

# Série Estudos e Documentos

## Disposição de rejeitos de mineração: as opções tecnológicas para a redução dos riscos em barragens

Gilse Barbosa Guedes

Claudio Luiz Schneider

## **SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS**

**Disposição de rejeitos de mineração: as opções tecnológicas para a redução dos riscos em barragens**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Michel Miguel Elias Temer Lulia**

Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

**Gilberto Kassab**

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

**Elton Santa Fé Zacarias**

Secretário Executivo

**Gustavo Zarif Frayha**

Diretor de Gestão das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

**Isabela Sbampato Batista Reis de Paula**

Coordenadora-Geral das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Fernando Antonio Freitas Lins**

Diretor

**Durval Costa Reis**

Coordenador de Administração - COADM

**Robson de Araújo D'Ávila**

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

**Claudio Luiz Schneider**

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

**Francisco Wilson Hollanda Vidal**

Coordenador do Núcleo Regional do Espírito Santo - CONES

**José Antônio Pires de Mello**

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

# SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

ISSN 0103-6319

ISBN 978-85-8261-088-6

SED - 95

## **Disposição de rejeitos de mineração: as opções tecnológicas para a redução dos riscos em barragens**

### **Gilse Barbosa Guedes**

Jornalista, M. Sc. em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade da UFRRJ. Bolsista PCI/MCTIC

### **Claudio Luiz Schneider**

Engenheiro de Minas, M.Sc. em Metalurgia Extrativa pelo PPGEMM, UFRGS. Ph.D. em Metalurgia Extrativa pela Universidade de Utah. Pesquisador Titular do CETEM/MCTIC

**CETEM/MCTIC**

2018

# SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

**Carlos Cesar Peiter**

Editor

**Ana Maria Botelho M. da Cunha**

Subeditora

## CONSELHO EDITORIAL

Francisco R.C. Fernandes (CETEM), Gilson Ezequiel Ferreira (CETEM), Alfredo Ruy Barbosa (consultor), Gilberto Dias Calaes (ConDet), José Mário Coelho (CPRM), Rupen Adamian (UFRJ).

A Série Estudos e Documentos publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minerometalúrgica.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

**Valéria Cristina de Souza**

Coordenação Editorial

Editoração Eletrônica

**Gilse Barbosa Guedes**

Revisão

**Ana Maria Silva Vieira de Sá**

CRB7 3982

Catologação na Fonte

---

Guedes, Gilse Barbosa

Disposição de rejeitos de mineração: as opções tecnológicas para a redução dos riscos em barragens / Gilse B. Guedes, Claudio L. Schneider. —Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018.

26p.: il. (Série Estudos e Documentos, 95)

1. Deposição de rejeitos. 2. Rotas de processamento. 3. Simulação. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Guedes, Gilse Barbosa. III. Schneider, Claudio Luiz. IV. Título. I. Série.

CDD – 549.526

---

# SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1   INTRODUÇÃO	9
2   OBJETIVO	12
3   RESULTADOS E DISCUSSÕES	13
3.1   Simulação de Circuitos Alternativos	13
3.2   Alternativas Tecnológicas em Debate	19
4   CONCLUSÕES	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23



## **RESUMO**

A frequência de acidentes em barragens de rejeitos de mineração no Brasil e ao redor do mundo tem despertado o interesse de especialistas, órgãos internacionais e empresas em estudar tecnologias de menor risco de impactos econômicos, sociais e ambientais. Em média, ocorrem duas grandes rupturas de barragens de rejeitos no mundo anualmente, segundo o International Commission on Large Dams (ICOLD). Estatísticas demonstram que as barragens e as cavas de mineração aumentam dez vezes em volume e dobram em altura a cada 30 anos, o que eleva a probabilidade de ruptura dos reservatórios de rejeitos e aumento do dano. Estima-se que o risco de rompimento tende a aumentar 20 vezes a cada 30 anos, levando-se em consideração que a probabilidade é proporcional à altura e a consequência do impacto é proporcional ao volume do reservatório de rejeitos. Nesse sentido, torna-se necessário pesquisar as alternativas que vem sendo apresentadas e aplicadas pelas empresas para aumentar a segurança das barragens e, conseqüentemente, reduzir os riscos de falhas nas estruturas dos reservatórios. O presente estudo apresenta uma descrição de opções técnicas disponíveis, analisando a viabilidade técnica, as vantagens e as dificuldades para aplicação destas alternativas em maior escala pelo setor mineral.

### **Palavras-chave**

Barragens; deposição de rejeitos; rotas de processamento, simulação.

## **ABSTRACT**

The frequency of catastrophic failure of tailings dams in the Brazilian mining sector and around the world has raised the attention of specialists, international agencies and companies to study and develop technologies of low economic, social and environmental risk. On average, two catastrophic ruptures of tailings dams take place annually in the world, according to the International Commission on Large Dams (ICOLD). Statistical analysis demonstrate that the mining dams and pits increase ten times in volume and double their height every 30 years, elevating the likelihood of rupture of the dams and increasing the damages. It is estimated that the risk of failure increases 20 times every 30 years taking in consideration that the probability of failure is proportional to the height of the dam. In this regard, it is necessary to research the alternatives that have been proposed and applied by the mining companies in order to increase dam safety and, consequently, reduce the risks of structural failure. This work presents a description of available techniques, with the technical feasibility and the advantages and disadvantages of the application of these alternatives in large scale at the mineral sector.

### **Keywords**

Tailing dams; tailings disposal; processing routes; simulation

## 1 | INTRODUÇÃO

As estruturas projetadas para armazenar os rejeitos de mineração estão cada vez maiores e mais volumosas. Calcula-se que, a cada 30 anos, as barragens ao redor do mundo aumentam dez vezes em volume e dobram em altura para armazenar os resíduos em consequência dos processos de extração e beneficiamento de minério. Atualmente, cerca de 670.000 toneladas de rejeitos são geradas por dia, número que deve chegar a um milhão de toneladas/dia de rejeitos em 2030 (ÁVILA, 2011).

Levando-se em consideração duas variáveis, a altura e o volume da barragem, podem-se estimar os riscos de rompimento e as consequências de um acidente utilizando-se uma metodologia desenvolvida por um consultor canadense, Andrew Robertson. A probabilidade de um acidente é proporcional à altura enquanto que a consequência do impacto é proporcional ao volume do reservatório de rejeitos, o que possibilita estimar que o risco de rompimento tende a aumentar 20 vezes a cada 30 anos, considerando as projeções do setor mineral de aumento da demanda mundial por minérios (ÁVILA, 2016).

O levantamento de Robertson e os aspectos relacionados ao aumento de risco inserem-se no contexto em que se discutem a frequência de acidentes em barragens de rejeitos de mineração e seus impactos. Segundo a International Commission on Large Dams (ICOLD), em média ocorrem anualmente duas grandes rupturas de reservatórios de rejeitos minerais em âmbito mundial. Faz parte da lista de estatísticas mundiais de grandes acidentes o colapso da barragem conhecida como Fundão, de propriedade da Samarco

Mineração S.A – controlada por duas das maiores mineradoras do mundo, a brasileira Vale S.A e a anglo australiana BHP Billiton Ltda. O reservatório rompeu em 05 de novembro de 2015, provocando uma enxurrada de lama que atingiu Bento Rodrigues, um distrito de Mariana (MG), além de outras cidades mineiras e do Espírito Santo ao longo da bacia hidrográfica do Rio Doce (COSTA, 2015; DIEGUEZ, 2016).

Outras rupturas de barragens foram contabilizadas como graves, uma no Canadá e outra na China. Um ano e três meses antes do caso de Mariana, houve o rompimento do reservatório de rejeitos de minério de cobre e ouro da mina de Mount Polley, localizada na Columbia Britânica, terceira maior província do Canadá. Em agosto de 2016, ocorreu um acidente na barragem da mineradora Luoyang Xiangjian Wanji, provocando a inundação de duas vilas em Luoyang, na China (ÁVILA, 2017; 2016).

Os fatos ocorridos no Brasil e ao redor do mundo têm despertado o interesse de especialistas, órgãos internacionais e empresas em estudar o problema e apresentar alternativas para aumentar a segurança das barragens e, conseqüentemente, reduzir os riscos de falhas nas estruturas dos reservatórios (ÁVILA, 2016; ICMM, 2016; FEBRABAN, 2016; IBRAM, 2016). Um leque de possíveis soluções tem sido apresentado para elevar o nível de segurança, entre as quais a melhoria na gestão de barragens, maior fiscalização pelo poder público, soluções tecnológicas para a disposição de rejeitos, revisão de metodologias de construção dos reservatórios, entre outras.

Como forma de contribuir para o debate acerca do assunto, este artigo apresenta algumas alternativas tecnológicas para reduzir o volume de rejeitos dispostos nos reservatórios. Em relação às tecnologias, são discutidas rotas de processo clássicas (utilizando-se um exemplo típico de operação em uma jazida de itabirito compacto) e amplamente utilizadas pelo setor mineral baseadas no bombeamento de rejeitos com alto teor de umidade (100% de saturação) para uma barragem impermeável (ÁVILA, 2017; 2016; GUIMARÃES, 2011).

Com o uso de alternativas tecnológicas, pretende-se eliminar a barragem impermeável, retendo os rejeitos e recirculando a água, aplicando-se métodos para a retirada da água dos rejeitos conforme as suas características granulométricas (grossos ou finos) (ÁVILA, 2016; GUIMARÃES, 2011). O foco principal das tecnologias é eliminar ao máximo o principal elemento que causa instabilidade aos reservatórios de rejeitos: a água usada no processamento do minério (ÁVILA, 2017; 2016).

Neste artigo, é apresentada uma breve descrição de opções técnicas disponíveis, utilizando-se uma rota de processamento alternativa, com ou sem a utilização de espessadores e filtros. Após esta abordagem mais genérica, a análise é direcionada às alternativas mais adequadas ao minério de ferro, considerando a sua importância em relação ao volume produzido e exportado. O presente trabalho foi apresentado no XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (ENTMME), em Belém (PA).

## **2 | OBJETIVO**

O objetivo do trabalho é pesquisar as alternativas que vem sendo apresentadas e aplicadas pelas empresas para aumentar a segurança das barragens de rejeitos de mineração e, conseqüentemente, reduzir os riscos de falhas nas estruturas dos reservatórios. O estudo apresenta uma descrição de opções técnicas disponíveis, analisando a viabilidade técnica, as vantagens e as dificuldades para aplicação destas alternativas em maior escala pelo setor mineral.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 | Simulação de Circuitos Alternativos

Comparar a utilização de barragens de rejeitos versus alternativas que incluem plantas de filtração é um problema bastante complexo. Plantas de filtração têm uma capacidade horária bem definida em toneladas/hora com custos de capital e operacional igualmente bem definidos. Já barragens de deposição têm uma capacidade total de armazenamento e podem ser construídas com uma capacidade suficiente para apenas os primeiros anos de operação enquanto há a amortização do fluxo de caixa do projeto. Os eventuais adiantamentos que necessariamente ocorrem ao longo da vida da mina representam custos operacionais ou novos investimentos, que, por sua vez, podem ser interpretados de uma forma ou de outra.

Um segundo aspecto importante é que não se trata de uma discussão de qual sistema seria mais ou menos oneroso no que diz respeito ao custo operacional de um determinado empreendimento, em se considerando filtração versus deposição em barragens. A resposta a esta questão já é conhecida: o custo total menor é o de deposição em barragem. Não fosse assim as empresas de mineração já estariam utilizando, há muitos anos, plantas de filtração no lugar das barragens.

Porém, a questão dos custos ganha uma nova variável se forem considerados os riscos com rompimentos de barragens, haja visto o caso da barragem da Samarco localizada em Mariana (MG) que se rompeu em consequência de problemas de gestão. Neste caso, claramente o custo maior foi o da

barragem, por outros motivos que não os aspectos de investimento.

Este raciocínio leva a uma questão importante que é a da quantificação dos riscos envolvidos em um empreendimento deste tipo. Uma planta de filtração envolve poucos fatores de risco e, para todos os efeitos práticos, a probabilidade de a operação ser interrompida por um longo período em função de uma falha catastrófica da planta de filtração é praticamente zero ou inexistente. Por outro lado, barragens de rejeito têm, inerentemente, riscos associados e esta probabilidade pode ser significativamente maior do que zero.

O rompimento da barragem da Samarco tem provocado vários debates para a melhoria da gestão de barragens existentes, da legislação e da fiscalização (ICMM, 2016; FEBRABAN, 2016; MINAS GERAIS, 2016). Do ponto de vista da concepção de plantas de processamento de minério de ferro e de outros minérios com características granulométricas similares, algumas opções e processos tecnológicos estão sendo propostos e que podem reduzir a necessidade de barragens ou até mesmo eliminar a sua utilização. Isso pode ser entendido a partir das ilustrações nas Figuras 1 e 2.

Na Figura 1, um circuito típico de processamento de itabiritos compactos é mostrado de forma esquemática. Este circuito não é necessariamente utilizado desta forma em todos os empreendimentos, mas serve de base. As plantas possuem uma etapa de britagem, podendo incluir vários britadores e peneiras de diferentes portes e aberturas. A britagem é seguida por uma etapa de moagem, geralmente em moinhos de bolas em circuito fechado com baterias de hidrociclones. O circuito de

moagem é seguido por uma etapa de deslamagem, novamente em hidrociclones.

No referido modelo, os tamanhos de partícula são da ordem de várias dezenas de micrômetros e a moagem objetiva a liberação das fases hematita, que é o mineral de minério de ferro, do quartzo, que é o principal mineral que constitui o rejeito.

No circuito de deslamagem, os cortes são consideravelmente mais finos, entre 10 e 15 micrômetros, visando um *underflow* com um mínimo de partículas abaixo de 5 micrômetros. Com a deslamagem, o que se pretende é a eliminação de partículas menores do que 5 micrômetros na flotação (convencional) em função de um efeito deletério provocado pela sua alta área superficial.

As partículas livres de lamas, no *underflow* da deslamagem, são então flotadas em circuitos de flotação que podem conter células mecânicas e/ou colunas, em circuito estagiado com *rougher/cleaner/re-cleaner*, incluindo ainda uma etapa de remoagem. O rejeito do circuito de flotação é composto principalmente por partículas de quartzo relativamente grosseiras, com tamanho de várias dezenas de micrômetros. O concentrado de hematita é espessado e filtrado, geralmente em filtro a vácuo.

Na etapa final, as lamas, juntamente com o rejeito de flotação, são enviadas para a barragem de rejeitos onde ocorre a decantação. Em geral, as lamas são depositadas perto da barragem e o rejeito de flotação é depositado a certa distância da barragem já que as partículas de quartzo formam um leito muito permeável. A água clarificada é captada e recirculada para o processo.

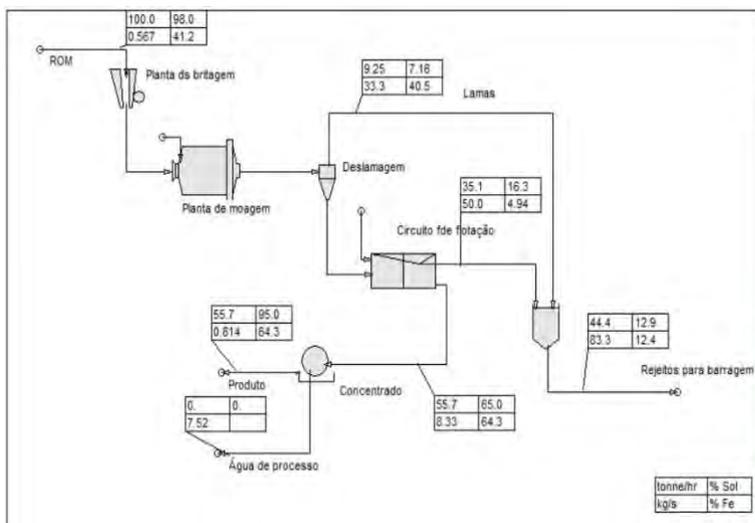
Em linhas gerais, o fluxograma da Figura 1 pode servir como base de comparação, porque se trata de uma configuração de planta bastante realista. Obviamente, na prática, existem variações que devem ser avaliadas na escolha das opções e processos mais adequados para um determinado empreendimento. Porém, considera-se que estas variações não são muito relevantes considerando-se o projeto conceitual.

Os valores mostrados na Figura 1 também são importantes e foram obtidos a partir da composição mineralógica de um itabirito compacto e parâmetros de processo razoavelmente realistas. Trata-se de uma simulação no simulador de plantas Modsim™ (KING, 2012). A simulação em si não foi calibrada contra dados de uma planta real, nem a simulação contém todas as etapas de uma planta real. Porém, os resultados mostrados são factíveis e servem especialmente para uma comparação com o conceito alternativo mostrado na Figura 2.

A simulação mostrada na Figura 2 utiliza exatamente as mesmas bases da simulação da Figura 1. Porém, as seguintes e importantes modificações foram introduzidas: as lamas (*overflow* da deslamagem) são submetidas a uma etapa de flotação de quartzo, em coluna, objetivando produzir um produto comercializável de baixa qualidade ou qualidade menor (relativamente ao concentrado grosso); o rejeito da flotação de lamas pode ser espessado e filtrado em filtro prensa ou enviado para uma barragem de rejeitos; o rejeito da planta de flotação não segue diretamente para a barragem. Nesta alternativa, o rejeito é filtrado e depositado em aterro, a seco. A água filtrada é recirculada para a planta.

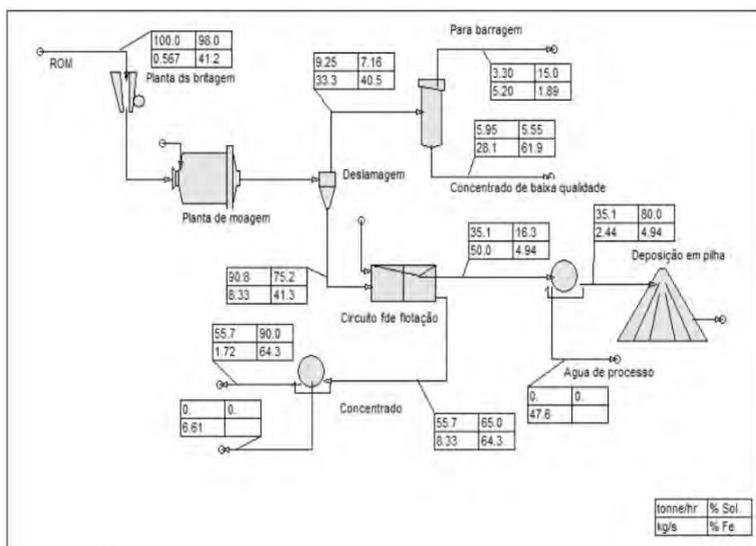
As simulações consideram um itabirito compacto composto por 59% de hematita e 41% de quartzo. O tamanho de corte ( $D_{50}$ )

da operação de deslamagem é em 12 micrômetros. Foi considerada uma baixa segregação por densidade nesta etapa, resultando em um teor de Fe nas lamas praticamente igual ao da alimentação da planta de flotação (*underflow* da deslamagem). A recuperação de hematita na flotação é de 87% com um teor de Fe no concentrado final igual a 64,3%. O rendimento de concentrado é de 55,7%. Este valor determina o volume de concentrado e a capacidade requerida da planta de filtração, a vácuo, de concentrado. Para a barragem de rejeito são direcionados 44,4% do material, contendo 12,4% de Fe. No processo, 13% de hematita são descartados na barragem, sendo 9% proveniente da deslamagem. No entanto, o fluxo de deslamagem contribui com apenas 9,3% de todo o minério processado, enquanto o rejeito da flotação constitui outros 35%.



**Figura 1.** Circuito convencional de processamento de Itabiritos compactos e outros minérios de ferro.

Demonstrado na Figura 2, o circuito alternativo recupera outros 9% de hematita como produto. Isso é bastante significativo e justifica plenamente o investimento em uma planta de processamento de lamas utilizando uma flotação em coluna de silicatos (quartzo). Somente 3,3% da massa total são descartados, enquanto, em uma planta convencional, são descartados 9%. Ou seja, somente 1/3 das lamas necessita de uma operação de descarte, seja em barragem de rejeitos ou, alternativamente, em uma planta de espessamento seguida de filtros prensa, com descarte a seco.



**Figura 2.** Circuito alternativo de processamento de Itabiritos compactos e outros minérios de ferro.

### 3.2 | Alternativas Tecnológicas em Debate

Existem vantagens e desvantagens inerentes aos conceitos dos circuitos de processamento de itabiritos compactos apresentados. O circuito alternativo pode usar uma planta de filtração para o rejeito da flotação, seguido de deposição a seco, ou, alternativamente, uma tecnologia de empilhamento drenado, visto que trata-se de um material sub-arenoso ou silt, com partículas de dezenas de micrômetros de diâmetro. Este tipo de material não retém água e pode ser filtrado ou drenado facilmente. Para rejeitos deste tipo, o empilhamento drenado é uma das alternativas cujas principais vantagens são a obtenção de maciço não saturado com maior estabilidade; menor potencial de danos provenientes de rupturas catastróficas e melhores condições para fechamento de mina com menor custo de reabilitação ambiental (ÁVILA, 2011).

Utilizando-se esta estratégia, e admitindo-se que somente as lamas pobres sejam estocadas em barragem de rejeitos, o resultado é uma barragem treze (13) vezes menores do que a barragem do circuito convencional onde apenas 3,3 % do minério é descartado na barragem versus 44,4% do minério no caso da planta convencional. Os riscos envolvidos na planta alternativa são igualmente minimizados e, provavelmente, uma barragem de lamas do porte requerido pelo circuito alternativo dificilmente estará classificada como uma barragem de alto risco ou dano potencial associado no Cadastro Nacional de Barragens de Mineração do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

Se a alternativa for o empilhamento drenado, uma planta de filtração do rejeito de flotação torna-se desnecessária. No entanto, é preciso incluir uma estrutura que libera a água

por meio de um sistema de drenagem interna com grande capacidade de vazão, interligada aos rejeitos do reservatório (IBRAM, 2016).

Uma alternativa para as lamas seria a disposição com adensamento e secagem pelo qual a lama é espessada até a máxima densidade bombeável e a disposição é feita com bons dispositivos de drenagem. A lama é adensada e posta para evaporar, possibilitando que o depósito seja muito mais seguro e facilitando a recuperação ambiental na fase de fechamento de mina (ÁVILA, 2017; 2016).

Ainda para rejeitos finos, pode-se utilizar o método de disposição denominado de *drystacking* ou empilhamento a seco. Este é um método utilizado pelas empresas de alumínio para a disposição de rejeitos de resíduo de produção de alumina (*redmud*). O rejeito fino passa, em geral, numa peneira 400, sendo adensado com espessadores até teores de sólidos elevados (50%) e bombeado para um reservatório cuja superfície é exposta à evaporação. Com isso, pode se obter teores de sólidos até valores da ordem de 80% (IBRAM, 2016).

Pode-se afirmar, portanto, que:

- Há vantagens consideráveis em se tratar as lamas, objetivando-se a recuperação de hematita para compor um produto de menor qualidade ou ainda para compor o produto final da planta. Além do aumento da produção e vendas, há ainda uma redução significativa no volume de lamas a ser descartado como rejeito. O investimento em uma planta de flotação em colunas, neste caso, é plenamente justificado.

- Uma estratégia de descarte em separado das lamas (finos) e do rejeito de flotação (silt) possibilita uma série de alternativas, inclusive eliminando a necessidade de grandes barragens de rejeitos. O rejeito de flotação é muito mais susceptível ao manuseio, fácil de filtrar e ainda pode ser descartado em forma de polpa utilizando-se a técnica de empilhamento drenado.
- Plantas de processamento sem grandes barragens envolvem riscos de acidentes catastróficos muito menores.
- A ausência de grandes barragens viabiliza a obtenção de licenças ambientais.

## 4 | CONCLUSÕES

As simulações demonstraram que existem possibilidades reais de aperfeiçoar o conceito de plantas de processamento de itabiritos compactos. Dois conceitos foram explorados com sucesso: o tratamento das lamas, além de aumentar a produção, reduz o volume de rejeitos; não misturar resíduos com características distintas, ou seja, as lamas e os rejeitos de flotação. Tratando-se estes dois tipos de rejeitos em separado, abre-se um grande leque de possibilidades para a deposição eficiente destes resíduos.

Considera-se que as empresas de mineração devem explorar estas possibilidades em empreendimentos a curto, médio ou longo prazo, baseando-se em variáveis que delimitam e configuram os projetos de exploração mineral. Dentre estas variáveis, podem-se citar os volumes de produção mineral e, por consequência, os volumes de rejeitos sempre crescentes, como, no caso, do minério de ferro.

Por fim, uma segunda variável que deve ser considerada é a necessidade de busca de opções e processos tecnológicos que contribuam para a obtenção de licenciamentos ambientais para a exploração mineral. Isto porque as opções tecnológicas citadas e analisadas neste trabalho podem estruturar empreendimentos minerais com barragens cada vez menores ou até mesmo sem barragens, minimizando ou zerando os riscos de rompimentos dos reservatórios. Com a redução ou a eliminação dos riscos, diminui-se, portanto, a possibilidade de impactos ambientais e sociais, contribuindo para o processo de licenciamento ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁVILA, J. Entrevista concedida em 3 fev. 2017 em Nova Lima (MG) na etapa de coleta de informações para a produção do artigo para a Revista Brasil Mineral. A ser publicado.

ÁVILA, J. Acidentes em barragens de rejeitos no Brasil. 2016. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/wp-content/uploads/2016/07/ACIDENTES-EM-BARRAGENS-Joaquim-Pimenta-Pimenta-de-%C3%81vila-Engenharia.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

ÁVILA, J. A disposição de rejeitos sem barragens. 2011. VII Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEO 2011). Arquivo disponibilizado pelo autor.

AVILA, J.P.; SOARES, R.; COSTA, L.H.D. Deposição de Rejeitos Finos pelo Método de Secagem. 1995. III Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos, Ouro Preto (MG). Arquivo disponibilizado pelo autor. Também disponível em: <https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/rege099/1999-costa-avila.pdf>. Acesso em: 02 maio 2017.

COSTA, R. Rompimentos de barragens de mineradoras têm se tornado mais graves nas últimas décadas, dizem especialistas. 18 nov. 2015. Disponível em: <http://operamundi.uol.com.br/conteudo/reportagens/42318/rompimentos+de+barragens+de+mineradoras+tem+se+tornado+mais+graves+nas+ultimas+decadas+dizem+especialista.s.shtml>. Acesso em: 21 fev. 2017.

DIEGUEZ, C. A onda. Uma reconstituição da tragédia de Mariana, o maior desastre ambiental do país. Anais da Catástrofe. Revista Piauí, ed. 118. 18 jul. 2016. Disponível em: <http://piaui.folha.uol.com.br/materia/a-onda-de-mariana/>. Acesso em: 20 jul. 2016.

FEBRABAN, Federação Brasileira de Bancos. 2016. Riscos em barragens de rejeitos. Café com Sustentabilidade. Disponível em: <https://cmsportal.febraban.org.br/Arquivos/documentos/PDF/46%C2%BA%20Caf%C3%A9%20com%20Sustentabilidade%20-%20Riscos%20em%20Barragens%20de%20Rejeitos.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2016.

GUIMARÃES, N.C. Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas. 2011. 129 p. Dissertação (mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8MTF32/disserta\\_\\_o\\_filtragem\\_de\\_rejeitos\\_de\\_min\\_rio\\_de\\_ferro\\_visand.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8MTF32/disserta__o_filtragem_de_rejeitos_de_min_rio_de_ferro_visand.pdf?sequence=1). Acesso em: 10 jan. 2017.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. 2016. Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.

ICMM, International Council on Mining and Metals. Preventing catastrophic failure of tailings storage facilities. December 2016. ICMM. Disponível em: <http://www.icmm.com/tailings-ps>. Acesso em: 20 dez. 2016.

KING, R.P. Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems. 2012. 2nd Ed., SME, Englewood, CO.

MACHADO, W.G.F. Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos de mineração. 2007. 155p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Engenharia Mineral). Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-31032008-154124/pt-br.php>. Acesso em: 15 dez. 2016.

MINAS GERAIS, 2016. Decreto n. 46. 993, de 2 de maio de 2016. Disponível em: Disponível em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=41216>. Acesso em: 19 abr. 2017.

## **SÉRIES CETEM**

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2017, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 320 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

### **Últimos números da Série Estudos e Documentos**

**SED-94 – Mineração e os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS): o desafio da diversificação econômica em Itabira (MG).** Ana Maria B. M. da Cunha, Gilse Barbosa Guedes, 2017.

**SED-93 – Tendências europeias para o uso dos recursos de terras-raras.** Ellen Cristine Giese, 2017.

**SED-92 – Mineração e garimpo em terras indígenas.** Maria Inês Ferreira da Costa de Almeida, 2016.

**SED-91 – Fechamento de minas no Brasil: Aspectos legais e consequências sobre o meio ambiente e populações locais.** Eliane Rocha Araujo, 2016.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
Geral: (21) 3865-7222  
Biblioteca: (21) 3865-7218  
E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)  
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



## Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

## O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m<sup>2</sup> de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 40 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.