

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA

WANA FAVERO GABURO DORIGO

**DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS:  
PANORAMA SOBRE AS FASES DE LAVRA E BENEFICIAMENTO – REVISÃO DA  
LITERATURA**

SÃO PAULO  
2020

WANA FAVERO GABURO DORIGO

**DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA MINERAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS:  
PANORAMA SOBRE AS FASES DE LAVRA E BENEFICIAMENTO – REVISÃO DA  
LITERATURA**

**Versão Corrigida**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador (a): Dra. Marilda M. G. Ramos Vianna

SÃO PAULO  
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catálogo-na-publicação

Dorigo, Wana Favero Gaburo

Degradação ambiental na mineração de rochas ornamentais: panorama sobre as fases de lavra e beneficiamento – revisão da literatura / W. F. G.

Dorigo -- São Paulo, 2020.

58 p.

Monografia (MBA em MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Rochas Ornamentais 2.Mineração 3.Degradação ambiental  
4.Beneficiamento I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.  
Departamento de Engenharia Química II.t.

## RESUMO

DORIGO, Wana Favero Gaburo. Degradação ambiental na mineração de rochas ornamentais: panorama sobre as fases de lavra e beneficiamento – revisão da literatura. 2020. 58 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

As rochas ornamentais são materiais rochosos naturais que ao serem extraídos e beneficiados em tamanhos determinados são utilizados pelo setor da construção civil como materiais de revestimento e ornamentação, compondo fachadas, pisos, bancadas e outros acabamentos, além de arte funerária e funções estruturais. Estes materiais fazem parte da indústria mineral e possuem elevado valor econômico e estético, desempenhando papel importante na economia de várias nações. Apesar da sua importância, as etapas de extração e beneficiamento das rochas ornamentais causam impactos ambientais negativos devido à geração de quantidades significativas de resíduo, emissão de poeira e desmatamento, além do elevado consumo hídrico, prejudicando o meio ambiente e a saúde humana. Esta pesquisa faz um levantamento bibliográfico sobre a mineração de rochas ornamentais e os impactos ambientais da sua cadeia produtiva, discutindo sobre as fases de lavra nas jazidas e suas subsequentes etapas de beneficiamento na indústria, destacando a problemática ambiental provocada por estas atividades. A revisão bibliográfica permitiu constatar que a maioria dos estudos publicados sobre a degradação ambiental na mineração de rochas ornamentais tratam sobre regiões ou etapas específicas do processo produtivo. Sendo assim, este levantamento bibliográfico buscou sintetizar e discutir sobre os impactos ambientais da cadeia produtiva de rochas ornamentais, englobando as etapas de lavra e beneficiamento, desde a extração dos blocos de rocha nas jazidas, até o processo de beneficiamento na indústria, com as etapas de serragem e polimento.

**Palavras-chave:** Rochas ornamentais. Degradação ambiental. Mineração. Beneficiamento.

## ABSTRACT



DORIGO, Wana Favero Gaburo. Environmental degradation in dimension stone mining: an overview of the mining and processing phases - literature review. 2020. 58 p. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Dimension stones are natural stones that had been extracted and processed in certain sizes to be used in building construction sector as cladding and ornamentation materials, composing facades, floors, benches and other finishes, as well as funerary art and structural function. These materials are part of mineral industry and have high economic and aesthetic value, playing an important role in several nations economy. Despite its importance, dimension stones extraction and processing stages causes environmental impacts due to generation of significant amounts of waste, dust emission and deforestation, in addition to high water consumption, harming the environment and human health. This research is a review about the dimension stones sector and the environmental impacts of its production chain, discussing about the mining phases and their subsequent industry processing stages, highlighting the environmental problems caused by these activities. The bibliographic review showed that there are only specific studies published about the dimension stones mining, many of them discusses about specific regions or processes. Therefore, this bibliographic review sought to synthesize and discuss the environmental impacts of dimension stones mining, focusing on the mining and processing phases of its production chain.

Keywords: Dimension stones. Environmental degradation. Mining. Processing.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	9
2.	METODOLGIA .....	13
3.	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	15
3.1.	ROCHAS ORNAMENTAIS.....	15
3.1.1.	Tipologia.....	16
3.1.1.1.	Granitos .....	16
3.1.1.2.	Mármore.....	17
3.2.	ASPECTOS ECONÔMICOS SOBRE O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS .....	18
3.3.	PANORAMA SOBRE A CADEIA PRODUTIVA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS E SUA DEGRADAÇÃO AO MEIO AMBIENTE .....	22
3.3.1.	ETAPA DE LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	24
3.3.2.	ETAPA DE BENEFICIAMENTO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS.....	29
3.3.2.1.	O beneficiamento primário e seus impactos ambientais negativos .....	29
3.3.2.2.	O beneficiamento secundário e seus impactos ambientais negativos.....	37
4.	DISCUSSÃO.....	43
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
	APÊNDICE A – Artigos utilizados no levantamento bibliográfico.....	54
	APÊNDICE B – Artigos descartados após critérios estipulados.....	56
	APÊNDICE C – Livros utilizados no levantamento bibliográfico.....	57
	APÊNDICE D – Outras referências consultadas.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma representativo do método de revisão sistemática adotado. ....	14
Figura 2. (a) Gnaisse Branco Arabesco e (b) sienogranito Vermelho Brasília. ....	17
Figura 3. (a) mármore Pinta Verde e (b) mármore Branco Rajado. ....	18
Figura 5. Maiores países produtores de rochas ornamentais de 2017. ....	19
Figura 7. Fluxograma das etapas de produção das rochas ornamentais. ....	23
Figura 8. Lavra de maciço rochoso desenvolvida em bancadas. ....	24
Figura 9. Lavra de matacão. ....	25
Figura 10. Lavra de rochas ornamentais no norte do espírito santo. Detalhe para grande geração de resíduo grosso. ....	27
Figura 11. Pedreira do granito branco ceará, localizada no estado do ceará. ....	28
Figura 12. Poluição visual causada pela extração de rochas ornamentais no estado do espírito santo. ....	29
Figura 13. Serragem dos blocos de rocha em tear multilâmina. ....	30
Figura 14. Polpa abrasiva sendo despejada sobre o processo de corte. ....	31
Figura 15. Processo de serragem de bloco de rocha em tear do tipo multifio. ....	32
Figura 16. Fios diamantados realizando o corte da rocha. ....	32
Figura 17. Deposição da labro em tanque de decantação. ....	33
Figura 18. Disposição da labro em aterro sanitário licenciado. ....	34
Figura 19. Politriz do tipo automática polindo chapas de rochas ornamentais. ....	37
Figura 20. Politriz automática polindo chapas de rochas ornamentais. ....	38
Figura 21. Fluxograma da circulação da água nas etapas de serragem e polimento de rochas ornamentais. ....	40

## ÍNDICE DE TABELAS

Table 1. Indústria mundial de rochas ornamentais: principais usos na produção total. ....	15
Table 2. Perfil da produção brasileira por tipo de rocha – primeiro semestre de 2019.....	19
Tabela 3. Distribuição por estado da produção de rochas ornamentais no Brasil em 2019. ....	21

## ÍNDICE DE SIGLAS

ABIROCHAS	Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BPA	Bisfenol A
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IDEIES	Instituto de Desenvolvimento Educacional e Industrial do Espírito Santo
IEMA	Instituto Estadual do Meio Ambiente
LABRO	Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais
LMP	Limite Máximo Permitido
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RMI	Rochas e Minerais Industriais
RSL	Revisão Sistemática da Literatura

## 1. INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento da economia, a crescente expectativa de vida dos seres humanos e a busca por conforto e qualidade de vida são sustentados pelos recursos naturais. A mineração é uma atividade econômica que contribui para o desenvolvimento tecnológico, econômico e social da nação. A extração dos recursos minerais presentes na superfície terrestre servem como matéria-prima para suprir a cadeia produtiva de setores essenciais da economia, como a agroindústria, a siderurgia, indústria química e o macrossetor da construção civil, que há décadas é considerado pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014) um dos principais responsáveis por consumir mais da metade do minério extraído do planeta Terra, para fins de suprimento da sua cadeia produtiva. Sendo os bens minerais imprescindíveis para o desenvolvimento da vida humana, não se pode negar que a indústria mineral e o macrossetor da construção civil são os maiores responsáveis pela degradação ambiental provocada por suas atividades ao planeta Terra.

Os minerais não-metálicos e as rochas ornamentais, que ocorrem naturalmente na superfície e crosta terrestre, são considerados integrantes do grupo dos Minerais Industriais (Rochas e Minerais Industriais – RMI's). Os minerais industriais são diferentes dos minérios metálicos pois não são destinados para a obtenção direta de metais ou energia, mas utilizados de acordo com suas propriedades físicas, químicas ou estéticas, características estas que são manifestadas após o mineral passar por processos de beneficiamento diferentes dos aplicados aos minerais metálicos (PEREZ, 2001; SOUSA; VIDAL, 2005). Como exemplo dos RMI's tem-se os agregados utilizados na construção civil na forma de areia e brita e suas variações granulares para composição de concreto e argamassa, bem como as rochas ornamentais aplicadas como materiais de revestimento e ornamentação em obras da construção civil.

No contexto mundial, o setor da construção civil é o principal destino das rochas ornamentais, que emprega cerca de 80% do total da produção líquida da indústria da pedra (MONTANI, 2018), sendo o Brasil o 5º maior produtor e o 6º maior exportador de rochas ornamentais do mundo, de acordo com dados da Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2019). Diante da crescente demanda pelas rochas ornamentais no setor da construção civil, bem como da expressiva participação deste bem mineral no contexto econômico do País, aspectos ambientais relacionados a sua cadeia produtiva ganham importância dado o impacto negativo das suas atividades ao meio ambiente. Para Lins (2008), a degradação ambiental resultante da extração dos minerais metálicos e energéticos tende a ser

mais grave do que a provocada pela produção dos RMI's, dado que a lavra dos minerais não-metálicos normalmente não gera problemas de contaminação como na cadeia extrativa dos minerais metálicos (a exemplo da contaminação pelo método de drenagem ácida para retirada de minério). Porém, a produção dos RMI's é responsável por outros tipos de impactos ambientais negativos, como a elevada geração de rejeito e sua disposição inadequada, a emissão de material particulados na atmosfera, o assoreamento de corpos d'água, entre outros impactos ambientais negativos.

Para que as rochas ornamentais sejam utilizadas como materiais de revestimento e ornamentação pelo setor da construção civil, estes materiais passam por sucessivas etapas de processamento na indústria, após a fase inicial de extração dos blocos de rocha nas minas ou "jazidas". De acordo com o Código de Mineração (BRASIL, 1967) "jazida mineral" é considera toda massa de substâncias minerais ou fósseis que afloram à superfície ou estão presentes no subsolo, solo, leito ou mar territorial e possuem valor econômico, sendo o conceito de "mina" a jazida em processo de lavra, e a "lavra" o conjunto de operações ordenadas que tem por objetivo a exploração economicamente viável da jazida.

A problemática ambiental da mineração de rochas ornamentais se faz presente ainda nas etapas iniciais de prospecção e pesquisa mineral, agravando-se nas fases da abertura da lavra e das vias de acesso, com o desmatamento para a remoção da camada superior do solo, a fim de tornar possível a implantação do empreendimento mineiro (ALMEIDA, 2006). Nesta fase já são notáveis a degradação da fauna e da flora, o impacto visual, os problemas com a geração e disposição de grandes volumes de rejeito, o ultralancamento de fragmentos rochosos pela detonação com explosivos, a perda da qualidade do ar pela emissão de material particulado na atmosfera, as vibrações no terreno e aumento dos níveis de ruído provocados pelos equipamentos de desmonte de rocha, além do possível assoreamento dos corpos d'água adjacentes à mineração devido ao escorregamento de massas de solo (FERREIRA et al. 2006; SOUSA, 2007; COSTA, 2009). Além dos impactos ambientais negativos gerados na fase de lavra, a etapa de beneficiamento das rochas ornamentais também contribui significativamente para a problemática ambiental do setor, ao gerar quantidades significativas de rejeito. De acordo com Castro & Vetorazzi (2016) as perdas de material rochoso tanto na etapa de extração dos blocos nas jazidas, quanto na etapa de beneficiamento na indústria podem ser entre 80 a 90%, sendo a taxa de recuperação de uma lavra de rocha ornamental na ordem de 10-20%. Estima-se ainda que, somente na etapa de beneficiamento primário, que corresponde a fase serragem dos blocos de rocha, 25% do volume da rocha é transformada em resíduo fino (CASTRO et al., 2012). Ou seja, de todo o volume de rocha extraído nas jazidas, apenas uma pequena

porcentagem é considerada economicamente aproveitável, sendo a outra parte descartada em pilhas de estéril, que recebe os fragmentos de rocha considerados sem valor econômico para o momento. A partir dos dados acima expostos, é inegável que a cadeia produtiva das rochas ornamentais contribui de forma considerável para a geração de resíduos devido a sua baixa taxa de aproveitamento, sendo a maior parte deste resíduo do tipo grosso, gerados nas jazidas sob a forma de blocos, sendo não aproveitados por estarem fora do padrão comercial, por não corresponderem ao padrão estético desejável ou por serem fragmentos de rocha de tamanhos diversos, rocha alterada e solo do capeamento.

Resíduos do tipo fino e ultrafino são gerados durante o processo de transformação do bloco de rocha em chapas, bem como na fase de polimento deste material, sendo ambos os processos realizados à úmido, a fim de reduzir a emissão de particulados na atmosfera e no intuito de refrigerar o processo de corte e polimento das rochas ornamentais (CAMPOS et al., 2014). De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), conforme disposto na NBR 10.004, os resíduos sólidos são definidos como “resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e de varrição”. Os resíduos advindos da mineração podem ou não ser reincorporados em outros processos produtivos ou serem utilizados como matéria-prima secundária para outras indústrias, diferindo assim do termo “rejeito”, que, de acordo com a Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) consiste naqueles resíduos que “depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não seja a disposição final ambientalmente adequada”. Ou seja, se o resíduo gerado na mineração não for passível de utilização ou aproveitamento, este é considerado rejeito. Sendo assim, os blocos de rocha considerados sem valor econômico e não aproveitados para outros fins são considerados rejeito ou material estéril, pois não possuem valor econômico significativo momentaneamente, sendo então considerados como “minério não-processável” ou simplesmente “rejeito”, não atendendo às especificações de qualidade necessárias (ROCHA, 2015, p.2).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo caracterizar a degradação ambiental causada pela mineração de rochas ornamentais utilizando a revisão sistemática da literatura como metodologia de pesquisa. Foi feito um levantamento bibliográfico dos impactos ambientais negativos da mineração de rochas ornamentais desde a fase de extração dos blocos de rochas nas jazidas (fase de lavra), bem como nas subsequentes etapas de beneficiamento primário (serragem) e secundário (polimento) na indústria. A motivação para a realização desta



pesquisa vem da constatação de que o setor de rochas ornamentais, apesar de estar em constante desenvolvimento, ainda carece de práticas mais sustentáveis para a sua cadeia produtiva, principalmente no que tange a imensa geração de rejeito das suas atividades. Sendo assim, realizar um levantamento bibliográfico sobre a degradação ambiental para cada fase da cadeia produtiva da mineração de rochas ornamentais pode vir a contribuir para um melhor entendimento dos agentes causadores destes impactos ambientais negativos e tentar minimizá-los. A partir disso, este estudo faz um levantamento de dados da literatura nacional e internacional sobre a mineração de rochas ornamentais e sua cadeia produtiva, a fim de unir informações sobre os aspectos ambientais das suas atividades de extração, beneficiamento primário (serragem) e secundário (polimento). Observou-se que as pesquisas existentes sobre a degradação ambiental na cadeia produtiva das rochas ornamentais tratam de estudos de casos voltados para determinadas regiões ou abordam o tema de forma específica, tratando o impacto ambiental negativo apenas em fases isoladas do processo produtivo.

Para atingir o objetivo geral do presente estudo, os seguintes objetivos específicos foram traçados: (i) levantar dados atualizados, consultando a bibliografia nacional e internacional, sobre a cadeia produtiva das rochas ornamentais e seus aspectos ambientais, descrevendo suas fases de lavra e beneficiamento. Além disso, buscou-se (ii) discutir criticamente sobre os impactos ambientais deste setor, detalhando aspectos ambientais relacionados a cada fase do processo produtivo. Na sequência, será apresentada a metodologia utilizada nesta pesquisa, seguida da revisão bibliográfica com a conceituação sobre o que são as rochas ornamentais e um panorama econômico sobre o setor, bem como uma discussão crítica sobre os impactos ambientais para cada fase da cadeia produtiva das rochas ornamentais.

## 2. METODOLGIA

Esta pesquisa adotou como metodologia a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), sendo este um método de pesquisa transparente e explícito, responsável por resumir e sintetizar evidências relativas a determinada questão, através de um método sistemático de revisão bibliográfica da literatura (BRINDER; DENYER, 2012). Além disso, esta pesquisa pode ser classificada como exploratória, pois segundo Gil (2007) é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído de livros e artigos científicos cujo objetivo é dispor informações e critérios para a síntese bibliográfica sobre determinada área em uma RSL.

Dentro do tempo previsto para a realização desta monografia, que foi de 6 meses, foram coletados e selecionados artigos nacionais e internacionais sobre a mineração de rochas ornamentais e seus impactos ao meio ambiente. Para obtenção dos dados relevantes para o tema desta pesquisa bibliográfica, foram consultadas bases de dados como a *Web of Science*, *Scopus*, *Scielo* e *Google Scholar*, além de outras fontes para captação de dados sobre o setor de rochas ornamentais como como websites de associações e de empresas para coleta de imagens e números sobre a produção de rochas ornamentais no Brasil e no mundo. Para a realização da busca nas bases de dados eletrônicas, as seguintes palavras chaves foram utilizadas: “*rochas ornamentais*”, “*degradação ambiental*”, “*impactos ambientais negativos*”, “*mineração*”, “*beneficiamento de rochas ornamentais*”, “*rochas ornamentais e meio ambiente*”, bem como suas respectivas traduções para o inglês, o que permitiu incorporar à busca artigos nacionais e internacionais.

As referências bibliográficas coletadas para este estudo dividem-se entre artigos extraídos das bases dados, livros, documentos, imagens retiradas de websites relacionados à mineração de rochas ornamentais, bem como informes minerais disponibilizados online. Os artigos selecionados através do levantamento nas bases de dados supracitadas foram revisados seguindo a ordem dos filtros A e B e de acordo os critérios 1 e 2 dispostos abaixo:

A) Leitura do título, resumo e palavras-chave;

B) Leitura completa do artigo.

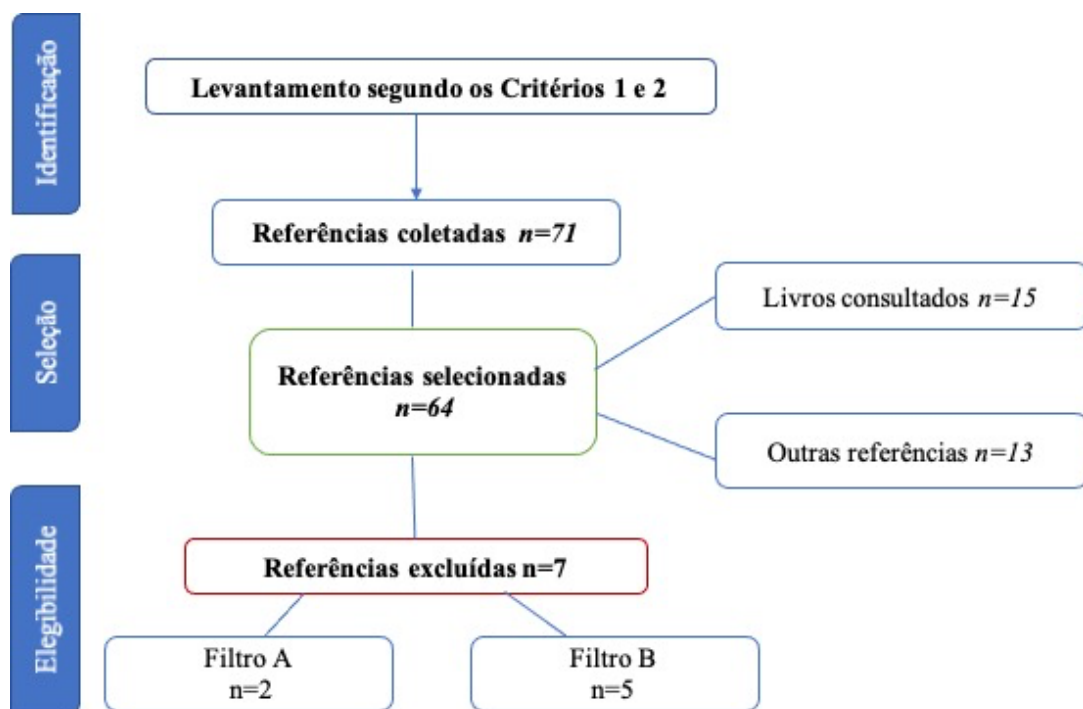
1) Artigos e documentos sobre o setor de rochas ornamentais, seus aspectos econômicos e sua cadeia produtiva;

2) Artigos que tratassem da problemática ambiental da mineração de rochas ornamentais.

Foram coletados um total de 71 documentos entre artigos, livros e outros registros em bases de dados científicas e websites da internet voltados para o setor de rochas ornamentais. Destes,

7 foram descartados de acordo com os filtros A e B e com os critérios 1 e 2 supracitados, resultando assim nas 64 referências bibliográficas utilizadas nesta pesquisa. A Figura 1 traz um fluxograma de como foi conduzida a revisão da literatura e os Apêndices A, B, C e D dispostos ao final deste trabalho relaciona os títulos dos artigos selecionados, os descartados, os livros e outros documentos consultados para a realização deste levantamento bibliográfico.

Figura 1. Fluxograma representativo do método de revisão sistemática adotado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

#### 3.1. ROCHAS ORNAMENTAIS

Desde a pré-história, as rochas são utilizadas pelo homem para as mais diversas finalidades, servindo como utensílios domésticos e armas para sobrevivência, além de ter função estrutural ou de alvenaria nas edificações como materiais de construção (VIDAL, 2014; FRASCÁ, 2017). Com o passar dos anos, as técnicas e os materiais de construção se modernizaram e as rochas ornamentais passaram a ser utilizadas como materiais de revestimento em pisos, paredes e fachadas, além de exercer função estrutural e ornamental na composição de tampos e bancadas e como arte estatutuária e funerária (FRASCÁ, 2014; MONTANI, 2018). O uso crescente de mármore e granitos em edificações, a partir da década de 80 foi condicionado por suas características a atenderem especificações de materiais de construção utilizados pelos construtores, para aplicações em revestimentos, tais como: resistência, durabilidade, baixo custo de manutenção, elevado valor estético, bem como facilidade de aplicação (FERNANDES, 2004, p. 26). A Tabela 1 mostra as principais aplicações das rochas ornamentais a nível mundial, de acordo com Montani (2018).

Tabela 1. Indústria mundial de rochas ornamentais: principais usos na produção total.

<b>Aplicações</b>	<b>1000 (m<sup>2</sup> equivalente)</b>	<b>1000 (t)</b>	<b>Percentual total (%)</b>
<b>Pisos</b>	497.700	45.600	30,0
<b>Revestimento externo</b>	124.425	11.400	7,5
<b>Escada</b>	41.475	3.800	2,5
<b>Revestimento interno</b>	207.375	19.000	12,5
<b>Trabalhos especiais</b>	373.275	34.200	22,5
<b>Subtotal da construção</b>	<b>1.244.250</b>	<b>114.000</b>	<b>75,0</b>

Fonte: Montani (2018).

Por definição, rocha é qualquer material sólido resultante de processos geológicos naturais, constituído por um ou mais minerais e/ou mineraloides (SCHUMANN, 1982; CAVINATO, 1998). Os minerais são substâncias sólidas e inorgânicas, formados sob a crosta terrestre, com diferentes composições e propriedades físicas (CAVINATO, 1998).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define rocha ornamental como “uma substância rochosa natural que, submetida a diferentes graus de modelamento ou

beneficiamento, pode ser utilizada com função estética”. Ao serem submetidas aos processos de beneficiamento, são utilizadas em superfícies, pisos e paredes, sendo então denominadas as rochas ornamentais de revestimento (NBR 15012 – ABNT, 2013).

De acordo com Frascá (2014), sobre o conceito de “rochas ornamentais” inclui-se os materiais rochosos naturais aproveitados em trabalho artísticos pela sua aparência estética, como elemento decorativo e estatuário e, principalmente, como materiais de revestimento para a construção. Silva et al. (2008) conceituam ainda que as rochas ornamentais de revestimento são materiais rochosos naturais que são extraídos em forma de blocos em pedreiras, posteriormente esquadrejados e beneficiados através de etapas de serragem, polimento e lustro.

### 3.1.1. Tipologia

Devido aos diversos ambientes geológicos de formação, sejam eles sedimentares, magmáticos ou metamórficos, as rochas ornamentais adquirem padrões estéticos que fazem destes materiais únicos, com diferentes texturas, estruturas e cores (PAZETO, 2017).

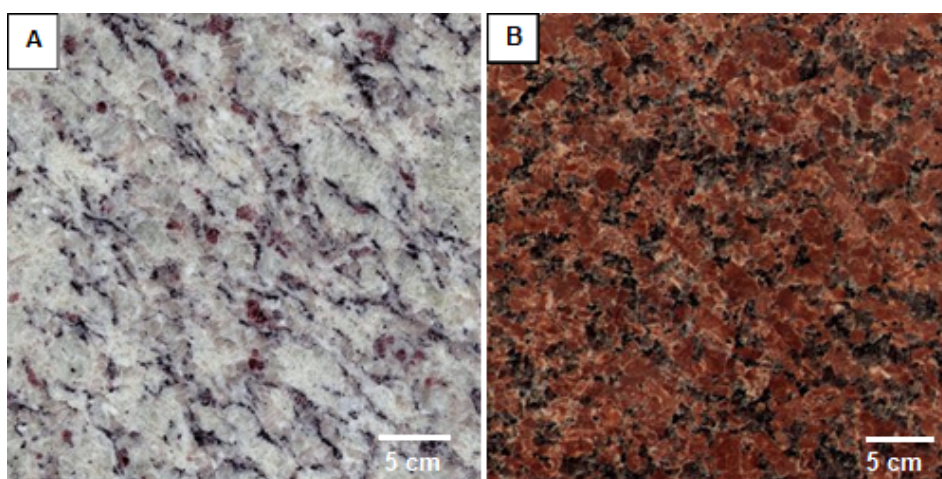
Na designação das rochas ornamentais e de revestimento, estes materiais são convencionalmente e comercialmente conhecidos como *mármore*s e *granitos*, apesar de possuírem definições geológicas que vão além da definição *stricto sensu*. Assim, de maneira geral, os “granitos” enquadram-se no grupo das rochas silicáticas, enquanto que os “mármore” abrangem as rochas carbonáticas, sejam elas sedimentares ou metamórficas (ABIROCHAS, 2018). Outros materiais muito utilizados como rochas ornamentais para revestimento são os quartzitos, comercializado na sua correta designação, são rochas metamórficas e possuem composição análoga às das rochas silicáticas, porém são essencialmente compostas por cristas de quartzo e/ou sílica amorfa.

#### 3.1.1.1. *Granitos*

Incluem as rochas silicáticas ígneas ou metamórficas, formadas pelo magma em estado de fusão a grandes profundidades no interior da crosta terrestre, onde ocorre seu resfriamento e solidificação. A NBR 15012 (ABNT, 2013) define granito como “rocha magmática, de granulação média a grossa, constituída por quartzo, feldspato, anfibólios e micas, além de minerais acessórios”. A classificação petrográfica de Streckeisen (1975) leva em consideração o teor de feldspato na composição para subdividir os granitos em monzogranitos ou sienogranitos. São os litotipos mais especificados para utilização no setor da construção civil e

tem sua aplicação voltada para revestimentos externos e internos, em locais de alto ou baixo tráfego de pessoas, visto que são materiais de alta resistência mecânica e boa resistência ao desgaste abrasivo pelo tráfego de pedestres, além de serem duráveis frente a agentes químicos ou intempéricos (FRASCÁ, 2014). A Figura 2A ilustra o gnaiss comercialmente conhecido com Branco Arabesco e 2B o sienogranito comercialmente conhecido como Vermelho Brasília.

Figura 2. (A) Gnaiss Branco Arabesco e (B) Sienogranito Vermelho Brasília.

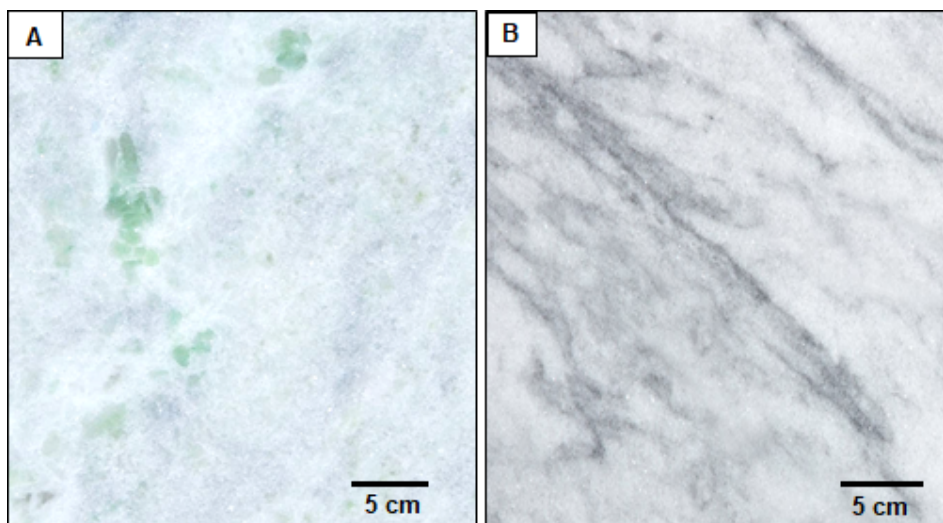


Fonte: *Website marmoraria Cimagran.*

### 3.1.1.2. Mármore

Os mármore, do ponto de vista ornamental, são rochas que podem ter origem tanto metamórfica como sedimentar, são provenientes da modificação físico-química do calcário a altas temperaturas e pressão, e são constituídas essencialmente por minerais de calcita ou dolomita. Normalmente, apresentam coloração branca e podem ter variações cromáticas em função da presença de outros minerais acessórios (FRASCÁ, 2003). Devido a sua composição mineralógica ser principalmente calcita, um mineral de baixa dureza na escala de *Mohs*, devem ser aplicados preferencialmente em locais com baixo tráfego de pessoas, preferencialmente em ambientes internos, pois podem riscar mais facilmente que os granitos. Geralmente são esculpidos para a confecção de objetos e esculturas, além de serem utilizados também como bancadas, lavabos, tampos, paredes e divisórias (FRASCÁ, 2010). A maior concentração de rochas metamórficas no Brasil fica no estado do Espírito Santo, na cidade de Cachoeiro de Itapemirim. A Figura 3A ilustra o mármore Pinta Verde, típico a região de Cachoeiro de Itapemirim e Figura 3B o mármore comercialmente conhecido como Branco Rajado.

Figura 3. (A) Mármore Pinta Verde e (B) mármore Branco Rajado.



Fonte: *website* Marmoraria Bramagran.

### 3.2. ASPECTOS ECONÔMICOS SOBRE O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

A Indústria da Pedra é parte importante do setor mineral, sendo considerada uma das áreas que mais se destacam nos negócios minero-industriais no Brasil, principalmente a partir das décadas de 1980 e 1990, onde foi possível observar o notável crescimento do intercâmbio de rochas ornamentais, período este que ficou conhecido como a “Nova Idade da Pedra” (ASHMOLE, MOTLOUNG, 2008; MONTANI, 2015; ALMEIDA, 2019). De acordo com Ericsson (2018), analisando o “*XXIX World Marble and Stones Report 2018 by Carlo Montani*”, ao se comparar o setor de rochas ornamentais com a indústria mineral metálica, o setor pétreo se destaca pelo seu contínuo potencial de crescimento. Para se ter uma ideia, a produção mundial de rochas ornamentais evoluiu de 1,8 milhão de toneladas, na década de 1920, para um patamar atual de 152 milhões de toneladas por ano (ABIROCHAS, 2018). Estimava-se que, para o ano de 2020, a produção mundial de rochas ornamentais ultrapassaria a casa das 150 milhões de toneladas, correspondentes a quase 1,8 bilhão de metros quadrados equivalentes por ano, porém isto já ocorreu no ano de 2017. Além disso, dentre os principais tipos de rochas ornamentais produzidos mundialmente, Montani (2018) destaca em seu relatório anual sobre o setor de rochas ornamentais que os mármore e as rochas carbonáticas foram os materiais rochosos mais produzidos, respondendo por 57,8% da produção, seguido dos granitos, quartzitos e similares com 38,6% do total produzido, além de outros tipos de rochas como as ardósias com 3,6%. Com relação ao perfil brasileiro da produção de rochas ornamentais, os tipos mais produzidos no País são os granitos, as rochas carbonáticas, e os quartzitos, conforme mostrado na Tabela 2 adaptada do Informe Mineral publicado pela

Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS) no primeiro semestre de 2019.

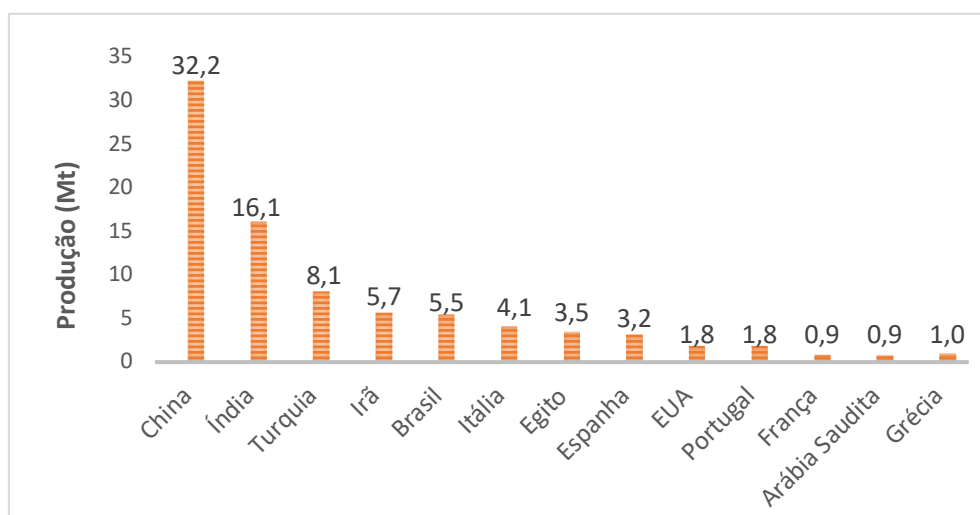
Tabela 2. Perfil da produção brasileira por tipo de rocha – primeiro semestre de 2019.

<b>Tipo de rocha</b>	<b>Produção (Mt)</b>	<b>Participação (%)</b>
Granitos e similares	4,2	45,7
Mármore e Travertinos	2,3	25
Quartzito maciço	1,5	16,3
Ardósia	0,4	4,3
Quartzito foliado	0,2	2,2
Pedra Miracema	0,2	2,2
Outros (Basalto, Pedra Cariri, Pedra-Sabão, etc.)	0,4	4,3
Total estimado	9,2	100

Fonte: Adaptado de ABIROCHAS (2019).

Dentre os principais produtores de rochas ornamentais do mundo, o Brasil encontra-se na quinta posição, sendo a China a detentora do maior parque produtivo mundial, seguida da Índia, Turquia e Irã, conforme ranking mostrado no gráfico da Figura 5.

Figura 4. Maiores países produtores de rochas ornamentais de 2017.



Fonte: Adaptado de Montani (2018).

No Brasil, o Espírito Santo se destaca por ser o principal estado produtor e exportador de rochas ornamentais do País, movimentando no primeiro semestre de 2019 US\$398,2 milhões e produzindo 3,4 Mt de rochas ornamentais, seguido dos estados de Minas Gerais, Bahia e



Ceará, de um total de 9,2 Mt para todo o País, conforme mostrado na Tabela 3 (ABIROCHAS, 2019). Ressalta-se ainda que o estado do Espírito Santo constitui o maior arranjo produtivo local (*cluster*) de rochas ornamentais da América Latina (IDEIS, 2019), concentrando a maior parte das atividades de lavra e beneficiamento primário de mármore e granito do Brasil, sendo sede de 86% das indústrias de beneficiamento e marmorarias (ABIROCHAS, 2018).

Tabela 3. Distribuição por estado da produção de rochas ornamentais no Brasil em 2019.

Região	Estado	Produção (Mt)	Tipo de Rocha extraído
Sudeste	ES	3.000.000	Granitos e mármore
	MG	1.800.000	Granito, pegmatitos, ardósias, quartzito foliado e maciço, pedra-sabão, pedra-talco, serpentinito, mármore e basalto
	RJ	200.000	Granito, mármore e Pedra Paduana (gnaisse)
	SP	80.000	Granito e quartzito foliado
Nordeste	BA	1.200.00	Granito, pegmatito, mármore, travertinos, arenito e quartzito maciço
	CE	1.000.000	Granito, pegmatito, calcário, e pedra Cariri (calcário em placas)
	PB	460.000	Granito e conglomerado
	PE	150.000	Granito e quartzito
	AL	160.000	Granito, quartzito e serpentinito
	RN	200.000	Mármore e granito
	PI	100.000	Pedra Morisca e ardósia
Sul	PA	200.00	Granito e mármore
	RS	200.000	Granito, basalto e quartzito
	SC	120.000	Granito, ardósia e mármore
Centro-Oeste	GO	200.000	Granito, quartzito foliado, serpentinito
	MT	50.000	Granito
	MS	60.000	Granito e mármore
Norte	RO	20.000	Granito
	RR	20.000	Granito e anortosito
	PA	30.000	Granito
	TO	10.000	Granito, quartzito, serpentinito
<b>Total Brasil</b>		<b>9.200.000</b>	

Fonte: Adaptado de ABIROCHAS (2019).

### 3.3. PANORAMA SOBRE A CADEIA PRODUTIVA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS E SUA DEGRADAÇÃO AO MEIO AMBIENTE

De acordo com a Resolução nº 001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 23 de setembro de 1986, considera-se impacto ambiental “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; bem como a qualidade dos recursos ambientais” (BRASIL, 1986, p.1). Para Sánchez (2013), a degradação ambiental é definida como qualquer alteração adversa dos processos, funções, componentes ambientais, ou alterações da qualidade ambiental – em outras palavras, é o impacto ambiental negativo na qual o agente causador é sempre o ser humano. Sendo assim, ao analisar o processo de beneficiamento das rochas ornamentais, que correspondem às etapas de corte (beneficiamento primário) e polimento (beneficiamento secundário) percebe-se que a fase de industrialização destes materiais é responsável pela geração de resíduo finos em forma de lama do beneficiamento, emissão de particulados na atmosfera e elevado consumo hídrico.

A cadeia produtiva das rochas ornamentais tem início com a fase de lavra dos blocos de rochas nas jazidas (ou pedreiras) que seguem até as indústrias de beneficiamento para passar por etapas posteriores de serragem e polimento. A exploração das rochas ornamentais visa extrair os blocos de rochas economicamente aproveitáveis dos maciços rochosos ou matacões, sendo o produto final da cadeia produtiva a chapa de rocha polida (VIDAL et al., 2014).

Após a fase de lavra nas jazidas, as etapas posteriores seguem com o transporte destes blocos de rocha até as unidades de beneficiamento, onde são submetidos às etapas de beneficiamento ou industrialização das rochas ornamentais. Este processo tem por objetivo a transformação dos blocos extraídos na fase de lavra em produtos finais ou semiacabados na forma de chapas, sendo esta etapa subdividida em beneficiamento primário (serragem) e beneficiamento secundário (polimento) (SILVEIRA et al., 2014).

O beneficiamento primário compreende as etapas iniciais de preparação e serragem (ou desdobramento) dos blocos de rocha vindo das pedreiras, transformando-os em chapas brutas através de equipamentos robustos denominados teares. A etapa de beneficiamento secundário é responsável pelo acabamento final das superfícies das chapas de rochas ornamentais e ocorre através de politizes. O objetivo desta fase é diminuir a rugosidade das chapas de rochas vindas da serraria, aumentando assim o brilho do material (VIDAL, 2014; SILVEIRA, 2014;

ALMEIDA, 2019). A Figura 7 resume através de um fluxograma as etapas inerentes a cadeia produtiva das rochas ornamentais.

Figura 5. Fluxograma das etapas de produção das rochas ornamentais.



Fonte: Autor (2020).

### 3.3.1. ETAPA DE LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

A lavra das rochas ornamentais tem início com a abertura das frentes de lavra, que geralmente ocorrem à céu aberto, onde blocos de rocha são extraídos de matacões ou maciços rochosos (MATTA, 2003). Sardou Filho et al. (2013) destacam que os depósitos em maciço rochosos são a principal ocorrência das rochas ornamentais, sendo formados por rochas intactas. De acordo com Matta (2003, p. 22), os matacões são “corpos de rocha arredondados que se desprenderam dos maciços rochosos e sofreram efeito do desgaste erosivo físico, químico e biológico ocorrido durante a passagem dos longos períodos da escala geológica”. A Figura 8 exemplifica o método de lavra por maciço rochoso e a Figura 9 o método de lavra por matacão.

Figura 6. Lavra de maciço rochoso desenvolvida em bancadas.



Fonte: Sardou Filho et al. (2013).

Figura 7. Lavra de matacão.



Fonte: Sardou Filho et al. (2013).

Para dar início a abertura da frente de lavra de uma mineração de rochas ornamentais – etapa inicial do desenvolvimento da mina – é necessário que seja feito o decapeamento do maciço rochoso, que consiste em remover a camada superior de solo e cobertura vegetal a fim de atingir a rocha e facilitar a abertura das vias de acesso para as posteriores operações de lavra. Nesta fase, já se pode notar a dimensão dos impactos ambientais que se desenvolvem a partir do desmatamento de grandes porções de terra (FABRI et al, 2012; VIDAL et al, 2014).

A problemática ambiental da mineração de rochas ornamentais é abrangente. Diversos autores relatam que dentre os maiores impactos da cadeia produtiva do setor, estão o desmatamento e a significativa quantidade de resíduo gerado, tanto na fase de lavra nas pedreiras, com a geração do resíduo grosso (também denominado de material estéril ou resíduo sólido da extração), como nas etapas de beneficiamento na indústria, que geram resíduos finos, estes considerados rejeitos do tratamento/beneficiamento (ROCHA; SOUSA, 2010; FABRI; JÚNIOR; LEITE, 2012; MAIOR, 2013; ANDRADE, 2014; TEIXEIRA; COSTA, 2017). De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2016, p. 13), os resíduos podem ser “pilhas de minérios pobres, estéreis, fragmentos de rochas, sedimentos, solos, aparas e lamas das serrarias de mármore e granito, as polpas de decantação de efluentes, as sobras da mineração artesanal de pedras preciosas e os finos e ultrafinos não aproveitados do beneficiamento”.

Segundo CASTRO et al. (2012), a partir da realização do Inventário de Ciclo de Vida de Rochas Ornamentais (ICV), estimou-se que a taxa de recuperação de uma pedreira de rochas ornamentais seja de apenas 20 a 25%. Ou seja, dentro do volume total de rocha extraído, em torno de 80% do material minerado é perdido e se transforma em resíduo grosso. Teixeira e Costa (2017) destacam também que um dos grandes problemas associados à mineração de rochas ornamentais no Brasil está no desenvolvimento das técnicas de lavra, que tem baixo aproveitamento do bloco de rocha *in situ* e gera expressiva quantidade de material estéril, causando impactos no solo, ar e podendo atingir os corpos hídricos. Saiaranen, Rinne e Selonen (2018) analisaram as diferentes concentrações de material particulado na atmosfera nas etapas de lavra das rochas ornamentais, constatando níveis elevados nas etapas de perfuração e desmonte da rocha. Gomes (2009) chama a atenção ainda para os impactos causados aos arredores dos empreendimentos mineiros, visto a geração de ruídos e vibrações pelas detonações de explosivos e perfuração das rochas nas pedreiras.

Os resíduos provenientes da etapa de lavra são compostos por rocha alterada do decapeamento, blocos de rocha de tamanhos variados e material de padrão comercial e estético indesejável, também conhecido como material estéril (SILVA; CASTRO, 2016). Os autores destacam ainda que este material subutilizado geralmente é descartado de forma irregular na natureza ou estocados em “pontas de aterro” ou “bota fora”. De acordo com Vidal et al. (2014), pelo fato desses resíduos estarem cobertos pela camada de solo que foi removida na fase de abertura das frentes de lavra, isto acaba dificultando ou inviabilizando seu uso em obras que pudessem vir a utilizar estes fragmentos rochosos, como obras de pavimentação asfáltica e obras de contenção civil. A Figura 10 mostra duas imagens aéreas de uma pedreira de rochas ornamentais, sendo possível observar a quantidade fragmentos de rocha descartados na base da pedreira, formando pilhas de material estéril.



Figura 8. Lavra de rochas ornamentais no norte do Espírito Santo. Detalhe para grande geração de resíduo grosso.



Fonte: *website* empresa Thor Granitos.

O resíduo grosso produzido na etapa de lavra das rochas ornamentais muitas vezes é descartado sem o uso de técnicas adequadas de contenção e em locais inadequados. O solo removido na fase de decapeamento e o material estéril gerado na lavra são depositados nas vizinhanças da mina, sem critérios técnicos adequados de contenção e muitas vezes depositado próximo a corpos hídricos, o que pode vir a causar assoreamento e aumento da turbidez das águas, comprometendo a disponibilidade e a qualidade do recurso hídrico e impactando a fauna aquática (FABRI et al., 2012; TEIXEIRA; COSTA, 2017). Além disso, dado o significativo volume de resíduo gerado durante as operações de lavra das rochas ornamentais, este material fica instável e sujeito a escorregamentos, principalmente nos períodos de chuvosos, podendo ser carregados até regiões mais baixas do relevo e se depositarem nos cursos d'água, causando assoreamento gradativo dos mesmos. Teixeira e Costa (2017) ressaltam ainda que a disposição desordenada deste resíduo ocupa significativa área superficial, o que impossibilita o uso do solo para atividades agrícolas.

Rocha e Souza (2010), em visitas de campos em pedreira de rochas ornamentais localizadas no estado do Espírito Santo, relataram o intenso ruído e a geração de poeira e fumaça provocados pela movimentação de veículos pesados, agravando-se com o início das



operações de lavra, com vibrações no terreno devido a detonação dos explosivos e as perfurações. Lima e Falcão (2009) chamam a atenção também para os transtornos sofridos pelos trabalhadores das minas e pelas comunidades que, por ventura, circunvizinham os empreendimentos de lavra e beneficiamento, que lidam diariamente com ruídos e vibrações, além da emissão de material particulado no ar, o que pode aumentar os níveis de doenças respiratórias, como a silicose. Além disso, Castro et al. (2012) citam o elevado índice de acidentes de trabalho do setor de rochas ornamentais, sendo alguns deles fatais, que ocorrem muitas vezes durante o transporte e movimentação das chapas e blocos de rochas das pedreiras até as indústrias de beneficiamento. A Figura 11 mostra a perfuração de blocos de rocha em uma pedreira de granito e a constante exposição dos trabalhadores a poeira e ao ruído.

Figura 9. Pedreira do granito Branco Ceará, localizada no estado do Ceará.



Fonte: website da empresa Granistone.

De acordo com Maior (2013), a emissão de material particulado na atmosfera na etapa de extração das rochas ornamentais é de difícil controle, porém algumas medidas mitigadoras podem reduzir ou minimizar os efeitos da poeira em suspensão, como a umectação das áreas de trabalho e a implementação de barreiras físicas através de cortinas vegetais, plantando espécies de árvores de rápido crescimento, como o eucalipto.

A degradação ambiental causada pelo desmatamento e pela remoção de camadas de solo para abertura do empreendimento mineiro não se limita somente a geração de resíduos e a emissão de material particulado na atmosfera. A poluição visual também é uma consequência da atividade de lavra das rochas ornamentais, sendo responsável por deixar enormes buracos

nos paredões de rocha e no relevo, além de formar lagos que remanescem quando a extração dos blocos de rocha atinge o topo do lençol freático (FABRI et al., 2012). Nesta fase, a qualidade das águas superficiais pode ser afetada pelas atividades de lavra devido ao carreamento ou à deposição de material estéril nos cursos de rios ou lagos, ou ainda devido à descarga accidental de óleos e combustíveis dos equipamentos no solo da mina. A Figura 12 mostra duas pedreiras de extração de rochas ornamentais cujas atividades de lavra marcam a paisagem, contribuindo para o desmatamento e poluição visual.

Figura 10. Poluição visual causada pela extração de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo.



Fonte: Autor (2020).

A NBR 13.030 de 1999 define as áreas degradadas como sendo aquelas com diversos graus de alterações dos fatores bióticos e abióticos causados pelas atividades de mineração. Dado o exposto com relação a etapa de extração das rochas ornamentais, tem-se que suas atividades promovem diversos níveis de degradação ambiental, sendo definidas por Teixeira e Costa (2017) apud IBAMA (1999) como sendo a destruição da vegetação nativa e da fauna, perda e assoreamento da camada fértil do solo, além de interferir na qualidade e no regime do sistema hídrico. Além disso, a degradação ambiental inerente da fase de lavra das rochas ornamentais promove perdas das características físicas, químicas e biológica do meio ambiente.

### 3.3.2. ETAPA DE BENEFICIAMENTO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

#### 3.3.2.1. *O beneficiamento primário e seus impactos ambientais negativos*

O beneficiamento primário das rochas ornamentais consiste na etapa de serragem (ou desdobramento) dos blocos de rocha vindo das pedreiras em chapas brutas, de espessura que varia entre 2 e 3 cm. Este processo se dá através de equipamentos denominado teares, que

podem ser do tipo multilâmina, monolâmina, talha-blocos de disco diamantado, teares multifio diamantados ou monofio diamantado, sendo os mais utilizados no setor os teares do tipo multilâminas e os teares do tipo multifio (VIDAL et al., 2014; SILVEIRA et al., 2014; ALMEIDA, 2019).

O processo de serragem dos blocos de rocha ornamentais nos teares do tipo multilâmina (Figura 13) ocorrem através do atrito entre um conjunto de lâminas que realizam um movimento pendular descendente sobre o bloco de rocha. Para auxiliar no processo de corte e refrigerar a superfície, uma polpa abrasiva conhecida como Lama do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LABRO) composta por água, granalha metálica de ferro e/ou aço, cal e pó de rocha cai constantemente sobre o processo de corte (Figura 14) (MAIOR, 2013; SILVEIRA, 2014; ALMEIDA, 2019), sendo o pó de rocha correspondente a 25% do bloco beneficiado que se transforma em resíduo fino (CASTRO et al., 2012; TEIXEIRA; COSTA, 2017). O corte ocorre através do atrito constante entre as lâminas e a polpa abrasiva sobre o bloco de rocha.

Figura 11. Serragem dos blocos de rocha em tear multilâmina.



Fonte: Almeida (2019).

Figura 12. Polpa abrasiva sendo despejada sobre o processo de corte.



Fonte: Almeida (2019).

Além do tear multilâmina, outro maquinário comumente utilizado na serragem de rochas ornamentais é o tear do tipo multifio (Figura 15). Este é voltado para o corte de rochas silicáticas, como os granitos e quartzitos, pois estes tipos de rocha possuem elevado teor de sílica em sua composição e, portanto, maior dureza, sendo este tipo de tear o que apresenta o melhor desempenho no corte. A Figura 16 mostra em detalhes o tear multifio realizando o corte da rocha, que ocorre através de cabos de aço dotados de pérolas abrasivas que são içados por um pórtico de metal, realizando movimento vertical descendente sobre a superfície do bloco de rocha, contando com um fluxo constante de água para a refrigeração do processo. (VIDAL, 2014; ALMEIDA, 2019).



Figura 13. Processo de serragem de bloco de rocha em tear do tipo multifio.



Fonte: Autor (2020).

Figura 14. Fios diamantados realizando o corte da rocha.



Fonte: Autor (2020).

De acordo com Silveira et al. (2014), o resíduo gerado na serragem dos blocos de rocha em tear multifio é uma lama composta por água, pó de rocha e micro cristais de diamante que se desprendem da pérola diamantada durante o corte; para o tear multilâmina, o resíduo contém pó de rocha, água e fragmentos de aço advindos da granalha. Braga et al. (2010) também mencionam que a composição da LABRO do beneficiamento primário e secundário pode conter também casqueiros (fragmentos de rocha), cacos e outros resíduos como lâminas, granalhas

desgastadas, sacos de cimento e de cal, restos de abrasivos, entre outros. De acordo com Castro et al. (2012) e Maior (2013), a disposição da LABRO pode ser feita dentro da própria indústria de beneficiamento através da construção de leitos de secagem (ou tanques de decantação) devidamente impermeabilizados de forma a evitar a contaminação do solo e da água subterrânea. Outra maneira de descartar esta lama é transportá-la diretamente para aterros licenciados para receber este tipo de resíduo, onde a lama passará por um processo de filtragem em filtros de pressão para separação da água e do material sólido. A Figura 17 mostra um sistema de tanques de decantação em uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais e a Figura 18 mostra um aterro onde a parcela sólida da lama abrasiva é depositada após filtragem em filtro prensa.

Figura 15. Deposição da LABRO em tanque de decantação.



Fonte: ANPO (2014).



Figura 16. Disposição da LABRO em aterro sanitário licenciado.



Fonte: ANPO (2014).

A norma ABNT NBR 10.004 de 2004 trata da classificação dos resíduos sólidos e classifica a LABRO como resíduo Classe IIB do tipo inerte e que não apresenta toxicidade (BRAGA et al., 2010; CASTRO et al., 2012; MAIOR, 2013). Porém, de acordo com dados do Instituto Estadual de Meio Ambiente do estado do Espírito Santo (IEMA, 2019) dispostos no diagnóstico sobre a gestão dos resíduos sólidos no Espírito Santo, a LABRO possui pH elevado e é composta por substâncias químicas, tais como óxidos de ferro e de alumínio, sendo a disposição desta lama diretamente no solo prejudicial ao próprio solo, aos cursos d'água adjacentes à indústria de beneficiamento e podendo atingir a água subterrânea.

A LABRO apresenta composição química variada, de acordo com o tipo de rocha que está sendo beneficiado e dos insumos utilizados durante o processo. De acordo com Braga et al. (2010), este resíduo é composto por uma mistura de pó de rochas silicáticas e carbonáticas (mármore e granitos *stricto sensu*) de materiais inorgânicos, rochas graníticas, mármore e materiais naturais como argila, cal/borra de carbureto, cimento e gesso, além de materiais ferrosos oxidados advindos dos desgastes das granalhas, lâminas de corte e ferramentas abrasivas. Marcon, Vidal e Castro (2015) fizeram a caracterização da LABRO coletada de um dos maiores aterros para disposição de LABRO da associação de produtores de rochas ornamentais da cidade de Cachoeiro de Itapemirim (ES) e constataram que os principais componentes químicos deste resíduo foram  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $Fe_2O_3$ , o que evidencia a presença de resíduos sílico-aluminosos provavelmente advindos da granalha e de fragmentos de lâminas proveniente do corte da rocha. Oliveira, Ribeiro e Moreiras (2016) fizeram a análise química de lamas de corte de granitos produzidos por uma indústria do interior de São Paulo visando a

utilização do resíduo em obras geotécnicas. A composição da LABRO analisada mostrou a predominância de  $\text{SiO}_2$  (58%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,5%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (11,3%),  $\text{K}_2\text{O}$  (5,25%) e  $\text{CaO}$  (4,96%) compostos estes encontrados predominantemente na sua forma cristalina. Braga et al., (2010) caracterizaram o resíduo determinando o pH e realizando testes de análises químicas dos extratos lixiviados e solubilizados em alíquotas de LABRO da serragem e do polimento das rochas ornamentais. Os resultados mostraram que o resíduo inerente à etapa de serragem dos blocos de rocha apresentaram pH variando entre 9,29 e 11,64, enquanto que a amostragem da lama da etapa de polimento apresentou pH variando entre 11,6 e 12,4 em valores máximos, indicando assim a necessidade de cuidados com a manipulação, transporte e acondicionamento deste resíduo, pois, apesar de serem classificadas como não corrosivo, seus valores de corrosividade estão próximos aos limites estabelecidos em norma (NBR 10.0004, 2004) que é de  $\text{pH}=12,5$ , o que faz desse resíduo agressivo ao meio ambiente, podendo alterar o pH do solo e atingir os cursos d'água, degradando a biota aquática e a flora. Com relação ao extrato solubilizado, Braga et al. (2010) classificaram todas as amostras analisadas como não-corrosivas, não-tóxicas e não-inertes, visto que alguns elementos químicos como Al, Fe, Pb, Cr, fenóis,  $\text{F}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  identificados em amostras de lama do polimento apresentaram concentrações acima do limite máximo permitido (LMP) pela ABNT 10.004, classificando este resíduo como classe IIA – não inerte. Resultado como este corrobora a ideia de que os resíduos do beneficiamento das rochas ornamentais compõe um passivo ambiental que merece mais atenção e estudos visto que, dependendo do tipo de rocha que está sendo beneficiado, a composição química da LABRO será diferente, podendo esta ser classificada como não inertes para o meio ambiente, com valores de concentração para alguns elementos químicos acima dos limites estipulados em norma.

Apesar de representar um passivo ambiental significativo para o setor, os resíduos do beneficiamento das rochas ornamentais vem sendo alvo de pesquisas para serem aplicados como matéria prima em outras indústrias, como na produção de cimento, concretos, argamassas e produtos cerâmicos, o que pode vir a ser uma alternativa sustentável para o aproveitamento deste material que seria descartado, promovendo assim a economia circular. Diversos autores fazem menção à utilização do resíduo resultante das etapas de beneficiamento das rochas ornamentais como matéria prima na cadeia produtiva de setores como a indústria cerâmica (DANTAS et al., 2010; SOUZA; PINHEIRO; HOLANDA, 2013; GADIOLI; PIZETA; AGUIAR, 2017), no setor agrícola para fins de correção e nutrição do solo através da técnica de rochagem (RAYMUNDO et al., 2013; SANTOS, 2016), também na utilização dos resíduos para a produção de materiais vítreos (BASTOS, 2018), para a produção de concreto e argamassa



(AFONSO, 2005; GAMEIRO, BRITO, SILVA, 2014; RODRIGUES, BRITO, SARDINHA, 2015; AGOSTIM et al., 2016; RANA et al., 2016; MEDINA et al., 2017), na incorporação como *filler* (QUEIRÓZ; CASTRO, 2017) além de outros componentes para a indústria da construção civil.

A economia circular é considerada uma alternativa atraente e um modelo mais sustentável de produção, que se opõe ao modelo tradicional da economia linear, que se baseia em extrair a matéria prima, processar o bem, usar e descartar. Porém, este formato tradicional de produção não leva em consideração os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana, visto que trata os bens naturais como recursos inesgotáveis e infinitos. Por outro lado, levando em consideração o conceito da economia circular, é proposto um sistema regenerativo na qual o modelo de produção leve em consideração que os recursos naturais, matérias prima, materiais e outros produtos envolvidos no processo de industrialização retornem a este ciclo, mesmo que aplicados em outras cadeias produtivas (DUTHIE; LINS, 2017). Sendo assim, através da redução, reutilização, recuperação e reciclagem, o modelo da circularidade busca diminuir a demanda pela extração de novos recursos, bem como reduzir ou zerar a geração de resíduos.

O conceito da economia circular aplicado à indústria mineral ainda é recente, porém algumas pesquisas já vem sendo implementadas para o setor de rochas ornamentais, como no estudo de Santos e Donato (2019) na qual os autores propõem uma rota tecnológica para a coleta e reutilização do material estéril e não aproveitado das jazidas de rochas ornamentais para serem aplicados na produção de artesanatos, tijolos para calçamentos e pavimentação, bem como na produção de pias e tanquinhos que poderão ser destinados para famílias de baixa renda. Tal pesquisa propõe uma rota facilitada para coleta do resíduo nas pedreiras, visando um maior aproveitamento do estéril e uma produção mais limpa. De maneira geral, embora ainda não seja possível encontrar muitas publicações que explorem o contexto da economia circular aplicados à mineração no Brasil, o tema vem ganhando espaço na programação de eventos e agendas de debates do setor mineral, como destacado por Lins e Duthie (2017), visto que a mineração está na base das cadeias produtivas para suprimento de materiais para diversas outras indústrias. A partir do que foi exposto sobre a economia circular, pode-se afirmar, com base nos estudos de Blomsma e Brennan (2017) apud Lins e Duthie (2017) sobre a emergência da economia circular no mundo, a capacidade de se prolongar a utilização dos recursos não renováveis dentro da circularidade lança uma nova perspectiva para a gestão dos resíduos no setor mineral, sendo este um aspecto pertinente para que os países produtores de recurso minerais, como é o caso do Brasil, se adequem na sua forma de produzir e gerir seus bens não renováveis.

### 3.3.2.2. *O beneficiamento secundário e seus impactos ambientais negativos*

A etapa de beneficiamento secundário das rochas ornamentais é considerada uma das mais importantes da cadeia produtiva, pois compreende a fase de acabamento final da chapa de rocha, sendo assim responsável pelo processo de polimento e lustro das chapas de rocha brutas vindas do beneficiamento primário (serragem). Este processo caracteriza-se por operações que objetivam reduzir a rugosidade da superfície da chapa de rocha ornamental aumentando o seu brilho (SILVEIRA et al., 2013). Para isto, as chapas brutas vindas do processo de beneficiamento primário são submetidas a equipamentos denominados politrizes (Figura 17), que são máquinas dotadas de cabeçotes rotativos (também conhecidos como satélites), onde são acopladas ferramentas abrasivas (ou reboło abrasivo) fixas, que realizam movimento circular sobre a superfície da chapa, contando com um fluxo constante de água para refrigeração desta superfície.

Figura 17. Politriz do tipo automática polindo chapas de rochas ornamentais.



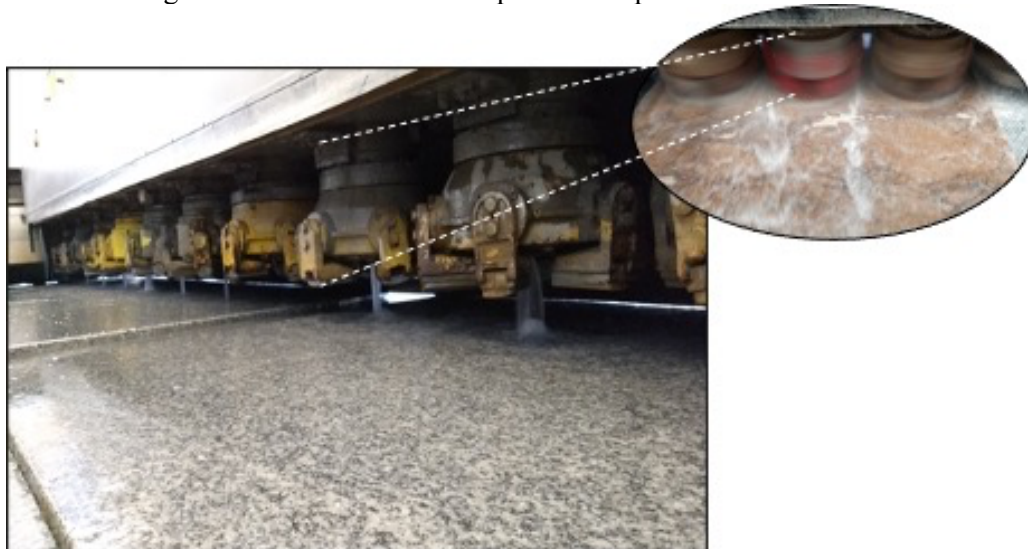
Fonte: Autor (2020).

Assim como ocorre na etapa de serragem dos blocos de rocha ornamental, o processo de polimento destes materiais também se dá por via úmida, gerando resíduos na forma de lama, além de fragmentos e aparas de rocha, que são descartados na fase final de confecção das peças nas marmorarias. Além disso, ao se comparar a poluição sonora produzida nas etapas de corte e polimento destes materiais, tem-se que no beneficiamento secundário este ruído é

minimizado, visto que os teares usados no beneficiamento primário são os maiores responsáveis pelo barulho produzido. Além disso, a poluição atmosférica resultante da fase de polimento das rochas ornamentais é agravada visto que as partículas produzidas são de granulometrias ainda menores que na fase de serragem, ficando em suspensão na atmosfera e sendo depositadas sobre os próprios trabalhadores, além de instalações, vegetação e casas localizadas nos arredores das indústrias de beneficiamento (CASTRO et al., 2012).

A etapa de polimento das rochas ornamentais utiliza quantidades significativas de água em seu processo, desencadeando elevado consumo hídrico. Almeida (2019) destaca que as máquinas de polir não são ajustadas de acordo com o tipo de rocha que está sendo polida, sendo mantida constante a vazão de água durante todo o processo. Embora as empresas de beneficiamento adotem circuito fechado para circular a água no beneficiamento, bem como sistemas de tratamento para seus efluentes, como a separação sólido-líquido no caso dos resíduos ultrafinos do polimento, um volume considerável é inserido diariamente neste sistema (BOLONINI; SILVEIRA, 2016; ALMEIDA, 2019). Do contrário, a presença de partículas pode causar imperfeições no polimento, gerando riscos na superfície do material durante o contato entre o abrasivo e a rocha. A Figura 14 mostra com detalhes os cabeçotes de polir com saídas d'água abertas durante todo o processo.

Figura 18. Politriz automática polindo chapas de rochas ornamentais.



Fonte: Autor (2020).

O fluxograma da Figura 21 mostra como ocorre o tratamento e a recirculação da água resultante da etapa de polimento das rochas ornamentais, para uma situação real da indústria.

Destaca-se que a maioria das empresas de rochas ornamentais contam com poços artesianos para captação da água utilizada em seus processos.



setor industrial possa se desenvolver, o uso do recurso hídrico de forma racional é imprescindível.

Além dos impactos ambientais supracitados referentes a fase de polimento das rochas ornamentais, pesquisas recentes mostram que os insumos provenientes desta fase do processo podem ser tóxicos à saúde humana e ao meio ambiente. De acordo com Dorigo e Silveira (2017), os rebolos abrasivos utilizados nos cabeçotes das politrizes, bem como as resinas aplicadas na superfície das rochas ornamentais para dar acabamento final e ressaltar o brilho destes materiais são compostos por matéria prima à base de resina epóxi, composto este que contém substâncias químicas como Bisfenol A (BPA) e Epicloridrina em sua composição (BESERRA et al., 2012).

As resinas epóxi amplamente utilizadas na cadeia produtiva de diversas indústrias são plásticos termofixos formados a partir da reação química entre a Epicloridrina e o Bisfenol A (BPA). Segundo Sohrab et al. (2016), apud Oliveira et al. (2017), o BPA é um xenoestrogênio sintético utilizada na produção de plásticos em geral, principalmente policarbonatos e resinas epóxi. Oliveira et al., (2017) ao fazer um levantamento da literatura sobre os possíveis efeitos e danos do BPA ao organismo, constataram que este composto é frequentemente citado como depressor do sistema endócrino de seres humanos e animais, podendo aumentar a propensão para câncer de mama e de testículos. O BPA é um composto orgânico considerado de potencial contaminação ambiental, apresentando alta solubilidade em água ( $300 \text{ mg L}^{-1}$ ), baixa pressão de vapor ( $5,32 \times 10^{-6} \text{ Pa}$  à  $25^\circ \text{C}$ ) e baixa constante de Henry ( $10^{-5} - 10^{-6} \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1}$ ). Além disso, levando em consideração o alto valor do coeficiente de partição octanol-água ( $\log$  de  $K_{ow}$ ) de 3,40, que prediz a tendência de uma substância de distribui-se entre o octanol (representando a gordura) e a água, medindo assim a sua lipofilicidade, espera-se que o comportamento do BPA no meio físico seja de adsorção nos materiais particulados e possua características lipofílicas, representando assim um potencial de bioconcentração na biota, podendo causar a poluição do ambiente aquático e interferir diretamente nos organismos que ali vivem (LINTELMANN et al., 2003).

Dado o exposto, a busca por alternativas mais sustentáveis para o setor de rochas ornamentais chamou a atenção de pesquisadores. Dorigo, Silveira e Almeida (2020) testaram rebolos abrasivos ecológicos confeccionados com matriz à base de resina poliuretana de mamona (*Ricinus communis*) tendo como elemento abrasivo a cinza da casca do arroz, na tentativa de reduzir a utilização da resina epóxi nas ferramentas abrasivas para polimento de rochas. O abrasivo feito a partir da resina vegetal se mostrou mais eficiente do que o abrasivo convencional à base de resina epóxi no polimento de um tipo de rocha ornamental utilizado no

teste. Porém, a utilização da resina ecológica ao invés da convencional demanda maiores estudos de viabilidade econômica para sua produção, dado que as resinas epóxi são produzidas em larga escala no mundo todo e seu custo é menor quando comparado ao insumo verde.

#### **4. DISCUSSÃO**

Dado o exposto com relação à problemática ambiental da mineração de rochas ornamentais, pôde-se notar que as atividades da sua cadeia produtiva geram passivo ambiental que impacta o meio físico, alterando a qualidade do ar e do solo, podendo afetar também as águas superficiais e subterrâneas e a biota, causando impactos irreversíveis ao meio ambiente. Este tópico é dedicado a discussão dos impactos ambientais negativos causados pelas atividades de lavra e beneficiamento das rochas ornamentais. A Tabela 4 relaciona as atividades de ocorrência da degradação ambiental, delimita os compartimentos do meio físico impactados pela lavra e pelo beneficiamento, bem como os mecanismos de transporte. Por fim, identifica-se também os potenciais receptores prejudicados pela mineração de rochas ornamentais. As operações de lavra para a extração das rochas nas jazidas, bem como suas subseqüentes fases de beneficiamento na indústria são as atividades origens da degradação ambiental na mineração de rochas ornamentais. Os mecanismos de transporte estão associados à forma como a intervenção ao meio ambiente se deflagrou e foi carregado pelos compartimentos do meio físico, desde as áreas fontes da degradação até atingir os potenciais receptores finais.



Tabela 4. Caracterização do cenário de exposição da degradação ambiental da cadeia produtiva de rochas ornamentais.

Atividade / Ocorrência	Compartimento do meio físico impacto	Mecanismos de transporte	Fonte (primária ou secundária)	Potenciais receptores
<b>LAVRA/ Mina</b>	Solo, subsolo e relevo	Deposição de sedimentos, escorregamento, queda de blocos e detritos, desencadeamento de sismo.	Operações de lavra, formação de pilhas de rejeito.	Residências e comércio próximos à área e os próprios operários da mina.
	Biota	Desmatamento, erosão.	Decapeamento para início da lavra.	
	Ar	Emissão de poeira e deposição de partículas, ultralancamento de fragmentos de rocha.	Emissão de particulados e gases dos equipamentos.	
	Águas superficiais e subterrâneas	Inundação, assoreamento.	Rebaixamento do lençol freático.	
<b>BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO/ Serragem (Indústria)</b>	Solo	Percolação de lama da serragem.	Operações de serragem do bloco de rocha	Comunidades vizinhas à área e os operários da indústria
	Águas superficiais	Percolação de efluentes líquidos para os corpos d'água adjacentes.	Descarga de efluentes líquidos.	
	Ar	Geração e deposição de particulados na atmosfera.	Operações de serragem do bloco de rocha.	
<b>BENEFICIAMENTO SECUNDÁRIO/ Polimento (Indústria)</b>	Solo	Percolação de lama do polimento.	Operações de polimento da chapa de rocha.	Comunidades vizinhas à área e os operários da indústria
	Águas superficiais e subterrâneas	Escoamento superficial de efluentes líquidos.	Solo superficial.	
	Ar	Geração e deposição de particulados.	Emissão de poeira.	

Fonte: Autor (2020).

A partir da análise da Tabela 4, bem como das informações coletadas através do levantamento bibliográfico apresentado nesta pesquisa, é inegável que o setor de rochas ornamentais precisa evoluir no que tange os aspectos ambientais da sua cadeia produtiva, buscando por processos mais sustentáveis para suas operações de lavra e beneficiamento. Um primeiro passo para isto seria repensar na gestão dos resíduos produzidos nas suas operações, desde a busca por um maior aproveitamento das frentes de lavra a fim de minimizar o estéril gerado, até o reaproveitamento dos resíduos finos gerados na etapa de beneficiamento desses materiais para serem aplicados em outras indústrias. Além disso, é imprescindível utilizar da tecnologia a nosso favor para agregar valor a imensa quantidade de material estéril considerado sem valor econômico produzido nas minas. Tão importante quanto investir em pesquisas voltadas à minimização dos danos ambientais e acidentes de trabalho recorrentes no setor, faz-se necessário também que se adote uma cultura de reaproveitamento dentro das empresas, na qual as rochas ornamentais sejam produzidas de forma que, ao final da vida útil da edificação, estes materiais possam ser recuperados, reciclados e reutilizados, o que poderá vir a reduzir a demanda e, portanto, a exploração deste recurso não renovável. Tal premissa está baseada no conceito da Economia Circular, na qual os produtos devem retornar continuamente como matéria-prima para suprir novos ciclos de produção, reduzindo assim a geração de resíduos e promovendo operações produtivas mais sustentáveis, opondo-se então ao sistema de economia linear, que presume que o meio ambiente tem capacidade ilimitada de suprir processos, matéria-prima e energia, o que não acontece. Neste contexto, fica claro que se deve controlar o uso dos recursos naturais não renováveis e equilibrar a utilização dos recursos renováveis, desconstruindo o conceito de resíduo através da evolução de sistemas e projetos que adotem processos mais verdes e tecnologias limpas para o setor de rochas ornamentais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apontou os principais impactos ambientais da mineração de rochas ornamentais a partir de um levantamento bibliográfico das suas etapas de lavra e beneficiamento, abarcando desde a etapa de exploração dos blocos de rocha nas pedreiras até as fases finais de beneficiamento e acabamento das chapas de rocha na indústria.

O levantamento bibliográfico destacou a relevância econômica deste setor para a indústria mineral e, principalmente, discorreu sobre os impactos ambientais negativos inerentes a cada fase do processamento industrial das rochas ornamentais: beneficiamento primário (serragem) e beneficiamento secundário (polimento). Dentre as informações levantadas, a maioria dos autores citaram a substancial geração de resíduos desde a fase de extração dos blocos de rocha nas jazidas até a etapa final de beneficiamento das chapas de rochas ornamentais na indústria. Além disso, destacou-se também como um grande passivo ambiental o desmatamento de grandes áreas verdes para a implantação do empreendimento mineiro, bem como a utilização ostensiva dos recursos hídricos, comprometendo a biodiversidade local e interferindo na qualidade do ar, água e solo.

Ainda que existam diversas linhas de pesquisa voltadas para o reaproveitamento dos resíduos da lavra e do beneficiamento das rochas ornamentais como matéria-prima para outras indústrias, a quantidade gerada ainda configura um passivo ambiental bastante significativo que precisa ser estudado com mais atenção, dado o fato que este resíduo possui composição heterogênea, sendo classificado como não inertes em alguns casos. Logo, nota-se que o setor de rochas ornamentais ainda é carente de estudos e desenvolvimento tecnológico no que tange às suas etapas e processos, o que contribui para um crescimento desregrado e em desacordo com os preceitos do desenvolvimento sustentável.

Conclui-se, portanto, que a mineração de rochas ornamentais evoluiu nos últimos anos no tocante aos avanços tecnológicos do seu parque industrial. Porém, percebe-se que ainda existe um longo caminho a ser percorrido na busca por práticas mais sustentáveis para o setor, sendo imprescindível a mudança de mente de alguns empresários para investir em mão de obra qualificada para um planejamento mais sustentável na exploração das suas jazidas e operação dos parques industriais de beneficiamento, obtendo assim maior aproveitamento do material rochoso, redução de resíduos e uma linha de produção mais limpa.

Como trabalhos futuros, propõe-se a extensão deste levantamento bibliográfico abordando também aspectos relacionados às fases de fechamento das jazidas e a recuperação das áreas degradadas por esta mineração. Destaca-se a necessidade de se pensar sobre as

consequências sócio ambientais desta atividade mineral antes de tomar decisões e dar início a abertura do empreendimento mineiro, bem como utilizar de ferramentas de gestão ambiental para minimizar os impactos negativos durante as operações de exploração do bem mineral e promover o desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15012: rochas para revestimentos de edificações – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013. 23p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004: resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro. 2004. 71p.

ABIROCHAS. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **O setor brasileiro de rochas ornamentais: Informe 05/2018**. 2018. Brasília, DF, 34p. Disponível em: <<http://abirochas.com.br/informes-2018/>>. Acesso em: 1 abril 2020.

ABIROCHAS. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Balanço das importações e exportações de rochas ornamentais no 1º semestre de 2019**. 2019. Brasília, DF, 11p. Disponível em <<http://abirochas.com.br/informes-2019/>>. Acesso em 29 mar. 2020.

AGOSTIM, L.; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F. **Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de concreto**. In: Jornada de Iniciação Científica, 24. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016. 5p.

ALMEIDA, P. F. **Análise tribológica do sistema de polimento com abrasivos à base de resina de mamona para acabamento superficial de rochas ornamentais**. 2018. 152 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2018.

ALMEIDA, S. **Lavra, artesanato e mercado do esteatito de Santa Rita de Ouro Preto**. Minas Gerais. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral: Economia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto. 123p. Ouro Preto, 2006.

ANDRADE, L. A. P. **Impactos ambientais provocados pela exploração de granito na Serra da Meruoca – CE**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista. 121 p. Rio Claro. 2014.

ANPO. Associação Noroeste de Pedras Ornamentais do Espírito Santo. Inauguração do Centro de Tratamento de Resíduo (CTR). 2014. Disponível em <http://anpo.com.br/main.asp?link=noticia&id=171>. Acesso em 15 jun. 2020.

ASHMOLE, I.; MOTLOUNG, M. Dimension stone: the latest trends in exploration and production technology. **The southern African Institute of Mining and Metallurgy**. In: Proceedings of the International Conference on Surface Mining, 2008, p. 5–8.

BASTOS, I. A. **Utilização de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidros sodo-cálcicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 86p. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Decreto-lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

BRASIL. Código de Mineração. Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/Del0227compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227compilado.htm)>. Acesso em 10 nov. 2020.

CAMPOS, A. R.; RIBEIRO, R. C. C.; CASTRO, N.F.; AZEVEDO, H. C. A.; CATTABRIGA, L. Resíduos: tratamentos e aplicações industriais. *In*: VIDAL, F. W. H., AZEVEDO, H. C. A., CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCTI, 2014.p.433-492.

CAVINATO, M. L. **Rochas e minerais: guia prático**. São Paulo: Nobel, 1998, 64p.

CIMEF INDÚSTRIA METALÚRGICA. Produtos para polimento de rochas ornamentais. Disponível em <<http://www.cimef.com.br/produtos/detalhe.asp?codigo=881>> Acesso em 6 jun. 2020.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Aspectos da construção sustentável no Brasil e produção de políticas públicas**. Ministério do Meio Ambiente. 2014. 133p. Disponível em <<http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4>> Acesso em: 20 jul. 2020.

DANTAS, A. P. A., ACCHAR, W., LEITE, J. Y. P. ARAÚJO, F. S. D. **Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca**. Revista Holos. 2010. Ano 26, vol 1.

DENYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a systematic review. *In*: BUCHANAN, D. A.; BRYMAN, A. **The SAGE handbook of organizational research methods**. London: Sage Publication. 2009. p.671–689.

DORIGO, W. F. G.; SILVEIRA, L. L. L. **Medição da perda de massa de rebolos abrasivos ecológicos utilizados para o polimento de rochas ornamentais reforçados com sílica oriunda da queima da palha do arroz**. *In*: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 25. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2017.

DORIGO, W.F.G.; SILVEIRA, L.L.L.; ALMEIDA, P. F. **Ecological fickerts used in the dimension stones polishing reinforced with Silica from the Rice Hull Ash**. Key Engineering Materials, v. 848, p.66-74, 2020.

FABRI, E. S.; NALINI JÚNIOR, H. A.; LEITE, M. G. P. **Exploração de rochas ornamentais e meio ambiente**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, Brasil, v. 26, p. 189-197, jul./dez. 2012. Editora UFPR.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Estudos experimentais de alteração acelerada de rochas graníticas para revestimento**. 2003. 281p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. São Paulo, 2003.

FRASCÁ, M.H.B.O. Rocha como material de construção. *In*: **Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de Materiais**. 3a ed. São Paulo: IBRACON, 2017, v.1, p. 437-479. 2017.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas.** In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento.** Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCTI, 2014. p. 43-98.

FARIAS, C. E. G.; COELHO, J. M. **Mineração e meio ambiente no Brasil.** Relatório Preparado para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Ciência, Tecnologia e Inovação (CGEE). 2002. 40 p.

GADIOLI, M. C. B., PIZETA, P. P., AGUIAR, M. C. **Cerâmica incorporada com resíduo de rochas ornamentais proveniente da serragem de blocos utilizando tear multifio: Caracterização ambiental.** 6º Workshop Internacional Avançado em produção mais limpa. São Paulo, Brasil. 2017.

GAMEIRO, F.; BRITO, J.; SILVA, D. **Durability performance of structural concrete containing fine aggregates from waste generated by marble quarrying.** Eng Struct, v. 59, n. 2, p. 654–62, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOMES, M. P. **Matriz de interação qualitativa de aspectos e impactos ambientais no seguimento de rochas ornamentais:** Estudo de caso - São Rafael / RN. n. Dez. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Gestão e manejo de rejeitos da mineração.** Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). 1. ed. Brasília: IBRAM, 2016. 124 p.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL E INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO (IDEIES). **A Indústria de rochas ornamentais no Espírito Santo.** Jornal Fato Econômico. Gerência de estudos econômicos - Sistema Findes. Ano 3, n. 18, fev. 2019. ISSN 2595-9263.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (IEMA). **Diagnóstico sobre a gestão dos resíduos sólidos no Espírito Santo.** 2019. 154p. Disponível em < <https://seama.es.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos> > Acesso em: 5 jun. 2020.

JOHN, V.M. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. In: **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. IBRACON. 2017. 40p.

LIMA, F. S. P.; FALCÃO, C. L. da C. **Impactos ambientais das atividades mineradora na Serra do Rosário para fins de extração de granito ornamental – Sobral-CE.** Revista Homem, Espaço e Tempo. ISSN 1982-3800. Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA. Centro de Ciências Humanas-CCH, 2009. 11 p.

DUTHIE, R, A. C., LINS, F. A. A. **Economia Circular e sua relação com a Mineração.** Revista Brasil Mineral, n. 374, set. 2017. Disponível em <<https://www.cetem.gov.br/images/periodicos/2017/economia-circular.pdf>> Acesso em 28 nov. 2020.

LINTELMANN, J.; KATAYAMA, A.; KURIHARA, N.; SHORE, L.; WENZELI, A. **Endocrine disruptors in the environment**. IUPAC Technical Report Pure Applied Chemistry, v.75, n.5, p.631-681, 2003.

MACEDO, A. B. Recursos minerais não-metálicos. **Estudos avançados**, São Paulo, v.12, n.33, p.67-87, mai./aug. 1998. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v12n33/v12n33a05.pdf>> Acesso em: 30 mar. 2020.

MARCON, D. B.; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F. **Caracterização e tratamento da lama do beneficiamento d rochas ornamentais (LABRO)**. In: XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Poços de Caldas, MG. 2015.

MEDINA, G., S. B., I.F., FRÍAS, M., S. R., M.I., MEDINA, C., 2017. **Granite quarry waste as a future eco-efficient supplementary cementitious material (SCM)**: Scientific and technical considerations. J. Clean. Prod. 148, 467–476. doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.048

MONTANI, C. **XXVI Relatório mármore e rochas no mundo**: Dossiê Brasil 2015. Traduzido por E. Mori e A. F. Furia. Carrara: Aldus, 2015.

MONTANI, C. **XXIX Relatório mármore e rochas no mundo**. Carrara – Itália: Aldus casa de edição, 2018, p. 150.

OLIVEIRA, G. C. P.; ARAÚJO, J.V.S.; JUNIOR, A. M. C.; PALOMBIT, K. **Bisfenol A: Possíveis efeitos e danos ao organismo** – Revisão de literatura. Journ. Inter. Bioc., v.2, n.2, 2017.

OLIVEIRA, T.; RIBEIRO, R. P.; MOREIRAS, T. F. **Caracterização de lamas do corte de granitos com vista ao uso em obras geotécnicas**. Ciência & Engenharia, Uberlândia, MG, v. 25, n.2, p. 51-57, jul.–dez. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/19834071.2016.33908> . Acesso em 23 nov. 2020.

PAZETO, A.A.; AMARAL, P.M.; PINHEIRO, J.R.; PARAGUASSÚ, A.B. **Effects of glass fiber-reinforcement on the mechanical properties of coarse-grained building stone**. Const. Build. Mat., v. 155, p. 79-87, 2017.

PREZOTTI, J. C. S. **Concepção de um sistema de gerenciamento de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais**. In: I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. Guarapari, ES. 2004.

RANA, A.; KALLA, P.; VERMA, H.K.; MOHNOT, J.K. **Recycling of dimensional stone waste in concrete**: A review. Journal of Cleaner Production. v. 135, p.312–331, 2016.

RAYMUNDO. V., NEVES, A. MIRNA, CARDOSO, S. N., BREGONCI, I. S., LIMA, J.S.S., FONSECA, A. B. **Resíduos de serragem de mármore como corretivo de acidez de solo**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.1, p.47-53. 2013.

REIS, R. C.; SOUSA, W. T. **Métodos de lavra de rochas ornamentais**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 56, n. 3, p. 207-209, 2003.



RODRIGUES, R.; BRITO, J.; SARDINHA, M. **Mechanical properties of structural concrete containing very fine aggregates from marble cutting sludge.** *Construction and Building Materials*, v. 77, p. 349-356, 2015.

ROCHA, A. C. P. **Avaliação do material estéril de formação ferrífera em mineração para disposição seletiva e reaproveitamento futuro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas. Ouro Preto, 52 p., 2015.

ROCHA, C. H. B.; SOUSA, J. G. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação Cachoeiro de Itapemirim - ES.** Enciclopédia Biosfera, v. 6, n. 9, p. 1–17, 2010. Disponível em: < <https://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/Jos%C3%A9-Gon%C3%A7alves-de-Souza.pdf>>. Acesso em: 1 maio de 2020.

SAIARANEN, M.; RINNE, M.; SELONEN, O. **A review of dust emission dispersions in rock aggregate and natural stone quarries.** *International Journal of Mining, Reclamation and Envir.* 2018. Vol. 32, 3. p. 196-220.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, R. P. **Rochagem com uso de resíduos sólidos de marmorarias e resíduos orgânicos de macrófitas aquáticas na recuperação de áreas degradadas por mineração: uma revisão.** In: 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves, RS. 2016.

SANTOS, J. P. C. C.; DONATO, V. **Economia circular aplicada à limpeza de jazidas de rochas ornamentais no Brasil.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA, 5., 2019, Salvador. Anais...Salvador: Bluncher engineering, 2019. p. 838-845.

SCHUMANN, Walter. **Rochas e Minerais.** Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1982.

SILVEIRA, L. L. L.; VIDAL, F. W. H.; SOUZA, J. C. Beneficiamento de rochas ornamentais. In: VIDAL, F. W. H., AZEVEDO, H. C. A., CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento:** Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCTI, 2014.p.327-398.

SOUZA, A. J.; PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. **Influência da incorporação de resíduo de rocha ornamental sobre as propriedades e microestrutura sinterizada de piso cerâmico.** *Matéria* (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 19-28, 2013. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S151770762013000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151770762013000100004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 12 jul. 2020.

SOUSA, J. F.; VIDAL, F.W.H. **Perfil das principais rochas e minerais industriais.** In: VIDAL, F. W. H., SALES, F. A. C. B., ROBERTO, F. A. C., SOUSA, J. F., MATTOS, I. C. **Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará.** Fortaleza: CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI, 2005. 176p.

STRECKEISEN, A. **To each plutonic rock its proper name.** Earth-Sci Review. v. 12, n.1, 1975. p.33

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R; TOLEDO, M.C.M; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra.** 2Ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 623p. 2009.

TEIXEIRA, M. F.; COSTA, R. V. F. **Impactos Ambientais da Extração e Beneficiamento da Rocha Esteatito (Pedra-Sabão):** Um estudo de caso na região de Santa Rita de Ouro Preto, MG. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 2, Vol. 1. pp 257-310, abril de 2017. ISSN:2448-0959

VIDAL, F.W.H.; PINHEIRO, J. R.; CASTRO, N.F.; CARANASSIOS, A. Lavra de Rochas Ornamentais. *In:* VIDAL, F. W. H., AZEVEDO, H. C. A., CASTRO, N. F. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento.** Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCTI, 2014. p.155-257.

APÊNDICE A – Artigos utilizados no levantamento bibliográfico.

Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de concreto.
Análise tribológica do sistema de polimento com abrasivos à base de resina de mamona para acabamento superficial de rochas ornamentais.
Lavra, artesanato e mercado do esteatito de Santa Rita de Ouro Preto.
Impactos ambientais provocados pela exploração de granito na Serra da Meruoca – CE.
Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca.
Medição da perda de massa de rebolos abrasivos ecológicos utilizados para o polimento de rochas ornamentais reforçados com sílica oriunda da queima da palha do arroz.
Ecological fickerts used in the dimension stones polishing reinforced with Silica from the Rice Hull Ash.
Exploração de rochas ornamentais e meio ambiente.
Estudos experimentais de alteração acelerada de rochas graníticas para revestimento.
Cerâmica incorporada com resíduo de rochas ornamentais proveniente da serragem de blocos utilizando tear multifio.
Durability performance of structural concrete containing fine aggregates from waste generated by marble quarrying.
Matriz de interação qualitativa de aspectos e impactos ambientais no seguimento de rochas ornamentais.
Impactos ambientais das atividades mineradora na Serra do Rosário para fins de extração de granito ornamental.
Economia Circular e sua relação com a Mineração.
Endocrine disruptors in the environment.
Caracterização e tratamento da lama do beneficiamento d rochas ornamentais (LABRO).
Granite quarry waste as a future eco-efficient supplementary cementitious material
Bisfenol A: Possíveis efeitos e danos ao organismo.
Caracterização de lamas do corte de granitos com vista ao uso em obras geotécnicas.
Effects of glass fiber-reinforcement on the mechanical properties of coarse-grained building stone.
Concepção de um sistema de gerenciamento de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais.
Recycling of dimensional stone waste in concrete: A review.
Resíduos de serragem de mármore como corretivo de acidez de solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.
Métodos de lavra de rochas ornamentais.
Mechanical properties of structural concrete containing very fine aggregates from marble cutting sludge
Avaliação do material estéril de formação ferrífera em mineração para disposição seletiva e reaproveitamento futuro.
Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação Cachoeiro de Itapemirim - ES.
A review of dust emission dispersions in rock aggregate and natural stone quarries.

Rochagem com uso de resíduos sólidos de marmorarias e resíduos orgânicos de macrófitas aquáticas na recuperação de áreas degradadas por mineração
Economia circular aplicada à limpeza de jazidas de rochas ornamentais no Brasil.
Influência da incorporação de resíduo de rocha ornamental sobre as propriedades e microestrutura sinterizada de piso cerâmico.
Impactos Ambientais da Extração e Beneficiamento da Rocha Esteatito (Pedra-Sabão): Um estudo de caso na região de Santa Rita de Ouro Preto
A Indústria de rochas ornamentais no Espírito Santo.
To each plutonic rock its proper name
Dimension stone: the latest trends in exploration and production technology.
Utilização de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidros sodo-cálcicos.
<b>TOTAL: 36</b>

APÊNDICE B – Artigos descartados após critérios estipulados.

Life cycle impact assessment of artisanal sandstone mining on the environment and health of mine workers
Matriz de interação qualitativa de aspectos e impactos ambientais no seguimento de rochas ornamentais
Potential environmental impacts of quarrying stone in karst
Selection of a sustainable technology for cutting granite block into slabs
Embodied energy and CO2 in UK dimension stone
Dimension stones in the circular economy world
Application of life cycle assessment in the mining industry
<b>TOTAL: 7</b>

## APÊNDICE C – Livros utilizados no levantamento bibliográfico.

Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento (Cap. 2).
Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento (Cap. 4).
Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento (Cap. 7).
Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento (Cap.9).
Rochas e minerais: guia prático.
Aspectos da construção sustentável no Brasil e produção de políticas públicas.
The SAGE handbook of organizational research methods.
Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de Materiais (Cap. 4)
Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de Materiais (Cap. 15).
Como elaborar projetos de pesquisa.
Recursos minerais não metálicos. Estudos avançados.
Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.
Rochas e Minerais
Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará
Decifrando a Terra
Producing a systematic review
Gestão e manejo de rejeitos da mineração
Diagnóstico sobre a gestão dos resíduos sólidos no Espírito Santo
<b>TOTAL: 15</b>

**APÊNDICE D – Outras referências consultadas.**

NBR 15012: rochas para revestimentos de edificações –Terminologia
NBR 10004: resíduos sólidos – Classificação
O setor brasileiro de rochas ornamentais: Informe mineral 05/2018.
Balanço das importações e exportações de rochas ornamentais no 1º semestre de 2019: Informe mineral.
Website da Associação Noroeste de Pedras Ornamentais do Espírito Santo (ANPO).
Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Diretrizes para o Relatório de Impacto Ambiental
Decreto-lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos
Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Código de Mineração.
Website CIMEF Indústria Metalúrgica.
Relatório feito pelo CGEE – Mineração e Meio Ambiente no Brasil.
Website IEMA: Diagnóstico sobre a gestão dos resíduos sólidos no Espírito Santo.
XXIX Relatório mármore e rochas no mundo: Dossiê Brasil 2015.
XXVI Relatório mármore e rochas no mundo.
<b>TOTAL: 13</b>