

MÉTODOS DE DISPOSIÇÃO DOS REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO ALTERNATIVOS AO MÉTODO DE BARRAGENS: UMA REVISÃO

Luis Henrique Pereira Stela*

Juliana Canto Duarte*

Camila Ortulan Pereira*

Resumo: O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica sobre alguns dos métodos de disposição dos rejeitos de minério de ferro existentes na atualidade. Durante o beneficiamento de um recurso mineral, como o minério de ferro, por exemplo, são geradas grandes quantidades de rejeitos, sendo o método de barragem a montante o mais comum no Brasil para a disposição final. Acidentes, como os ocorridos em Mariana e Brumadinho, ambos no estado brasileiro de Minas Gerais, têm levantado questões acerca da disposição desses rejeitos e da necessidade de mudanças no processo industrial extrativo da mineração. O objetivo deste trabalho foi uma análise exploratória e qualitativa da bibliografia existente sobre alguns dos diversos métodos de disposição alternativos de rejeitos da mineração de ferro já existentes, com o intuito de compará-los em relação à viabilidade econômica e ambiental. Apresentam-se aqui os métodos de: filtração, espessamento, pasta e disposição conjunta do rejeito. Os resultados mostraram que o método de filtração é a melhor escolha como rota alternativa para a disposição dos rejeitos de minério de ferro pois recupera grande parte da água utilizada no processo, podendo ser reutilizada no mesmo, além de reduzir a área de disposição com estruturas de contenção.

Palavras-chave: mineração; barragem de rejeitos; minério de ferro; beneficiamento.

METHODS OF DISPOSAL OF IRON ORE WASTE ALTERNATIVES TO THE DAM METHOD: A REVIEW

Abstract: The present work is a bibliographic review about some of the methods of disposal of iron ore tailings existing today. During the processing of a mineral resource, such as iron ore, for example, large amounts of tailings are generated, the upstream dam method being the most common in Brazil for final disposal. Accidents, such as those in Mariana and Brumadinho, both in the Brazilian state of Minas Gerais, have raised questions about the disposal of these tailings and the need for changes in the mining extractive industrial process. The objective of this work was an exploratory and qualitative analysis of the existing bibliography on some of the several alternative methods of disposal of iron mining tailings that already exist, to compare them in relation to economic and environmental viability. Here are presented the methods of: filtration, thickening, paste and joint disposal of the tailings. The results showed that the filtration method is the best choice as an alternative route for the disposal of iron

*Faculdade de Tecnologia de Campinas:

luis.henrique0904@hotmail.com, juliana.duarte01@fatec.sp.gov.br, camila.pereira15@fatec.sp.gov.br

ore tailings as it recovers much of the water used in the process and can be reused in the process, in addition to reducing the disposal area with structures of containment.

Keywords: mining; tailings dam; iron ore; processing.

INTRODUÇÃO

De acordo com o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), o Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro do mundo ficando atrás apenas da Austrália. As reservas medidas e indicadas de minério de ferro no Brasil alcançam 29 bilhões de toneladas das 180 bilhões de toneladas mundiais (IBRAM, 2013).

Industrialmente as substâncias minerais são as maiores fontes para se obter o ferro (Fe). Este elemento é o quarto mais encontrado na crosta terrestre (aproximadamente 4,5% em massa), sendo ultrapassado apenas pelo alumínio, o oxigênio e o silício. Embora faça parte da composição de vários minerais, apenas alguns destes são economicamente viáveis de serem explorados para sua obtenção, devido ao teor de ferro presente (CARVALHO *et al.*, 2014).

Os tipos de minérios de ferro que são encontrados na Terra são classificados de acordo com a composição química aniônica do mineral que fornece o elemento. São eles: óxidos, carbonatos, sulfetos e silicatos. Mas apenas os óxidos possuem uma importância no sentido econômico por apresentarem em suas composições maior concentração de ferro, além de serem os mais comuns (ANDRADE, 2014).

O minério bruto de ferro obtido durante o processo inicial da mineração é processado através de etapas (britagem, moagem, classificação) que geram produtos granulados e finos. Os produtos finos gerados passam por um processo de beneficiamento, processo no qual se utiliza grandes quantidades de água. É neste processo em que são gerados os rejeitos de minérios que são depositados em barragens de rejeitos (LUZ, 2010).

Após os rompimentos das barragens do Fundão, no município de Mariana (MG), no ano de 2015, e das barragens da Mina do Córrego do Feijão, no município de Brumadinho (MG), no ano de 2019, vieram à tona discussões sobre a real necessidade deste tipo de barragem e o impacto socioeconômico e ambiental que o rompimento pode causar nas regiões em que estão instaladas. Vale lembrar que a barragem de Fundão possuía 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de

ferro enquanto a barragem de rejeitos (B1) da Mina do Córrego do Feijão possuía aproximadamente 13 milhões de metros cúbicos. (FREITAS *et al.*, 2019).

A proposta deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre os métodos alternativos de disposição dos rejeitos de minério de ferro e sua viabilidade, em contrapartida aos métodos convencionais de barragens. Com isto, visou-se elaborar uma base de referência para elencar soluções sustentáveis que diminuam os riscos de acidentes e o impacto ambiental que cada método de disposição possa oferecer.

BENEFICIAMENTO E GERAÇÃO DE REJEITOS

Segundo Moraes *et al.* (2014) a razão do beneficiamento (físico e químico) do minério é adequá-lo às exigências do mercado, tanto na questão da granulometria quanto na pureza desse minério. Para isso, o minério necessita passar por processos de cominuição ou fragmentação, separação, concentração física, separação sólido-líquido, entre outras.

A concentração é uma etapa muito importante para o beneficiamento, pois é onde se separam os minerais de ganga, ou seja, aqueles sem valor econômico, diferente dos minerais de interesse. Para que a concentração ocorra, estes dois tipos de minerais não podem estar agregados e esse é o motivo de se realizar as etapas de fragmentação e classificação no início do processo. (MME, s.d).

Em quase todos os processos de beneficiamento, a operação de concentração do minério ocorre por via úmida. Por tanto, a eliminação da água do concentrado é uma das etapas finais para o produto estar pronto para ser transportado, sendo utilizado o desaguamento, espessamento e filtragem, e a secagem do concentrado final para a eliminação da água (LUZ, 2010).

De acordo com o MME (2009), a utilização de água na mineração se faz presente nas etapas de lavagem e concentração do minério, com valores de 1,2 a 1,4 m³/t, sendo que algumas mineradoras recirculam 70% da água necessária. Os rejeitos de minério de ferro provenientes do processo, em alguns casos, são depositados em barragens de rejeito com monitoramento interno, realizado pela própria empresa, e monitoramento externo, feito por órgãos ambientais.

Estudos projetam que entre os anos de 2010 e 2030, a geração de rejeitos provenientes da mineração de ferro atingirá uma quantidade total de 4.721.301 de toneladas no Brasil (IPEA, 2012).

Métodos convencionais: barragens de rejeito

Uma barragem de rejeito consiste numa estrutura para a contenção de água e sólidos em suspensão e livres (rejeito em forma de polpa) provenientes do processo de beneficiamento do minério. Considerando os últimos acontecimentos, o aterro hidráulico pode ser observado como um dos métodos mais comuns na geração dos acidentes envolvendo rejeitos da mineração.. Considerando as barragens de rejeitos, são encontrados os seguintes métodos: método a montante, método a jusante e o método de linha de centro, conforme ilustrado abaixo das Figuras 1 a 3 (RIBEIRO, 2019).

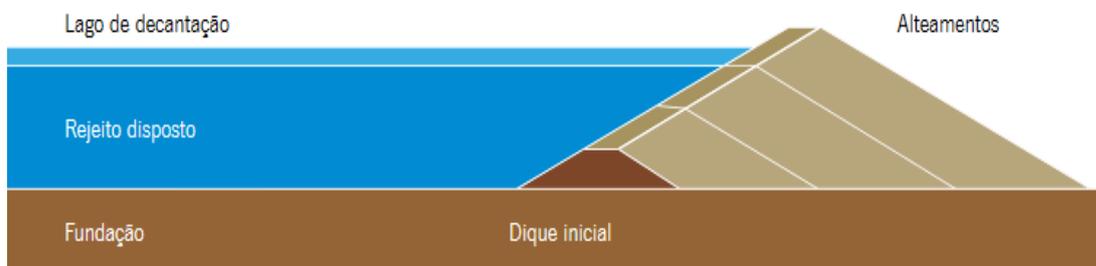
Figura 1 - Barragem alteada pelo método a montante



Fonte: IBRAM (2016).

De acordo com Cardozo (2016) e o IBRAM (2016), dos diversos métodos de disposição encontrados, o método a montante (Figura 1) é o mais antigo, de simples construção e economicamente viável. Mesmo sendo o mais utilizado, torna-se crítico em relação à segurança por apresentar um controle construtivo baixo.

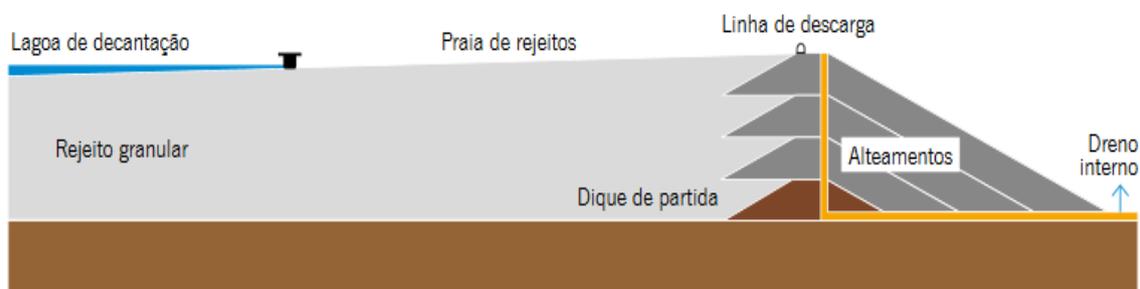
Figura 2 – Barragem alteada pelo método a jusante



Fonte: IBRAM (2016).

Segundo Klohn (1981 *apud* CARDOZO *et al*, 2016), o método a jusante (Figura 2) apresenta maiores vantagens aos outros métodos como controle do lançamento e da compactação da polpa; os alteamentos não são construídos sobre o rejeito; sistemas de drenagem interna podem ser instalados durante a fase inicial, aumentando a estabilidade da barragem.

Figura 3 – Barragem alteada pelo método de linha de centro



Fonte: IBRAM (2016).

Segundo Soares (2010), o método de linha de centro (Figura 3) pode ser considerado um método intermediário entre o método a montante e o método a jusante, apresentando vantagens de ambos e tentando diminuir as desvantagens. Estruturalmente, se assemelha mais ao método de jusante.

Impactos ambientais e métodos alternativos

O rompimento de uma barragem de rejeitos gera impactos negativos na qualidade e na disponibilidade da água, na vegetação ripária, na fertilidade e na

microbiota do solo. (CARNEIRO, 2018). Tendo como exemplo o acidente em Brumadinho, não apenas se destaca o impacto ambiental mas também o socioeconômico. O ocorrido vitimou 270 pessoas e atingiu as comunidades em torno dos rios afetados. O turismo na região foi praticamente paralisado, no setor agrícola houve perdas de lavouras e o comércio (que melhorou a situação devido a um auxílio emergencial pago pela Vale) também sentiu as consequências do acidente (FREITAS, 2019).

A quantidade de métodos de disposição de rejeitos alternativos aos métodos de barragens está crescendo cada vez mais, tanto por avanços tecnológicos quanto pela necessidade de se buscar tecnologias mais seguras e que menos impactam no meio ambiente. Dentre eles, podem ser citados os métodos que visam a disposição do rejeito filtrado e posterior empilhamento; espessamento do rejeito ou rejeitos em pasta e co-disposição.

Partindo do método de disposição do rejeito filtrado, é possível utilizar diversos tipos de filtros (filtro horizontal de correia, filtro de disco convencional, filtro prensa horizontal etc.) afim de se obter tortas com umidade aproximadamente entre 6% e 12% para posterior disposição do rejeito em pilhas, diminuindo então seu impacto ambiental (GUIMARÃES, 2011).

De acordo com Lara (2011), o rejeito também pode passar pelo processo de espessamento para sua disposição final em pasta. O espessamento é uma operação em que ocorre a separação da fase líquida e sólida da polpa de rejeitos, com a finalidade de reduzir e/ou reutilizar o volume de água. Para este caso, os espessadores operam em regime contínuo com o uso de floculantes, que vão agregar as partículas sólidas em suspensão.

Por fim, o rejeito também pode ser disposto em conjunto com o estéril da mina. A co-disposição visa obter um aumento nas propriedades de resistência e liberação de água destes materiais, além de não ser necessário o uso de grandes áreas para a disposição. Um outro ponto a se observar, seria a disponibilidade de cavas exauridas ou áreas mineradas, o que torna possível o método de co-disposição (SILVA, 2014).

Há ainda outros dois métodos de disposição alternativos às barragens de rejeito, sendo eles a disposição em cava subterrânea e disposição em cava a céu aberto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho foi de uma pesquisa bibliográfica na qual foi feita uma investigação a partir de informações disponibilizadas em literatura específica, como artigos científicos, teses e monografias, entre outros.

Neste estudo, foram revisados alguns dos métodos alternativos de disposição de rejeitos existentes, visando assim apresentar informações que possam servir de base para a escolha do método alternativo que possa reduzir o impacto ambiental e econômico que possíveis acidentes possam trazer. Estes métodos foram comparados para evidenciar em qual deles o rejeito (sem estar na forma de polpa) apresentaria uma viabilidade maior para o processo.

Os principais trabalhos estudados foram: Guimarães (2011), que utilizou diferentes métodos de filtragem em bancada a fim de se obter uma taxa de filtragem alta e uma baixa umidade da torta; o empilhamento a seco de Gomes (2016) através da desidratação do rejeito em forma de polpa; a disposição do rejeito espessado em pasta de Lara (2011); e, por fim, a co-disposição e disposição compartilhada de rejeitos apresentada por Silva (2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisarmos os métodos alternativos de disposição de rejeito levando em consideração os fatores envolvidos é possível observar diversas vantagens que os métodos convencionais não possuem como, por exemplo, a recuperação da água e a utilização de um espaço menor para o rejeito. Uma síntese dos resultados da pesquisa bibliográfica realizada nesse estudo é apresentada no Quadro 1, bem como as principais vantagens e desvantagens dos métodos alternativos de disposição levando em conta seus fatores ambientais e econômicos.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos métodos alternativos de disposição de rejeitos analisados neste estudo.

<u>Método</u>	<u>Vantagens</u>	<u>Desvantagens</u>
Tecnologias de filtração aplicáveis aos rejeitos de mineração (GUIMARÃES, 2011).	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da área necessária para disposição; • Menor impacto ambiental; • Redução de água nova no processo; • Baixo custo operacional; • Variedade de equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo de aquisição dos equipamentos; • Máquinas para transporte e empilhamento; • Relação entre a capacidade da mina e a taxa unitária de filtração; • Pode não ser viável para lamas.
Empilhamento a seco dos rejeitos de minério de ferro (GOMES, 2016).	<ul style="list-style-type: none"> • Reutiliza a água no processo; • Redução no custo operacional; • Reduz o custo de construção de barragens. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo alto de aquisição dos equipamentos; • Granulometria pode inviabilizar o processo; • Não é possível bombear.
Espessamento e transporte do material em pasta (LARA, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Permite bombeamento do rejeito; • Reutiliza água do processo; • Redução do custo de investimento e operação; • Maiores ângulos de repouso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos podem alterar consistência do material; • Custo energético e de equipamentos; • Distância entre área de disposição e o local de origem podem inviabilizar o processo.
Co-disposição e disposição conjunta do rejeito em cava exaurida (SILVA, 2014).	<ul style="list-style-type: none"> • Recupera a área minerada; • Dispensa o uso de bombas; • Emprega equipamentos já utilizados; • Melhoria das características geotécnicas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitação da mistura entre estéril e rejeito; • Características geotécnicas; • Rejeito quimicamente ativo ou tóxico; • Contaminação de lençóis freáticos

Fonte: Próprio autor.

Dos métodos estudados, o método de co-disposição estudado por Silva (2014) pode vir a ser o menos viável no quesito ambiental, já que apresenta características semelhantes ao de barragens de rejeitos. Isso se dá porque em alguns casos da disposição conjunta é necessário realizar a contenção da mistura estéril e rejeito através de barragens.

Considerando a geração de quantidades cada vez maiores de produtos finos nas minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero, o método de espessamento e disposição em pasta aparece como uma alternativa para evitar e/ou diminuir o lançamento de rejeito nas barragens convencionais. Para este método, há vantagens em relação a recuperação da água no processo, maiores ângulos de repouso, um custo menor tanto de investimento quanto de operação e uma redução significativa do impacto ambiental (OSÓRIO *et al.*, 2008 apud LARA, 2011).

Para os métodos de filtração, o custo de aquisição pode ser uma desvantagem para as mineradoras pequenas, mas pode ser uma vantagem a longo prazo. O custo de uma barragem de rejeitos convencional ao final de 20 anos pode superar o valor de um projeto de filtração, conforme observado por Gomes (2016). Os equipamentos de filtração possuem um baixo custo de operação e podem ser adaptados para cada tipo de rejeito, como foi analisado por Guimarães (2011).

CONCLUSÃO

A preocupação com a disposição de rejeitos em barragens convencionais no Brasil vem sendo muito discutida desde os recentes acidentes em Minas Gerais, sendo assim necessário encontrar rotas alternativas para o rejeito gerado no beneficiamento do minério de ferro, tanto em termos de disposição quanto destinação final e possível reaproveitamento.

O método de filtragem de rejeitos e posterior disposição em pilhas apresenta-se mais viável, visto que recupera grande parte da água utilizada no processo, podendo ser reutilizada no mesmo. A torta final obtida apresenta baixa umidade, permitindo uma disposição mais segura e que impacta menos no meio ambiente. Além disso, a utilização deste método permite reduzir a área de disposição com estruturas de contenção, porém necessita de investimentos em tecnologias de filtragem. Em termos de custo, é possível observar que o custo de implementação pode ser alto para este tipo de tecnologia, mas a longo prazo se obtém um retorno econômico considerável se comparado ao custo de uma barragem de rejeitos.

É importante ressaltar ainda, a necessidade de mais pesquisas acerca da disposição desse rejeito a seco, a fim do mesmo ter uma destinação final adequada, podendo ser reutilizado em outros setores industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Luana Caetano Rocha de. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil**. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2014. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6664/texto%20completo.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 22 de set. 2019.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira – 7ª Edição**. Brasília – DF, Dezembro/2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004035.pdf>>. Acesso em: 30 de mar. 2019.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM. **Informações Sobre a Economia Mineral Brasileira 2015**. Brasília – DF, Setembro/2015. Disponível em:

- <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>>. Acesso em: 31 de mar. 2019.
- BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas**. Brasília – DF, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf>. Acesso em: 11 de Out. 2020.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. **Beneficiamento de Minérios**. DF, Brasil. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/177708/Beneficiamento+de+Min%C3%A9rios/0b762ba9-35a6-4e73-9e7b-6d1e957e5d8f?version=1.0>>. Acesso em: 06 de out. 2019.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. Secretaria de Geologia, mineração e transformação mineral – SGM. **Relatório Técnico 18: Perfil da mineração de ferro**. Brasília – DF, Agosto/2009. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/a-mineracao-brasileira>>. Acesso em: 27 de abr. 2019.
- CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M.; ZINGANO, A. C.. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração – uma revisão**. Instituto Federal do Rio Grande do Norte, dez. 2016. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/5367>>. Acesso em: 08 de set. 2019.
- CARNEIRO, G. S. G. **Estudo das causas, impactos e medidas corretivas do rompimento de uma barragem de rejeitos, usando o caso da barragem de Mariana - MG**. 2018. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/22203>>. Acesso em: 28 de abr. 2019.
- CARVALHO, P. S. L.. **Minério de ferro**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 39, p. 197-233, mar. 2014. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4802>>. Acesso em: 24 de abr. 2019.

- FREITAS, C. M.; BARCELLOS, C.; ASMUS, C. I. R. F.; SILVA, M. A.; XAVIER, D. R.. **Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e saúde coletiva.** Rio de Janeiro: Cad. Saúde Pública, vol. 35 n. 05. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2019000600502>. Acesso em: 28 de ago. 2019.
- FREITAS, R.; FIÚZA, P.; COSTA, D.. **Com impactos na agricultura, mineração e turismo, tragédia da Vale traz incertezas para futuro da economia de Brumadinho.** G1 – Portal de Notícias. Brumadinho, MG – 24 de setembro de 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/07/24/com-impactos-na-agricultura-mineracao-e-turismo-tragedia-da-vale-traz-incertezas-para-futuro-da-economia-de-brumadinho.ghtml>>. Acesso em: 25 de nov. 2020.
- GOMES, R.B., *et al.* **Iron ore tailings dry stacking in Pau Branco mine, Brazil.** J Mater Res Technol. 2016. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmrt.2016.03.008>>. Acesso em: 28 de abr. 2020.
- GUIMARÃES, J. I. **Impacto do rompimento de uma barragem de rejeitos de minério de ferro sobre a qualidade das águas superficiais.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1272M.PDF>>. Acesso em: 27 de abr. 2019.
- LARA, A. F. M. de. **Espessamento e transporte de pasta mineral.** Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Engenharia de Minas, Belo Horizonte – Minas Gerais, Fevereiro/2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9C6GGR>>. Acesso em: 22 de mar. 2020.
- LUZ, A. B.; SAMPAIO J. A.; ALMEIDA, S. L.M. **Tratamento de Minérios 2010.** 5.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 932p. Disponível em: <mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/476>. Acesso em: 28 de abr. 2019.
- MORAIS, C. A.; ALBUQUERQUE, R. O. de; LADEIRA, A. C. Q. **Processos Físicos e Químicos Utilizados na Indústria Mineral.** Química Nova, n. 8, p. 9-17.

Maio/2014. Disponível em: < <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/04-CTN2.pdf>>. Acesso em: 15 de set. de 2019.

RIBEIRO, A. I. **A avaliação de impactos ambientais e as barragens de rejeitos.**

Portal da Universidade Estadual Paulista. São Paulo – SP, Fevereiro/2019.

Disponível em: < <https://www2.unesp.br/portal#!/noticia/34275/a-avaliacao-de-impactos-ambientais-e-as-barragens-de-rejeitos>>. Acesso em: 28 de abr. 2019

SILVA, R. K. A. **Co-disposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis**

em cava exaurida. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – Minas

Gerais, Julho/2014. Disponível em: < [https://www.nugeo.ufop.br/teses-e-](https://www.nugeo.ufop.br/teses-e-dissertacoes/82/co-disposicao-e-disposicao-compartilhada-de-rejeitos-e-estereis-em-cava-exaurida)

[dissertacoes/82/co-disposicao-e-disposicao-compartilhada-de-rejeitos-e-](https://www.nugeo.ufop.br/teses-e-dissertacoes/82/co-disposicao-e-disposicao-compartilhada-de-rejeitos-e-estereis-em-cava-exaurida)

[estereis-em-cava-exaurida](https://www.nugeo.ufop.br/teses-e-dissertacoes/82/co-disposicao-e-disposicao-compartilhada-de-rejeitos-e-estereis-em-cava-exaurida)>. Acesso em: 11 de mar. 2020.

SOARES, Lindolfo. **Barragem de Rejeitos.** Centro de Tecnologia Mineral. Rio de

Janeiro – RJ, Agosto/2010. Disponível em: <

< <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/769/1/CCL00410010.pdf>>.

Acesso em: 05 de set. 2019.