

Potencial de atuação da engenharia nos rejeitos sólidos de mineração no Brasil

Tailings engineering inputs to the annual mine and tailings in Brazil

Potencial de desempeño de ingeniería en relaves mineros sólidos en Brasil

Recebido: 13/02/2021 | Revisado: 23/02/2021 | Aceito: 12/03/2021 | Publicado: 26/03/2021

Gabriel Henrique da Cruz Faria

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8061-3792>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: gabrielhcf01@gmail.com

Ricardo Luiz Perez Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2641-4036>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: ricardo.luiz@unifei.edu.br

Ricardo Shitsuka

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2630-1541>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: rshitsuka@uol.com.br

Leonardo Lúcio de Araújo Gouveia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9387-2112>

Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil

E-mail: leonardo.gouveia.llag@gmail.com

Resumo

O Brasil é um dos maiores produtores de minérios do mundo, com destaque para a produção de minérios de ferro, de nióbio, de alumínio (bauxita), dentre outros. O setor da mineração é essencial para o equilíbrio na balança comercial brasileira e, neste contexto, demanda um correto manejo dos rejeitos produzidas conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos pela Lei no.12.305/2010. Este trabalho tem como motivação contribuir com uma breve busca informações, quanto ao impacto ambiental da mineração, que contribuam para o correto manejo de rejeito sólidos industriais nas

regiões do Médio Piracicaba e do Vale do Aço no estado de Minas Gerais. Nestas regiões, tem-se uma grande concentração de empresas de mineração e de metalúrgicas que produzem rejeitos sólidos, os quais podem afetar o ar, o solo e os recursos hídricos. Portanto, o objetivo é apresentar uma busca de informações sobre trabalhos relacionados aos rejeitos minerais, seu reaproveitamento no Brasil e suas possíveis tendências. Como procedimento metodológico, realizou-se, assim, uma pesquisa bibliográfica exploratória, do tipo qualitativa, onde se busca fontes de informação indiretas em periódicos, bases de dados como é o caso do SciELO e em informações de programas de pós-graduação *stricto sensu*, e diretas em entrevistas com executivos da área de rejeitos de mineração e meio ambiente. A pesquisa bibliográfica realizada encontrou os principais artigos relacionados ao tema, no período entre 1989 e 2012, que estão indexados no portal SciELO Brasil e do banco de teses da CAPES. Ao final, constatou-se que existem poucas publicações sobre reaproveitamento de rejeitos no Brasil. Como resultado das entrevistas com os executivos, houve a concordância de resposta de que há condições para um aumento no reaproveitamento de rejeitos de minério no Brasil devido a fatores técnicos (novos processos e métodos de reaproveitamento) e a fatores econômicos, tais como a escassez de minério de alto teor e as questões ambientais legais.

Palavras-chave: Rejeito sólido de mineração; Minério; Engenharia.

Abstract

Brazil is a country that is amongst the largest producers of iron ore, niobium, bauxite, and others. The mining in this country has been expanding its activities, with increasing exploitation of minerals in quantity and therefore, there is an increase in the amount of waste and reuse of the same for years to come and, in this context, calls for a correct management of the solid waste produced according to the National Solid Waste Policy in accordance with the Brazilian law 12.305/2010. The motivation for this study came from the fact that the authors reside in regions where there is mining and working with the reuse of the same. The objective of this article is to present some results of a study on work related to minerals, solid waste and its reuse in Brazil and its possible trends. It was carried out an exploratory literature search of qualitative type, in which it was, sought indirect sources of information in journals, survey bases such as SciELO, data

from *stricto sensu* post-graduation courses and direct sources interviewing executives of this area. The literature research results found the main articles related to the theme, in the period between 1989 and 2026, which are indexed in the SciELO and available for reading via CAPES's portal. At the end, it was verified that there are few publications on the treatment of the solid waste and its reuse in Brazil and its possible trends. Results and conclusions from direct sources interviewing executives indicate a consensus that there are conditions for growth in the reuse of ore tailings in Brazil due to technical factors (new processes and methods for reuse) and economic factors, such as the lack of high-grade ore and legal environmental issues.

Keywords: Mining waste; Ore; Tailings Engineering.

Resumen

Brasil es uno de los mayores productores de minerales del mundo, con énfasis en la producción de mineral de hierro, niobio, aluminio (bauxita), entre otros. El sector minero es fundamental para el equilibrio de la balanza comercial brasileña y, en este contexto, exige un correcto manejo de los relaves producidos de acuerdo con la Política Nacional de Residuos Sólidos por la Ley N ° 12.305 / 2010. Este trabajo está motivado para contribuir con una breve búsqueda de información, sobre el impacto ambiental de la minería, que contribuya a la correcta gestión de los residuos sólidos industriales en las regiones de Piracicaba Medio y Vale do Aço en el estado de Minas Gerais. En estas regiones, existe una gran concentración de empresas mineras y metalúrgicas que producen residuos sólidos, que pueden afectar los recursos del aire, el suelo y el agua. Por tanto, el objetivo es presentar una búsqueda de información sobre obras relacionadas con residuos minerales, su reutilización en Brasil y sus posibles tendencias. Como procedimiento metodológico se realizó una investigación bibliográfica exploratoria, de tipo cualitativo, donde se buscan fuentes indirectas de información en revistas, bases de datos como SciELO y en información de posgrados *stricto sensu*, y entrevistas directas a ejecutivos de la minería y Área de relaves ambientales. La investigación bibliográfica realizada encontró los principales artículos relacionados con el tema, en el período comprendido entre 1989 y 2012, los cuales se encuentran indexados en el portal SciELO Brasil y en el banco de tesis CAPES. Al final, se encontró que existen pocas publicaciones sobre la reutilización de relaves en Brasil.

Como resultado de las entrevistas con los ejecutivos, hubo acuerdo en la respuesta de que existen condiciones para un aumento en la reutilización de relaves minerales en Brasil debido a factores técnicos (nuevos procesos y métodos de reutilización) y económicos, como la escasez de minerales de alta ley y cuestiones ambientales legales.

Palabras clave: Relaves sólidos mineros; Mineral; Ingeniería.

Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores de minério no mundo e, conforme Borges, Riella e Janissek (2012) e Lima e Vasconcelos (2013), o setor de mineração demanda legislação e práticas relativos aos rejeitos sólidos produzidos. A mineração brasileira é norteada por legislação ambiental e de resíduos sólidos própria, como exemplos: a Lei nº 12305 (2010) que institui a política nacional de resíduos sólidos; a Lei nº 6938 (1981) que dispõe sobre a política nacional do meio ambiente; e a Lei nº 7.735 (1989) que cria o instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis.

A produção mineral brasileira, segundo dados do IBRAM (2016) é uma das maiores e mais lucrativas do mundo, gerando bilhões de dólares e, conforme Pinheiro (2011), um equilíbrio na balança comercial do Brasil. Na Figura 1, verifica-se a evolução de crescimento da produção mineral brasileira do período de 1994 até 2011, onde inicia-se um decréscimo. Esse decréscimo se deve, em grande parte, pela queda nos preços internacionais das commodities minerais, impacto no câmbio, queda da atividade mineral no País e no mundo. No entanto, no caso brasileiro, isto não significou decréscimo da produção mineral e nem de seu papel no equilíbrio da balança comercial. De acordo com IBRAM (2016), tem-se uma produção mineral em 2016 de US\$ 24 bilhões, com 8.870 mineradoras.

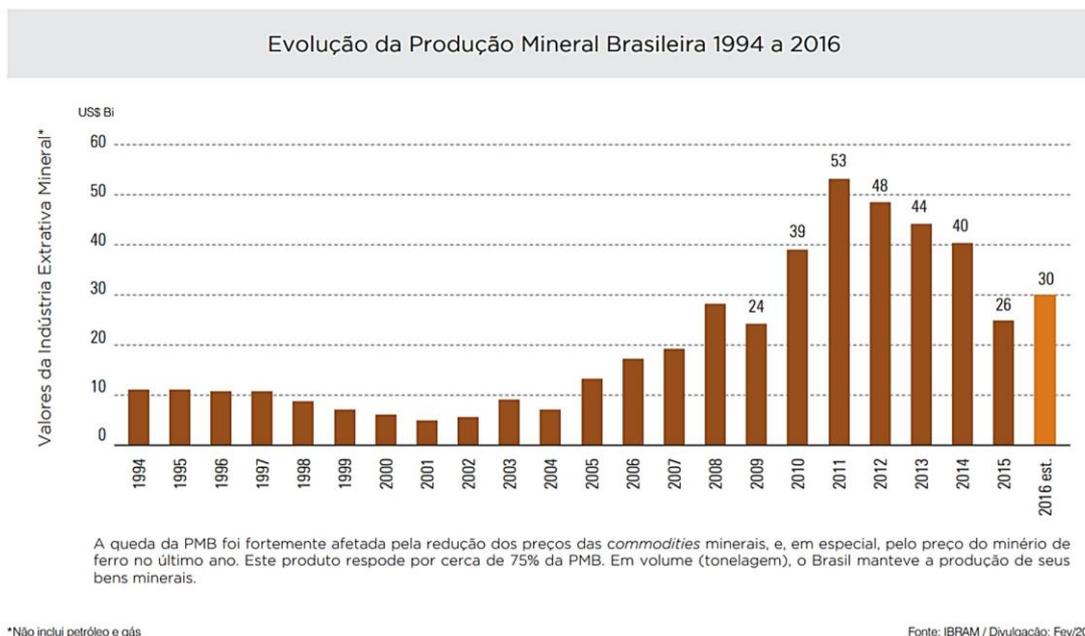


Figura 1. Evolução da Produção Mineral Brasileira de 1994 a 2016.

Fonte: Recuperado de “Produção Mineral Brasileira (PMB) Série Histórica”, de IBRAM (2016).

Conforme Enríquez (2009), tem-se o desafio do desenvolvimento sustentável para o setor da indústria extrativa mineral e de transformação mineral. Este desafio se torna mais complexo, segundo Saboia e Kubrusly (2008), quando se tem realidades regionais diferenciadas num país continental como o Brasil. Concorrer na resolução destes desafios é de extrema importância econômica para o Brasil no mundo todo, pois além de contribuir com importantes insumos para a economia nacional, gerar empregos diretos e indiretos, possibilita a forte entrada no país em especial do Brasil, nas Cadeias Globais de Valor (MIKHAILOV et al., 2017). A Figura 2 apresenta a posição brasileira em relação à mundial com relação às reservas minerais.

A Figura 2 mostra os valores percentuais da participação brasileira nas reservas e na produção mundial para o ano de 2016, conforme as informações originais do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2016) quando do momento de transformação institucional para a Agência Nacional de Mineração (ANM). O Sumário Mineral - 2016 se encontra disponível para consulta e carregamento (download) no sítio eletrônico da ANM (<http://www.dnpm.gov.br>) desde junho de 2018. Segundo a Figura 2, a posição do Brasil, quanto às reservas de alguns bens minerais são as seguintes:

Nióbio (1º), Tântalo (2º), Ferro (2º), Alumínio (3º). Em relação a produção mundial, a posição do Brasil é a mesma para Nióbio (1º) e Tântalo (2º), Alumínio (3º), porém para o Ferro é o 3º produtor mundial.

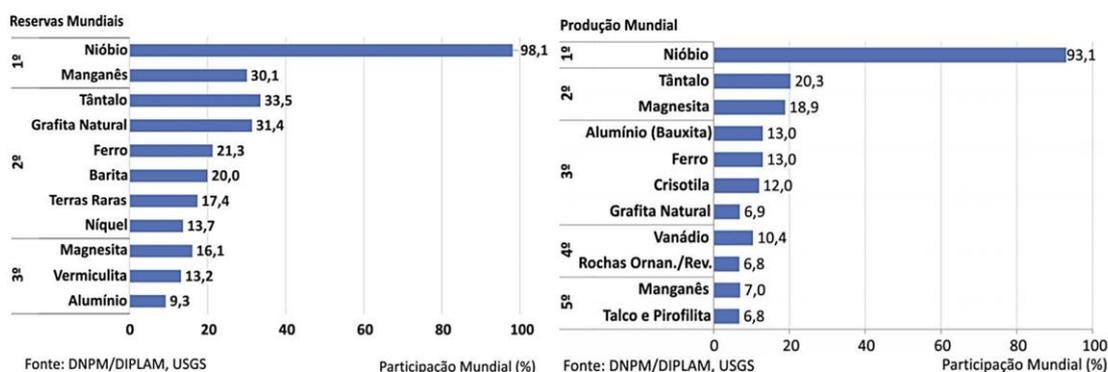


Figura 2. Posição nacional quanto às reservas e produções de bens minerais no mundo (2016).

Fonte: Recuperado de “Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral - 2016”, de DNPM (2016).

Conforme Esposito e Duarte (2010), apesar da grande importância econômica da atividade de mineração para o país e para a sociedade brasileira como um todo, tem-se que toda exploração de recurso natural, provoca grandes impactos no meio ambiente seja no que diz respeito à exploração de áreas naturais, seja na geração e contenção de rejeitos sólidos. Estes últimos advêm das indústrias e processos de beneficiamento cada vez mais eficientes e produtivos, mas que mesmo assim geram uma maior quantidade de volumes de rejeitos sólidos e que necessitam de uma destinação para se evitar seu acúmulo. Segundo D'Agostino (2008), o quadro de produção total estimado de rejeito sólido anual de mineração no Brasil é elevado, necessitando uma destinação adequada e estudos futuros dos órgãos competentes. Na Figura 3, tem-se os dados de rejeitos sólidos dos principais minerais extraídos no Brasil.

A Figura 3 mostra que há materiais como é o caso do ouro, níquel, areia e cascalho, argilas comuns e plásticas, cobre e amianto que contam com forte trabalho de recuperação de rejeitos ao passo que o calcário, ferro, alumínio (bauxita), manganês, carvão, caulim, estanho (cassiterita) são pouco aproveitados fato que possivelmente está relacionado com questões econômicas, como o valor agregado e o produto beneficiado,

relacionadas ao trabalho de recuperação. Associada à recuperação de materiais empregam-se a instalação de tratamento de: rejeitos, efluentes, águas subterrâneas contaminadas, uso de canaletas de drenagem e a arborização de áreas. Segundo Carmo, Lanchotti e Kamino (2021, p. 1), as discussões sobre o assunto ainda são relativamente escassas e as informações que nem sempre são bem trabalhadas no meio acadêmico.

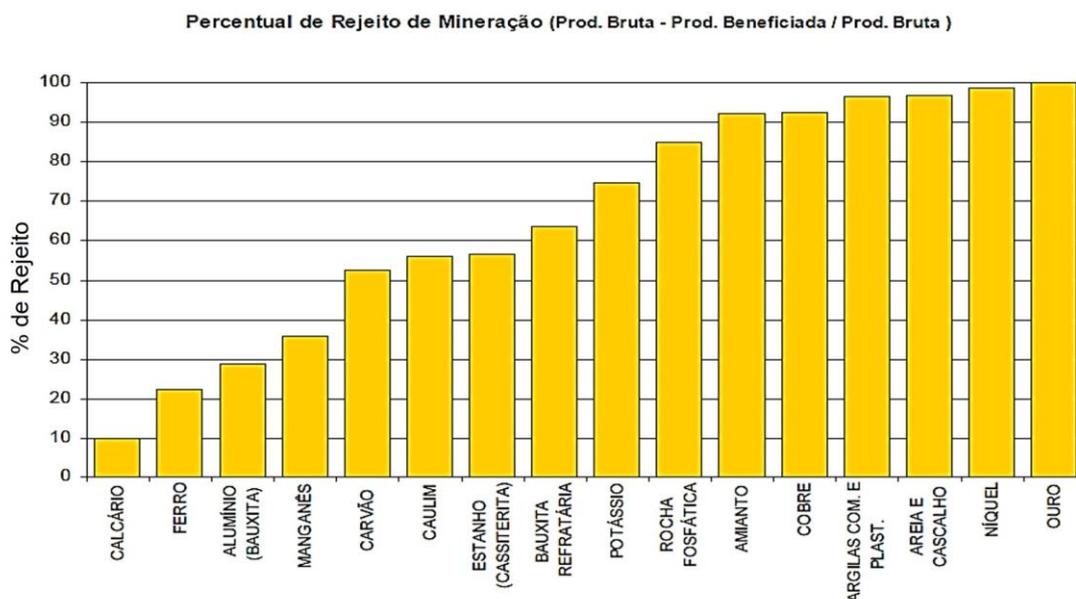


Figura 3. Estimativa do percentual de rejeito de mineração.

Fonte: Adaptado de “Praias de barragens de rejeitos de mineração: características e análise da sedimentação”, de D'Agostino (2008).

Como exemplo de recuperação de rejeitos sólidos de mineração, tem-se a empresa mineradora Vale localizada na cidade de Itabira (MG). Para a mineradora, quando o material dos rejeitos é muito rico em minério de ferro, existe a possibilidade de tentar realizar a recuperação deste material seja por via química, seja por via física. No caso de baixo teor de minério de ferro, tem-se que grande parte do rejeito é sílica, esta pode ser estudada para aplicação na construção civil em conjunto com a argila para produção de tijolos e argamassas. Normalmente, o que determina as opções são padrões internos que trazem a experiência acumulada pela empresa e os cálculos dos fatores econômicos, onde o engenheiro também pode entrar com um papel importante,

desenvolvendo formas de processamento e de reutilização dos rejeitos em novas aplicações.

Nesse contexto, o artigo em questão visa contribuir com uma breve busca informações que contribuam para o correto manejo de rejeito sólidos industriais nas regiões do Médio Piracicaba e do Vale do Aço no estado de Minas Gerais. Nestas regiões, tem-se uma grande concentração de empresas de mineração e de metalúrgicas que produzem rejeitos sólidos, os quais podem afetar o ar, o solo e os recursos hídricos. A informações são oriundas de pesquisa bibliográfica exploratória em periódicos, bases de dados como é o caso do SCIELO e em informações de Programas de Pós-graduação *Stricto sensu*, e diretas em entrevistas com executivos da área de rejeitos de mineração e meio ambiente.

Investimentos em mineração no Brasil

A Figura 4 apresenta, por meio de círculos, as áreas de investimento em mineração no Brasil segundo a IBRAM (INVESTIMENTOS, 2011). O tamanho dos círculos é relativo e proporcional à quantidade de investimentos em mineração existente para cada região destacada no mapa do Brasil. Observa-se na Figura 4 que duas grandes regiões minerais se destacam, são elas: os estados de Minas Gerais e o estado do Pará, em menor escala os estados da Bahia e do Rio de Janeiro. Os maiores investidores na mineração brasileira são Canadá, China, Reino Unido e Austrália, onde se destaca pela Investimentos (2011) o capital chinês. O capital da China possibilitou a exportação de 48% de minério de ferro. Os principais investimentos em mineração previstos de 2011 a 2015 encontram-se concentrados nos estados do Pará (24 bilhões de dólares) e Minas Gerais (21 bilhões de dólares).

Principais investimentos na mineração (em milhões de dólares)

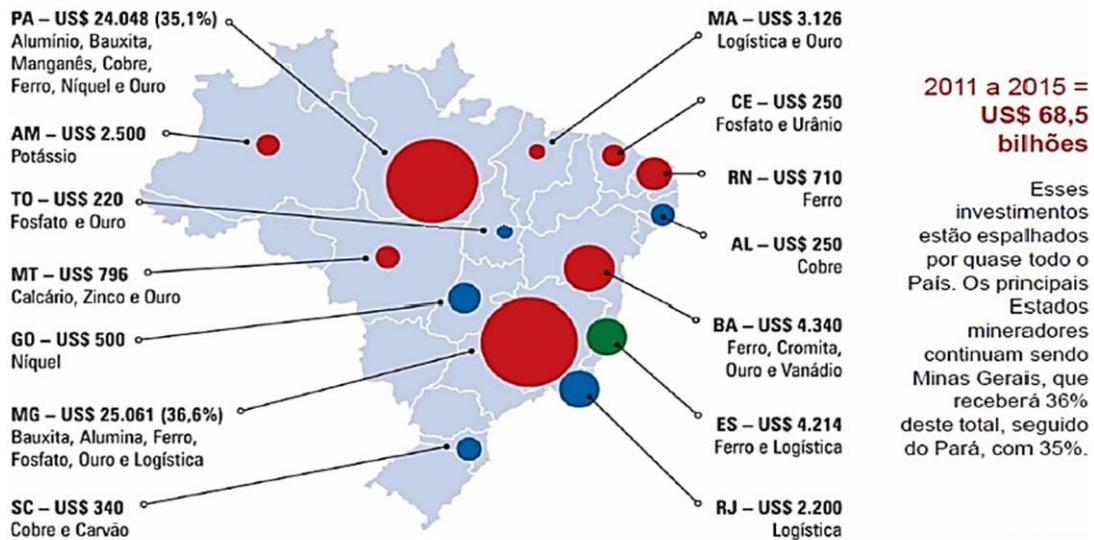


Figura 4. Principais Investimentos na Mineração brasileira.

Fonte: Recuperado de “A importância econômica da mineração no Brasil. Apresentação Rede Nacional de Informações sobre o Investimento-Renai”, Pinheiro (2011).

Conforme Lima e Vasconcelos (2012), tem-se que a região do Estado de Minas Gerais acumula cerca de 49% da produção mineral do país, além de contar com as minerações centenárias (DA SILVA, 2013). Segundo Domingues *et al.* (2020), para o caso do estado de Minas Gerais há projeções indicam uma queda no PIB estadual de cerca de -0,47% no curto prazo e de -0,6% no longo prazo, com retração de investimentos.

No caso do estado do Pará, ele apresenta um painel de mineração mais recente, porém de maior potencial pela exploração de novas jazidas, tendo, assim, uma produção crescente. Cerca de 27% da produção nacional é oriunda do estado do Pará (LIMA e VASCONCELOS, 2012).

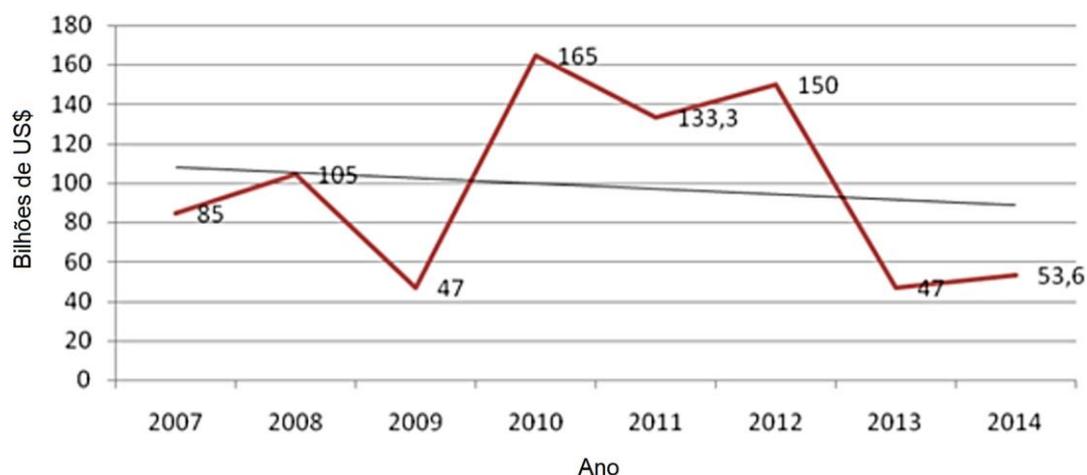


Figura 5. Investimento no setor mineral brasileiro, 2007-2014 (em Bilhões de US\$)

Fonte: Recuperado de “Novo marco legal para a mineração e suas implicações para a atividade minerária no Brasil sob a luz da justiça ambiental”, Lopes e De Oliveira (2018, p. 37, apud Magno, 2017, p. 170).

Pela Figura 5, tem-se que os investimentos anuais no setor mineral brasileiro no período de 2007 a 2014 superaram a 47 bilhões de dólares (LOPES e DE OLIVEIRA, 2018, p. 37), o que impulsiona a alta das atividades industriais mineradoras e o aumento de resíduos sólidos produzidos. Segundo os autores Lopes e De Oliveira (2018, p. 37), os investimentos apresentados na Figura 5 se encontraram basicamente nos estados de Minas Gerais e do Pará, “estados que, historicamente, têm valorizado a atividade de mineração para alavancar um modelo de desenvolvimento econômico” e que precisam se adequar ao Novo Marco Legal para a Mineração, Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018 (BRASIL, 2018), bem como um manejo sustentável do crescente volume de rejeito sólidos industriais produzidos.

Metodologia

Segundo Severino (2017), a pesquisa de informações exploratória realizada neste trabalho se caracteriza por ser uma pesquisa inicial sobre um tema e que envolve os levantamentos de dados e entrevistas. Conforme a metodologia de trabalho de pesquisa exploratória proposta pelo autor (SEVERINO, 2017), realizou-se uma pesquisa

exploratória na qual se fez o levantamento por meio de fontes indiretas e diretas. As primeiras se referem ao levantamento bibliográfico por meio do banco de teses e dissertações CAPES, o qual permitiu localizar periódicos de quatro grandes universidades brasileiras: duas do estado de São Paulo (SP) e outras duas do estado de Minas Gerais (MG), através de pesquisa pelo site da CAPES, onde selecionou os trabalhos com o Assunto: rejeito de minério. Nestas procurou-se os trabalhos publicados em relação ao assunto. Uma última fonte foi por meio de quatro entrevistas profissionais executivos da área mineral. Procurou-se preservar o nome das instituições e pessoas por questões éticas. O levantamento de dados por meio de pesquisa qualitativa torna-se necessária para se complementar as informações (YIN, 2011). Além das informações das revistas e universidades, também se realizou estudos que foram obtidos por meio de entrevistas com quatro executivos da área mineral por meio de questões abertas, conforme explicitado nos resultados. Os quatro profissionais executivos trabalham em três empresas diferentes mineradoras: uma ligada à exploração de minério de ferro e duas outras ligadas à exploração de não ferrosos. Procurou-se preservar o nome dos profissionais executivos da mineração por questões éticas. Foram feitas as três seguintes perguntas aos quatro profissionais executivos:

Questão 1) “Como será a tendência em reaproveitar os rejeitos de minério no Brasil, nos próximos anos?”

Questão 2) “Qual é a formação do profissional selecionado para trabalhar com rejeitos na área de mineração?”

Questão 3) “Quais as formas mais utilizadas para reaproveitamento de rejeito? Por quê?”

As três perguntas simples foram realizadas visando aprofundar a pesquisa qualitativa sobre o reaproveitamento dos rejeitos sólidos de minério com informações oriundas do setor produtivo de mineração, através de seus gestores industriais.

Resultados e discussão

Pesquisa bibliográfica sobre reaproveitamento de rejeitos sólidos de mineração no Brasil

Com as fontes eletrônicas disponíveis na SciELO Brasil e do banco de Teses da CAPES, foi elaborado pelo autor o trabalho sobre reaproveitamento dos rejeitos de minério no Brasil (Tabela 1). O período para a pesquisa bibliográfica abrange o da evolução de crescimento da produção mineral brasileira conforme IBRAM (2016), abrangendo os anos de 1994 até 2011, conforme Figura 1. Na Tabela 1, desconsiderou-se na pesquisa o tema “barragem de rejeitos” pelo fato dela só estocar o material e não por ter um tratamento de rejeito ou efluente. Realizou-se, assim, o trabalho de pesquisa bibliográfica com processos “ativos” nos quais existe o processamento, instalações, máquinas, equipamentos e trabalho de engenharia materiais e outras.

Tabela 1. Trabalhos de literatura de tema reaproveitamento de rejeitos no Brasil (2012)

| Minério* | ano | MG1 | ano | MG2 | ano | SP1 | ano | SP2 | ano | SciELO Brasil |
|-------------------|---|-----------|---|-----------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------|----------------------------------|------------------|
| <i>chumbo</i> | | | | | 2007 | 1 | 2004 | 1 | | |
| <i>zinco</i> | 1993 | 1 | 2007 | 1 | 1999 | 1 | | | 2008 | 1 |
| <i>ouro</i> | 1995 | 2 | 2003 | 1 | 1999 | 1 | 1998 | 1 | 2004, 2002 | 2 |
| <i>fosfato</i> | 2011 | 1 | 2006 | 1 | 1993 | 1 | 2006, 2005, 2000 | 3 | | |
| <i>sulfeto</i> | | | | | | | 2009 | 1 | | |
| | | | | | | | | | 2012, | |
| | | | | | | | | | 2011, 2010, | |
| <i>ferro</i> | 2010, 2009, 2008, 2007, 2007, 2005 1996 | 7 | 2010, 2009,2009, 2008, 2004, 2004, 2004, 2003 | 8 | | | 2008, 2008 | 2 | 2009, 2009, 2008, 2008, | 8 |
| <i>bauxita</i> | 2009,1996 | 2 | 2011 | 1 | | | 2009, 1991 | 2 | 2009 | 1 |
| <i>manganês</i> | | | 2010, 2007, 2005 | 3 | | | | | 2008, 2005 | 2 |
| <i>urânio</i> | | | | | | | 2008, 2004 | 2 | | |
| <i>tungstênio</i> | 1989 | 1 | | | | | | | | |
| <i>cobre</i> | | | 2011 | 1 | | | | | | |
| total | 1989- 2011 | 14 | 2003- 2011 | 16 | 1993- 2007 | 4 | 1991- 2009 | 11 | 2002- 2012 | 14 |

Fonte: Dados dos autores.

*Obs. Minério: tipo de rejeito sólido do minério. Não sendo necessariamente o material no qual é reaproveitado, e sim o minério no qual surgiu o rejeito sólido.

Pela Tabela 1, tem-se que os trabalhos de literatura de tema reaproveitamento de rejeitos no Brasil são relativamente escassos para o período pesquisado de 1989 a 2012, o que confirma as observações de Carmo, Lanchotti e Kamino (2021, p. 1) quanto a escassez de trabalhos na área. Verificou-se também durante a pesquisa bibliográfica que somente 4 instituições brasileiras correspondiam por praticamente toda a pesquisa brasileira sobre reaproveitamento de rejeitos, duas no estado de Minas Gerais, denominadas M1 e M2, e duas no estado de São Paulo, nomeadas como SP1 e SP2 respectivamente na Tabela 1. O nome das instituições MG1, MG2, SP1 e SP2 foram ocultados por questões de sigilo e ética de pesquisa. Dentre as instituições, as que apresentaram maior quantidade de estudos se concentram no estado de Minas Gerais (MG1 e MG2), sendo metade dos estudos relacionados aos rejeitos de minério de ferro.

Apesar do grande fluxo de investimentos, conforme a Figura 4, e de produção mineral, o estado do Pará praticamente não conta com trabalhos nesta área, durante o período pesquisado na Tabela 1, e isso pode ser devido ao fato de ser uma província mineral de exploração relativamente recente, conforme Lima e Vasconcelos (2012).

Pelo estudo de cada categoria apresentada nas colunas da Tabela 1, tem-se:

Categoria por tipo de material do rejeito: Categorizando por tipo de minério, observou-se que existe mais trabalho sobre minério de ferro, em torno da metade do total dos trabalhos são no estado de Minas Gerais (MG1 e MG2).

Categoria por região (MG ou SP): Observou-se que a maior densidade de trabalhos sobre reaproveitamento de rejeito sólido de minério encontra-se no estado de Minas Gerais (MG1 e MG2), no qual tudo indica que este apresenta uma vocação forte para a mineração.

Categoria pela base SciELO Brasil: De modo geral, a base SciELO Brasil seguiu as mesmas tendências em relação aos trabalhos observados no estado de Minas Gerais (MG1 e MG2). Curiosamente, os trabalhos sobre rejeitos voltados a indústria nuclear, típicos de trabalhos no estado de São Paulo (SP1 e SP2), não apareceram na base SciELO. Tal fato pode estar relacionado com a forma de indexação ou classificação, dos trabalhos nesta base, de modo que estes trabalhos podem estar classificados em outras áreas da base.

Durante a elaboração da Tabela 1, observou-se que um ligeiro aumento na quantidade de trabalhos nos trabalhos acadêmicos nas instituições apresentadas até 2011. Contudo, a quantidade de trabalhos é muito baixa quando contrastado com a quantidade de empresas mineradoras (IBRAM, 2016) e de investimentos no setor de mineração (LOPES E DE OLIVEIRA, 2018, p. 37, apud Magno, 2017, p. 170).

Entrevistas com os executivos de mineração sobre reaproveitamento de rejeitos sólidos de mineração no Brasil

Entrevistou-se quatro executivos da área de mineração visando o aprofundamento da pesquisa qualitativa sobre o reaproveitamento dos rejeitos sólidos de minério no Brasil. Foram realizadas as seguintes perguntas aos executivos de mineração:

Questão 1) “Como será a tendência em reaproveitar os rejeitos de minério no Brasil, nos próximos anos?”

Questão 2) “Qual é a formação do profissional selecionado para trabalhar com rejeitos na área de mineração?”

Questão 3) “Quais as formas mais utilizadas para reaproveitamento de rejeito? Por quê?”

As respostas dadas pelos executivos às questões propostas, com comentário do autor, foram as seguintes:

Executivo 1:

Questão 1) “Maior. O motivo é a viabilidade econômica: que envolve os novos métodos de separação e concentração de finos e ultrafinos, bom teor de minerais e elementos aproveitáveis no rejeito, questões ambientais, escassez de minérios "in situ" com teores que resultem aproveitamento econômico etc.”

Comentário: Este executivo da área da mineração apontou para o crescimento na quantidade de reaproveitar os rejeitos de minério para os próximos anos. Em princípio, este fato deveria estar relacionado a um aumento esperado de trabalhos nesta área para os próximos anos. Pela Tabela 2, conforme a análise realizada observou-se um ligeiro

aumento na quantidade de trabalhos acadêmicos nos últimos anos. Em princípio este fato parece ser coerente com a resposta do executivo 1.

Questão 2) “Engenheiro de todas as modalidades em especial os de Minas, Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro Químico, Engenheiro Ambiental, Geólogos e Engenheiro de Materiais”.

Comentário: Há espaço para engenheiros de todas as modalidades, tradicionalmente existem profissões que tem atuado na área de mineração e rejeitos, e o profissional de Engenharia de Materiais é relativamente novo em comparação as outras profissões mencionadas pelo entrevistado.

Questão 3) “Rejeito de minério, quando é reaproveitado, na maioria das vezes, tem valor econômico, se tem valor econômico torna-se minério. Ser vendido como minério é a principal forma de reaproveitamento. Podem-se separar também minerais valiosos (ouro, metais nobres). Uma alternativa é a blendagem com minérios ricos ou fazendo um produto misto usado na metalurgia, por exemplo”.

Comentário: Tecnicamente a exploração dos rejeitos conta com diversos processos e tudo indica que o aumento na quantidade de exploração de rejeitos é governado pelo fator econômico conforme foi afirmado pelo executivo 1.

Executivo 2:

Questão 1) “A tendência é que o aproveitamento aumente. É claro que haverá uma tendência em reduzir o teor de ferro no rejeito e os novos projetos que estão em implantação aqui favorecem esta queda.

Comentário: Assim como o executivo 1, este executivo também indicou a tendência de crescimento no reaproveitamento de rejeito de minério para os próximos anos. Este executivo, no entanto, voltado para a indústria extrativa de minério de ferro. Neste caso, o executivo não mencionou a questão econômica que pode estar embutida, mas este falou sobre a tendência em diminuir o teor de ferro no rejeito, ou seja, realizar tratamento que enriqueçam mais os concentrados. Tal executivo também mencionou a existência de novos projetos para que eles entrem em operação será necessário a contratação de profissionais para trabalhar nos mesmos”.

Questão 2) “Todas as modalidades, em particular Engenharia de Materiais ou Química”.

Comentário: Observa-se que este executivo menciona dois profissionais que são indicados para trabalhar com a recuperação de rejeitos de minério. Torna-se interessante que as instituições de ensino destas áreas também preparem profissionais para atender estas expectativas deste mercado.

Questão 3) “Como grande parte do rejeito é sílica, este pode ser utilizado na construção civil”.

Comentário: No caso, o executivo comentou sobre rejeito de ferro. É interessante que mesmo rejeito com baixo teor de minério pode ser utilizados na construção civil em obras de pavimentação, construção de edifícios, pistas de aeroportos e outros.

Executivo 3:

Questão 1) “A tendência é o aumento no reaproveitamento de rejeitos de minério, principalmente por fatores técnicos e econômicos. Em termos técnicos as novas usinas e processos viabiliza a recuperação de minério em geral. Em termos econômicos à medida que as minas antigas são esgotando seus veios, torna-se viável o processamento dos rejeitos”.

Comentário: Este executivo da mineração não foi específico para nenhum tipo particular de minério, mas é provável que esteja se referindo a um material com o qual trabalha. Mostrou a viabilidade do reaproveitamento de rejeitos de minério gerado pela escassez dos veios das minas, e não cita os fatores ambientais.

Questão 2) “Engenheiro de Minas ou Engenheiro de Materiais e outras modalidades”.

Comentário: Este executivo apontou para a formação do profissional de materiais como sendo interessante para o trabalho com processamento de rejeito de minério.

Questão 3) “Para se reaproveitar os rejeitos é necessário construir instalações de processamento ou plantas que trabalham com processos físicos e químicos voltados para extração do mineral desejado. Normalmente, os processos envolvem a separação em peneiras, tratamento magnético, flotação e outros meios conhecidos. Os rejeitos que não podem ser recuperados contam com a destinação na construção civil.

Comentário: Este executivo também fez seus comentários de modo geral e apontou para o fato de que os rejeitos após os processamentos possíveis ainda poderão

se empregados na construção civil, de modo semelhante ao executivo 2. Acredita-se, desta forma, que a quantidade de trabalhos sobre a utilização de rejeitos empobrecidos, para a construção civil, possa aumentar em quantidade, para os próximos anos”.

Executivo 4:

Questão 1) “Há tendência em se reaproveitar rejeitos de baixo teor, assim como a revista *Minérios & Minerales* fala que vai aumentar no futuro. Especialmente em cobre pôr a recuperação do ouro e porque agora podem beneficiar minério com menos de 0,5% em massa”.

Comentário: Este executivo trouxe a importante opinião sobre não ferrosos, que é o caso do ouro e do cobre. Nestes casos a melhoria dos processos, ao que tudo indica, permite que se beneficiem rejeitos com teores baixos da ordem de menos que 0,5%. Os engenheiros das empresas estão trabalhando para que este tipo de recuperação ocorra também para outros materiais.

Questão 2) “Basicamente tem que ter engenharia”.

Comentário: Existem várias modalidades de engenharia sendo que as principais para este tipo de atividade incluem os engenheiros de mineração, engenheiros civis, Engenheiros de Materiais, engenheiros de produção, engenheiros químicos e engenheiros metalúrgicos. O fator determinante é muitas vezes no interesse do profissional, suas áreas de especialização e experiência profissional.

Questão 3) “Reaproveitar os depósitos de rejeito existentes nas lavras com métodos standard de escavação e transporte. No caso do minério de cobre é possível aplicar métodos com produtos químicos no local dos rejeitos”.

Comentário: O respondente inicialmente trabalhou algumas ideias gerais para reaproveitamento e a seguir voltou para sua área que tudo indica ser de cobre.

Nas entrevistas, os quatro executivos desta pesquisa apontaram no sentido do crescimento na quantidade de trabalhos e serviços voltados para reutilização de rejeitos minerais. Tal tendência mostrou-se coerente com a observada na quantidade de trabalhos científicos: teses, dissertações e trabalhos na área.

Há indícios que alguns executivos pesquisados consideram os engenheiros de materiais entre os profissionais que atuarão na área. Para que os trabalhos de recuperação de rejeitos aconteçam nos próximos anos já existem projetos em andamento

para desenvolvimento de instalações de processamento desses materiais. Além disso, é preciso desenvolver-se e trabalhar com métodos que possibilitem a boa recuperação dos rejeitos. Em última análise, os rejeitos que já foram reprocessados de modo exaustivo ainda podem ser utilizados como material de construção civil e há ainda a possibilidade dos engenheiros de materiais pesquisarem materiais compostos que envolvam o aproveitamento e aplicação dos rejeitos.

Considerações finais

A mineração no País vem se expandindo suas atividades, com exploração crescente em quantidade de minérios e, por conseguinte, há também um aumento na quantidade de rejeitos e reaproveitamento deles para os próximos anos, porém a quantidade de profissionais ainda é difícil de se prever pois há complexidades na dependência em relação à expansão da economia mundial que leva ao consumo de minérios para produção de materiais,

Realizou-se uma pesquisa qualitativa e exploratória sobre trabalhos relacionados a rejeitos minerais e seu reaproveitamento no Brasil, em algumas das principais fontes de informação desta área num período de dez anos, para contribuir para futuros trabalhos nesta área recente. Entre os quatro diferentes executivos da área de mineração entrevistados, houve a concordância na questão do aumento no reaproveitamento de rejeitos de minério no Brasil devido a fatores técnicos (novos processos e métodos de reaproveitamento) e fatores econômicos, como, escassez de minério, questões ambientais.

Por meio da análise realizada pelos autores em fontes como a base SciELO Brasil e do banco de Teses da CAPES, encontrou-se uma produção bibliográfica concentrada em quatro instituições brasileiras, duas instituições no estado de Minas Gerais e outras duas instituições no estado de São Paulo. Durante a pesquisa observou-se um ligeiro crescimento relativo à quantidade de trabalhos para a área de reaproveitamento de rejeitos de minério nos últimos anos 10 anos até 2011 (2012).

Atualmente, a reutilização e disposição final de resíduos ou subprodutos da mineração passaram a ser encarada não mais como uma alternativa para redução de custos, mas como uma necessidade, de forma a eliminar ou minimizar problemas de

cunho ambiental. O estado do Pará apesar de contar com grande produção e investimento mineral ainda conta com poucos trabalhos nesta área e isso se deve ao fato de ser uma província mineral de exploração relativamente recente ao passo que o estado de Minas Gerais conta com séculos de exploração mineral e com instituições de ensino superior centenárias.

A análise revelou que há mais trabalhos sobre o rejeito de minério de ferro, e maior quantidade de trabalhos nas duas instituições do estado de Minas Gerais em relação a instituições de outros estados, no caso o estado de São Paulo. De maneira geral, os resultados indicam há uma participação importante da mineração no desenvolvimento econômico do Brasil, e, por conseguinte, do reaproveitamento dos rejeitos de minério, por fatores econômicos, como escassez das jazidas de minério, questões ambientais, de forma a eliminar ou minimizar problemas de cunho ambiental, e fatores técnicos, devido ao surgimento de novos processos e formas de se recuperar os rejeitos de minério, como, por exemplo, podem beneficiar minério com menos de 0,5% em massa, rejeitos não recuperados podem contar com a destinação na construção civil se apresentarem propriedades como grande parte de sílica. Sugere-se para trabalhos futuros que se realizem estudos cobrindo outros vieses relacionados ao reaproveitamento de rejeitos minerais como é o caso de trabalhos voltados para o levantamento de mais fontes, de outros minerais e de processos para melhorar o reaproveitamento específico de materiais. Tudo indica que nos próximos anos haverá mais oportunidades de trabalho para os engenheiros na área de mineração e de rejeitos delas no Brasil. A mineração no País vem se expandindo suas atividades, com exploração crescente em quantidade de minérios e, por conseguinte, há também um aumento na quantidade de rejeitos e reaproveitamento deles para os próximos anos, porém a quantidade de profissionais ainda é difícil de se prever pois há complexidades na dependência em relação à expansão da economia mundial que leva ao consumo de minérios para produção de materiais.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Itajubá e à Universidade do Estado de Minas Gerais pelo apoio a esta pesquisa.

Referências

BORGES, Marisa Soares; RIELLA, Humberto Gracher; JANISSEK, Paulo Roberto. Demandas da gestão de resíduos ambientais, econômicos e tecnológicos: uma ferramenta de otimização. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 1, n. 2, p. 143-157, 2012. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4716/471647097007.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2021

BRASIL. **Lei nº 12305/2010 - "Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências."** - Data da legislação: 02/08/2010 - Publicação DOU, de 03/08/2010.

BRASIL. **Lei nº 6938/1981 - "Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências."** - Publicação DOU, de 02/09/1981.

BRASIL. **Lei nº 7.735/1989- "Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e dá outras providências."** Data da legislação: 31/08/1981 - Publicação DOU, de 23/2/1989.

CARMO, Flávio F.; LANCHOTTI, Andressa O.; KAMINO, Luciana HY. Mining Waste Challenges: Environmental Risks of Gigatons of Mud, Dust and Sediment in Megadiverse Regions in Brazil. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8466, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/su12208466> .>. Acesso em: 12 mar. 2021

DA SILVA, Olintho Pereira. A mineração em Minas Gerais: passado, presente e futuro. **Revista Geonomos**, vol. 3, no 1., 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.18285/geonomos.v3i1.217>>. Acesso em: 12 fev. 2021

D'AGOSTINO, Luiz Fernando. **Praias de barragens de rejeitos de mineração: características e análise da sedimentação**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de

São Paulo. Disponível em: < [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-13082008-](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-13082008-132420/publico/Tese_LuizFernandoDAgostino_Praias_de_barragens_de_rejeitos_de_mineracao.pdf)

132420/publico/Tese_LuizFernandoDAgostino_Praias_de_barragens_de_rejeitos_de_mineracao.pdf.>. Acesso em: 12 fev. 2021

BRASIL. Decreto nº 9.406 de 12 de junho de 2018. Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Brasília, DF, 2018a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm>. Acesso em: 12 mar. 2021.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral – 2016, vol 36, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.gov.br%2Fanm%2Fpt-br%2Fcentrais-de-conteudo%2Fpublicacoes%2Fserie-estatisticas-e-economia-mineral%2Fsumario-mineral%2Fsumario-mineral-brasileiro-2016%2F%40%40download%2Ffile%2Fsumario-mineral-2016.pdf&psig=AOvVaw3D6dsjCIjDWzYOMjORHSgl&ust=1613240897503000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhxqFwoTCNCulvH85O4CFQAAAAAdAAAAABAD>>. Acesso em: 12 fev. 2021

DOMINGUES, Edson Paulo et al. Impactos econômicos da paralisação de parte da produção mineral em Minas Gerais decorrentes do desastre de barragem em Brumadinho. **Gestão e Sociedade**, v. 14, n. 38, p. 3463-3479, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.21171/ges.v14i2.3175>>. Acesso em: 12 fev. 2021

ENRÍQUEZ, Maria Amélia Rodrigues da Silva. Mineração e desenvolvimento sustentável-é possível conciliar? **Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 12, p. 051-66, 2009. Disponível em: <<https://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/view/164733> >. Acesso em: 12 fev. 2021

ESPOSITO, Terezinha de Jesus; DUARTE, Anderson Pires. Classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais em relação a fatores de risco. **Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto**, v. 63, n. 2, p. 393-398, June 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0370-44672010000200026>>. Acesso em: 12 fev. 2021

IBRAM. **Produção Mineral Brasileira (PMB) Série Histórica**. Brasília - DF: Instituto Brasileiro Mineração, 2016. Disponível em: <https://portaldamineracao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2017/05/web_relatorio_ibram_2016_v2-1.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2021

INVESTIMENTOS da mineração serão de US\$ 64,8 bilhões até 2015. **Indústria da mineração: Informativo do Instituto Brasileiro de Mineração**, Brasília, DF, ano VI, n. 41, p. 10-11, fev. 2011. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001260.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2021

LIMA, Paulo César Vicente de; VASCONCELOS, Vitor Vieira de. Grandes empreendimentos minérios e seus impactos sociais. **De jure: revista jurídica do Ministério Público do Estado de Minas Gerais**, 2013. Disponível em: <<https://aplicacao.mpmg.mp.br/xmlui/handle/123456789/1142>>. Acesso em: 12 fev. 2021

MAGNO, Lucas. **Espacialidade e identidade Política dos Atingidos por Mineração no Brasil: Teorias, Escalas e Estratégias**. 2017. 382 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Florianópolis (SC), 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/186603>>. Acesso em: 12 mar. 2021

MIKHAILOV, Andrei et al. Inserção dos países BRICS nas cadeias globais de valor (1995–2011). **Estudos do CEPE**, n. 46, p. 58-74, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17058/cepe.v0i46.9646>>. Acesso em: 12 fev. 2021

PINHEIRO, JC de F.; **DA DIPLAM-DNPM, Diretor. A importância econômica da mineração no Brasil. Apresentação Rede Nacional de Informações sobre o Investimento-Renai,** 2011. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/sistemas_web/renai/public/arquivo/arq1314392332.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2021

SABOIA, João; KUBRUSLY, Lucia. Diferenciais regionais e setoriais na indústria brasileira. **Economia Aplicada**, v. 12, n. 1, p. 125-149, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-80502008000100006>>. Acesso em: 12 fev. 2021

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico.** Cortez editora, 2017. Disponível em: <https://www.ufrb.edu.br/ccaab/images/AEPE/Divulga%C3%A7%C3%A3o/LIVROS/Metodologia_do_Trabalho_Cient%C3%ADfico_-_1%C2%AA_Edi%C3%A7%C3%A3o_-_Antonio_Joaquim_Severino_-_2014.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2021

YIN, Robert K. **Applications of case study research.** Thousand Oaks, CA: SAGE Publications USA, 2011. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=FgSV0Y2FleYC&oi=fnd&pg=PP1&dq=16.%09YIN,+Robert+K.+Applications+of+case+study+research.+Thousand+Oaks,+CA:+SAGE+Publications+USA,+2011.&ots=4382OpqkSn&sig=7GW1eomFRYJR21YKQtBhJJdpb_M>. Acesso em: 12 fev. 2021