XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Propriedades mecânicas e indicadores de durabilidade de argamassas com adição de rejeito de minério de ferro

Evaluation of mechanical properties and durability indicators of mortars with addition of iron ore tailings

Bruna Silva Almada
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto | Brasil | bruna.almada@aluno.ufop.edu.br
Abner Araújo Fajardo
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte | Brasil | fajardo.aabner@gmail.com
Dyala Fraga do Prado
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte | Brasil | dyalaprado@yahoo.com.br
Henrique da Silva Silveira Neto
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte | Brasil | netoh.2014@gmail.com
Silvia Roberta Souza
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte | Brasil | roberta.souzar@gmail.com
White José dos Santos
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte | Brasil | white.santos@demc.ufmg.br

Resumo
O Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro do mundo. O presente artigo tem como objetivo, estudar a influência do rejeito de minério de ferro (RMF) como adição mineral em argamassas estruturais. Utilizou-se o RMF no teor de 40% (em relação a massa de cimento). Assim sendo, realizou-se as análises de composição química, massa específica, índice de consistência, resistência à compressão, módulo de elasticidade, absorção de água e porosidade. Observou-se que a resistência à compressão apresentou um aumento de 17,8% em relação a amostra de referência. Nos indicadores de durabilidade percebeu-se a manutenção ou melhoria destas propriedades.

Como citar:
ALMADA, B. S.; FAJARDO, A. A.; PRADO, D.; SILVEIRA NETO, H.; SOUZA, S. R.; SANTOS, W. J. Propriedades mecânicas e indicadores de durabilidade de argamassas com adição de rejeito de minério de ferro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

Palavras-chave: Rejeito de minério de ferro, propriedades mecânicas, adição mineral, durabilidade.

Abstract

Brazil is the second largest producer of iron ore in the world. This article aims to study the influence of iron ore tailings (IOT) as a mineral addition in structural mortars. IOT was used at a content of 40% (in relation to the cement mass). Therefore, analyzes of chemical composition, specific mass, consistency index, compressive strength, elastic modulus, water absorption and porosity were carried out. It was observed that the compressive strength presented an increase of 17.8% in relation to the reference sample. In durability indicators, maintenance or improvement of these properties was noted

Keywords: Iron ore tailings, mechanical properties, mineral addition, durability.

INTRODUÇÃO

O minério de ferro tem uma grande importância para a economia do Brasil, correspondendo a mais de 70% dos minerais metálicos produzidos no país [1]. Apenas no ano de 2020, o Brasil produziu 400 milhões de toneladas, alcançando a segunda posição no ranking mundial de produtores de minério de ferro [2]. Apesar disso, uma grande quantidade de rejeito de minério de ferro (RMF) é comumente depositado em barragens, que apresentam riscos de rompimento e podem causar alteração da paisagem, alteração das propriedades do solo, erosão, assoreamento de cursos de água, alteração da dinâmica hídrica superficial e subterrânea, alteração da qualidade da água superficial e da qualidade do ar [3 – 4]. Além dos impactos ambientais, as barragens apresentam impactos sociais associados. Tem-se por exemplo, o rompimento da barragem de Brumadinho, cujo volume de lama de rejeito despejado no rio Paraopeba foi 12 milhões de metros cúbicos [5 - 7], destruindo cerca de 133,27 hectares de vegetação nativa da Mata Atlântica e ocasionando 250 óbitos de pessoas daquela região [7].

Contudo, o setor da construção civil apresenta-se como uma alternativa para a destinação do RMF, possibilitando a redução dos impactos sócios econômicos, ambientais. Além disso, pode mitigar os problemas de gerenciamento de barragens pela redução do volume nesta forma de disposição. Sua utilização pode ser realizada em diferentes materiais de construção, como em compósitos cimentícios [8 – 10]; em substituição do agregado [11 - 14] e como adição mineral [15 - 17]. [18], que substituiu parcialmente (50%) o cimento pelo rejeito de minério de ferro, obteve um aumento de 22% na resistência à compressão em relação a amostras controle. [19], utilizando o RMF como adição mineral (adição de 40% em relação à massa de cimento), observou um aumento de 22,8% na sua resistência a compressão e de 21,41% no modulo de elasticidade. [14], ao utilizar o resíduo como agregado (substituindo 100%), apresentou um ganho na resistência a flexão. [20] avaliou as propriedades mecânicas e alguns indicadores de durabilidade de argamassas estruturais com adição de 0 a 40% de rejeito de minério de ferro. Os resultados da autora apontaram para um bom comportamento mecânico e fechamento de poros, causado pelo efeito fíler do resíduo, mesmo para teores elevados de adição.

Diante do exposto, o emprego desse resíduo como adição às misturas cimentícias tendem a favorecer a sociedade e o meio ambiente, já que a produção do cimento Portland resulta numa elevada emissão de CO_2, apesar de todo o esforço do setor industrial em minimizar seus impactos [15 - 16; 21 - 23]. Nesse sentido, este trabalho visou o estudo da influência da adição de RMF em argamassas estruturais no teor de 40% em relação à massa de cimento. Devido aos escassos estudos acerca da utilização do RMF como adição, o teor de utilização do resíduo nesta pesquisa foi baseado no trabalho de [20], uma vez que a autora apresentou resultados promissores e estudou as maiores taxas de adição. Foram avaliadas a resistência à compressão, módulo de elasticidade, absorção de água e porosidade das argamassas.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

O rejeito de minério de ferro utilizado nesta pesquisa é oriundo da região do Quadrilátero Ferrífero, cuja mina foi omitida a pedido da empresa. O beneficiamento utilizado pela mineradora apresenta, além dos ciclos de peneiramento e britagem, dois processos de concentração: flotação e separação magnética. Os rejeitos gerados em cada etapa são juntamente depositados na mesma barragem, de onde o material da pesquisa foi coletado. O rejeito foi homogeneizado e seco em estufa à 100 °C, até constância de massa. Após a secagem, o material foi moído em moinho de barras da PAVITEST – Contenco Indústria e Comércio LTDA, contendo 42 barras de aço de peso aproximado de 1,4 kg, por 15 minutos.

Para a produção das argamassas, como material aglomerante foi utilizado somente cimento Portland CPI de classe 40, por não conter adições, permitindo uma melhor avaliação da influência da adição de RMF ao cimento. Como agregado, utilizou-se areia normal, fornecida pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo (IPT), composta por quatro frações de areia (2,4 – 1,2 mm; 1,2 – 0,6 mm; 0,6 – 0,3 mm; 0,3 – 0,15 mm) igualmente proporcionadas. Essa areia é utilizada como material de referência para ensaios físico-mecânicos de cimento Portland e suas propriedades atendem à norma NBR 7214 [24].

CARACTERIZAÇÃO

A identificação dos elementos químicos presentes nas amostras de RMF foi determinada pela análise de fluorescência de raios-X, com fusão de tetraborato de lítio e perda ao fogo (PF) por calcinação da amostra à 1000 °C.

Para determinação da massa específica real dos materiais, adotou-se o método de picnometria em gás hélio, utilizando um picnômetro *Quantachrome SPY-3*.

A composição granulométrica dos materiais foi inicialmente determinada por peneiramento à úmido, com 100 g de material, utilizando as peneiras de abertura 300 µm, 150 µm e 75 µm. O material retido foi seco em estufa à 100 ± 5 °C, por 72 horas, e pesado. A distribuição de tamanho de partículas da fração fina foi obtida pela técnica

de difração de laser. Para isso, utilizou-se o granulômetro à laser *Bettersize 2000 – Laser Particle Analyser,* com água como dispersante.

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Após a caracterização dos materiais, foram produzidas argamassas estruturais para avaliação no seu estado fresco e endurecido. A argamassa com adição de RMF (nomenclatura: BC40) foi produzida utilizando-se a proporção em massa 1:0,4:3 (cimento: RMF: areia) e, a argamassa de referência (nomenclatura: REF), a proporção 1:0:3. Ambas as composições foram produzidas com relação água cimento (a/c) de 0,50. Foram realizados testes iniciais, observando-se que as argamassas se mantêm plásticas com a utilização desse a/c.

No estado fresco, foi avaliado o índice de consistência pelo ensaio *Flow Table*, o qual é necessário moldar a argamassa em fôrma troncocônica e verificar o seu espalhamento horizontal após aplicação de 30 golpes na mesa para índice de consistência, conforme NBR 13276 [25]. Além da consistência e plasticidade, o ensaio permite analisar a coesão dos materiais, que se refere às forças de atração física entre os materiais, identificando a ocorrência de segregação e/ou exsudação.

No estado endurecido, foram avaliados a resistência à compressão, o módulo de elasticidade dinâmico, a absorção de água por imersão e por capilaridade, bem como a porosidade. Para a determinação da resistência à compressão simples, foram moldados quatro corpos de prova cilíndricos (Ø5x10) cm por amostra. Após a cura de 28 dias, os corpos de prova foram secos ao ar por cerca de 5h, capeados com enxofre e rompidos de acordo com as prescrições da norma NBR 5739 [26]. Utilizou-se a máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL2000, com velocidade de carregamento de (0,45 ± 0,15) MPa/s.

O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado pelo método de frequência ressonante forçada no modo longitudinal, seguindo as recomendações da norma C215 [27] e as considerações [28]. Para a execução do ensaio, foram moldados quatro corpos de prova cilíndricos (Ø10x20) cm por amostra, realizando-se cinco leituras de frequência ressonante por corpo de prova, após 28 dias de cura. Utilizou-se para a aplicação do pulso ultrassônico e aferição da frequência ressonante o equipamento Erudite MKII Ressonante Frequency Test System. Aplicaram-se as frequências na faixa de 7.000 a 14.000 Hz, com tensão de 0,50 V.

Para a determinação da absorção de água por capilaridade, moldaram-se quatro corpos de prova (Ø5x10) cm por amostra, executando-se os procedimentos descritos nas normas [29 – 30], após 28 dias de cura. Da mesma maneira, a absorção por imersão e a porosidade foram determinadas aos 28 dias de cura de acordo com a norma NBR 9778 [31], moldando-se quatro corpos de prova cilíndricos de (Ø5x10) cm por amostra.

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO

A análise química do rejeito (BC) e do cimento CPI é mostrada na Tabela 1. Os resultados indicam que o rejeito possui como principais componentes o ferro (33,87%) e o silício (61,35%). Esse resultado condiz com a literatura, que apresenta teores de óxidos de ferro na faixa entre 31% a 35% [3, 32 – 35]. Quanto menor o teor de ferro, mais interessante o RMF é para aplicação em matrizes cimentícias, uma vez que óxidos de ferro possuem baixa mobilidade em ambiente alcalino e pouco contribui para preenchimento de poros [36].

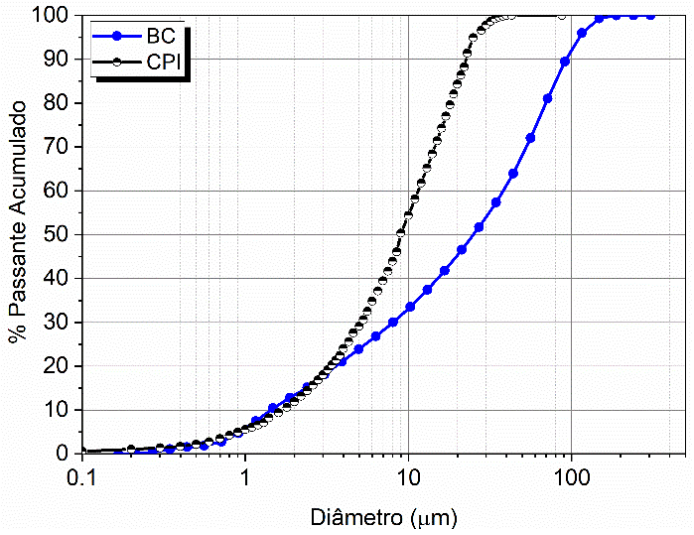
Tabela 1: Composição química dos materiais.

	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	MnO	SO_3	PF
BC	33,87	61,35	2,24	0,11	0,11	<0,01	0,33	<0,1	0,04	0,11	0,04	1,52
CPI	2,28	19,07	4,16	60,65	2,57	0,22	0,22	0,16	0,94	0,05	3,55	3,95

As massas específicas do RMF BC e do cimento CPI foram 3,49 g/cm³ e 3,22 g/cm³, respectivamente. Destaca-se que o rejeito BC possui massa específica próxima ao do cimento, mesmo apresentando uma quantidade de óxido de ferro 14 vezes maior. Os resultados obtidos neste estudo encontram-se dentro dos valores apresentados pela literatura brasileira [17 - 18; 34; 37 - 38], cujos rejeitos são similares aos desta pesquisa.

O resultado da distribuição granulométrica do rejeito, ilustrada na Figura 1, mostra que, mesmo após a moagem do material, a presença de partículas de dimensões superiores às do cimento ainda é significativa. Todavia, comparando-se os valores de D_{10}, observa-se que o rejeito BC apresentou uma granulometria menor (1,4 µm), em relação ao do cimento (1,7 µm).

Figura 1: Distribuição granulométrica acumulada do rejeito e cimento.



A Tabela 2 indica os decis D_{90}, D_{50} e D_{10} das amostras, cujos resultados explicitam a maior granulometria do rejeito em comparação com o cimento.

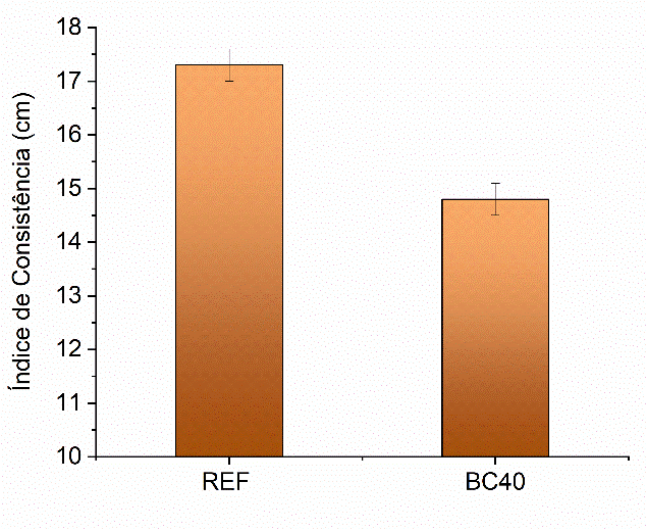
Tabela 2: Decis D90 D50 e D10 das amostras de rejeito e de cimento.

Amostra/Decil	BC	CPI
D_{90}	92,71	22,55
D_{50}	25,11	8,96
D_{10}	1,428	1,7

CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Os resultados da influência da adição do RMF no índice de consistência da argamassa são apresentados na Figura 2. De acordo com os resultados, a introdução de 40% de RMF, mantendo-se o fator a/c, levou à redução da trabalhabilidade. Conforme já observado [20 - 39], quanto maior a proporção de RMF, maior a quantidade de água requerida e, acima de 20%, o efeito de adição nesta propriedade é mais evidente. Suas partículas de forma irregular e com grande porosidade são responsáveis pela alta demanda de água [40], apesar da granulometria superior à do cimento. Além disso, a demanda de água para o rejeito é levemente superior ao do cimento [41].

Figura 2: Índice de consistência das argamassas.



CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

A Figura 3 demonstra o comportamento da argamassa em relação à absorção de água por capilaridade. Nota-se que a absorção de água final da argamassa BC40 alcançou o valor 45,58% superior à amostra REF e com taxas de absorção também elevadas, como indicado pela inclinação da curva. Esse resultado sugere que o RMF atuou refinando a estrutura porosa, reduzindo o tamanho dos poros superficiais, o que facilita a absorção por capilaridade [42].

A Figura 4 apresenta os resultados da absorção de água por imersão (A_i), porosidade aberta (P_a) e coeficiente de capilaridade (C_c) das argamassas. Observa-se que em ambas as amostras a absorção de água é menor que 10%, indicando uma boa durabilidade dos compósitos, que corrobora [43]. Com a adição do RMF, a argamassa BC40 apresentou absorção de água por imersão e porosidade ligeiramente inferiores, indicando uma melhoria ou manutenção das propriedades. Associa-se esse resultado à finura do rejeito, que ocupa tanto os macro como os microporos [40]. Resultado

similar foi observado na literatura [20], cujo estudo revela uma tendência de redução de índice de vazios e absorção de água com o aumento do teor de adição de rejeito (até 40% de adição).

Figura 3: Absorção de água por capilaridade das argamassas.

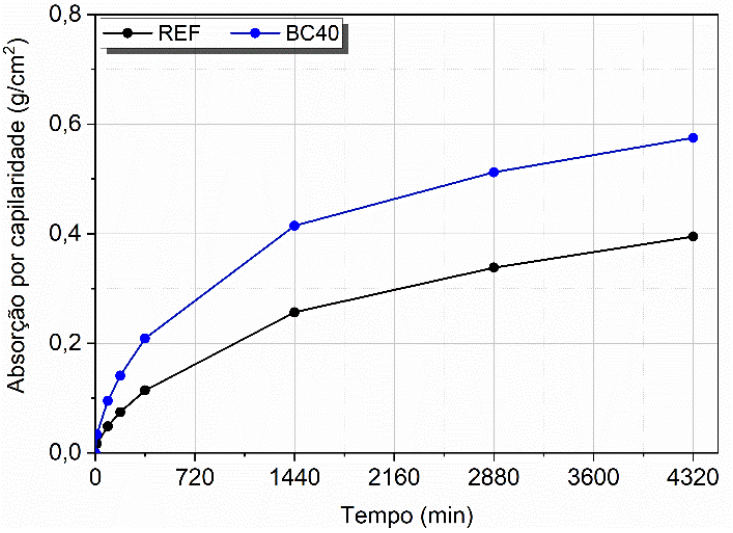
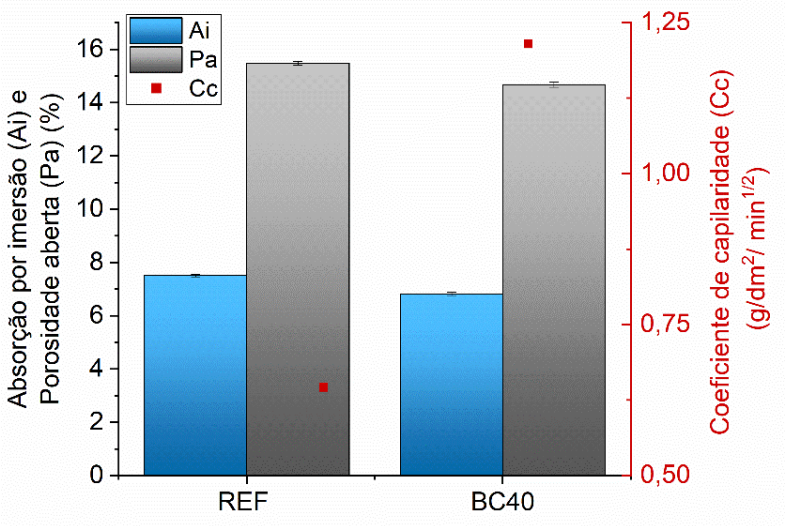


Figura 4: Absorção de água por imersão (Ai), porosidade aberta (Pa) e coeficiente de capilaridade (Cc) das argamassas.

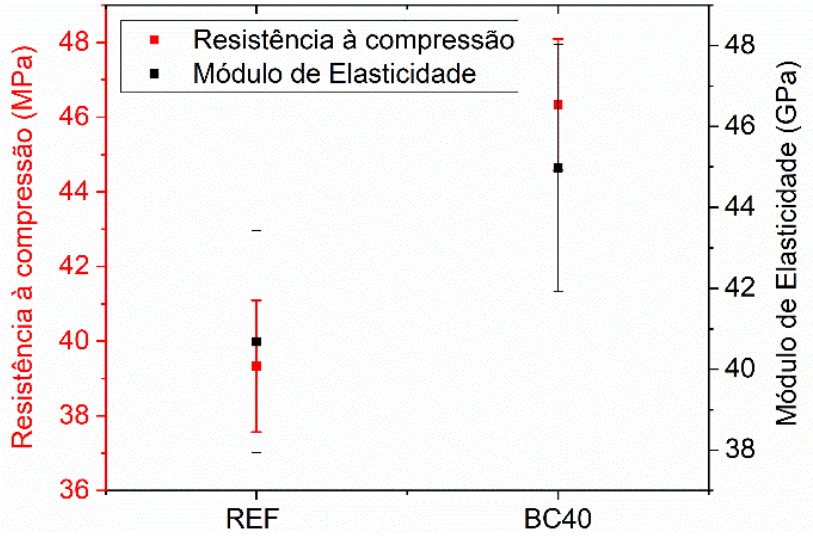


A taxa de transporte de agentes agressivos em compósitos cimentícios é governada pela taxa de penetração de água, uma vez que é através da umidade que estes são transportados para o interior do compósito. Dessa forma, os mecanismos de absorção capilar e permeabilidade, relacionados à dimensão e conectividade de poros, são importantes fatores no estudo da sua durabilidade do concreto.

Segundo [40], existe uma relação direta entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade. Os resultados desta pesquisa indicam que, de forma geral, o módulo de elasticidade apresenta o mesmo comportamento da resistência à compressão, conforme ilustra Figura 5. A argamassa com o rejeito BC40 apresentou ganho de 17,80% em relação à argamassa de referência. Com relação ao módulo de

elasticidade, a amostra BC40 apresentou elevação de 10,55%. Esses resultados corroboram com os encontrados por [20], que observou um ganho de resistência de 14% com o mesmo teor de adição. Entretanto, para [44], somente foi observado ganho de resistência para adições no teor de 8%.

Figura 5: Tendência de comportamento entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade das amostras.



Considerando a não reatividade do RMF, sua influência na resistência mecânica está relacionada a efeitos físicos, como empacotamento das partículas (preenchimento de vazios) e possibilidade de nucleação de compostos hidratados. Para o módulo de elasticidade, as propriedades físicas dos materiais e a distribuição dos poros na estrutura são fatores importantes. A partir dos resultados, pode-se inferir que a introdução dos rejeitos levou à formação de uma matriz mais densa, o que contribuiu para o ganho de rigidez em relação à amostra de referência.

CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos com a adição mineral do rejeito de minério de ferro, com um teor de 40% em argamassas estruturais, pode-se concluir que:

-No estado fresco das argamassas, observou-se que a adição de RMF reduz o índice de consistência, em razão de uma maior demanda de água. Podendo, ser devido ao fato das partículas de RMF apresentarem uma forma irregular e com grande porosidade.

-Nas propriedades físico-mecânicas, observou-se que a resistência a compressão da argamassa estrutural teve um aumento de 17,8% em relação a amostra de referência. A adição de RMF na argamassa estrutural promoveu um aumento de resistência à compressão. Este ganho de resistência, pode ser atribuído ao preenchimento dos vazios, pela adição mineral de RMF, tornando a argamassa estrutural mais densa.

- A utilização no teor de 40% como adição permite a produção de argamassas estruturais com resistência e durabilidade semelhante ou superior à argamassa de

referência, auxiliando a redução dos impactos ambientais associados à mineração e à construção civil.

AGRADECIMENTOS

A equipe de pesquisa agradece às Universidades Federais de Minas Gerais e de Ouro Preto pela infraestrutura e às agências de fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Apoio à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio concedido a este estudo.

REFERÊNCIAS

[1] AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Anuário Mineral Brasileiro – Principais substâncias metálicas. Brasília-DF, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2020_ano_base_2019_revisada2_28_09.pdf. Acesso em: 03/02/2022.

[2] UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY (USGS). National Minerals Information Center – Mineral Commodity Summaries, 2020. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/nmic/iron-ore-statistics-and-information. Acesso em: 10/01/2021

[3] ANDRADE, L. C. R. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, 2014.

[4] LUO, L.; LI, K.; FU, W. *et al*. Preparation, characteristics and mechanisms of the composite sintered bricks produced from shale, sewage sludge, coal gangue powder and iron ore tailings. **Construction And Building Materials**. v. 232, p. 117250, jan. 2020.

[5] SOUZA, T. da. S.; BARONE, L. da. S. F.; LACERDA, D. *et al*. Cytogenotoxicity of the water and sediment of the Paraopeba River immediately after the iron ore mining dam disaster (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Science Of The Total Environment**. v. 775, p. 145193, jun. 2021.

[6] TERAMOTO, E. H.; GEMEINER, H.; ZANATTA, M. B. T. *et al*. Metal speciation of the Paraopeba river after the Brumadinho dam failure. **Science of the total environment**. v. 757, p. 143917, fev. 2021.

[7] THOMPSON, F.; OLIVEIRA de, B. C.; CORDEIRO, M. C. *et al*. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. **Science of the total environment**. v. 705, p. 135914, fev. 2020.

[8] ZHAO, J.; NI, K.; SU, Y.; SHI, Y. An evaluation of iron ore tailings characteristics and iron ore tailings concrete properties. **Construction and Building Materials**. v. 286, p. 122968, jun. 2021.

[9] SILVA, F, L, da.; ARAUJO, F, G, S.; TEIXEIRA, M, P. *et al*. Study of the recovery and recycling of tailings from the concentration of iron ore for the production of ceramic. **Ceramics International**. v. 40, n. 10, p. 16085-16089, dez. 2014.

[10] ZHAO, S.; FAN, J.; SUN, W. Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 540–548, 2014.

[11] CARRASCO, E. V. M., MAGALHÃES, M. D. C., SANTOS, W. J. D., ALVES, R. C., MANTILLA, J. N. Characterization of mortars with iron ore tailings using destructive and nondestructive tests. **Construction and Building Materials**, v. 131, p. 31–38, 2017.

[12] LING, G.; SHUI, Z.; GAO, X.; SUN, T.; YU, R.; LI, X. Utilizing Iron Ore Tailing as Cementitious Material for Eco-Friendly Design of Ultra-High Performance Concrete (UHPC). **Materials**, vol. 14, no. 8, p. 1829, Abr. 2021.

[13] LIU, J. H.; ZHOU, Y. C.; WU, A. X. *et al*. Reconstruction of broken Si-O-Si bonds in iron ore tailings (IOTs) in concrete. **International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials**, vol. 26, no. 10, p. 1329–1336, Jan. 2019.

[14] KURANCHIE, F. A.; SHUKLA, S. K.; HABIBI, D.; MOHYEDDIN, A., Utilisation of iron ore tailings as aggregates in concrete. **Cogent Engineering**, v. 2, n. 1, 2015.

[15] ALMADA, B. S. **Influência da heterogeneidade de rejeitos de minério de ferro utilizados como adição mineral nas propriedades de microconcretos**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 135 p., 2021.

[16] CASTRO, N. L. B. de.; ALMADA, B. S.; FAJARDO, A. A. *et al*. Influence of Addition Contents of Iron Ore Tailings on Structural Mortar. **Journal of Management and Sustainability**. v. 11, n. 1, p. 74, 2021.

[17] CARVALHO, J. M. F. D.; DEFAVERI, K.; MENDES, J. C. *et al*. Influence of particle size-designed recycled mineral admixtures on the properties of cement-based composites. **Construction and Building Materials**, v. 272, November, 2020.

[18] CANCIO, A, S.; COELHO, J, R, C.; DUARTE, M. *et al*. Study of the Reuse of Iron Ore Tailing in Cementitious Compounds. **International Journal of Science and Engineering Investigations**. v. 7, n. 77, p. 77, jun. 2018.

[19] ALMADA, B. S.; CANCIO, A, S.; DUARTE, M, S. *et al*. Reuso de rejeito de minério de ferro em compósitos cimentícios. In: VI Congresso de Engenharia Civil, 2019, Juiz de Fora. **Anais** [...]. Juiz de Fora: Templo, 2019. v. 1, p. 136-149, mai. 2019.Disponível em: https://www.ufjf.br/congressodeengenharia/anais-vi-conenge-2019/. Acesso em: 12 abr. 2020.

[20] CASTRO, N. L. **Estudo de argamassa estrutural com adição de resíduo da mineração de ferro depositado em barragem de lama no estado de Minas Gerais – Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

[21] ANDRADE, B. D. de. **Estudo da obtenção de geopolímero a partir de aluminossilicato sintetizado via sol-gel**. Dissertação (Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 75 p., 2019.

[22] SUPINO, S.; MALANDRINO, O.; TESTA, M. *et al*. Sustainability in the EU cement industry: the italian and german experiences: the Italian and German experiences. **Journal of Cleaner Production**., v. 112, p. 430-442, jan. 2016

[23] BORGES, P, H, R. *et al*. Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II). **Ambiente Construído**. v. 14, n. 2, p. 153-168, jun 2014.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação, Rio de Janeiro, 2015.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência, Rio de Janeiro, 2016

[26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2018.

[27] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **ASTM C215-19**: Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

[28] LEE, B. J.; KEE, S.-H.; OH, T.; KIM, Y.-Y. Effect of Cylinder Size on the Modulus of Elasticity and Compressive Strength of Concrete from Static and Dynamic Tests. **Advances in Materials Science and Engineering**, p. 1-12, 2015.

[29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 9779**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, 2012.

[30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, Rio de Janeiro, 2005.

[31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2005.

[32] PIFFER, V. S.; SOARES, K.; GALDINO, A. G. S. Evaluation of mechanical and thermal properties of PP/iron ore tailing composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 221, p. 109001-14, May, 2021.

[33] WEISHI, L., GUOYUAN, L., YA, X., QIFEI, H. The properties and formation mechanisms of eco-friendly brick building materials fabricated from low-silicon iron ore tailings. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 685–692, 2018.

[34] MANTILLA, J, N, R.; MIRANDA, D, N.; FUINA, J, S. *et al*. Mechanical Characteristics of Pavers with Iron Ore Tailings. **Applied Mechanics and Materials**. v. 864, p. 330-335, abr. 2017.

[35] SANT'ANA FILHO, Joaquim et al. Technical and Environmental Feasibility of Interlockin Concrete Pavers with Iron Ore Tailings from Tailings Dams. **Construction and Building Materials**, v. 29, p. 1-7, jan. 2017.

[36] SCRIVENER, K. L., Options for the future of cement, **Indian Concrete Journal**, v. 88, n. 7, p. 11–19, 2014.

[37] GALVÃO, J. L. B.; ANDRADE, H. D.; BRIGOLINI, G. J.; PEIXOTO, R. A. F.; MENDES, J. C., Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. **Journal of Cleaner Production**, v. 200, p. 412–422, 2018.

[38] BASTOS, L. A.C., Using Iron Ore Tailings from Tailing Dams as Road Material. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 28, p. 988-995, out. 2016.

[39] FONTES, W. C., MENDES, J. C., SILVA, S. N., PEIXOTO, R. A. F. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 988–995, 2016.

[40] SHETTIMA, A. U., HUSSIN, M. W., AHMAD, Y., MIRZA, J. Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 72–79, 2016.

[41] HAN, F.; LI, L.; SONG, S.; LIU, J., Early-age hydration characteristics of composite binder containing iron tailing powder, **Powder Technology**, v. 3015, p. 322-331, 2017.

[42] METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedades, e Materiais**, 3a ed. São Paulo: Pini, 2008.

[43] NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**; Trad. GIAMUSSO, S. E. 2. ed. São Paulo, Pini, 1997.

[44] ARISTIMUNHO, P. B.; BERTOCINI, S. R. Aplicação de lama de minério de ferro em forma de pó na presença de cimento portland. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 153–165, 2012.