operações mineiras. Isto posto, o objetivo deste artigo reside na descrição, a partir dos dados de vistorias realizadas no âmbito das atribuições do órgão responsável pela gestão do patrimônio mineral brasileiro, da configuração das técnicas de disposição de estéreis que vêm sendo adotadas nas atividades de exploração de RO's no contexto do Estado do Espírito Santo, segundo a classificação da BC Mine Waste Rock Pile Research Committee (1991).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Metodologia de lavra e principais operações unitárias das atividades de exploração de RO's

Segundo Vidal, Azevedo e Castro (2014), a extração de RO's consiste em uma atividade que tem como objetivo a remoção de material útil ou economicamente aproveitável, a partir de maciços rochosos e/ou matacões, tendo como produto desta, blocos de arestas com dimensões variáveis, visando o ulterior aproveitamento, a partir de etapas posteriores de beneficiamento. Com relação à metodologia da lavra, a extração mineral pode ser classificada como céu aberto ou subterrânea, com predominância em nosso país de atividades de lavra pelo método a céu aberto. Reis e Sousa (2003) sugerem a subdivisão, em relação à forma do jazimento mineral (maciço rochoso ou matacões), nos termos destacados na Figura 1.

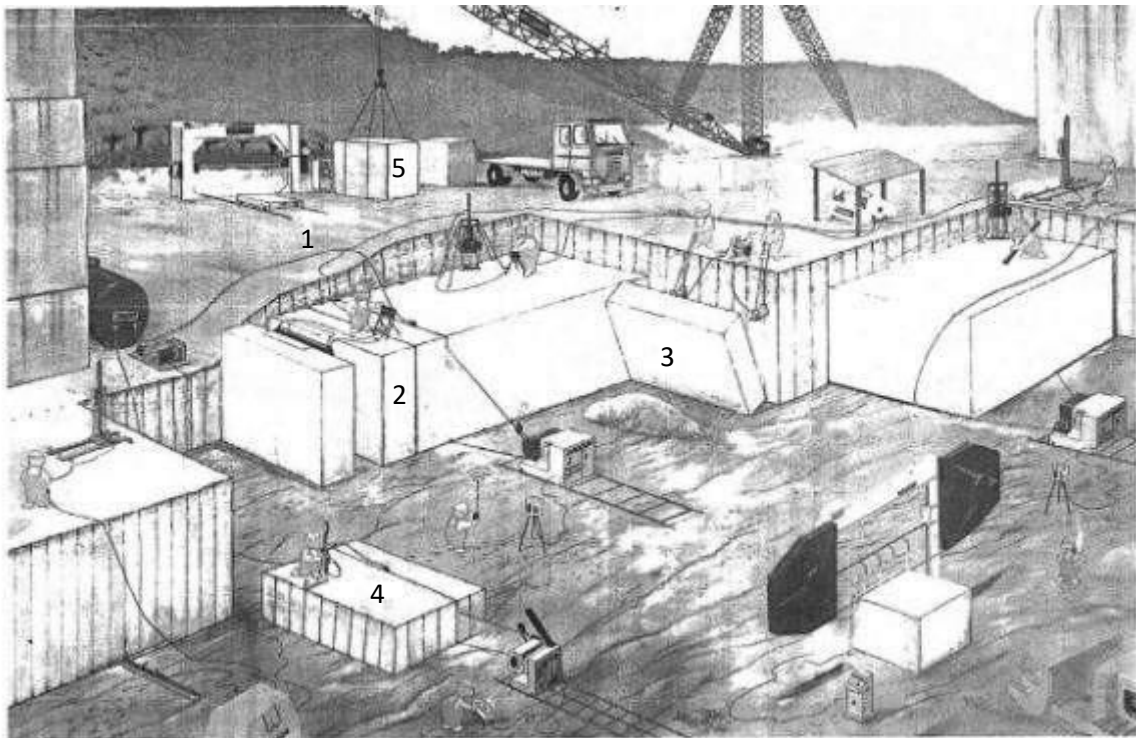
**Figura 1:** Esquema simplificado das metodologias de lavra de rochas ornamentais



**Fonte:** Adaptado pelo autor a partir de Reis e Sousa (2003).

O seu ciclo de operações pode ser subdividido nas seguintes etapas unitárias: decapeamento do maciço rochoso/matacão, desmonte primário (separação do "filão" do seio da rocha), tombamento do filão, desmembramento da prancha em blocos e movimentação/içamento destes para os locais de armazenamento, para posterior transporte para unidades de beneficiamento (MAIOR, 2013). Para maior entendimento, encontram-se destacadas na Figura 2 as principais operações unitárias de uma exploração de RO's.

**Figura 2:** Desenho esquemático das principais operações unitárias de uma atividade extrativa de RO's



Legenda: (1)- Decapeamento; (2)- Desmonte Primário; (3)-Tombamento do "filão"; (4)- Desmembramento da prancha em blocos; (5)- Içamento de blocos.

Fonte: Instituto Geológico Y Minero De España (2003).

## 2.2 Geração de estéreis na atividade de exploração de RO's: estimativas de volumes e principais causas

Strzałkowski (2021) destaca que tem sido verificado a nível mundial o aumento da produção das RO'S, e por conseguinte, o aumento dos estéreis gerados nas atividades. Tal situação vem ocasionando diversos impactos ambientais nos países produtores de RO's.

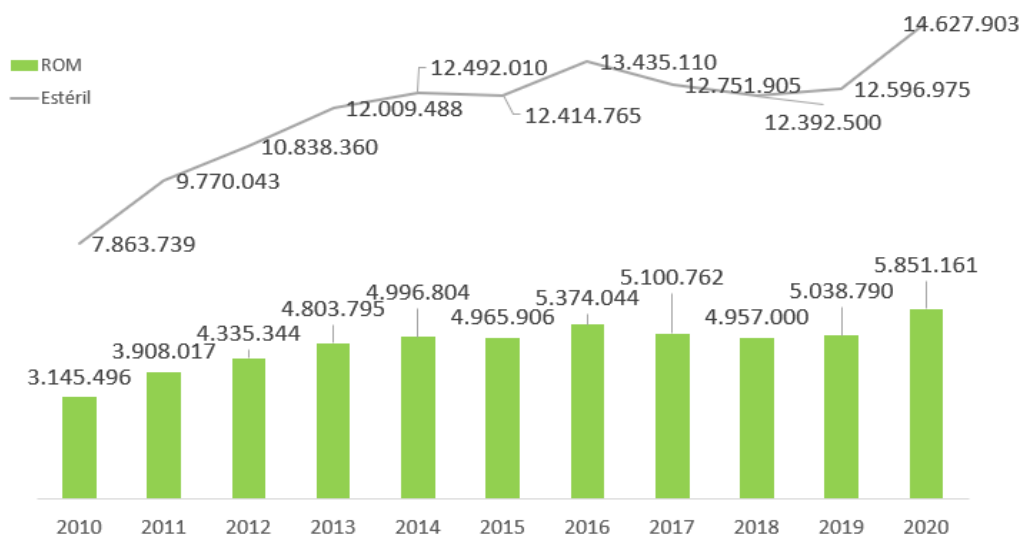
Dados da Agência Nacional de Mineração (ANM) apontam que na última década a produção mineral de RO's do Brasil teve um aumento da ordem de 33,20% (AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2023). Zagôto (2016) destaca, segundo estudos

realizados por empresas do setor, que entre 40% e 60% de todo o material explotado é considerado estéril. Ainda nesta temática, Reis *et al.* (2020) destacam que a recuperação (aproveitamento da lavra) depende da tipologia de rocha a ser extraída, podendo variar de 7% a 60%, valor este também verificado em Andrade (2021).

De uma forma ampla, os estéreis de uma lavra de RO's são constituídos de solos provenientes do decapeamento da jazida, rochas intemperizadas, e a maior parte, proveniente de fragmentos de rochas devido à “imperfeição” do material explotado e de aspectos vinculados às características geomecânicas das rochas naturais ou induzidas pelas operações mineiras (ANDRADE, 2021).

Para fins de entendimento da questão, destaca-se na Figura 3 a produção mineral, em termos de ROM, de RO's no período compreendido entre 2010 e 2020; e a projeção de geração de estéril neste mesmo intervalo, considerando uma recuperação de 40%.

**Figura 3:** Produção de RO's no período de 2010 a 2020 e estimativas de geração de estéreis



**Fonte:** Elaborado pelo autor a partir de Agência Nacional de Mineração (2023).

Vagnon *et al.* (2020) destacam que a atividade de exploração de rochas ornamentais deve priorizar, na busca da sustentabilidade, dentre outras, as seguintes ações:

- ✓ Conhecimento dos recursos minerais para o planejamento adequado visando o usadas terras e a gestão adequadas dos processos produtivos;
- ✓ Redução da geração de estéreis na extração das rochas através da adoção de melhores práticas disponíveis, e a busca por tecnologias/mercados que permitam a utilização dos estéreis através de subprodutos e;

- ✓ Garantia da sustentabilidade nas operações unitárias da extração com a minimização dos impactos ambientais, através de um planejamento de lavra adequado, que aborde além das questões operacionais, as atividades de recuperação da área degradada e o posterior fechamento da mina.

Acerca da questão da gestão de estéreis no contexto das RO's, Papantonopoulos *et al.* (2007) destacam que o seu principal objetivo tem que estar assentado na redução dos volumes gerados durante a atividade de mineração. Neste contexto, a hierarquia do gerenciamento deve priorizar a redução da produção de estéreis em uma primeira instância; posteriormente, a recuperação dos estéreis através de reciclagem, reuso ou por outros processos disponíveis, e em última instância, a disposição segura de fato dos “estéreis”.

Jalalian, Bagherpour e Khoshouei (2021) asseveram que um dos principais fatores associados à recuperação da lavra de RO's, e conseqüentemente, com a quantidade gerada de estéreis, refere-se às questões vinculadas à geomecânica dos corpos minerais, sejam estes referentes a estruturas existentes (fraturas, juntas e outros) ou decorrentes das tensões geradas durante a etapa de lavra propriamente dita. Para a minimização do impacto destes fatores na recuperação da lavra, os autores sugerem a realização de mapeamento geológico e utilização de ferramentas como o *Ground Penetration Radar* (GPR) para mapeamento de descontinuidades não visíveis, de modo a fornecer informações para um planejamento de lavra que permita nortear as atividades de exploração de forma maximizada. Por outro lado, é importante destacar que questões vinculadas ao mercado, e/ou presença de lineações minerais (“mulas”) ou veios também contribuem com as baixas recuperações verificadas no setor das RO's (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013).

Noutro turno, em relação ao reuso do material, pode ser citado o estudo de Zagôto *et al.* (2015), que realizaram a caracterização do estéril da exploração de RO's da região noroeste do Espírito Santo, concluindo na viabilidade técnica para uso deste material como insumo para construção civil. Por sua vez, Silva e Castro (2016), utilizando ferramentas de georreferenciamento, identificaram possíveis potenciais para o aproveitamento de estéreis na duplicação da BR 101 no contexto capixaba. Por outro lado, Lenke (2017) verificou, utilizando-se testes de caracterização tecnológica, que o estéril de uma determinada extração de RO's da região noroeste do Estado do Espírito Santo não apresentou características que o credenciasse na utilização como agregado para construção civil.

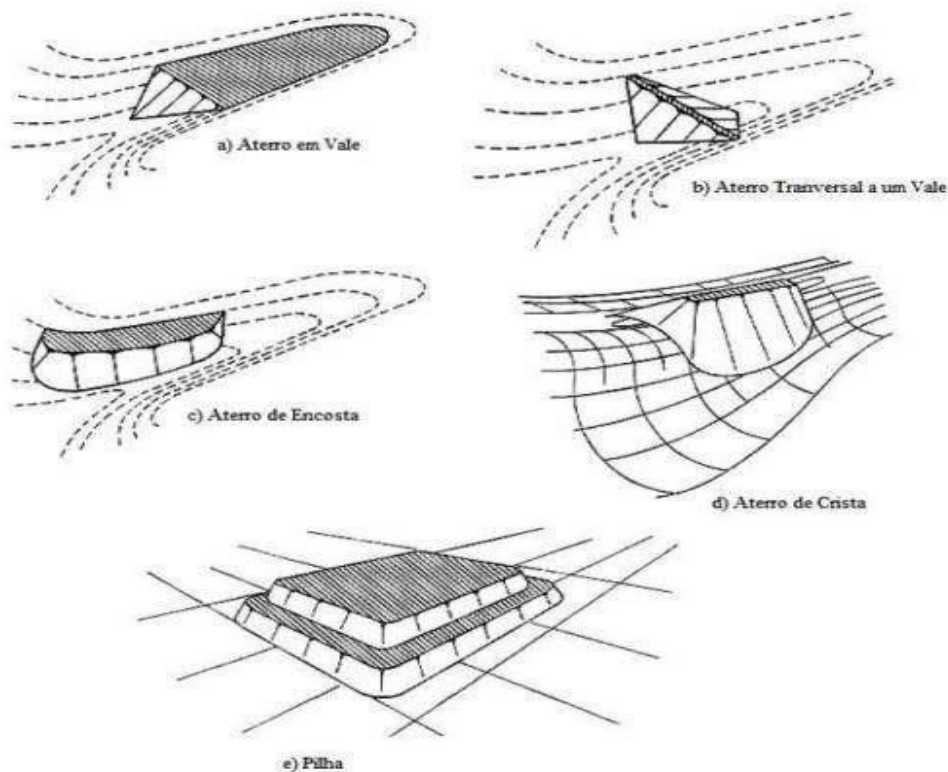
### 2.3 Técnicas de disposição de estéreis

Segundo definição da NBR 13029:2017 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estéril da mina é definido como “todo e qualquer material não aproveitável economicamente, cuja remoção se torna necessária para a lavra de minério” e disposição de estéril em pilhas definido como “formação de pilhas com o estéril de forma planejada, projetada e controlada” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Por sua vez, a Norma Reguladora de Mineração (NRM) nº 19 trata, dentre outras temáticas, da disposição de estéril, e assim como a NBR 13029:2017, traz como exigências a necessidade de estudos geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2001).

Faria (2016) assevera que a elaboração do projeto da disposição de estéril inicia-se com a estimativa do volume e a tipologia do material a ser empilhado. Ademais, e segundo a mesma autora, a definição do local onde será construída e/ou disposto o material estéril deverá ser precedida, além dos estudos destacados na NRM 19, de análises que envolvam aspectos ambientais, econômicos e regulatórios.

**Figura 4:** Classificação das tipologias de disposição de estéril



**Fonte:** BC Mine Waste Rock Pile Research Committee (1991).



A BC Mine Waste Rock Pile Research Committee (1991), baseada nos estudos de OSM (1989), Taylor e Greenwood (1981), Wahler (1979) e outros, propôs a classificação dos locais de disposição de estéreis, quanto a seu tipo, em aterro em vale, aterro transversal a um vale, aterro em encosta, aterro de crista e pilha, consoante ao destacado na Figura 4.

Cabe destacar que a obra denominada “Mined Rock and Overbuden Piles” apresentada pelo governo canadense pela BC Mine Waste Rock Pile Research Committee (1991), além de uma proposta de classificação quanto a sua tipologia, traz uma metodologia que permite a avaliação ponderada dos fatores que podem afetar a estabilidade física de uma pilha. Quanto ao método construtivo, a disposição de estéril pode ocorrer de forma ascendente ou descendente, contudo, de forma geral, o método ascendente, do ponto de vista de estabilidade, apresenta melhores resultados; conquanto, algumas alternativas como exemplo o uso do “*wrap-arounds*” podem melhorar consideravelmente a estabilidade da disposição realizada de forma descendente (ARAGÃO, 2008).

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente artigo, segundo a classificação proposta por Prodanov e Freitas (2013), pode ser definido como de natureza aplicada, e em seu objetivo, definido como pesquisa descritiva. Gil (2002) assevera que as pesquisas descritivas têm como objetivo a descrição das características de um fenômeno ou população, e a partir de então, buscam o estabelecimento de correlações entre variáveis. Por sua vez, a metodologia de coleta pode ser considerada não probabilística, uma vez que a seleção da amostra foi realizada a partir dos dados de fiscalização, e não através de procedimentos aleatórios.

O procedimento de coleta do trabalho foi realizado com base no histórico de 11 (onze) anos de vistorias realizadas no âmbito do setor de fiscalização do DNPM/ANM nas empresas de extração de RO's do Estado do Espírito Santo. No período compreendido entre 2011 e 2022 foram realizadas mais de uma centena de vistorias em minas de exploração de RO's. Contudo, muito das vistorias foram realizadas em mais de uma vez em uma determinada área, motivo pelo qual, foram avaliados o método de disposição de apenas 45 minas.

Os dados foram adquiridos a partir da leitura dos relatórios de vistoria constantes nos autos dos processos minerários (parte física e eletrônica) referente às exploração das RO's. Foram coletadas as informações referentes à localização das minas (coordenadas UTM), a descrição da disposição de estéreis e a tipologia do material extraído quanto à sua coloração

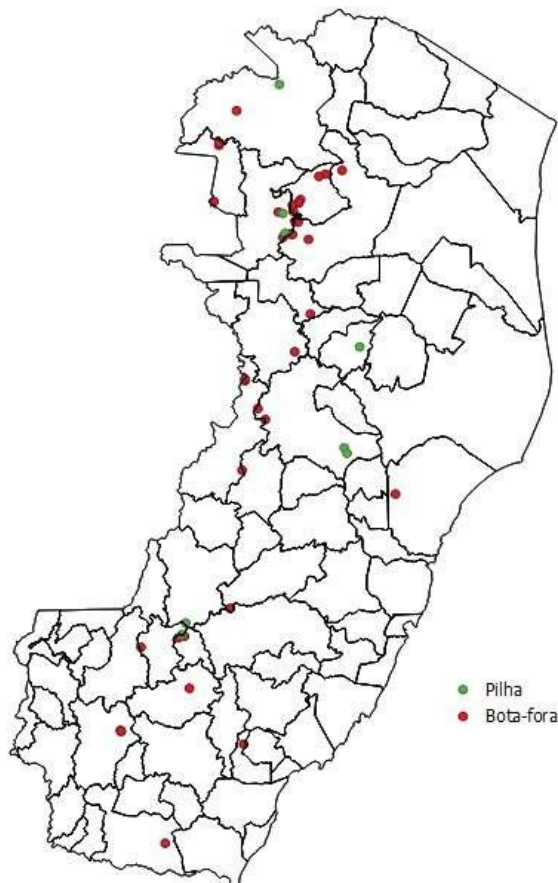
principal. Por questões de sigilo das informações, não foram destacadas as razões sociais das empresas mineradoras, tampouco a identificação das minas, sendo o foco do trabalho, exclusivamente, a descrição da configuração das pilhas de estéreis segundo a metodologia proposta BC Mine Waste Rock Pile Research Committee (1991). Cabe aqui destacar, que questões vinculadas a outros aspectos construtivos e de estabilidade não foram abordadas no presente estudo.

## 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Caracterização da disposição de estéreis no Estado do Espírito Santo

Na Figura 5, destaca-se *o rol* das minas vistoriadas em que foi possível a verificação da forma de disposição de estéril, bem como a representação das suas locações e configurações, se aterro de encosta (“bota fora”) ou pilhas de estéril que seguem planos previamente estabelecidos.

**Figura 5:** Caracterização e localização da disposição de estéreis das minas de exploração de RO's



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A partir da análise da Tabela 1, observa-se a configuração da disposição de estéreis classificadas por tipologia de material extraído, onde pode se verificar que, em termos percentuais, as empresas que exploram o material de coloração preta, que segundo Sardou Filho (2013) é constituído por gabros e dioritos, realizam a disposição do seu material de forma mais controlada, o que pode ser explicado, *a priori*, pelas baixas recuperações de suas lavras, que aliada à grande demanda do material pelo mercado, faz com que seja necessária a otimização das áreas para disposição do estéril.

Ademais, os resultados verificados vão ao encontro ao observado em um estudo conduzido pelo Ministério de Minas e Energia (MME) no ano de 2010, e que tinha como alvo as atividades de exploração de RO's no noroeste capixaba. Na ocasião, foi verificado que 95% da disposição de estéril das 175 minas observadas era realizada em meia encosta, e nas proximidades das frentes de lavra (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013).

**Tabela 1:** Configuração da disposição de estéreis de RO's em função do tipo de material extraído

Material	Classificação	Total	%
Verde	Pilhas	0	0,00%
	Bota Fora	5	100,00%
Amarelo	Pilhas	1	5,26%
	Bota Fora	18	94,74%
Preto	Pilhas	4	44,44%
	Bota Fora	5	55,56%
Branco	Pilhas	2	40,00%
	Bota Fora	3	60,00%
Cinza	Pilhas	1	14,29%
	Bota Fora	6	85,71%

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

#### 4.2 Características gerais da disposição de estéreis por aterro de encosta

De forma geral, as disposições de estéreis realizadas em aterro de encosta, o popular “bota fora” ou “ponta de aterro” observadas, têm como ponto comum o basculamento do material sem controles granulométricos, realizadas a jusante da frente de extração, conforme pode ser verificado na Figura 6.

**Figura 6:** Disposição de estéril em aterro de encosta a jusante da frente de extração

**Fonte:** Acervo do autor.

Esta metodologia de disposição de estéril, de forma geral, é escolhida pelas empresas de mineração em face do seu baixo custo operacional, uma vez que na maioria das vezes não se faz necessária a diminuição da granulometria do material através de desmonte secundário, tampouco a necessidade de caminhões para o transporte, sendo necessária tão somente a utilização de carregadeiras. Outra explicação para tal situação reside no fato de muitas das atividades de lavra serem desenvolvidas em meia encosta, e a disposição “morro abaixo” se torna facilitada (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2013).

Por outro lado, na maior parte das vezes, a disposição de estéreis por esta metodologia vem sendo realizada sem a utilização de técnicas de engenharia. Não se verifica, por exemplo, a existência de prévios estudos geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos. Tal situação, além do risco da estabilidade do material, ocasiona diversos impactos ambientais, seja em relação ao impacto visual do empreendimento, risco de carreamento de finos para corpos hídricos a jusante e dificuldade, ao fim do empreendimento, da recuperação ambiental. Na Figura 7 verifica-se o carreamento de material, e na Figura 8, o impacto visual ocasionado por este método de disposição de estéril.

**Figura 7:** Carreamento de material a jusante da disposição de estéril



Fonte: Acervo do autor.

**Figura 8:** Impacto visual da disposição de estéril em encosta



Fonte: Acervo do autor.

Outra situação verificada por esta metodologia, sem o devido planejamento, é a inviabilização da exploração de novas reservas minerais, uma vez que o material é simplesmente disposto sobre maciços e/ou matacões sem a análise da quantificação/qualificação deste material. Tal situação pode ser verificada nas Figuras 9 e 10. Na Figura 9 verifica-se, além da questão de riscos aos trabalhadores a jusante da disposição, que está ocorrendo sobre matacões com potencial de aproveitamento mineral, enquanto na Figura 10 observa-se as operações de movimentação de estéril anteriormente disposto, para que seja possível o desenvolvimento da lavra, permitindo o acesso a novos corpos minerais, aumentando de forma significativa os custos da lavra.

**Figura 9:** Disposição de estéril sobre matacões possíveis de exploração e colocando em risco os trabalhadores



Fonte: Acervo do autor.

**Figura 10:** Operações de movimentação de estéril objetivando o desenvolvimento da mina



Fonte: Acervo do autor.

### 4.3 Características gerais da disposição de estéreis em Pilhas

Ao contrário da disposição de estéreis por aterro de encosta, a disposição de estéreis por pilha é realizada obedecendo às melhores práticas de engenharia, desde a fase de planejamento. De forma geral, ela é precedida por estudos geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos. Conforme destacado no item 4.1 do presente artigo, dentro do contexto das minas de rochas ornamentais observadas no presente estudo, este tipo de configuração é ainda exceção. Nas Figuras 11, 12 e 13 são destacados alguns exemplos da disposição de estéreis em pilhas verificados dentro da amostra do presente estudo.

**Figura 11:** Detalhe de uma mina de RO's sendo verificado a montante uma pilha de estéril



**Fonte:** Acervo do autor.

**Figura 12:** Detalhe da disposição de estéril de RO's em pilhas



**Fonte:** Acervo do autor.

**Figura 13:** Disposição de estéreis em pilhas (início do projeto)



**Fonte:** Acervo do autor.

De forma geral, por ser realizada de acordo com a ABNT NBR 13029:2017, estas pilhas de estéreis foram precedidas de estudos locacionais, o que previne, a priori, a possível locação sobre reservas minerais. Ademais, por levar em consideração estudos hidrológicos e hidrogeológicos, as pilhas de estéreis observam os aspectos da drenagem interna, bem como da drenagem externa, o que poderá prevenir a questão do carreamento de material particulado para os corpos hídricos próximos ao local de disposição.

Não obstante ao acima explanado, resta claro que este tipo de disposição propicia a maximização do aproveitamento da área disponível. Ademais, e considerando aspectos necessários para o transporte do material, e para a estabilidade destas pilhas, existe um controle granulométrico mais apurado, principalmente no que concerne aos fragmentos de rochas, com a utilização de desmonte secundário, em comparação ao método do aterro em encosta.

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos dados das vistorias realizadas pelo DNPM/ANM nestes últimos 11 anos, foi possível a verificação de que a maior parte da disposição de estéril é realizada pelo método do aterro em encosta, o que pode ser explicado pela facilidade operacional e pelo menor custo com as operações.

Por outro lado, verifica-se que, de forma geral, a metodologia do aterro em encosta é realizada sem levar em consideração as melhores práticas de engenharia, o que pode ocasionar, além de riscos geotécnicos, impactos ambientais e problemas relacionados à própria viabilidade técnica-econômica do empreendimento, em situações em que a disposição compromete o ulterior aproveitamento da jazida mineral.

Dentro deste contexto, faz-se necessário, além de iniciativas voltadas à diminuição do volume de estéril em si e à sua utilização, com conceitos da economia circular, a realização de disposição de estéreis de forma controlada, como é o caso das pilhas de estéreis, prática ainda pouco utilizada nas minas de extração de RO's. Neste aspecto, merece atenção a necessidade de instrumentos e ferramentas regulatórias que induzam as empresas a buscarem a melhoria das técnicas de disposição de estéreis, como ocorreu no caso dos rejeitos.

Por fim, verifica-se ainda na literatura brasileira, o *gap* de estudos que analisem a disposição de estéreis de RO's nos diversos aspectos construtivos e de estabilidade,

oportunidade esta, para realização de estudos como os existentes na mineração de bens minerais metálicos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13029**: Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro Interativo**, 2023. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZTRkNjI3MWEtMGI3My00ZTgzLWIyN2YtMzNjNDhjNTViM2Q2IiwidCI6ImEzMDgzZTIxLTc0OWItNDUzNC05YWZhLTU0Y2MzMTg4OTdiO CJ9&pageName=ReportSection99c5eaca1c0e9e21725a>. Acesso em: 15 mar. 2023.

ANDRADE, M. A. **Metodologia de Construção de Depósito de Estéril de Rocha Ornamental**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas). Instituto Federal do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, ES, 2021.

ARAGÃO, G. A. S. **Classificação de pilhas de estéril na mineração de ferro**. 2008. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil, 2008.

BC MINE WASTE ROCK PILE RESEARCH COMMITTEE. **Mined Rock and Overburden Piles**. Investigation & Design Manual, Interim Guidelines, 1991.

CAREDDU, N. Dimension stones in the circular economy world. **Resources Policy**, v. 60, p. 243–245, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Normas reguladoras de mineração**. Brasília, 2001.

FARIA, L. R. Disposição de estéril em cava – **um estudo de caso**. 2016. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002

HEENETIGALA, K., SILVA, C., ARMSTRONG, A., EDIRIWEERA, A. An Investigation of Environmental, Social and Governance Measures of Listed Mining Sector Companies in Australia. **Journal of Law and Governance**, v. 10, n. 4, 2015.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. **Exploración y Explotación de Rocas Ornamentales**, 2003.

JALALIAN, M. H.; BAGHERPOUR, R.; KHOSHOUEI, M. Wastes production in dimension stones industry: resources, factors, and solutions to reduce them. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 17, p. 1-13, 2021.



LENKE, G. Estudos Preliminares do estéril da lavra de rochas ornamentais do Espírito Santo para produção de brita. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 27, Belém. **Anais [...]** Rio de Janeiro: CETEM, 2017.

MAIOR, G.R.S. **Panorama da Mineração de Rochas Ornamentais no Estado do Espírito Santo com ênfase na Lavra por bancadas ultra-altas**. 2013. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Bases para o ordenamento e desenvolvimento sustentável da mineração de rochas ornamentais no noroeste do Espírito Santo**. Brasília: MME, 2013.

OFFICE OF SURFACE MINING RECLAMATION AND ENFORCEMENT (OSM). Engineering Design Manual for Disposal of Excess Spoil. Report (Contract No. J5110084) for U.S. Dept. Int. Prepared by CTL/Thompson Inc., 294 pp., November, 1982. General Reference on Mine Dumps, 1989.

PAPANTONOPOULOS, G.; TAXIARCHOU, M.; BONITO, N.; ADAN, K.; CHRISTODOULOU, E. **A study on best available techniques for the management of stone wastes**, 2007. Disponível em: [https://psmc.ppu.edu/sites/default/files/REF%20-4-%2007.best\\_available\\_techniques.pdf](https://psmc.ppu.edu/sites/default/files/REF%20-4-%2007.best_available_techniques.pdf). Acesso em 03 mar 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** (2<sup>a</sup> ed.) Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REIS, R. C.; SOUSA, W. T. Métodos de lavra de rochas ornamentais. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 56, p. 207-209, 2003.

REIS, A. S., SILVEIRA, F., BUSSULAR, K. F. F., SILVA, B. A., SANTOS, A. P.; SILVA, R. C. R. Georreferenciamento aplicado ao estudo de destinação de resíduos de lavras de rochas graníticas no município de Barra de São Francisco-ES. **Brazilian Journal of Development**, 6(12), 98146-98162, 2020.

SANTOS, Y.C.S. **Análise dos impactos ambientais decorrentes da atividade de extração de rochas ornamentais**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização), Universidade Norte do Paraná, Vitória, 2016.

SARDOU FILHO, R.; MATOS, G. M. M.; MENDES, V. A.; IZA, E. R. H. F. **Atlas de rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo**. Brasília: CPRM, 2013.

SILVA, H. V.; CASTRO, N. F. Disponibilidade de resíduos de pedreiras para aproveitamento na pavimentação da BR 101, no Espírito Santo. In: Simpósio De Rochas Ornamentais do Nordeste, 9, João Pessoa, 2016. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: CETEM, 2016.

SPÍNOLA, V., GUERREIRO, L. F., BAZAN, R. A. **Indústria de rochas ornamentais: estudo de mercado 02/04**. Bahia: Desenbahia, 2004.

STRZALKOWSKI, P. Characteristics of Waste Generated in Dimension Stone **Processing Energies**, v. 14, n. 21, p. 7232, 2021.

TAYLOR, M.J.; GREENWOOD, R.J. Classification and Surface Water Controls. Workshop on Design of Non-Impounding Mine Waste Dumps. **SME**, 1981.

VAGNON, F., DINO, G. A., UMILI, G., CARDU, M., FERRERO, A. M. New developments for the sustainable exploitation of ornamental stone in carrara basin. **Sustainability**, 12(22), 9374, 2020.

WAHLER, W.A. A Perspective - Mine Waste Disposal Structures - Mine Dumps, and Mill and Plant Impoundments. **Proc. 6th Panamerican Conf. Soil Mech. Fndn. Eng.**, Vol. III., Lima, 1979.

VIDAL, F. W. H., AZEVEDO, H. C. A. D., CASTRO, N. F. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM, 2014.

ZAGÔTO, J. T. **Estudo do rejeito da lavra de rochas ornamentais do Espírito Santo para a produção de brita**. 2016. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Mineral da Universidade Federal do Pampa – Campus Caçapava do Sul, 2016.

ZAGÔTO, J. T., CASER, L.C.T , JUNIOR, M.B. , FARIA, R.F. Caracterização do estéril da lavra de rochas ornamentais na fabricação de britas. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 26, Poços de Caldas, 2015. **Anais (...)** Rio de Janeiro: CETEM, 2015.