



## Viabilidade técnica de elementos de concreto para pavimentação produzidos com rejeito de barragem de minério de ferro

### Technical feasibility of paving concrete elements produced with tailings dam of iron ore

Rodrigo Vicente Machado Toffolo(1); Joaquim Nery de Sant'Ana Filho(2); Júnio Oliveira dos Santos Batista(3); Sidney Nicodemos da Silva(4); Alexandre Abrahão Cury(5); Ricardo André Fiorotti Peixoto(6)

- (1) *Mestrando em Engenharia Estrutural e de Materiais, UFOP;*  
(2) *Mestre em Engenharia de Materiais, CEFET-MG;*  
(3) *Técnico em Edificações, IFMG-OP;*  
(4) *Físico, DSc., Departamento de Engenharia de Materiais, CEFET-MG;*  
(5) *Engenheiro Civil, DSc., Departamento de Engenharia Civil, UFOP.*  
(6) *Engenheiro Civil, DSc., Departamento de Engenharia Civil, UFOP;*

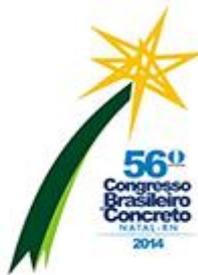
*Endereço eletrônico: rodrigo@toffolo.com.br*

## Resumo

A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil e construção pesada vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou contribuindo para a redução de custos. O impacto ambiental gerado pela exploração dos recursos minerais tem afetado intensamente o meio ambiente, ocasionando a degradação ambiental diretamente e, de forma difusa, contribui para o acúmulo de rejeitos nas barragens de contenção destinadas a esse fim. Tendo em vista a importância das questões ambientais e do suprimento da demanda com relação ao consumo de recursos minerais, o presente trabalho pretende contribuir para o atendimento a uma demanda oriunda da necessidade de desenvolvimento da sustentabilidade do processo industrial da mineração de ferro e da construção civil. Estes resultados fundamentam-se em ações de reciclagem, tecnologia de materiais, desenvolvimento de produtos, estabelecimento de metodologias construtivas e processos executivos, que sejam aplicáveis à indústria da construção civil de forma tecnicamente adequada, economicamente viável e ambientalmente correta. Neste trabalho, apresentam-se os resultados laboratoriais para a aplicação do resíduo sólido de mineração de ferro como agregados para construção civil. O rejeito foi utilizado no estado bruto, sem a segregação da fração metálica. Foram conduzidas análises para caracterização física, relativamente às propriedades dos agregados para uso em bloco de concreto para pavimentação (BCP), segundo prescrições normativas brasileiras. A partir dos resultados obtidos, dimensionaram-se traços experimentais para análise do comportamento mecânico das misturas endurecidas. Os traços dimensionados foram executados com materiais convencionais (agregados naturais) e resíduos (agregados artificiais – rejeito de mineração de ferro) para atingir resistência à compressão de 50 MPa. O estudo comparativo das características físicas e mecânicas dos BCP de concreto fabricados com substituição dos agregados artificiais pelos agregados naturais, em dosagens específicas, indica resultados satisfatórios de resistência à compressão, expansibilidade, absorção de água e aponta a viabilidade do emprego de agregados artificiais provenientes da reciclagem do rejeito de mineração para a fabricação dos BCP. E consolida, pois, soluções para empreendimentos que possibilitem melhores resultados. A busca pela substituição por materiais renováveis é a base propulsora para o desenvolvimento de novas tecnologias. Palavra-Chave: bloco de concreto; rejeito de mineração de ferro; concreto; sustentabilidade.

## Abstract

The recycling of waste by construction and heavy construction industry is consolidating as an important sustainability practice is diminishing the environmental impact generated by the sector or contributing to cost reduction. The environmental impact generated by the exploitation of mineral resources



has strongly affected the environment, causing environmental degradation directly and diffusely contributes to the accumulation of tailings containment dams intended for that purpose. Given the importance of environmental issues and the supply of demand with respect to consumption of mineral resources, this paper provides significant contribution to the response to a demand arising from the need of sustainability of the industrial development process of the iron. These results are based on recycling efforts, materials technology, product development and building constructive methodologies and business processes which are applicable to the construction industry in a technically appropriate manner, economically viable and environmentally friendly. In this paper, we present laboratory results for the implementation of solid waste mining iron as construction aggregates. The waste was used in the raw state without segregation of the metallic fraction. Analyzes for physical characterization were conducted concerning the properties of aggregates for use in block paving (BCP) under Brazilian normative prescriptions. From the results obtained, are dimensioned experimental traces to analyze the mechanical behavior of hardened mixtures. The scaled traces were performed with conventional materials (natural aggregates) and waste (artificial aggregates - mining of iron) to achieve compressive strength of 50 MPa. The comparative study of the physical and mechanical characteristics of concrete BCP, made of artificial aggregates for replacing natural aggregates in specific dosages, indicated satisfactory resistance to compression, expansion, and absorption of water and indicate the viability of artificial aggregates from recycling from the mine to manufacture BCP and consolidation solutions that enable enterprises to better results. The replacement by renewable materials is the driving base for the development of new technologies.

*Keywords: paving block; mining of iron; paving; concrete; sustainability.*

## 1. Introdução

Durante várias décadas, os rejeitos e efluentes resultantes da mineração de ferro têm sido depositados em sítios ou barragens localizados nas proximidades das jazidas de minério. Muitos investimentos são direcionados a estas estruturas para contenção, segregação e monitoramento destes resíduos, visando prevenir acidentes ecológicos e prejuízos ao meio-ambiente. Segundo John (2000) o aumento na geração de resíduos sólidos tem motivado reflexões a respeito da sustentabilidade, frente aos graves problemas urbanos, ambientais e um gerenciamento oneroso e complexo. Segundo a FEAM (2012) somente no estado de Minas Gerais existem 746 barragens de rejeito de mineração, o que corresponde a 91,4% do total no país. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a disposição final de resíduos no meio ambiente deve ser empregada somente em último recurso. Para assegurar essa afirmativa, o armazenamento dos rejeitos das barragens para tal fim deve ser avaliado como uma alternativa paliativa e não como solução final dos resíduos sólidos oriundos da mineração.

Os aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental têm levado grandes empresas a investir em pesquisa e desenvolvimento, no sentido de encontrar maneiras sustentáveis e econômicas de reaproveitar os resíduos gerados pelas atividades produtivas de suas plantas industriais (PEIXOTO et al., 2010). Tendo entendimento dessas necessidades, a indústria mineradora como grande geradora de resíduos e a construção civil como potencial consumidora configuram panorama ideal para a reciclagem e reutilização destes resíduos, de forma adequada técnica, econômica e ambiental.

Assim sendo, o objetivo desse trabalho é a produção de blocos de concreto para pavimentação (BCP), a partir da substituição de matérias primas naturais por rejeito de barragem de minério de ferro como agregado, contribuindo com as ações que possam



minimizar impactos ambientais, sociais e econômicos provocados pela atividade mineradora.

## 2. Materiais

### 2.1 Cimentos Portland

Para a produção das matrizes, foi utilizado o cimento Portland tipo CPV-ARI. O cimento foi acondicionado em sacos plásticos identificados e hermeticamente fechados de modo a preservar suas características e evitar alterações de umidade.

### 2.2 Aditivo plastificante

Para a produção das matrizes, foi utilizado aditivo plastificante, 200ml para cada 100kg de cimento.

### 2.3 Agregado Natural

O agregado miúdo natural (AMN) utilizado para produção dos BCP foi areia lavada de rio, adquirida comercialmente na Região Metropolitana de Belo Horizonte e proveniente de Lagoa da Prata-MG. O agregado graúdo natural (AGN) utilizado para produção dos BCP foi de origem calcária, adquirida comercialmente na Região Metropolitana de Belo Horizonte, proveniente de Pedro Leopoldo-MG.

### 2.4 Agregado Artificial

Os agregados miúdos utilizados para produção dos BCP foram coletados de barragem de rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF) de uma empresa mineradora localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG. O material foi coletado ao longo da praia da bacia de rejeito. O rejeito foi coletado segundo NBR 6457/86, transportado e depositado para o pátio do laboratório de Materiais de Construção Civil (Imc<sup>2</sup>) Departamento de Engenharia Civil, EM/UFOP. Esses resíduos foram classificados segundo suas características físicas de acordo com as normas vigentes e características ambientais, NBR 10.004/04. As amostras processadas apresentam-se à figura 01, apresentada a seguir.



Figura 1 - Resíduo da barragem após secagem retido na malha 150µm e passante na peneira

### 3. Metodologia

#### 3.1 Caracterização rejeito de minério de ferro

Para a caracterização dos rejeitos, procederam-se análises químicas segundo fluorescência de Raios-X (FRX), análise mineralógicas segundo difração de Raios-X (DRX) e análise morfológica da microestrutura por microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersa de Raio-X (MEV).

Para a caracterização física foram procedidas análises de granulometria (NBR 7217/87), teor de umidade (NBR 9939/87), massa específica (NBR 9776/87), massa unitária (NBR 7251/82) e substâncias nocivas (NBR 7218/10).

Para a caracterização ambiental dos rejeitos, foram procedidas análises ambientais para avaliação do potencial contaminante (solubilização e lixiviação - NBR 10004/04, NBR 10005/04, NBR 10006/04, NBR 10007/04).

#### 3.2 Caracterização dos BCP

Na caracterização dos BCP foram procedidas análises de porosidade (tomografia computadorizada), expansibilidade, absorção de água (NBR 9778/87) e resistência à compressão (NBR 9780/87).

#### 3.3 Dosagem dos blocos intertravados

Para a produção dos blocos de concreto para pavimentação - BCP utilizou-se rejeito de barragem de minério de ferro como agregado em substituição aos agregados miúdos naturais. A dosagem para os BCP foi determinada em laboratório e adaptada para parametrização de produção industrial com resistência à compressão igual a 50 MPa, de acordo com a NBR 9781/87 blocos de concreto para pavimentação (esses ensaios foram realizados antes da publicação da nova versão na NBR 9781/2013).

Os BCP produzidos com agregados naturais, blocos de REFERÊNCIA (REF), foram dimensionados para resistência à compressão igual a 50 MPa, NBR 9781/87 blocos de concreto para pavimentação. A tabela 1 apresentada a seguir indica dosagens utilizadas e rendimento de cada uma das misturas produzidas segundo dimensionamento.

Tabela 1 - Traços utilizados nas moldagens dos blocos.

Matéria-prima (litros)	Blocos Referência	10% Resíduo (Traço 1)	50% Resíduo (Traço 2)	80% Resíduo (Traço 3)
Brita 00	155 kg	155 kg	155 kg	155 kg
Cimento CPV-ARI	150 kg	150 kg	150 kg	150 kg
Areia natural/resíduo	270/0 kg	243/27 kg	135/135 kg	54/216 kg
Aditivo	2,8 litros	2,8 litros	2,8 litros	2,8 litros
Água	24 litros	24 litros	29 litros	44 litros
<b>Rendimento (blocos/traço)</b>	<b>90</b> (3 ¼ bandejas)	<b>84</b> (3 ½ bandejas)	<b>132</b> (5 ½ bandejas)	<b>120</b> (5 bandejas)

## 4. Resultados

### 4.1.1 Fluorescência de Raio-X

O ensaio de fluorescência de Raio-X foi realizado no laboratório de caracterização de materiais no CEFET/MG, em Belo Horizonte, com o equipamento EDS-720. Os percentuais dos elementos químicos presentes nas amostras são mostrados na tabela 2.

Tabela 2 - Percentual dos elementos químicos do resíduo bruto e tratado

Elementos	Resultados RBMF (estado bruto)
Si <sub>2</sub> O	63,883%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,814%
SO <sub>3</sub>	1,150%
CaO	0,153%

O rejeito utilizado na fabricação dos BCP se encontrava no estado bruto, sem a segregação da fração metálica.

### 4.1.2 Difração de Raio-X

Os resultados de difração de Raio-X do resíduo indicaram como principais constituintes os minerais: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hematita) e SiO<sub>2</sub> (Quartzo), conforme apresentado na figura 2. A presença de hematita justifica o elevado peso específico do rejeito e a presença de quartzo pode significar alguma contribuição para o desenvolvimento do arcabouço sólido da matriz cimentícia, bem como contribuir de alguma forma com a geração de hidratação do cimento, dadas suas características granulométricas e dispersão na matriz de cimento.

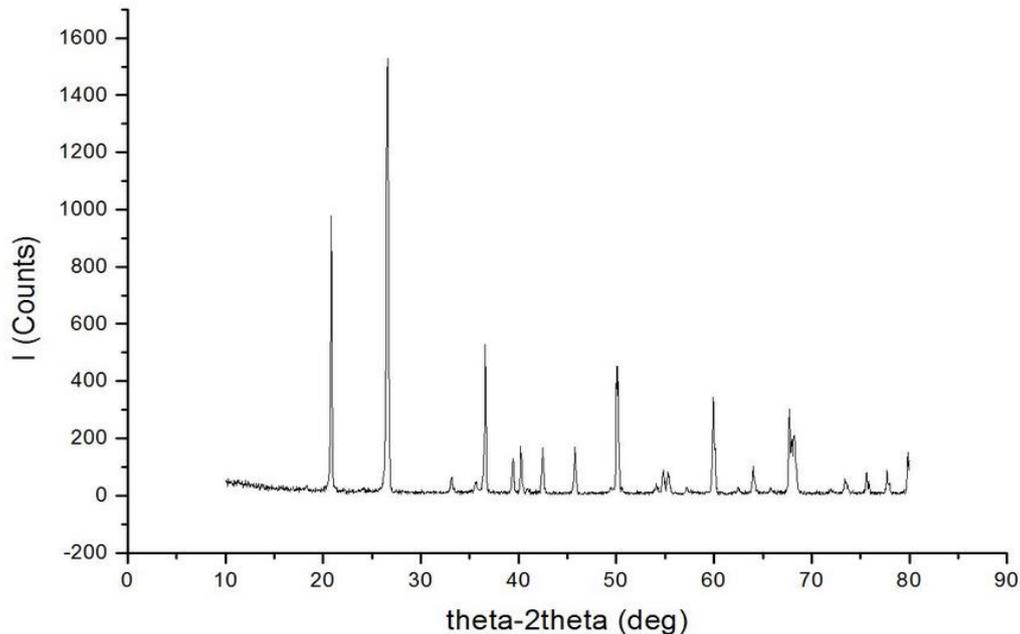


Figura 2 - Difração de Raio-X do rejeito de minério de ferro no estado bruto

#### 4.1.3 Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersa de Raio-X (MEV/EDS)

A análise morfológica das partículas das amostras foi realizada por microscopia eletrônica de varredura MEV - equipamento SHIMADZU modelo 550X. Verificou-se um material com grande variação de tamanhos e com predomínio de material fino, contendo expressiva quantidade de sílica e hematita também identificadas nos resultados obtidos da difração de Raios-X. A figura 3 ilustra a morfologia do RBMF utilizado nesse experimento.

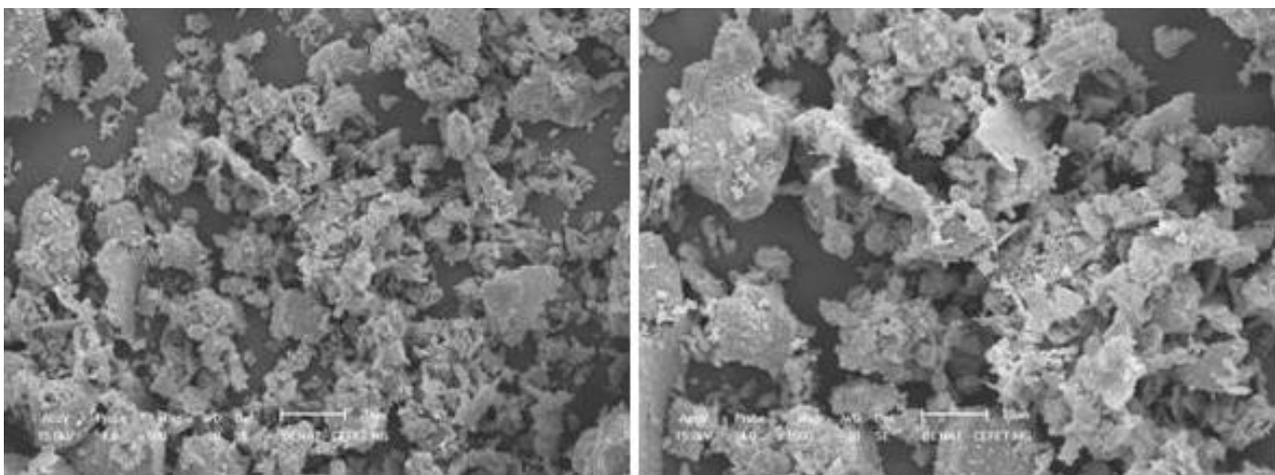


Figura 3 - MEV do rejeito de barragem de minério de ferro 500x e 1000x

O rejeito é formado predominantemente por ferro. Ações de pós processamentos destes rejeitos podem representar alternativa economicamente viável para recuperação da fração ferrosa e sua utilização pela indústria mineradora, bem como a geração de um rejeito mais rico em sílica, o que de certa forma interessa a indústria de pré-fabricados. O processo de recuperação (PEIXOTO et all, 2013) pode significar recuperação em via seca da fração ferrosa com eficiência de 62%.

#### 4.1.4 Granulometria

A curva granulométrica para os agregados miúdos RBMF e AMN é apresentada a seguir na figura 4. Observa-se que RBMF encontra-se fora das faixas utilizáveis indicadas pela normalização, sendo que mais de 50% de sua massa possui granulometria inferior a 0,075µm. A dimensão máxima obtida para o resíduo foi DMC=2,4 mm. A AMN encontra-se dentro das faixas utilizáveis, indicadas pela normalização, sendo que 70% da sua massa encontra-se nas faixas de zona ótima e sua DMC=4,8mm. O módulo de finura para o RBMF e AMN foram 0,61mm e 1,56mm, respectivamente.

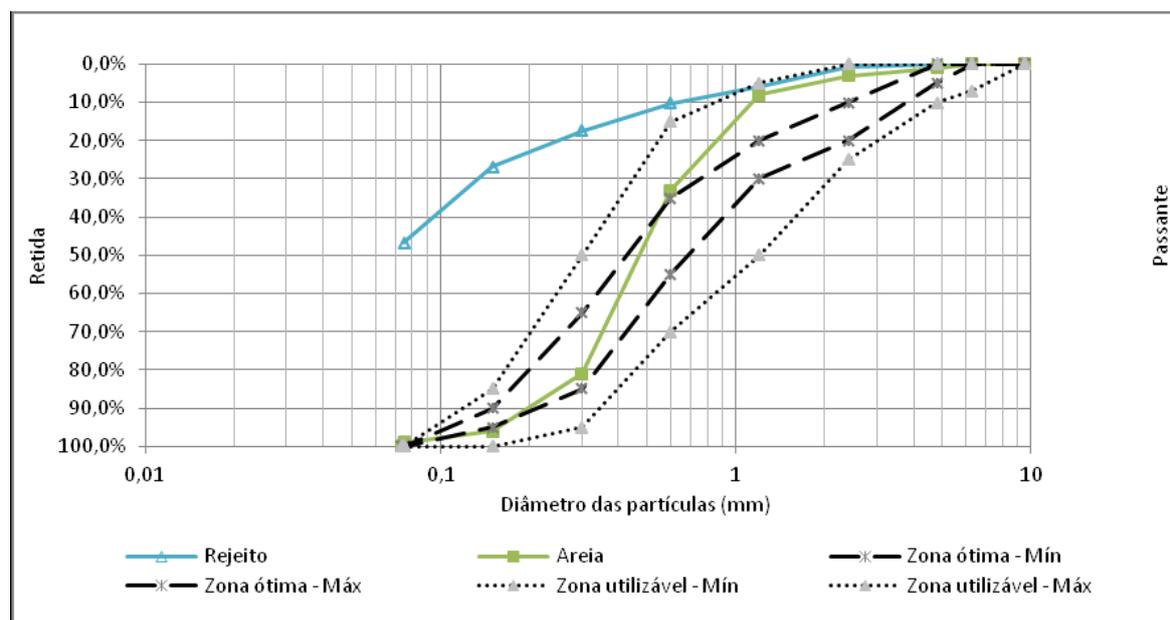


Figura 4 - Curva granulométrica dos agregados miúdos

#### 4.1.5 Teor de umidade

Verifica-se o teor de umidade significativamente superior para o RBMF, observação justificada em função da presença de finos no resíduo.



#### 4.1.6 Massa específica

A massa específica obtida para o RBMF foi 3,55 g/cm<sup>3</sup> e para o AMN foi 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Essa observação justifica-se em função dos teores de minério de ferro ainda presentes nesse rejeito.

#### 4.1.7 Massa específica aparente

A massa específica aparente obtida para o RBMF foi 1,89g/cm<sup>3</sup> e para o AMN foi 1,5g/cm. Essa observação justifica-se em função dos teores de minério de ferro ainda presentes nesses rejeitos, bem como pela distribuição e superfície específica do RBMF.

#### 4.1.8 Substâncias nocivas

Embora o método utilizado pela NBR tenha indicado uma concentração de 98% de torrões de argila, os resultados obtidos pela FRX e DRX mostram que o material fino particulado presente no RBMF é composto predominante por sílica, tendo alterada apenas sua granulometria, apresentando-se como particulado bem fino.

#### 4.1.9 Solubilização e lixiviação

De acordo com as prescrições normativas NBR 10004/04, NBR 10005/04 e NBR 10006/04 a amostra de rejeito de minério de ferro é classificada como Classe II-A (não perigoso e não inerte), por apresentar teor de ferro e de fenóis acima do limite permitido pelos parâmetros normativos.

### 4.2 Caracterização dos BCP

#### 4.2.1 Absorção de água

Para determinação da absorção de água, os BCP foram submetidos à saturação pelos períodos experimentais de 24h, 3, 7, 21, 28 e 42 dias. Os resultados indicados na figura 5, apresentados a seguir, representam as médias dos resultados para as determinações, NBR 12118/06 e NBR 10007/04.

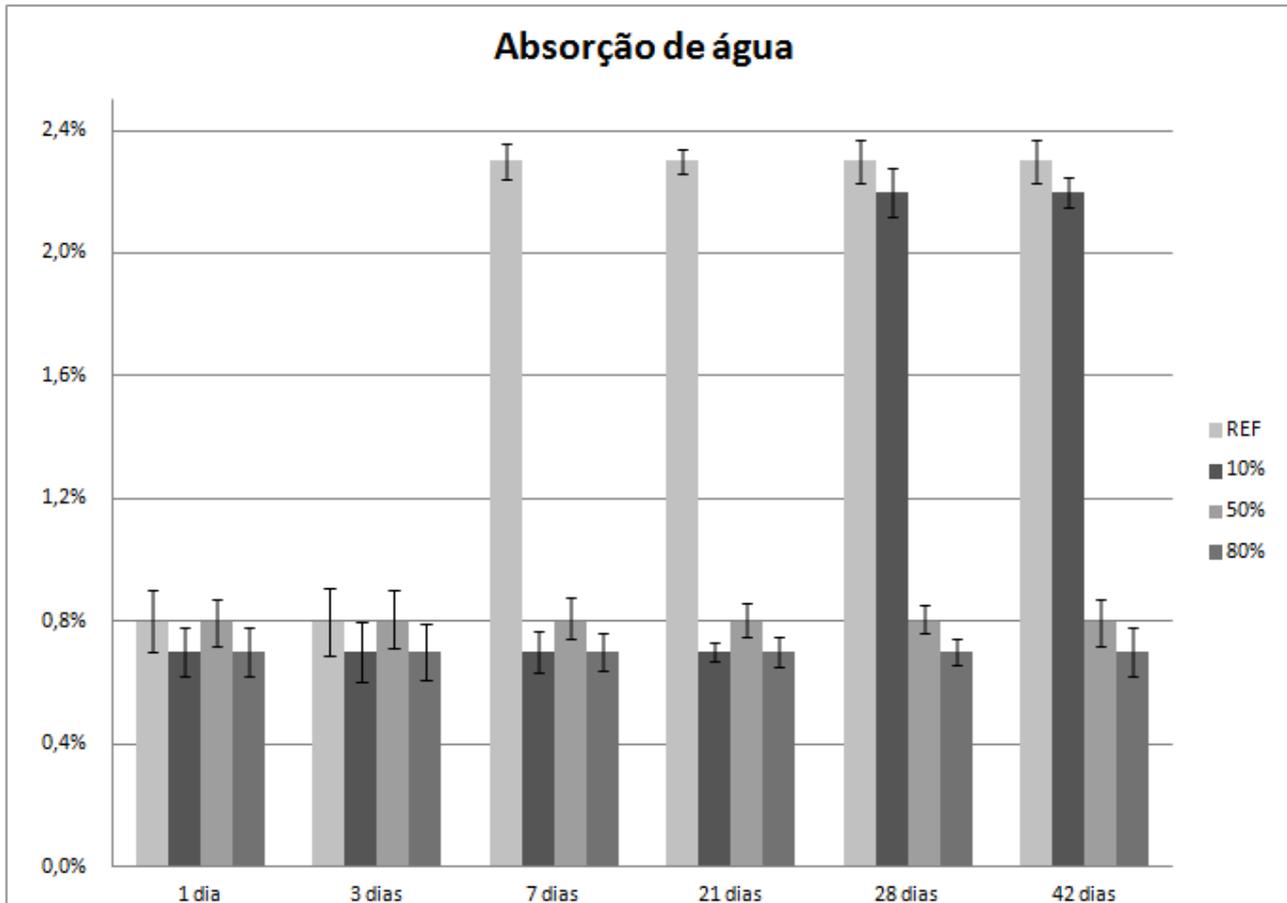


Figura 5 - Absorção de água dos blocos intertravados

Observa-se que os dados obtidos para a absorção de água dos BCP produzidos com RBMF são inferiores aos valores registrados para REF. Fato que se justifica em função da maior presença de finos, os quais representam o rejeito em substituição aos agregados naturais.

#### 4.2.2 Porosidade dos BCP

Para a determinação da porosidade dos BCP produzidos com RBMF e com agregados naturais, utilizou-se técnica de imagens por tomografia computadorizada, que permitiu identificar o percentual de poros para modelos REF, 10%, 50% e 80%. Observa-se na figura 6 que o tratamento REF apresentou imagem com maior incidência de pontos escuros, que representam vazios, enquanto que a presença destas regiões mais escuras vai diminuindo com a substituição dos AMN por RBMF, reforçando os resultados obtidos pelo ensaio de absorção.

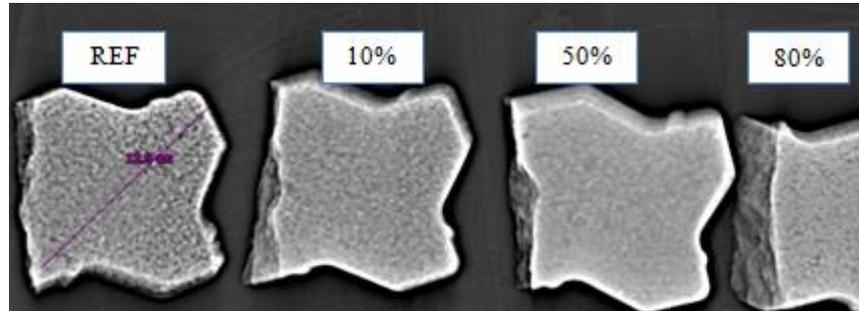


Figura 6 - Tomografia dos BCP: Referência, 10%, 50% e 80% de resíduo em substituição.

Outro parâmetro indicado pela tomografia computadorizada foi a variação de massa dos tratamentos RBMF em relação ao testemunho REF. Essa variação de massa observada, que aumenta com a substituição de AMN por RBMF, pode estar relacionada à presença maior ou menor dos poros, mas pode também estar relacionada à constituição química dos agregados que compõem a matriz de cimento (ferro e sílica), em concentrações também variáveis. Ou seja, para maior concentração de rejeitos, obtém-se maior concentração de ferro com maior massa específica de acordo com a figura 7.

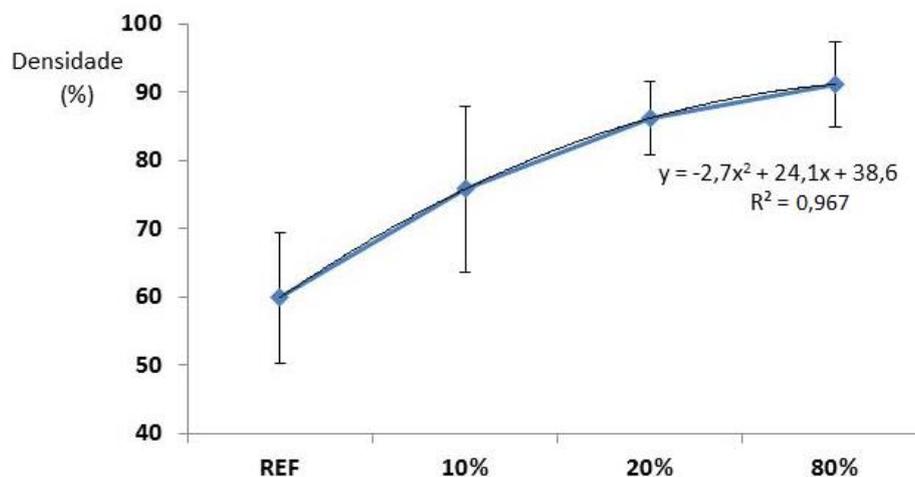


Figura 7 - Variação da massa dos tratamentos

#### 4.2.3 Expansibilidade dos blocos intertravados

Para determinação da estabilidade dimensional dos BCP, segundo ciclos de molhagem e secagem, os corpos de prova tiveram pinos de aço inox fixados com graute em sua superfície. Após 24h de cura do graute, determinou-se medida inicial de referência  $e_0$ . Estes corpos de prova foram imersos em tanque de água, pelos intervalos de 24 horas, 3 dias (72h), 7 dias (168 horas), 21 dias (504 horas), 28 dias (672 horas) e 42 dias (1008 horas). As medidas de cada um dos intervalos foram obtidas e relacionadas à determinação inicial,  $e_0$ . Não houve expansibilidade dos BCP com AMN e RBMF.

#### 4.2.4 Solubilização dos BCP

Os ensaios de amostragem de resíduos e solubilização indicaram ser o rejeito de barragem de minério de ferro classificado como Classe II-A (não perigoso e não inerte), NBR 10.007/04 e NBR 10.006/04. As mostras não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exceto os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Segundo FONTES (2014) espera-se que a adição do resíduo Classe II-A (RBMF) a outros materiais, como cimento, cal e areia, não altere a classificação ambiental das argamassas propostas.

#### 4.2.5 Resistência à compressão

Os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão evidenciaram que os BCP apresentam resistências mecânicas adequadas a sua utilização como material de revestimento de vias de alta intensidade de tráfego, de acordo com a NBR 9781/87 até para idades de 70 dias. A única exceção foi o tratamento do RBMF 80%, onde a resistência à compressão não alcançou o limite de 50 MPa, atingindo 48,69 MPa, de acordo com a figura 8.

No entanto, essa resistência habilita esse BCP para seu uso como revestimento em vias de tráfego menos intenso (35 MPa), em vias de acesso primário, como ruas de condomínios, vias de tráfego vicinal (maioria dos bairros das cidades brasileiras). Por outro lado podemos considerar o traço RBMF - 10%, como sendo único traço com rejeito que satisfaz a resistência de 50 MPa aos 7 dias.

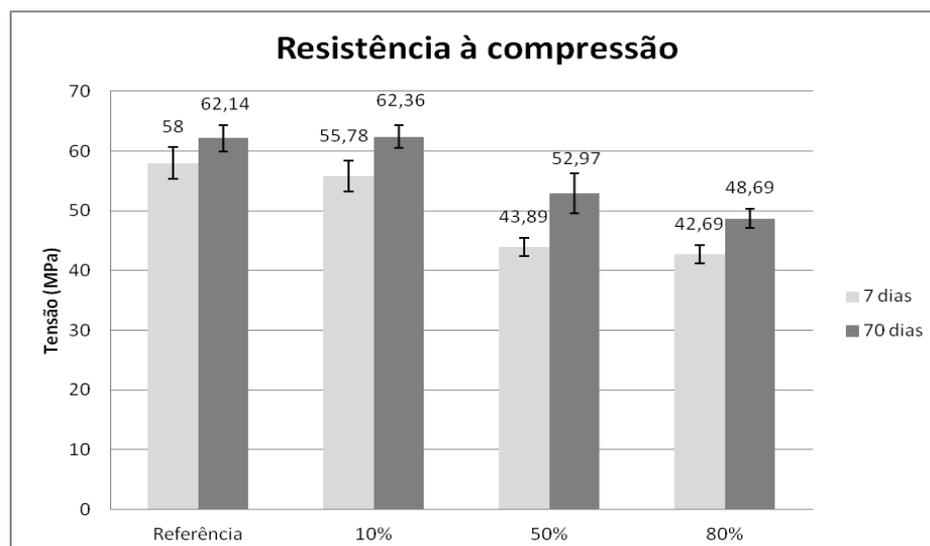


Figura 8 - Resistência à compressão dos BCP



## 5. Conclusão

Rejeito composto predominantemente por óxidos de sílica e ferro, ambientalmente classificado como Classe IIA – não perigoso, não inerte.

Blocos produzidos com RBMF apresentaram-se estáveis relativamente a variação dimensional. Blocos com RBMF são menos porosos que blocos REF. Adição de rejeitos aos blocos de concreto para pavimentação produziram resultados que atendem aos limites normativos, no entanto para tempos de cura superiores, e ainda, aumento da adição de RBMF provocaram aumento no rendimento da fabricação de blocos em relação ao traço referência.

Adição de RBMF aos blocos par pavimentação não provocaram alteração ambiental nas matrizes produzidas com cimento Portland.

Os resultados da caracterização física, química e ambiental do rejeito e as caracterizações dos blocos intertravados demonstram a viabilidade da aplicação do resíduo, em substituição ao agregado natural, na produção dos blocos e a eficiência dos BCP como camada de revestimento.

## 6. Agradecimentos

FAPEMIG, CNPQ, UFOP, CAPES, PROPEC, Grupo de pesquisa RECICLOS e Fundação Gorceix pelo apoio e fomento concedidos; Uni-Stein, MMX pela concessão de matérias primas, logística e apoio financeiro.

## 7. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Conjunto de normas NBR e NM da ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9781/1987 – Peças de Concreto para Pavimentação - Especificação (Norma em revisão)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9780/1987 – Peças de Concreto para Pavimentação - Determinação de Resistência à Compressão (Norma em revisão)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7216 – Amostragem de agregados. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004 - Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10005 - Ensaio de Lixiviação. Rio de Janeiro, 2004.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10006 - Ensaio de solubilização. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10007 - Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12118 – Bloco de concreto – Determinação da absorção de água, área líquida e umidade, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5733 - Cimento Portland de alta resistência inicial, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7207 - Terminologia e classificação de pavimentação, 2002.

BOSCOV, M.E. (2008). *Geotecnia Ambiental*. Ed. Oficina de Letras. São Paulo.

CRUZ, L. O. M. Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento. 2003. 281f. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

FEAM. Inventário estadual de barragens do estado de Minas Gerais. Disponível em:<http://www.feam.br/images/stories/inventario/inventrio%20de%20barragens%202012.pdf>,

INPI. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Processo de separação do minério de ferro contido em resíduos provenientes da extração e beneficiamento do minério de ferro. Pedido de patente BR 10 2012 008758 8, 2012.

JOHN, V.M. (2000). Reciclagem de Resíduos na Construção Civil – Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento. São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Tese (livre docência).102p.



FONTES, W. C. Rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PROPEC, Ouro Preto, 2014.

PEIXOTO, R. A. F.; OLIVEIRA, J. R.; PADULA, F. R. G.; MARTINS, C. J.; GOMES, V. ; OLIVEIRA, T. N. (2010). Analysis for Application of Steel Slag in the Production of Concrete Block Paving. In: 54th IFHP World Congress, 2010, Porto Alegre - RS. 54th IFHP.

PRESOTTI, E. S. (2002). Influência do Teor de Ferro nos Parâmetros de Resistência de um Rejeito de Minério de Ferro. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.

SIMIELI, D. et al. Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados. Exacta. v.5, n.2, p.231-41, jul./dez. 2007

STIEF, J. N. P. Análise das deformações, por extensometria, em concreto armado convencional e com agregados de escória de aciaria. 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CEFET, Belo Horizonte, 2009.