

Estudo do aproveitamento de rejeito de mineração em blocos prensados

(Study of the use of mining waste in pressed blocks)

A. Savazzini-Reis¹; K.F.F. Bussular²; F.D.G. Galvão²; A.P. Santos²; B.S. Assis²

¹Ifes-Campus Vitória-ES

Avenida Vitória, 1729 – Jucutuquara – Vitória – ES - BR¹

²Ifes-Campus Colatina-ES

Avenida Arino Gomes Leal, 1700 – Santa Margarida – Colatina – ES - BR²

alessandrar@ifes.edu.br

Resumo

Acidentes ocorridos no Brasil nas barragens de rejeitos de mineração em 2015 e 2019 fizeram aumentar a preocupação com os processos de construção, manutenção e monitoramento dessas estruturas, mas principalmente com o rejeito gerado nas lavras de mineração. Alternativas técnicas para aproveitamento do rejeito em materiais de construção têm sido estudadas. A proposta da pesquisa é aproveitar o rejeito de mineração como matéria-prima de blocos prensados que atendam aos requisitos de norma para alvenaria de vedação. Para isso foram feitas argamassas cimentícias com rejeito de mineração em teores 2,5% a 10% (massa) para moldagem e verificação da resistência à compressão dos blocos. Os resultados mostram que com o aumento do teor do rejeito, a resistência mecânica diminui, porém todos os blocos atendem ao valor mínimo de 2 MPa da norma. Com isso, o aproveitamento do rejeito em materiais cimentícios pode ser uma alternativa viável para diminuir o volume desse passivo ambiental.

Palavras chave: rejeito de mineração, resíduo, bloco prensado.

Abstract

Accidents occurring in Brazil in mining tailing dams in 2015 and 2019 have increased concern with the construction, maintenance and monitoring processes of these structures, but mainly with the waste generated in the mining fields. Technical alternatives for reuse of waste in construction materials have been studied. The research proposal is to take advantage of the mining waste as a raw material of pressed blocks that meet the requirements of standard for masonry of fence. For this, cement mortars with mineral waste were made in 2.5% to 10% (mass) for molding and verification the compressive strength of the blocks. The results show that with the increase of the waste content, the mechanical resistance decreases, but all the blocks meet the minimum value of 2 MPa of the standard. With this, the use of waste in cement materials can be a viable alternative to reduce the volume of environmental liabilities.

Keywords: mining tailing, waste, pressed block.

INTRODUÇÃO

1.1 Rejeito de mineração

O Brasil é o 3º maior produtor de minério de ferro, principal matéria-prima do aço, e possui lavras no estado de Minas Gerais, que detém 82,9% das reservas brasileiras [1]. O grande volume de minério explorado no Brasil acarreta grande geração de rejeito, o qual é disposto em barragens de decantação ocupando imensas áreas nas lavras. Os acidentes em barragens de rejeito ocorridas em Mariana-MG em novembro de 2015 e em Brumadinho-MG em janeiro de 2019 causaram sérios problemas ambientais e fizeram aumentar a preocupação com o rejeito gerado nas lavras.

Diante disso, buscam-se alternativas de uso do rejeito principalmente em materiais de construção, os quais consomem muitos recursos naturais e apresentam potencial técnico de aproveitamento de resíduos como matéria-prima.

Nas lavras, o processo de beneficiamento do minério de ferro é dividido em britagem e peneiramento à úmido, que gera ferro granulado, hematitinha, sinter-feed e rejeito [2]. Após isso, o rejeito é levado a um espessador, onde a parte mais sólida sedimenta e é escoada até a barragem de decantação e a parte mais líquida retorna ao processo. A composição do rejeito contém alto teor de óxido de ferro e sílica, principalmente na fase hematita e na forma de quartzo, respectivamente [3,4,5] além de conter alumina. Tal composição pode indicar potencial de uso como agregado em argamassas e concretos [6,7,8]. Com isso, inúmeras pesquisas são realizadas no mundo acerca do reaproveitamento do rejeito de mineração [9].

O rejeito é bastante heterogêneo em relação à granulometria podendo contar com a presença da fração silte-argila. Quanto a caracterização ambiental [10], o rejeito pertence a Classe II A, ou seja, é não perigoso e não inerte segundo a NBR10004/2014.

1.2 Aproveitamento do rejeito de mineração

O rejeito pode ser indicado para aproveitamento em agregado para concreto, tijolos, telhas, cimentos e pozolanas, podendo o uso do rejeito ser uma alternativa para a conservação dos recursos naturais, energia e diminuição da poluição ambiental desde que atenda aos requisitos técnicos de utilização a que se destinam [11]. Além disso, o rejeito pode ser usado em obras de infraestrutura, blocos de pavimentação e alvenaria, promovendo melhoria das propriedades dos materiais em estudos já realizados [10].

Em geral, as características químicas destes resíduos provenientes da mineração são similares as requeridas para a fabricação de materiais de construção civil, sendo assim

necessário um maior controle das características físicas como granulometria e resistência do material para testar sua aplicação como insumo na construção civil [4].

O rejeito foi testado na cerâmica vermelha em teores de 0%, 10% e 20% (massa) na mistura, os resultados não mostraram alterações significativas na absorção de água, porosidade aparente e retração [12]. Em outro estudo do uso do rejeito em cerâmica, os teores de rejeito variaram de 0% a 5%. Nos corpos de prova queimados com até 5% de rejeito as propriedades avaliadas melhoraram indicando viabilidade de uso [13].

Em pesquisa com argamassa cimentícia, o rejeito substituiu a areia em até 20% promovendo valores de resistência à compressão e de consistência melhores que a referência, o mesmo ocorreu quando o rejeito foi usado como adição na argamassa em até 8% (massa) [2]. Em outro teste em argamassas com rejeito, obteve-se comportamento mecânico superior em relação às argamassas produzidas com agregados naturais, sendo que a substituição total do agregado por rejeito na proporção do traço 1:3 obteve resultados consideravelmente elevados aos 28 dias [10].

Na substituição de cal da argamassa pelo resíduo nos teores 10%, 20%, 50% e 100% foi verificado que o aumento do teor de resíduo ocasionou a diminuição da resistência [14].

O rejeito foi estudado em argamassa no traço 1:3 (aglomerante:areia) substituindo a cal em até 100%, os resultados indicam que até 20% de rejeito em substituição a cal foi obtida maior resistência mecânica, embora o consumo de água para manter consistência adequada tenha aumentado [8].

1.3 Bloco prensado

A alvenaria modular com blocos prensados consiste na execução de alvenarias com função estrutural ou de vedação no qual o bloco recebe formatos padronizados e é acrescido de encaixes que facilitam seu alinhamento e posicionamento [15]. Com isso é possível haver a racionalização do sistema de vedação, que deve ser priorizado em função de estar diretamente relacionado aos subsistemas: esquadrias, revestimento, impermeabilização, instalações hidrossanitárias e elétricas, os quais somados representam uma parcela significativa do custo da obra [16].

O bloco (Figura 1) pode ser moldado em prensas manuais, que diminuem o custo de produção [17], ou em prensas hidráulicas, e após isso, inicia-se a cura do bloco, o qual não necessita ser queimado em forno. O assentamento do bloco na obra utiliza técnicas construtivas do sistema modular com sistema de encaixe tipo “macho-fêmea”. A utilização do bloco modular apresenta vantagens, tais como, conforto térmico e acústico, maior limpeza da

obra, menor volume de entulho [18]. A técnica simples de moldagem e de assentamento do bloco permite que unidades habitacionais sejam construídas em sistema de “mutirão” podendo atender comunidades em vulnerabilidade social. Nesse sentido, o objetivo da pesquisa é analisar o desempenho de blocos prensados com incorporação do rejeito de mineração para uso em alvenaria.

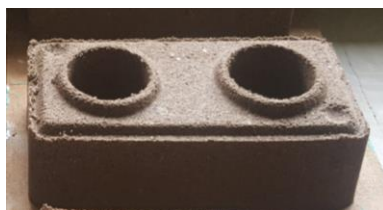


Figura 1 – Bloco. Fonte: Os autores.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais usados na pesquisa foram: cimento CPIII-40 RS e areia natural do rio Doce-ES. O rejeito de mineração foi coletado na estação de tratamento de água (ETA) em Colatina-ES que recebe a água do rio Doce. O rejeito (Figura 2) se deposita no fundo dos tanques de sedimentação da ETA por meio da ação do polímero de acácia negra. Durante a operação de limpeza dos tanques foi feita a coleta de cerca de 800 litros de rejeito de mineração na forma de lama, que foram transportados ao Laboratório de Materiais de Construção Civil do Ifes-Colatina, onde foi realizado o experimento.



(a) Tanque ETA

(b) Rejeito coletado

(c) Torrões de rejeito

(d) Rejeito peneirado

Figura 2 – Detalhes do rejeito. Fonte: Os autores.

O rejeito foi submetido a secagem em mufla por 48h à 105°C, ainda permanecendo úmido após isso, a temperatura foi alterada para 150°C por 48h. Em seguida, o rejeito seco foi destorroado com auxílio de soquetes e almofariz até que os torrões formados apresentassem grãos menores que 2,36 mm (peneira ABNT nº 8).

Como o rejeito de mineração foi misturado à água do rio Doce podia conter resíduos orgânicos carregados pelo rio, por isso foi realizada determinação de matéria orgânica segundo “método da mufla” [19], que estabelece o teor de matéria orgânica como sendo a razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido na queima entre

105°C e 550°C. Além disso, também foi feita a caracterização biológica do rejeito por meio da análise de coliformes fecais e termotolerantes em amostra úmida e em amostra seca em mufla pelo Método do Manual da Fundação Nacional de Saúde (Funasa) [20].

A caracterização física da areia e do cimento Portland CPV-ARI e a granulometria do rejeito foram feitas conforme as Normas da ABNT (Tabela I).

Tabela I - Ensaio de caracterização dos materiais

Material	Ensaio	Norma
Areia	Granulometria	NBR NM 248/2003[21]
	Massa específica	NBR 9776/1987[22]
	Massa unitária	NBR NM 45/2006[23]
Cimento Portland CPV-ARI	Finura #200	NBR 11579/2012[24]
	Massa específica	NBR 16605/2017[25]
	Consistencia normal	NBR 16606/2017[26]
Rejeito de mineração	Granulometria	NBR NM 248/2003[21]

Fonte: Autores, 2019.

A partir daí foi feito um teste piloto de moldagem dos blocos em prensa manual. A dosagem inicial adotada foi 1:2 (cimento:areia) com relação água cimento de 0,36 e incrementos de 3%. Os traços são apresentados na Tabela II.

Tabela II – Traços (massa) no teste piloto

Traço	Dosagem (massa) cimento:areia	a/c	Teor de umidade (%)
1	1:2	0,36	12
2	1:2	0,39	13
3	1:2	0,42	14

Fonte: Os autores.

Por meio de análises visuais e do teste de absorção de água [27], foi verificado que os blocos feitos com teor de umidade 13% apresentaram-se mais íntegros, sem fissuras superficiais e com índice de absorção de água menor em relação aos outros traços indicando serem mais densos. Com isso, o traço (em massa) de referência adotado foi 1:2:0,39 (cimento:areia:água).

A Tabela III apresenta os traços com a incorporação de rejeito de mineração nos teores 2,5%, 5%, 7,5% e 10% (massa) em relação à massa total de materiais secos. Foram feitos

novos testes de moldagem, análise visual e de absorção de água em blocos para adoção das relações a/c.

Tabela III – Traços (massa) dos blocos com rejeito de mineração

Resíduo (%)	Dosagem (massa) cimento:areia:rejeito	a/c
2,5	1 : 2 : 0,07	0,40
5,0	1 : 2 : 0,15	0,41
7,5	1 : 2 : 0,22	0,42
10,0	1 : 2 : 0,30	0,43

Fonte: Os autores.

A avaliação de desempenho dos blocos foi feita por meio do ensaio de resistência à compressão segundo a NBR 8492/2012[27] em máquina universal Emic DL 30000N. O bloco foi capeado com pasta de cimento e água na proporção 2:1 (massa) na parte superior e não foi dividido em duas partes (Figura 3).



Figura 3 – Rompimento do bloco. Fonte: Os autores.

Segundo a NBR 8491/2012[28], que estipula requisitos de desempenho dos blocos de solo-cimento para alvenaria de vedação, a média dos valores da resistência à compressão dos blocos devem ser superiores a 2,0 MPa e valor individual deve ser superior a 1,7 MPa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características do cimento e da areia confirmam serem adequados ao uso na argamassa do bloco (Tabela IV). O rejeito possui granulometria fina com módulo de finura

(MF) de 2,03 e dimensão máxima característica (DMF) de 2,36 mm. O tamanho de grão do rejeito próximo ao “filer” pode melhorar o empacotamento físico da mistura colmatando vazios entre os grãos da areia utilizada, a qual possui granulometria média com MF de 2,43 e DMC de 2,36mm. Por outro lado, o rejeito em maiores teores, aumenta a concentração de finos na mistura que pode promover fissuras devido a maior retração de secagem, o que pode resultar em perda de resistência mecânica [8].

Tabela IV – Resultados dos ensaios de caracterização dos materiais

Material	Ensaio	Resultado
Areia	Granulometria	MF=2,43 DMC=2,36mm
	Massa específica	2,63 g/cm ³
	Massa unitária	1569 Kg/m ³
Cimento Portland CPV-ARI	Finura #200	0,18%
	Massa específica	3,06 g/cm ³
	Consistencia normal	34%
Rejeito de mineração	Granulometria	MF=2,03 DMC=2,36mm

Nota: MF=módulo de finura; DMC=dimensão máxima característica. Fonte: Autores, 2019.

A Figura 4 apresenta as curvas granulométricas da areia e do rejeito. Observa-se que a areia e o rejeito situam-se entre os limites utilizáveis para concreto especificados na NBR 7211/2009[29].

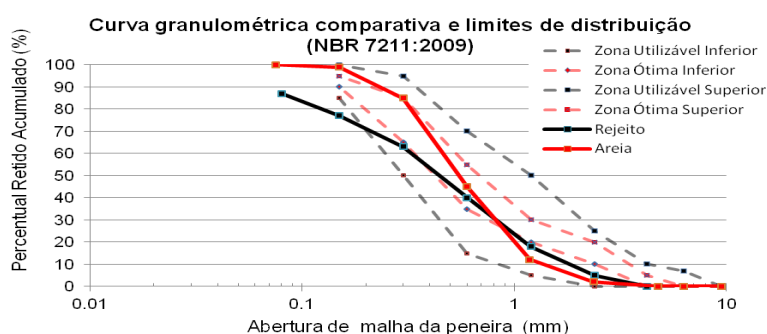


Figura 4 – Curva granulométrica. Fonte: Os autores.

O resultado da determinação de matéria orgânica no rejeito de mineração indicou o teor de 7% em relação à massa total amostrada. A análise biológica (Tabela V) indica que o rejeito possui coliformes totais e termotolerantes, e que é possível reduzir sua quantidade expondo o material a altas temperaturas por tempo prolongado, sendo fator influenciador na adoção da temperatura de secagem do rejeito a 150°C. A presença dos coliformes deve ser devido ao rejeito estar disperso no leito do rio, o qual recebe dejetos ao longo do seu curso.

Tabela V - Análise de coliformes

rejeito	Coliformes totais (NMP*/100mL)	Coliformes termotolerantes (NMP*/100mL)
Úmido	11	11
Seco a 105°C	8	8
Seco a 150°C	2	2

*NMP: Número mais provável (em 100 mL). Fonte: Os autores.

A média da resistência à compressão dos blocos é apresentada na Tabela VI. Pode-se verificar que com o aumento do teor do rejeito, a resistência do bloco diminuiu. Mesmo assim, todos os blocos atenderam ao valor mínimo estipulado na norma de 2 MPa. A influência negativa do rejeito na resistência pode ser devido a presença de matéria orgânica e quartzo na composição, além da influencia da granulometria e do teor utilizado de rejeito na mistura.

Tabela VI – Resistência à compressão

Rejeito (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão
2,5	7,10	1,25
5,0	4,78	0,58
7,5	2,98	0,69
10,0	2,17	0,22

Fonte: Os autores.

CONCLUSÕES

As dosagens testadas para os blocos com até 10% (massa) de rejeito atenderam aos parâmetros normativos quanto à resistência à compressão para uso em alvenaria de vedação. Pode-se verificar que a granulometria do rejeito influencia na densificação do bloco, em baixos teores de substituição à areia, agindo como um filer. Do ponto vista sócio ambiental, o bloco pode ser uma alternativa viável para construções de baixo custo ao empregar um método simples de fabricação e aproveitar o resíduo na composição.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem FAPES e IFES.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Ministério de Minas e Energia (Org.). Sumário Mineral 2016. Brasília: DNPM, 2018. 141 p.
- [2] P. B. Aristimunho, S. R. Bertocini, Aplicação de rejeito de minério de ferro em forma de pó na presença de cimento portland. *Revista IBRACON Estruturas e Materiais*. Vol. 5, n. 2 (2012) 153-165.
- [3] M.A. Gomes, C.A. Pereira, A. E. C. Peres. Caracterização tecnológica de rejeito de minério de ferro. *Rem: Revista Escola de Minas*, v. 64, n. 2 (2011), 233-236 .
- [4] L.C.R. Andrade. Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. MG. 112 p. 2013.
- [5] A.A.Cunha, B.M.C. Silva, R.A.L. Solé, F.G.S. Araújo. Avaliação técnica da rejeito de minério de ferro para obtenção de pelotas. *Anais do 71º Congresso Anual da ABM - ABMWEEK 2016*, São Paulo, 2016, vol. 71, nº71. 272-279. ISSN 2176-3135
- [6] X. Huang, R. Ranade, W. Ni, V.C Li. Development of green engineered cementitious composites using iron ore tailings as aggregates, *Constr. Build. Mater.* 44 (2013) 757–764.
- [7] M.Yellishetty, V. Karpe, E.H. Reddy, K.N. Subhash. Reuse of iron ore mineral wastes in civil engineering constructions: a case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, (2008) 1283–1289.
- [8] W.C. Fontes, J.C. Mendes, S.N. da Silva, R.A.F. Peixoto. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. *Construction and building materials*. Volume 1,12 (2016) 988-995.
- [9] R.L. Shreekant, M. Aruna, H. Vardhan. Utilization of Mine Waste in the Construction Industry: A Critical Review. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, Mangalore, v. 09, n. 01 (2016) 182-195.
- [10] R. A. F. Peixoto. Utilização de Rejeitos de Barragens de Minério de Ferro na Construção Civil. Relatório Técnico-UFOP, Ouro Preto, abril de 2016.
- [11] A.A Hammond. Mining and quarrying wastes: A critical review. *Engineering Geology*, v. 25, n. 1 (1988) 17-31. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0013-7952\(88\)90016-6](http://dx.doi.org/10.1016/0013-7952(88)90016-6).
- [12] J.F. Lima. Aproveitamento da REJEITO de lavagem do minério de ferro: estudo de caso na mineração Urucum – Corumbá-MS. Dissertação (Engenharia Civil) - UFSC. Santa Catarina. 88 p. 2002.
- [13] F.L. Silva, F.G.S. Araújo, M.P. Teixeira, R.C. Gomes, F.L. Vonkruger. Study of the recovery and recycling of tailings from the concentration of iron ore for the production of ceramic, *Ceramic International*. 40 (2014) 16085–16089.
- [14] W. C Fontes. Utilização do rejeito de Barragem de Minério de Ferro como Agregado Reciclado para Argamassas de Revestimento e Assentamento. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. MG, p. 112. 2014.
- [15] H. J. Raad, C. J. Martins. Alvenaria modular: concepção de um novo sistema construtivo visando aumento da produtividade. *Anais do XXV Encontro Nacional de Eng^a De Produção*, Porto Alegre, 2005, p. 2752-2759.
- [16] R. C. Silva, N.O. Gonçalves, R.C.S.S. Alvarenga. Alvenaria racionalizada. *Revista Técnica*, ed. 112, ano 14 (2006).
- [17] G. C. Isaia, *Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais*. Ibracon, São Paulo (2007) p. 833-861.

- [18] J. RODRIGUES. O tijolo ecológico e o sistema Construtivo modular. Manual informativo ilustrado. Sahara, São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.sahara.com.br/index.php?m=menu_home&action=catalogo>. Acesso em: 13/04/ 2011.
- [19] A. GOLDIN. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. Communications in soil science and plant analysis, 1987, 18(10)1111-1116.
- [20] BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Manual prático de análise de água / Fundação Nacional de Saúde – 4. Edição, Funasa:Brasília (2013) p.150.
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003.
- [22] _____. NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- [23] _____. NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- [24] _____. NBR 11579: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75µm (nº200). Rio de Janeiro, 2012.
- [25] _____. NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- [26] _____. NBR 16606: Cimento Portland — Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2017. Rio de Janeiro, 2017.
- [27] _____. NBR 8492: tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
- [28] _____. NBR 8491: Tijolo de solo-cimento — Requisitos, Rio de Janeiro, 2012.
- [29] _____. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação, Rio de Janeiro, 2009.