

## UTILIZAÇÃO DE REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS MACIÇOS

Dewmayker Moura Assis <sup>1</sup>

Fyama Otaviana da Costa Sírio Queiroga <sup>2</sup>

Júlia Castro Mendes <sup>3</sup>

### RESUMO

As indústrias da construção civil e da mineração são algumas das que agridem mais significativamente o meio ambiente, mas são, também, duas das maiores geradoras de emprego e renda. A atividade mineradora em Minas Gerais gera uma grande quantidade de rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF), que acarreta riscos humanos e ambientais, como o caso recente do rompimento da barragem em Bento Rodrigues-MG. Pensando nisso, surgiu o interesse de destinar esse resíduo como fonte alternativa na fabricação de tijolos maciços cerâmicos. Nesse sentido, foi avaliada a viabilidade técnica de porcentagens de 10% a 50% de substituição de argila por RBMF, visando chegar a um máximo teor de reaproveitamento sem que a parte ferrosa presente no rejeito seja prejudicial ao produto. Foram avaliados os seguintes parâmetros: granulometria, massa unitária e resistência mecânica. Com este estudo, concluiu-se que o tijolo com 25% RBMF apresentou o melhor resultado em comparação aos demais. Espera-se apresentar esta tecnologia como possível alternativa para as indústrias da construção civil e mineração, reduzindo-se o impacto no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Reuso de resíduos; Rejeito de barragem de minério de ferro; Tijolos maciços; Cerâmica vermelha.

### ABSTRACT

The construction and mining industries are some of the most environmentally damaging, but they are also two of the largest generators of employment and income. Mining activity in Minas Gerais generates a large amount of iron ore tailings (RBMF), usually deposited in tailings dams, which incurs in human and environmental risks, such as the recent collapse in Bento Rodrigues-MG. In this scenario, the present paper investigates this residue as an alternative material in the manufacture of solid ceramic bricks. In this sense, the technical feasibility of replacing 10% to 50% of clay by RBMF was evaluated, aiming to reach a maximum content, but without the ferrous fraction comprised in the waste being harmful to the product. The following parameters were evaluated: particle size distribution, unit weight and mechanical strength. With this study, it was concluded that the brick with 25% RBMF presented the best result in comparison with the others. It is hoped to present this technology as a possible alternative for civil construction and mining industries, reducing their impact on the environment.

**Keywords:** Reuse of residues; Iron ore tailings; Solid bricks; Red ceramic.

---

<sup>1</sup> Graduação em Engenharia Civil, Faculdade Santa Rita (FaSaR); E-mail: dewmayker.96@hotmail.com;

<sup>2</sup> Graduação em Engenharia Civil, Faculdade Santa Rita (FaSaR); E-mail: fyamasirio@outlook.com;

<sup>3</sup> Professora Substituta e Doutoranda em Engenharia Civil na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP); E-mail: jcmendes.eng@gmail.com.

## 1. INTRODUÇÃO

O impacto ambiental gerado pela exploração dos recursos minerais tem conseqüente geração de resíduos sólidos, como o rejeito de minério de ferro. Isso tem motivado reflexões a respeito da sustentabilidade para solucionar o gerenciamento oneroso e complexo desses resíduos. Uma das soluções cabíveis se dá por meio da aplicação de novas tecnologias de materiais, como o seu reaproveitamento como agregado para a construção (FRANCO et al., 2014).

O Brasil é um dos maiores exportadores mundiais de minério de ferro. A lavra e posterior beneficiamento do minério de ferro geram considerável produção de resíduos sólidos, denominados estéreis e rejeitos. Estes resíduos são estocados na forma de pilhas de estéreis ou barragens de rejeitos, gerando considerável dano ambiental (BRASIL, 2016).

De acordo com Duarte (2008) uma enorme atenção é necessária em relação à estabilidade física e econômica das barragens, considerando o potencial de danos ambientais e mecanismos de transporte de contaminantes. No caso das barragens de rejeitos de minério de ferro, aspectos de estabilidade física permaneceram na vanguarda, em virtude dos recentes acidentes com implicações financeiras, ambientais e humanas graves e elevada atenção da mídia.

O maior dano ambiental já registrado no Brasil e na história dos rompimentos de barragens ocorreu em Mariana-MG, com a barragem de rejeitos de Fundão (MONTEIRO, 2017). Conforme Soares (2015) as conseqüências desse dano ambiental trazem à tona a urgência da revisão de processos relacionados à atividade mineradora, em busca de soluções alternativas que garantam mais segurança e maior preservação do meio ambiente. Nesse sentido, trabalhos anteriores também verificaram a aplicabilidade do rejeito de barragem de minério de ferro. Fontes (2013) o utilizou como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento, Sant'Ana Filho (2013) para fabricação de blocos intertravados, Bastos (2013) como matéria prima para infraestrutura rodoviária. Todos obtiveram ótimos resultados, comprovando que o RBMF tem diversas aplicações na indústria da construção civil.

Segundo Fontes (2013) amostras de rejeito são classificadas como resíduo classe II A – não perigoso e não inerte. O material não é tóxico, não apresentando nenhum

elemento nocivo à saúde pública ou ao meio ambiente, podendo ser utilizado para os fins propostos (COLTURATO et al., 2003).

Além disso, o RBMF é composto principalmente por elementos de sílica, alumínio e ferro (NOCITI, 2011; FONTES, 2013; SANT'ANA FILHO, 2013), da mesma forma que as matérias-primas tradicionais de cerâmicas vermelhas (CABRAL JUNIOR et al., 2005), embora em proporções diferentes. Os tijolos cerâmicos são utilizados em construções desde 3000 a.C. (SEBRAE, 2008). No Brasil, segundo o SEBRAE (2008) em 2005 foram produzidos 48 bilhões de unidades de blocos cerâmicos para construção civil. Isso corresponde a um consumo de 7.8 milhões de toneladas de argila por mês, a um custo ambiental expressivo (CABRAL JUNIOR et al., 2005).

Assim, a adoção do RBMF na produção de artefatos cerâmicos é uma potencial forma de se reduzir o impacto ambiental dessa indústria. Em função do custo da extração de rejeitos e do frete do transporte, os agregados retirados das mineradoras podem baratear a produção de artefatos e peças pré-fabricadas nas empresas que estejam em um raio de até 200 quilômetros do local da extração (SANTOS, 2016).

Assim, o objetivo do presente trabalho é destinar esse resíduo como fonte alternativa na fabricação de tijolos maciços, a fim de produzir tijolos cerâmicos utilizando o rejeito de barragem de minério de ferro. Avaliou-se a resistência mecânica alcançada pelos tijolos, com o intuito de apresentar esta tecnologia como possível solução para construção civil e mineração, reduzindo-se o impacto no meio ambiente.

O trabalho visa fomentar o conhecimento técnico-científico, unindo o setor minerário ao parque da construção civil. Assim, incorporando novos mercados às mineradoras na forma de subprodutos, diminuindo impactos ambientais e otimizando o uso dos recursos explorados (COLTURATO et al., 2003).

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais utilizados**

Para os tijolos experimentais foram utilizados areia, argila e rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF), todos secos previamente em estufa. Em substituição à

mistura de areia e argila convencional dos tijolos, utilizou-se o RBMF, em 3 porcentagens: 10%, 25% e 50%. Na mistura convencional, é utilizado 50% de argila e 50% de areia. A argila é obtida no próprio local, já a areia é adquirida por terceiros. O rejeito de barragem de minério de ferro utilizado para a fabricação dos tijolos foi fornecido por uma empresa da região metropolitana de Belo Horizonte, do estado de Minas Gerais.

## 2.2 Método empregado

Com a finalidade de verificar a sua aplicabilidade como agregado para a construção civil, o rejeito foi utilizado em seu estado bruto, submetido a análises: granulométrica e massa unitária. A areia e a argila também foram submetidas às mesmas análises. A confecção de tijolos foi realizada em uma olaria situada no bairro Rancho Novo, região rural da cidade de Conselheiro Lafaiete. Os tijolos são fabricados manualmente, seguindo os seguintes passos:

- a) Extração da argila – retirada do próprio local;
- b) Areia de rio – comprada de um fornecedor local;
- c) A mistura de areia e argila a serem utilizadas para o tijolo convencional foi feita em volume, sendo 50% de cada uma; A mistura foi realizada por tração animal, em um equipamento artesanal;
- d) Prensagem individual e artesanal dos tijolos em molde de madeira;
- e) Por fim, a queima dos tijolos foi realizada por uma empresa do ramo.

O RBMF foi substituído em relação à mistura de confecção dos tijolos nas seguintes porcentagens: 10%, 25% e 50%. A Figura 1 mostra os tijolos após a queima.

Figura 1- Tijolos prontos em porcentagens de 10%,25%,50% respectivamente



Fonte: autor, (2017)

### 2.3 Caracterização física

Para definir a distribuição granulométrica dos materiais seguiu-se a NBR NM 248:2003. As amostras foram previamente secas em estufa, e ao esfriarem foi realizado o destorroamento manual. Foram pesadas amostras de 500 gramas de cada material e, logo em seguida, colocadas na série normal de peneiras, seguindo a norma. A Figura 2 mostra as frações obtidas após o peneiramento. O ensaio de massa unitária dos três tipos de materiais seguiu a NBR 7251.

Figura 2- Granulometria dos materiais



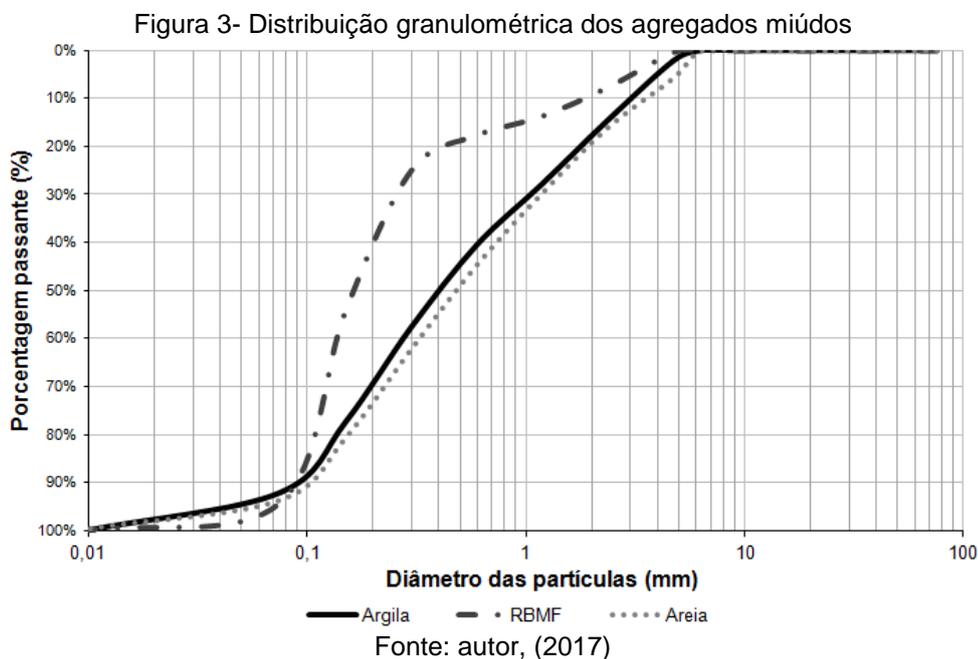
Fonte: autor, (2017)

### 2.4 Caracterização dos tijolos

Para avaliação dos produtos gerados utilizou-se o teste de resistência à compressão. Os tijolos foram, inicialmente, capeados com enxofre a fim de se obter a regularização de suas faces, de acordo com a NBR 15270-3. A seguir, as amostras dos tijolos maciços foram submetidas ao teste de resistência à compressão com o auxílio de uma prensa hidráulica da marca SOLOTEST.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Caracterização física



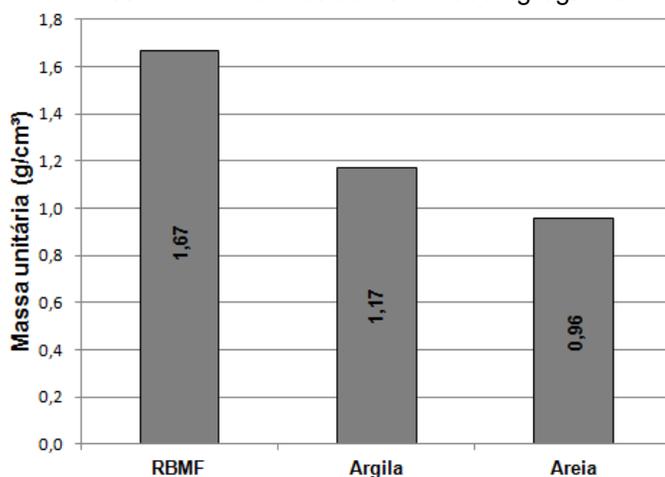
Conforme mostra a Figura 3, a areia e a argila apresentaram distribuição granulométrica próxima. O RBMF apresentou partículas menores, em função da origem destes rejeitos e sua disposição em barragens. Valores parecidos para a areia e o RBMF foram obtidos por Fontes (2013) e Sant’ana Filho (2013).

A finura da matéria-prima influencia em diversas propriedades da cerâmica, como graus de plasticidade, trabalhabilidade e resistência a verde, a seco e após o processo de queima (CABRAL JUNIOR et al., 2005; NOCITI, 2011). Assim, a inserção do RBMF promoverá alterações nas características de moldagem e nas propriedades resultantes dos tijolos após a queima. No presente estudo, entretanto, optou-se por manter as mesmas condições de trabalho, alterando somente a composição da matéria-prima.

Por sua vez, a análise de massa unitária (Figura 4) mostrou resultados para a areia e a argila inferiores aqueles obtidos para RBMF, fato que se justifica pela finura e pela composição química do rejeito, que é rico em óxidos de ferro (ANDRADE, 2014; FONTES, 2013; SANT’ANA FILHO, 2013; NOCITI, 2011). O resultado obtido da massa unitária em estado solto para o RBMF foi de 1,67 g/cm<sup>3</sup>, valor próximo ao obtido por FRANCO et al. (2014).

Essa propriedade pode afetar o peso final dos blocos. Na substituição da mistura convencional dos tijolos, feita em volume, a elevada massa unitária dos rejeitos faz com que os tijolos resultantes sejam mais pesados. O peso de 6% a 28% maior (em 10% a 50% de substituição, respectivamente) incorre em maiores ações sobre os elementos estruturais, mas essas podem ser adequadamente consideradas por um cálculo estrutural assertivo.

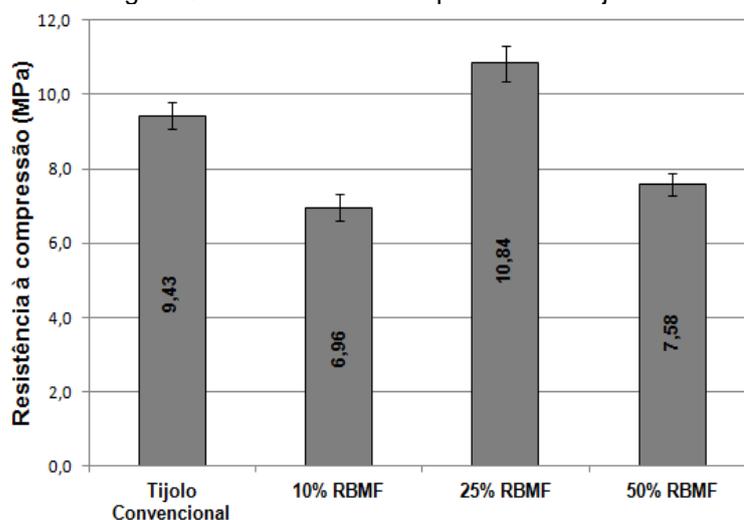
Figura 4- Massa unitária em estado solto dos agregados miúdos



Fonte: autor, (2017)

### 3.2 Caracterização dos tijolos

Figura 5- Resistência à compressão dos tijolos



Fonte: autor, (2017)

Resultados obtidos do teste de resistência à compressão (Figura 5) mostraram que o tijolo com 25% RBMF apresentou o melhor resultado, em comparação com os demais: tijolo convencional, 10% RBMF, 50% RBMF. Esse fato é inesperado, pois o ferro em grande quantidade, como presente no RBMF, é prejudicial à queima dos materiais cerâmicos (CABRAL JUNIOR et al., 2005). O tijolo convencional teve o 2º melhor resultado. O pior resultado se deu pelo tijolo com 50% RBMF, provavelmente devido ao excesso de ferro proveniente do rejeito.

Diversos fatores podem estar ligados aos resultados obtidos, dentre eles: a função do ferro como fundente em baixos teores, a plasticidade resultante da massa, a redução dos poros pelo efeito filler promovido pelo RBMF, a composição química do RBMF, entre outros (CABRAL JUNIOR et al., 2005; NOCITI, 2011). Como o processo de fabricação é artesanal, a variação no teor de água adicionada e na prensagem dos blocos também podem ter influenciado os valores de resistência obtidos. São necessários maiores estudos químicos e morfológicos para confirmar qualquer hipótese.

Acima de tudo, observa-se que todos os blocos apresentaram valores acima de 1,5 MPa, que é o mínimo estabelecido pela norma NBR 15270-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) para blocos não-estruturais.

## **4 CONCLUSÃO**

Os resultados alcançados permitiram avaliar que é possível usar o rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF) como matéria-prima para a fabricação de tijolos cerâmicos com adequado desempenho mecânico. Isso permite a redução dos impactos ambientais da mineração.

O tijolo com 25% RBMF apresentou o melhor resultado, mostrando ter uma resistência mais elevada do que o próprio tijolo convencional. A produção de tijolos com o material residual da mineração potencialmente também é economicamente viável. Isso se deve ao custo reduzido de obtenção e processamento dos resíduos e pela diminuição dos gastos relacionados à manutenção das barragens de contenção.

O presente estudo demonstrou a viabilidade técnica do ponto de vista mecânico da

substituição de até 50% de matéria-prima convencional por RBMF. Sugere-se, em trabalhos futuros, avaliar outras propriedades de interesse, como retração, absorção de água, uniformidade dimensional, morfologia e composição química. Com base nessas informações, considera-se relevante o reaproveitamento de RBMF, principalmente no que diz respeito à redução de áreas impactadas. O reaproveitamento de materiais irá reduzir a demanda por recursos naturais primários, além de contribuir para o aprimoramento tecnológico do setor construtivo de maneira sustentável.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Luana Caetano Rocha de. **CARACTERIZAÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO DE FERRO, IN NATURA E SEGREGADOS, PARA APLICAÇÃO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL.** Disponível em: <[http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/texto\\_completo.pdf](http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/texto_completo.pdf)> . Acesso em: 01 de maio de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1.** Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

BASTOS, Lucas Augusto de Castro. **UTILIZAÇÃO DE REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO COMO MATÉRIA PRIMA PARA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA.** Disponível em: <[http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/Dissertacao\\_Lucas.pdf](http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/Dissertacao_Lucas.pdf)>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

BRASIL. Ministério Público Federal. **RECOMENDAÇÃO Nº 014/2016-MPF-GAB/FT.** Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/docs/recomendacao-dnmp>>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

CABRAL JUNIOR, Marsis et al. **ARGILAS PARA CERÂMICA VERMELHA.** Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1085/1/28.ARG.%20CER.VERM%20.pdf>>. Acesso em: 26 de julho de 2018.

COLTURATO, L. F. D. B. et al. **APROVEITAMENTO DE REJEITOS GERADOS NO BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2003, São Carlos. *Anais...* São Carlos: [s.n.], 2003. p. 01-15.

DUARTE, Anderson Pires. **CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO E DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS EM RELAÇÃO AO POTENCIAL DE RISCO.** Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/502M.PDF>>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

FONTES, Wanna Carvalho. **UTILIZAÇÃO DO REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO COMO AGREGADO RECICLADO PARA ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO.** Disponível em: <[http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/Dissertacao\\_Wanna.pdf](http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/Dissertacao_Wanna.pdf)>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

FRANCO, L. C. et al. **APLICAÇÃO DE REJEITO DE MINERAÇÃO COMO AGREGADO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56., 2014, Rio Grande do Norte. *Anais...* Rio Grande do Norte: [s.n.], 2014. p. 01-15.

NOCITI, Denyse Meirelles. **APROVEITAMENTO DE REJEITOS ORIUNDOS DA EXTRAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICAS VERMELHAS.** Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94442/nociti\\_dm\\_me\\_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94442/nociti_dm_me_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 26 de julho de 2018.

SANT'ANA FILHO, Joaquim Nery de. **ESTUDO DE REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DAS BARRAGENS DE MINÉRIO DE FERRO PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE USO EM PÁTIOS INDUSTRIAIS E ALTO TRÁFEGO.** Disponível em: <<http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/DissertacaoJoaquim.pdf>>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

SANTOS, Altair. **PESQUISA TESTA REJEITOS DA MINERAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/rejeitos-da-mineracao-na-construcao/>>. Acesso em: 01 de maio de 2017.

SEBRAE. **CERÂMICA VERMELHA.** Disponível em: <http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/09/ESTUDO-CERAMICA-VERMELHA.pdf>. Acesso em: 26 de julho de 2018.

SILVA, Juliana Emília de Oliveira. **DESENVOLVIMENTO DE CERÂMICA VERMELHA UTILIZANDO REJEITOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/JulianaEOS.pdf>>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

SOARES, Verônica. **REUTILIZAÇÃO DE REJEITOS COMO ALTERNATIVA ÀS BARRAGENS DE MINÉRIO.** Disponível em: <<http://minasfazciencia.com.br/2015/11/23/reutilizacao-de-rejeitos-como-alternativas-barragens-de-minerio/>>. Acesso em: 27 de abr. de 2017.