

## ESTUDOS DO APROVEITAMENTO DE REJEITOS DE UM MINÉRIO DE FERRO ITABIRÍTICO DA REGIÃO DE MORRO DO PILAR

K. C. FERREIRA\*, M. A. M. AGUIAR, M. F. M. OLIVEIRA, A. Q. N. SILVA e A. E. C. PERES  
Universidade Federal de Minas Gerais  
kellybhmg@hotmail.com\*

Artigo submetido em novembro/2015 e aceito em fevereiro/2016

DOI: 10.15628/holos.2016.3704

### RESUMO

A quantidade cada vez maior de rejeitos gerados na fase de exploração e extração de minério de ferro constitui um problema ambiental às mineradoras, devido as grandes áreas requeridas para disposição dos mesmos, bem como a constante necessidade de gerenciamento desses locais. Neste estudo foi verificada a viabilidade técnica de utilização do rejeito gerado na exploração de um minério itabirítico como matéria prima para confecção de argamassa. Foram confeccionadas diferentes formulações de argamassas através da variação da proporção cimento/rejeito e da proporção

água/cimento. Para cada amostra foram determinados o tempo de pega, viscosidade e densidade, no caso da amostra fresca, e densidade e resistência à compressão para a amostra solidificada. Concluiu-se que a argamassa confeccionada com maior quantidade de rejeito (traço 1:2,5) e menor relação água/cimento (0,95) foi aquela que apresentou menor tempo de pega e maior resistência à compressão. Este resultado foi bastante satisfatório, pois o aumento de rejeito incorporado favoreceu a resistência à compressão final do produto.

**PALAVRAS-CHAVE:** aproveitamento de rejeitos, minério de ferro, argamassa

## IRON ORE RESIDUE USE AS RAW MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF MORTAR

### ABSTRACT

The increasing amount of tailing generated by exploring and extracting iron ore is an environmental problem for mining companies, due to the large areas required for disposing it and due to the constant need to manage them. For this reason, it is necessary to develop studies aiming at using the residue as raw material for others industrial sectors. The aim of this study is to test the technical feasibility of using tailing generated by processing an itabiritic iron ore as raw material for mortar production. Different mortar formulations were prepared by changing the proportion mortar/tailing (1:2

and 1:2,5) and water/mortar (0,95 and 1). For each sample, it was determined the time for drying, viscosity and density for fresh samples; and density and compressive strength for solidified samples. It was concluded that the mortar prepared with the biggest amount of residue (trace 1:2,5) and the lowest water/cement ratio (0,95) resulted in the shortest time to dry and the biggest compressive strength. This result was very satisfactory as the tailing added improved the compressive strength of the final product.

**KEYWORDS:** residue recovery, iron ore, mortar

## 1 INTRODUÇÃO

O itabirito é uma rocha metamórfica, constituída de camadas com predominância de sílica (quartzo) ou de óxidos de ferro. As camadas se alternam e possuem espessuras da ordem de milímetros a alguns centímetros. O principal óxido de ferro é a hematita, podendo ocorrer também a magnetita e goethita. As camadas são constituídas de pequenos grãos de sílica ou de óxido de ferro.

Os dois subprodutos da extração do minério de ferro itabirítico são a o quartzo e os óxidos de ferro que não puderam ser extraídos nas etapas do beneficiamento mineral. Eles são produzidos em duas formas distintas: uma delas tem aspecto arenoso, constituído de partículas de sílica (correspondente a mais de 80% em peso) e de hematita; a outra tem fina granulometria, constituído de óxido de ferro, óxido de ferro hidratado (goethita) e quartzo, possuindo aspecto de lama. O produto arenoso decanta-se rapidamente na água. A lama tende a ficar por mais tempo em suspensão.

De acordo com Albuquerque *et al.* (2007), a lama e a areia têm características físicas e químicas uniformes e são produzidas em grandes quantidades. A Samarco utiliza parte da areia para preenchimento de cavas de mineração, e a parte não utilizada desses produtos é estocada em locais que demandam contínuo gerenciamento. A grande disponibilidade e uniformidade dos produtos argiloso e arenoso os fazem atrativos para produção de concreto e produtos à base de cimento (argamassas, blocos para pavimentação, dutos, etc.).

Estudos realizados pela Lafarge com produto arenoso de minério de ferro itabirítico mostraram que o concreto obtido atendeu aos requisitos de resistência e aparência, porém não atendeu os requisitos de bombeamento.

Estudos realizados pelo CDTN utilizando os produtos argiloso e arenoso para produção de blocos para pavimentação mostraram que, para a relação de uma parte de produto arenoso para uma parte de cimento, obteve-se resistência à compressão de 38MPa. Para duas partes de produto arenoso para uma de cimento, a resistência foi de 13 MPa, e para 3 partes de produto arenoso para uma de cimento a resistência foi de 9 MPa. No caso do produto argiloso, 4 partes de cimento para 1 parte de produto argiloso levaram a uma resistência de 35MPa. Notou-se que o produto argiloso implicou em diferente pigmentação do produto obtido (Figura 1).



Figura 1 – Amostras de blocos de cimento obtidos com produtos arenoso e argiloso.

Além da questão ambiental, alguns trabalhos, como o de Gama *et al.* (2014) têm ressaltado a importância do estudo de aditivos que possam agir de forma a aumentar a durabilidade das estruturas de concreto armado, sobretudo para construções que apresentam indícios de deterioração prematura, quer seja por corrosão das armaduras ou por ação de outros agentes corrosivos. Dentre esses adjuvantes os autores citaram superplastificantes e adições minerais, que propiciam produção de concreto com baixo fator água/aglomerante e grande trabalhabilidade.

Dessa forma fica evidente o potencial e a importância de estudos sobre a utilização de adições minerais na produção de materiais de construção civil.

Os principais objetivos do presente trabalho são verificar a viabilidade técnica de confecção de argamassas utilizando rejeito de minério de ferro como agregado e realizar ensaios nas argamassas, tanto frescas quanto solidificadas, para conhecer suas propriedades reológicas, físicas e mecânicas.

## 2 METODOLOGIA

Os testes foram realizados no CDTN. Foi utilizado rejeito de minério de ferro em forma de polpa proveniente de uma mina localizada na região de Morro do Pilar. Primeiramente a amostra foi seca em estufa a 70°C, onde permaneceu por uma semana. Em seguida a mesma foi homogeneizada manualmente, por três vezes, por meio da formação de uma pilha longitudinal e, finalmente, quarteada em sacos de três quilos. Na figura 2 segue fluxograma com sequência de testes realizada.

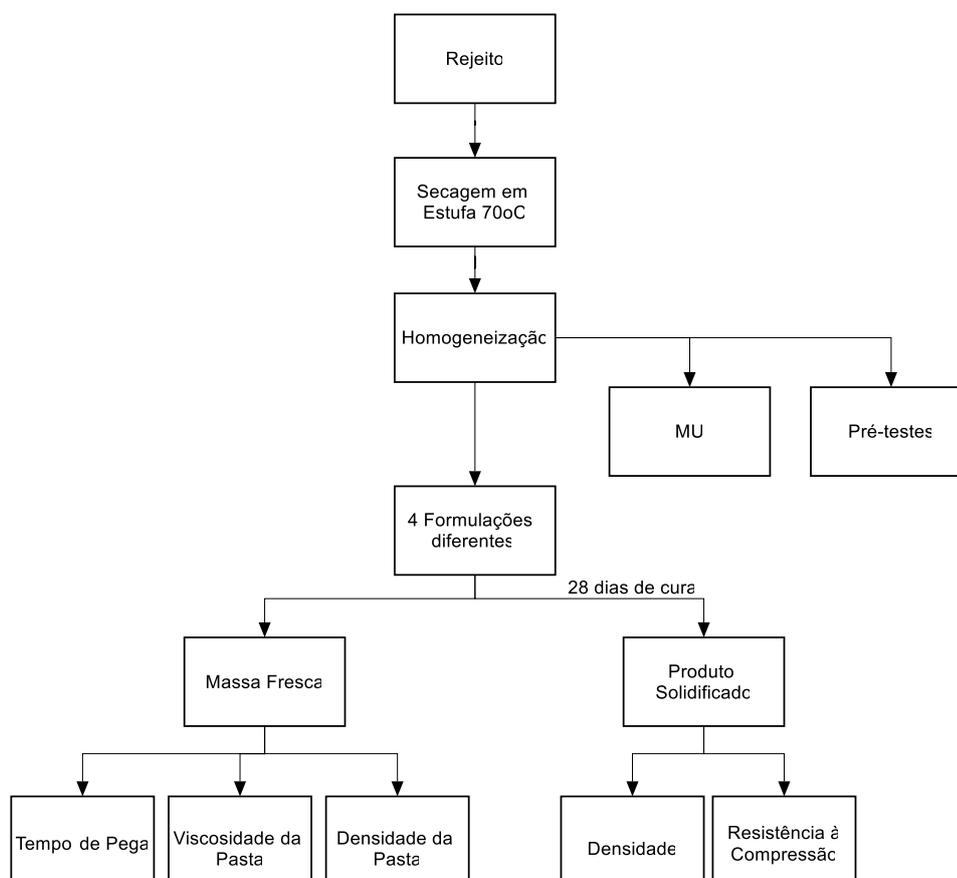


Figura 2 – Fluxograma da sequência de testes realizados

Antes da realização dos ensaios de cimentação, determinou-se a massa unitária do rejeito (MU) segundo norma ABNT, em triplicata, para se ter conhecimento da massa de amostra necessária, uma vez que o traço é calculado em volume. O valor da MU do rejeito foi de 1,27 kg/L. Em seguida, realizou-se o pré-teste em laboratório para seleção da proporção cimento:rejeito (traço) e da razão água cimento (a/c) mais adequados, em função das características do rejeito de acordo com a Tabela 1

**Tabela 1. Etapas realizadas durante a operação do reator.**

Variáveis	-	+
Traço	01:02	01:2,5
a/c	0,95	1,00

Foram confeccionadas 4 formulações diferentes contendo o rejeito arenoso como agregado, em réplica, totalizando 8 ensaios. As formulações e a ordem pela qual os experimentos foram conduzidos estão apresentadas na Tabela 2. A ordem de execução dos experimentos foi aleatorizada com auxílio do programa Minitab® 15.

**Tabela 2. Formulações testadas**

Experimentos	Formulações		Ordem de execução dos experimentos
	Traço	a/c	
1	01:02	0,95	5
2	01:02	1	7
3	01:02,5	0,95	6
4	01:02,5	1	8
5	01:02	0,95	3
6	01:02	1	2
7	01:02,5	0,95	4
8	01:02,5	1	1

Para cada experimento, foram moldados 05 (cinco) corpos de prova cilíndricos, com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, totalizando 40 corpos de prova.

As formulações foram testadas para a determinação das seguintes propriedades: tempo de pega, viscosidades e densidade da pasta, na massa fresca, e densidade e resistência à compressão no produto solidificado. A densidade e a resistência à compressão dos produtos solidificados foram avaliadas após 28 dias de cura, segundo norma NBR 6118.

O tempo de pega é um dado importante na produção de artefatos de cimento, uma vez que é necessário conhecer o tempo mínimo para o produto ser desformado. Este ensaio foi realizado em um aparelho de medida de tempo de pega (agulha de Vicat) automático Resistance Machine Unificate (RMU), modelo M-23.

A medida da viscosidade é importante para verificar o grau de trabalhabilidade das argamassas. A trabalhabilidade pode ser definida como sendo o conjunto de propriedades que envolvem a facilidade ao assentamento e a resistência à segregação de argamassa e concreto frescos (PETRUCCI, 1968). Os dados de viscosidade foram obtidos por meio de dezessete leituras feitas a cada 15 segundos no viscosímetro, utilizando rotores em forma de T, com velocidade de 5 rpm, conforme a rotina técnica RT(CT3) CDTN-0295 (HAUCZ; SELES, 2008).

A determinação da densidade da argamassa fresca foi realizada para o cálculo do volume de material produzido e para a previsão das capacidades dos equipamentos de mistura. Ela foi realizada por meio da medida direta da massa, em balança calibrada com resolução máxima de 0,1g de um volume conhecido de argamassa. A densidade da argamassa endurecida foi feita por meio da média de quatro medidas da altura e duas de diâmetro do corpo de prova, utilizando paquímetro de escala de 0 mm a 150 mm, com resolução máxima de 0,05 mm e com a calibração vigente, para determinação do seu volume. Em seguida, a massa do corpo de prova foi determinada em balança calibrada com resolução máxima de 0,1 g, para cálculo de sua densidade, conforme norma NBR 7215 (1991).

A resistência à compressão de materiais cimentícios está associada à tensão máxima necessária para causar sua fratura. Esta condição é chamada de grau de ruptura (MEHTA et al,1994). O ensaio de resistência à compressão foi realizado utilizando a prensa EMIC, automática, modelo PCI 150. Foram feitos cinco corpos de prova para cada formulação, em duplicata, de acordo com a Tabela 2. Os corpos de prova foram submetidos à cura seca para evitar a geração de rejeitos secundários e para simular o ambiente real.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes de cimentação estão apresentados nas Tabela 3 e Tabela 4.

**Tabela 3 - Resultados, com os cálculos de incertezas com 95% para viscosidade e desvio padrão para a densidade, das propriedades das argamassas frescas das formulações testadas.**

Formulações		Propriedades da argamassa fresca		
Traço	a/c	Tempo de pega (seg)	Viscosidade (Pa.s)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
01:02	0,95	24060	13,98 ± 0,62	1866 ± 4
	1	31620	14,04 ± 0,77	1830 ± 7
01:2,5	0,95	21420	414,71 ± 109,00	1906 ± 10,7
	1	-	283,41 ± 54,01	1892 ± 10,2
01:02	0,95	26880	49,33 ± 3,02	1807 ± 1,7
	1	32760	17,02 ± 0,73	1832 ± 10
01:2,5	0,95	22260	474,94 ± 120,67	1839 ± 3,4
	1	22140	289,76 ± 48,20	1918 ± 7,4

**Tabela 4 - Resultados, com os desvios padrão para a densidade e com os cálculos de incertezas com 95% para a resistência à compressão, das propriedades dos produtos solidificados das formulações testadas,**

Formulações		Propriedades dos produtos solidificados	
Traço	a/c	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Resistência à compressão (MPa)
01:02	0,95	1823 ± 14	15,4 ± 1,5
	1	1799 ± 35	14,8 ± 1,5
01:2,5	0,95	1864 ± 11	16,3 ± 1,4
	1	1869 ± 12	14,9 ± 1,5
01:02	0,95	1782 ± 17	13,9 ± 1,5
	1	1793 ± 15	13,1 ± 1,2
01:2,5	0,95	1877 ± 15	15,4 ± 1,6
	1	1833 ± 12	14,6 ± 1,4

Verificou-se por meio da análise da variância (ANOVA), com 95% de confiança que, para o tempo de pega, tanto o traço como o a/c foram fatores significativos, bem como a influência simultânea entre os dois, como mostrado na Tabela 5, Isso quer dizer que os dois fatores devem

ser avaliados juntos, Portanto, a argamassa com traço 1:2,5 e a/c igual a 0,95 foi aquela que apresentou menor tempo de pega, ou seja, endurecimento mais rápido,

**Tabela 5 - Análise da variância para a resposta “tempo de pega”,**

Fonte de variação	GL	SQ	MQ	Fc	Ft(0,05; 1; 7)	P
Traço	1	25992	25992	75,18		0,001
a/c	1	6844	6844,5	19,8		0,011
Traço x a/c	1	5725	5724,5	16,56	5,59	0,015
Rejeito	4	1383	345,7			
Total	7	39944				

Com relação à resistência à compressão, com 95% de confiança, ficou evidenciado pela ANOVA (Tabela 6) que os dois fatores principais influenciaram significativamente essa resposta, portanto, a formulação que apresentou maior resistência à compressão foi aquela com o traço 1:2,5 e o a/c 0,95,

**Tabela 6 - Análise da Variância para a resposta “resistência à compressão, aos 28 dias,**

Fonte de variação	GL	SQ	MQ	Fc	Ft(0,05; 1; 7)	P
Traço	1	10,3022	10,3022	10,36		0,003
a/c	1	8,4424	8,4424	8,49		0,006
Traço x a/c	1	0,3733	0,3733	0,38	4,08	0,544
Rejeito	36	35,8007	0,9945			
Total	39	54,9186				

## 4 CONCLUSÕES

Concluiu-se que foi tecnicamente viável confeccionar argamassas utilizando o rejeito de minério de ferro como agregado, pois foi possível determinar a viscosidade das argamassas conforme os parâmetros estabelecidos na RT(CT3)CDTN-0295 (HAUCZ; SELES, 2008),

A viscosidade é uma propriedade que está diretamente relacionada com a trabalhabilidade e com a resistência que os constituintes da argamassa têm de segregarem, Além disso, para o ensaio de resistência à compressão, nenhum dos resultados apresentou desvio relativo máximo superior a 20%, indicando que os estes foram aprovados, segundo o PO LABCIM-O3 (HAUCZ, 2012),

Por meio dos ensaios concluiu-se, com 95% de confiança, que a argamassa confeccionada com maior quantidade de rejeito (traço 1:2,5) e menor relação água/cimento (0,95) foi aquela que apresentou menor tempo de pega e maior resistência à compressão, Este resultado foi bastante satisfatório, pois o aumento de rejeito incorporado favoreceu a resistência à compressão final do produto.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão; ABNT NBR 7215. Rio de Janeiro: ABNT, 1991;
2. Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). Projeto de estruturas de concreto - Procedimento - ABNT NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2014;

3. Associação brasileira de normas técnicas (ABNT). Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária ABNT NBR 7251. Rio de Janeiro: ABNT, 2006;
4. Gama E M, Gomes A M, Vieira C B. Aproveitamento de capeamento de minas de minério de ferro através de processo de calcinação flash para produção de ligante de alta resistência. In: 44º Seminário de redução de minério de ferro e matérias primas. Belo Horizonte: 2014 Sep 15 – 18; Belo Horizonte, Brasil;
5. Haucz M J A. Ensaio de resistência à compressão de produtos cimentados contendo rejeitos - PO LABCIM-03. Belo Horizonte: CNEN/CDTN, 2012;
6. Haucz M J A, SELES S R S. Ensaio de viscosidade em pastas contendo rejeitos. RT(CT3) CDTN–0295. Belo Horizonte: CNEN/CDTN, 2008;
7. Metha P K, Monteiro P J M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo : Pini LTDA, 1994;
8. Petrucci E, Napoles Neto, Ferraz A D, Neves E T, Vargas, M; Castro, S. Manual do engenheiro. Porto Alegre: Editora Globo, 1968.