ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Ladrilho hidráulico contendo diferentes tipos de rejeito de minério de ferro

Hydraulic tile containing different types of iron ore tailing: mechanical, environmental and durability properties

Luis Felipe dos Santos Lara
Departamento de Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) | Belo Horizonte | Brasil | luislara@cefetmg.br
Izabella Cristina Drumond
Departamento de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) | Cidade | Brasil | izabelladrumond2@gmail.com
Laís Resende
Vale S.A | Itabirito | Brasil | lais.resende@vale.com
Augusto Cesar da Silva Bezerra
Departamento de Engenharia de Transportes, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) | Belo Horizonte | Brasil | augustobezerra@cefetmg.br

Resumo

Quatro tipos de rejeitos de minério de ferro (RMF) foram avaliados como fonte alternativa de matéria-prima para produção de ladrilho hidráulico. Foram preparadas oito misturas, substituindo o cimento Portland por RMF em 25 e 50% em massa para cada tipo de RMF. Os RMF apresentaram composição química, granulometria e fases cristalinas distintas. A colorimetria das pastas com RMF em diferentes proporções revelou distintas colorações, possibilitando a produção de ladrilhos hidráulicos com design sofisticado. As formulações com 25% de RMF apresentaram os melhores resultados em resistência à compressão e menor perda de massa quando expostas ao ataque ácido. Os resultados de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos com diferentes combinações de RMF foram satisfatórios. Os resultados de lixiviação indicam que a utilização do RMF não apresenta riscos de contaminação ambiental. A combinação de diferentes tipos de RMF em diferentes proporções com cimento Portland demonstrou sinergia, gerando variações de cores e propriedades mecânicas satisfatórias para a produção de ladrilhos hidráulicos sustentáveis.

Palavras-chave: Rejeito de minério de ferro. Ladrilho hidráulico. Sustentabilidade.

Abstract

Four types of iron ore tailings (IOT) were evaluated as an alternative source of raw material to produce hydraulic tiles. Eight mixtures were prepared, replacing Portland cement with IOT at 25 and 50% by weight for each type of IOT. The IOT presented distinct chemical composition, granulometry and crystalline phases. The colorimetry of the pastes with IOT in different

Como citar:
LARA, L. F. S. et.al. Ladrilho hidráulico contendo diferentes tipos de rejeito de minério de ferro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

proportions revealed different colors, enabling the production of hydraulic tiles with a sophisticated design. Formulations with 25% IOT showed the best results in compressive strength and lower mass loss when exposed to acid attack. The flexural strength results of hydraulic tiles with different IOT combinations were satisfactory. The leaching results indicate that the use of IOT does not present any risk of environmental contamination. The combination of different types of IOT in different proportions with Portland cement demonstrated synergy, generating color variations and satisfactory mechanical properties to produce sustainable hydraulic tiles.

Keywords: Iron ore tailings. Hydraulic tile. Sustainability.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por materiais de construção sustentáveis tem impulsionado a busca por alternativas inovadoras que possam conciliar eficiência econômica, desempenho estrutural e responsabilidade ambiental [1]. Esse movimento está desenvolvendo soluções que não apenas minimizem o impacto ambiental, mas também proporcionem melhores propriedades mecânicas e de durabilidade, refletindo o compromisso com a construção sustentável e preservação do meio ambiente [2].

Contudo, grandes volumes de rejeitos e resíduos industriais ainda não detém uma destinação nobre e continuam sendo objeto de estudos e pesquisas [2][3].

Cerca de 1,4 bilhões de toneladas de RMF são gerados em todo o mundo anualmente. Os rejeitos e efluentes resultantes da mineração de ferro, durante várias décadas, vêm sendo depositados nas proximidades das jazidas de minério na forma de barragem ou pilhas [4][5]. A geração do RMF, um subproduto do processo de beneficiamento de minério de ferro, é uma realidade desafiadora, demandando abordagens inovadoras para a utilização responsável desse subproduto [4].

Calcula-se que, em média, a produção de 0,4 tonelada de rejeito ocorre para cada tonelada de minério de ferro beneficiado, podendo em determinadas situações, equivaler à quantidade da substância gerada [6]. Segundo a Agência Nacional de Mineração Brasileira, existem 927 barragens cadastradas no país, sendo 62 classificadas por categoria de risco (CRI) como barragens de alto risco. A CRI de barragens de rejeitos refere-se a uma classificação utilizada para avaliar o nível de risco associado a uma barragem, considerando aspectos relacionados à segurança estrutural e operacional.

Barragens classificadas como alto risco apresentam sérias deficiências estruturais ou operacionais e onde a probabilidade de falha é significativa. Estas barragens requerem ações imediatas para mitigação dos riscos. Estima-se que o volume acumulado nas barragens de rejeito brasileira alcancem consideráveis 4,5 bilhões de m^3. Essa enorme quantidade de RMF armazenado e as preocupações crescentes sobre a destinação levantaram questões sociais, ambientais e econômicas relacionadas com o risco de colapso destas estruturas [4].

No contexto da construção civil, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas no mundo, com objetivo de consolidar a utilização do RMF de modo a possibilitar uma destinação nobre para um rejeito que até então é comumente disposto em pilhas e barragens [5][11]. A utilização do RMF emerge como uma solução potencial, oferecendo não

apenas uma maneira eficaz de empregar o RMF, mas também uma oportunidade para criar produtos construtivos [8].

Estudos vêm sendo desenvolvidas para produção de ladrilho hidráulico com rejeitos industriais. Estudo investigando a utilização de rejeito de fosfato in natura, calcinado a 400ºC e 600ºC indicam que a substituição de 25% do cimento por rejeito de fosfato não altera as propriedades mecânicas e possibilita uma pigmentação adequada para as peças de ladrilho hidráulico [9].

O ladrilho hidráulico, conhecido por sua durabilidade, versatilidade e apelo estético, desfruta de uma longa tradição na construção civil que remonta uma memória arquitetônica e herança cultural evidente em seu design, cores, materiais utilizados e, principalmente, no processo de produção artesanal [10]. A norma ABNT NBR 9457/ 2013 define o ladrilho hidráulico como placa cimentícia paralelepipédica, executada por prensagem, com superfície exposta ao tráfego lisa ou em baixo relevo [11].

Este trabalho aborda a aplicação do RMF na produção de ladrilho hidráulico, explorando suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, bem como os desafios e oportunidades associados a essa abordagem. Com objetivo de avaliar diferentes RMF foram propostos para este estudo a produção de traços contendo quatro tipos de rejeitos distintos gerados na região do quadrilátero ferrífero localizada no centro-sul de Minas Gerais

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados quatro tipos de RMF, areia comercial, cimento Portland CPV ARI e água. Não foram empregados plastificantes e nem adições, para evitar influências externas e permitir uma análise da produção do ladrilho hidráulico em função do RMF.

Os quatro tipos de RMF utilizados na pesquisa foram selecionados de diferentes minas localizada na cidade de Itabirito, na região do quadrilátero ferrífero do estado de Minas Gerais, Brasil que se destaca como grande produtora de minério de ferro no Brasil [12].

As amostras de RMF foram coletadas ao longo das pilhas, seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 10007/2004 [13], no período entre os anos de 2021 e 2022. É importante salientar que o rejeito utilizado não passou por nenhum tipo de tratamento, sendo empregado em sua forma natural. Cada tipo de rejeito recebeu um nome para melhor identificação, RAP2, RAB2, RTP, RTB e suas respectivas propriedades químicas e físicas são apresentadas na Tabela 1. O RAP2 apresenta a maior massa específica (3723 Kg/m³), a maior concentração de óxidos de ferro (52,6%) e o menor módulo de finura (0,09). O RAB2 apresenta o maior teor de óxidos de silício (81,90%) e menor massa específica (2.936 Kg/m³).

Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas do RMF

Propriedades	RAP2	RAB2	RTP	RTB
Propriedades físicas				
Massa específica (Kg/m³)	3723	2936	3277	3316
Massa unitária (Kg/m³)	1950	1940	1920	1940
Módulo de finura	0,09	0,47	0,36	0,56
Área superficial específica (m²/g)	9,248	0,66	17,816	5,34
Composição química (%)				
SiO_2 (%)	36,50	81,90	38,40	70,90
Fe_2O_3 (%)	52,60	15,69	48,78	23,99
Al_2O_3 (%)	1,45	0,96	1,89	2,32
MnO (%)	0,20	0,05	0,14	0,19
P_20_5 (%)	0,04	0,01	0,08	0,03
CaO (%)	0,05	0,03	0,02	0,03
LOI (%)	3,11	0,44	4,35	1,66
Outros (%)	6,04	0,93	6,34	0,87

Fonte: o autor

MÉTODOS

DOSAGEM E COLORIMETRIA DAS PASTAS CONTENDO RMF

De modo a entender melhor o comportamento das substituições do RMF pelo cimento, foram moldados oito traços contendo RMF e três traços referência contendo o cimento CPV-ARI, CPIV e CPII-F. Para cada um dos quatro tipos de RMF foram propostos 25% e 50% de substituição do Cimento Portland CPV-ARI conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Traços da pasta que compões a camada superficial do ladrilho hidráulico

Identificação da amostra	Componentes	Porcentagem de substituição (%)
Referência_CPV	CPV+ÁGUA	-
Referência_CPIV	CPIV+ÁGUA	-
Referência CPII-F	CPII-F+ÁGUA	-
RAB2-25	RAB2 + CPV + ÁGUA	25%
RAB2-50	RAB2 + CPV+ ÁGUA	50%
RAP2-25	RAP2 + CPV+ ÁGUA	25%
RAP2-50	RAP2 + CPV+ ÁGUA	50%
RTB-25	RTB + CPV+ ÁGUA	25%
RTB-50	RTB + CPV+ ÁGUA	50%
RTP-25	RTP + CPV+ ÁGUA	25%
RTP-50	RTP + CPV+ ÁGUA	50%

Fonte: o autor

Para cada teor de substituição proposto foram moldados quinze corpos de prova cilíndricos de 25x50 (mm) os quais foram ensaiados a resistência à compressão aos 7 e 28 dias. A colorimetria das pastas com diferentes dosagens de rejeito seguindo o sistema CIELab (Comission International de L'Eclairage ou Comissão Internacional de Iluminantes) se mostra superior aos demais sistemas de cores por calcular numericamente a diferença de cores no qual o sistema de cores é representado por um sistema cilíndrico polar [14].

A coordenada vertical (L) representada por uma reta expressa a luminosidade da cor, indo do preto absoluto 0 ao branco total 100 [15]. As coordenadas a e b representam as cores e podem assumir valores positivos ou negativos, onde as cores vermelho/verde (a/-a), e amarelo/azul (b/-b) variam de 0 a 60 sem unidade de medida. As pastas contendo diferentes tipos de rejeito em diferentes proporções foram caracterizadas seguindo os parâmetros dos métodos CIELab com auxílio do software GIMP versão 2.10.32, sendo possível reunir os valores médio de cada parâmetro do CIELab.

RESISTENCIA À COMPRESSÃO DAS PASTAS

Para a determinação da resistência à compressão simples, foram moldados cinco corpos de prova cilíndricos (Ø5x10 cm) por traço. Após a cura, os corpos de prova foram secos ao ar por 24h, capeados com neoprene e ensaiados de acordo com as prescrições da norma ABNT NBR 7215/ 2019 [16] aos 7 e 28 dias. Para execução desse ensaio utilizou-se o Equipamento Universal de Ensaios da marca EMIC e os softwares TESC e Vmaq com velocidade de carregamento equivalente a (0,45 ± 0,15) MPa/s até a ruptura da peça.

RESISTÊNCIA AO ATAQUE ÁCIDO DAS PASTAS

O ensaio foi realizado em 5 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 25mm e altura de 10mm, os quais foram previamente secos em estufa a 100 ± 5°C, e em seguida mergulhados e mantidos na solução de ácido sulfúrico a 5% por 07 dias, após esse período as 40 pastilhas foram lavadas com água, secas em estuda e pesados para determinação da perda de massa.

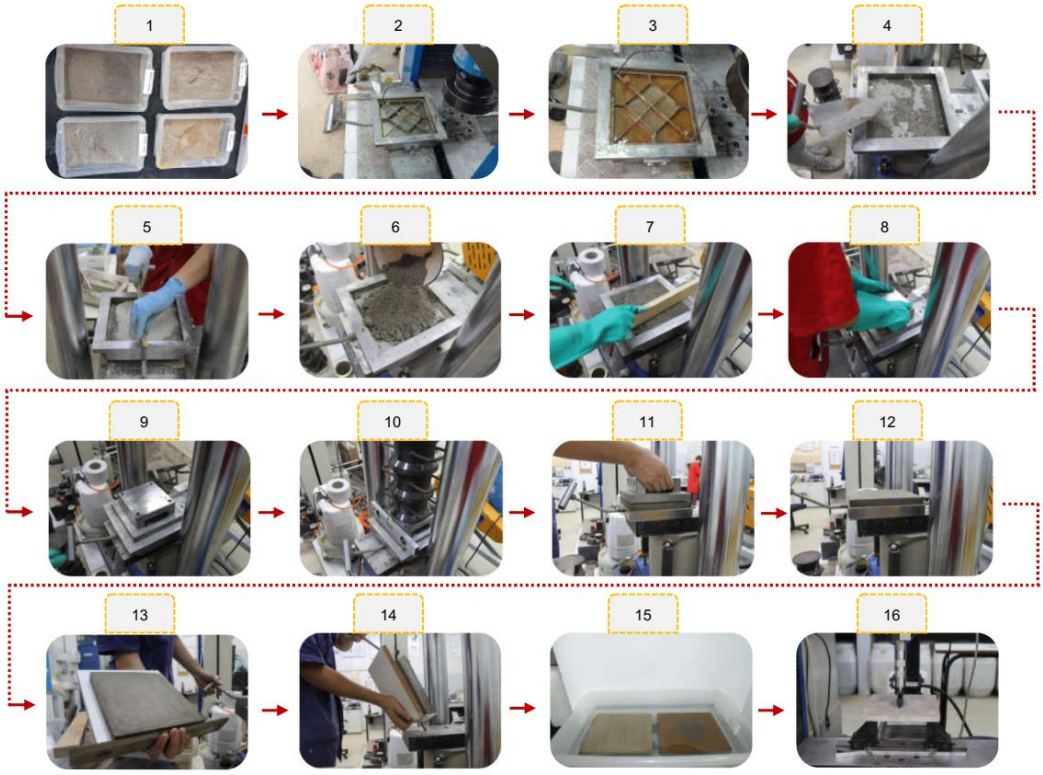
LIXIVIAÇÃO DAS PASTAS

O ensaio de lixiviação avaliou a liberação de substâncias solúveis a partir do material dos pavimentos produzidos. Essas substâncias podem incluir íons, como os provenientes do cimento, do RMF ou outros componentes presentes no concreto. A espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) foi utilizada para detectar na solução de lixiviação a presença de substâncias tóxicas. O resultado do ensaio de lixiviação foi importante para determinar a adequação da utilização do RMF em relação aos limites máximos presentes nas normas ambientais e à segurança ambiental, especialmente em estruturas que possam entrar em contato com água, solo ou outros meios suscetíveis à lixiviação de substâncias [17].

PRODUÇÃO DO LADRILHO HIDRÁULICO

O procedimento executivo contendo as etapas da fabricação do ladrilho hidráulico é apresentado Figura 1,onde se destacam a etapa de separação, pesagem e mistura dos materiais (1), montagem e aplicação do desmoldante da forma (2), aplicação da camada das pastas no molde do desenho (3), aplicação da segunda camada (argamassa seca) (4), nivelamento da segunda camada (5), aplicação da terceira camada (argamassa com baixo teor de umidade (6), nivelamento da terceira cada (7), colocação da tampa (8,9), aplicação da carga (10 ton.) (10), retirada da forma lateral (11), retirada do tampo (12), retirada do ladrilho hidráulico (13,14), cura úmida (15), ensaios mecânicos (16).

Figura 1: Procedimento executivo para produção do ladrilho hidráulico



Fonte: o autor

RESISTÊNCIA À FLEXÃO DO LADRILHO HIDRÁULICO

Para determinação da resistência mecânica à flexão foi utilizado o equipamento universal de ensaios (EMIC DL-30000) com auxílio dos softwares TESC e Vmaq com velocidade de carregamento equivalente a (1 ± 0,2) MPa/s até a ruptura da peça. As peças ficaram em cura úmida por 24 horas e foram ensaiadas aos 28 dias. O valor da resistência característica à flexão do ladrilho deve atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 9457/2013 [11], com uma especificação de 3,5 MPa.

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DAS PASTAS CONTENDO RMF

Na Figura 2 são apresentados os corpos de prova cilíndricos das pastas, os quais apresentaram uma variação cromática que abrange desde um matiz cinza-claro até tonalidades mais escuras, apresentando nuances levemente avermelhadas e amarronzadas. As misturas contendo RMF com maiores teores de óxidos de ferro apresentaram a coloração mais acentuada com maior potencial de pigmentação, resultados de estudos similares corroboram com os encontrados nessa pesquisa [13][14].

Figura 2: Corpo de prova cilíndricos de pasta contendo diferentes rejeitos com diferentes teores



Fonte: o autor

Na Tabela 3 é apresentado a colorimetria dos traços de pasta assim como os parâmetros específicos para a mensuração objetiva das cores. Pode-se observar que com o aumento do teor de RMF ocorreu a redução do parâmetro “L” e aumento dos parâmetros “a” e “b”.

Tabela 3: Colorimetria dos traços contendo diferentes tipos de rejeito

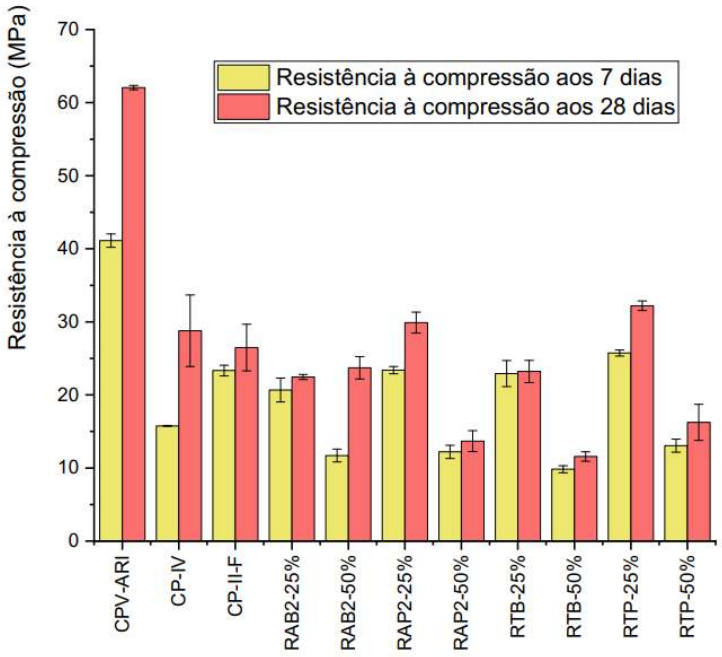
Traços	Parâmetros			Código da cor
	L	a	b	
RAB2-25%	62	-2	8	#8a6c42
RAB2-50%	35,8	8,6	25,2	#6a4f2b
RAP2-25%	43,7	8,3	22,1	#7d6243
RAP2-50%	35,3	12,4	24,3	#6d4b2c
RTB-25%	44,8	8,8	20,9	#806447
RTB-50%	31,4	14,8	23,6	#674025
RTP 25%	40,8	15,2	32,3	#81562b
RTP-50%	32,7	22	34,4	#753e15

Fonte: o autor

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS PASTAS

Na Figura 3 são apresentados os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias das misturas de pasta. Nota-se que os traços RAP2-25% e RTP-25% apresentaram resistências à compressão melhores do que a do CP IV e CP II-F, indicando potencial para substituição do cimento por RMF. Estudos indicam uma redução da resistência à compressão com o aumento do RMF in natura corroborando para os resultados obtidos [18].

Figura 3: Resistência à compressão das pastas



Fonte: o autor

ANÁLISE VISUAL DO LADRILHO HIDRÁULICO

A partir da análise visual foi observado uma superfície homogênea, sem a presença de falhas, com as linhas que dividem os desenhos da peça bem definidas. Na Figura 4 à esquerda é apresentado o ladrilho hidráulico contendo na parte do meio RAB2 com 25% de substituição e na parte externa o RAP2 com 50% de substituição. Na Figura 4 à direita é apresentado a face de assentamento do ladrilho hidráulico e pode ser observado uma superfície homogênea e rugosa a qual desempenhará o papel de aderência com a argamassa colante e o substrato em que a peça será assentada.

Figura 4: Ladrilho hidráulico produzido a partir do (RAB2-25% no interior da peça) e (RAP2-50% no exterior da peça)



Fonte: o autor

RESISTÊNCIA À FLEXÃO DO LADRILHO HIDRÁULICO

Na Tabela 4 é apresentado o resultado do ensaio de resistência à flexão dos ladrilhos hidráulicos. Pode ser notado que a resistência à flexão para as três configurações de desenho foi superior ao mínimo de 3,5 MPa determinado na ABNT NBR 9457/2013 [11].

Tabela 4 - Resistência na flexão dos ladrilhos hidráulicos

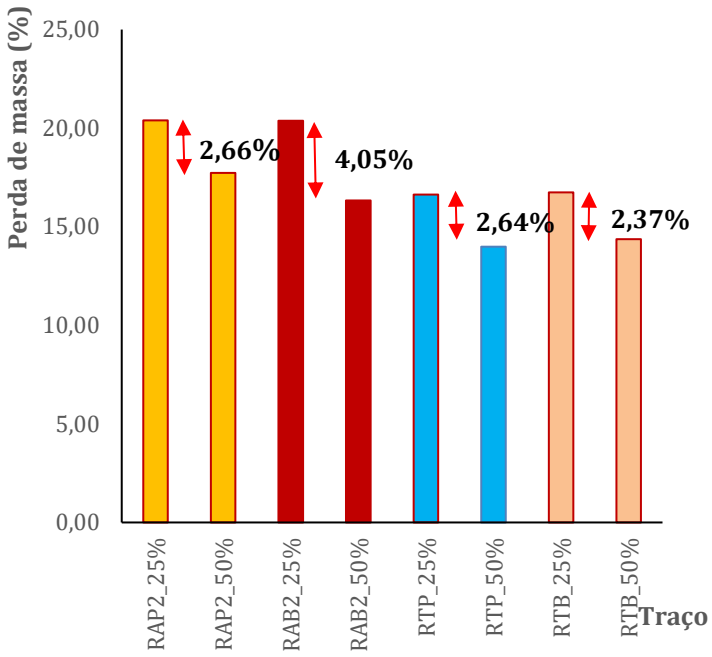
Desenho do ladrilho	Coeficiente de variação (%)	Desvio padrão	Resistência à flexão (MPa)
RAP-50%+RAB-25%	7,85	0,52	6,60
RAP-25%+RTP-25%+RAP-25%	5,20	0,36	6,94
RTB-25%+RTB-50%	5,18	0,30	5,84

Fonte: o autor

RESISTENCIA AO ATAQUE ÁCIDO

Na Figura 5 é apresentado os resultados do ensaio de ataque ácido e pode-se observar que para todos os quatro tipos rejeitos o aumento do teor de RMF contribuiu para uma redução de perda de massa no ensaio de ataque ácido. Para o (RAP2) houve uma redução de 2,66% entre as pastas contendo 25% e 50% de substituição. Para o (RAB2) houve uma redução de 4,05% entre as pastas contendo 25% e 50% de substituição. Para o (RTP) houve uma redução de 2,64% entre as pastas contendo 25% e 50% de substituição. Para o (RTB) houve uma redução de 2,37% entre as pastas contendo 25% e 50% de substituição.

Figura 5: Perda de massa (%) dos diferentes traços de pastas contendo RMF submetidas ao ataque ácido



Fonte: o autor

LIXIVIAÇÃO

Para as oito amostras de pasta os resultados de concentração dos elementos/parâmetros foram inferiores ao valor máximo permitido (VPM) prescritos na ABNT NBR 10004/ 2004 [19], conforme apresentado na Tabela 5. A produção de ladrilho hidráulico com utilização de RMF demonstra não representar risco de contaminação ambiental por lixiviação.

Tabela 5 - Resultado do ensaio de lixiviação dos ladrilhos hidráulicos

Parâmetro	Unidade	VMP	Ladrilho hidráulico							
			RAP2_ 25%	RAP2_ 50%	RAB2_ 25%	RAB2_ 50%	RTP_ 25%	RTP_ 50%	RTB_ 25%	RTB_ 50%
Arsênio Total	mg/L	1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Bário Total	mg Ba/L	70	1,30	0,59	1,41	0,71	1,58	1,24	1,38	1,00
Cádmio Total	mg Cd/L	0,5	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo Total	mg Pb/L	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo Total	mg Cr/L	5	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
Fluoreto	mg F-/L	150	0,85	0,96	0,94	1,19	0,85	0,99	0,87	0,81
Mercúrio	mg/L	0,1	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000
Prata Total	mg Ag/L	5	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Selênio Total	mg/L	1	<0,001	0,001	<0,001	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Fonte: o autor

CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido para avaliar o impacto da utilização de diferentes tipos de RMF em substituição parcial do Cimento Portland para produção de ladrilho hidráulico. As principais conclusões foram resumidas e apresentadas na forma de tópicos: (i). A utilização do RMF em substituição parcial do cimento Portland para a produção de ladrilhos hidráulicos se mostrou satisfatória do ponto de vista técnico e do ponto de visto estético. (ii) As cores produzidas com a utilização de diferentes rejeitos em diferentes teores possibilitaram a fabricação de peças com uma harmonia estética com tons de cores distintos. (iii).

A superfície das peças de ladrilho hidráulico produzidas apresenta um acabamento adequado para suportar o trânsito de pessoas, conforme sua respectiva categoria de resistência mecânica. (iv). Foi observado que os traços contendo 25% de substituição tiveram um resultado de permeabilidade menor do que os traços contendo 50% de substituição. (v) Foi observado que para todos os quatro tipos de rejeito o aumento do teor de rejeito na pasta contribuiu para uma redução de perda de massa no ensaio de ataque ácido.

Por fim, a produção de ladrilho hidráulico com a utilização de rejeito de minério de ferro se mostrou uma para a utilização do RMF na construção civil reduzindo o impacto ambiental associado à sua disposição, além de contribuir com a redução das emissões de CO_2 e a exploração de recursos naturais não renováveis contribuindo com o avanço da economia circular e promoção do desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Vale S.A pelo fornecimento de material, equipamentos e financiamento através do acordo de parceria para pesquisa, desenvolvimento e inovação (01/2020), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por seu apoio para participação no evento e com infraestrutura de equipamentos [Convênio: PCE-00405-24, APQ-01425-22 e RED-00191-23], e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo de produtividade em pesquisa [Convênio: PQ 316846/2023-6], bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] Sharma,S.; Sharma,N.K. **Advanced materials contribution towards sustainable development and its construction for green buildings**, Materials Today, v. 68, p. 968–973, ago. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.394

[2] Le, D.L.; Salomone, R.; Nguyen, Q.T. **Sustainability assessment methods for circular bio-based building materials: A literature review**, Journal of Environmental Management, v. 352, 9. p. 120-137, set. 2024. DOI:

https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120137

[3] Ramos, L.T.S.; Azevedo, R.C.; Bezerra, A.C.S.; Amaral, R.D. O. **Iron ore tailings as a new product: A review-based analysis of its potential incorporation capacity by the construction sector**, Cleaner Waste Systems, v. 7, p. 100-137, fev. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100137

[4] Otieno, F.; Shukla, S.K. **An insight into failure of iron ore mine tailings dams**, International Journal of Mining Reclamation and Environment, v. 37, p. 127–147, dez. 2022. DOI: https://doi.org/10.1080/17480930.2022.2159295

[5] Saldanha, R.B.; Caicedo, A.M.L.; Araújo, M.T.; Scheuermann Filho, H.C.; Moncaleano, C.J.; Silva, J.P.S.; Consoli, N.C. **Potential use of iron ore tailings for binder production: A life cycle assessment**, Construction and Building Materials, v. 365, nov. 2022, DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130008

[6] Villela, M. **Tratamento de rejeitos é solução alternativa e economicamente viável à barragem de mineradoras**, 2016, IPT, disponível em: http//Www.Ipt.Br/Noticias), acesso em 10 de janeiro 2024.

[7] 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, mar. 2021, DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122968

[8] Arbili, M.M.; Alqurashi, M.; Majdi, A.; Ahmad, J.; Deifalla, A.F. **Concrete Made with Iron Ore Tailings as a Fine Aggregate: A Step towards Sustainable Concrete**, Materials, v. 15, set. 2022, DOI: https://doi.org/10.3390/ma15186236

[9] Pires, M.; Fidelis, R.J.A.; Resende, D.S.; Bezerra, A.C.S. **Phosphate rock waste in the production of cement tile**, Results Engineering, v. 16, out. 2022, DOI: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100701

[10] Fontes, W.C.; Carvalho, J.M.F.; Andrade, L.C.R.; Segadães, A.M.; Peixoto, R.A.F. **Assessment of the use potential of iron ore tailings in the manufacture of ceramic tiles: From tailings-dams to "brown porcelain"**, Construction and Building Materials, v. 206, p. 111–121, fev. 2019, DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.052

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 9457:** Ladrilhos hidráulicos para Pavimentação - Espcificação e Métodos Ensaio, Rio de Janeiro, 2013.

[12] AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM), **Report mensal Barragens de Mineração,** 2023, disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens, acesso em 10 de janeiro 2024.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10007:** Amostragem Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

[14] Wimalasiri, P.M.; Harrison, R.; Olejar,K.J.; Hider, R.;Tian, B. **Colour characterisation of two-year-old Pinot noir wines by UV–Vis spectrophotometry and tristimulus colourimetry (CIELab): Effect of whole bunch or grape stems addition**, Interntional Journal of Food Science Technology, v. 58, p. 1176–1185, Dez. 2022. DOI: https://doi.org/10.1111/ijfs.16264

[15] Tsivas, D.; Vlyssides, A.; Vlysidis, A. **Differentiation of the composting stages of green waste using the CIELAB color model**, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1002/jctb.7370

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7215**: Cimento Portand - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio Janeiro, 2019.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

[18] Li, H.; Chen, H.; Wei, M.; Wang, R.; Lei, N.; Wang, Q. **Design and preparation of double-**

layer iron ore tailings cement-based electromagnetic wave absorbing materials containing carbon black and steel fiber, Construction and Building Materials, v. 364, dez. 20232. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129972

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação, Rio de Janeiro, 2004.