

Aproveitamento sustentável da escória de aciaria

Leonardo Neves¹ Vinicius Delmo de Oliveira Melo² Ricardo Luiz Perez Teixeira^{3*} Leonardo Lúcio de Araújo Gouveia⁴ Paulo Renato Perdigão de Paiva¹ 

Resumo

O gerenciamento inadequado de resíduos sólidos tem gerado preocupação global, o tratamento destes materiais exige ações no sentido de atenuar seus impactos socioeconômicos e ambientais. Este estudo concentra-se no aproveitamento da escória de aciaria na produção de blocos intertravados para pavimentação, buscando benefícios sociais, econômicos e ambientais. A pesquisa explorou métodos de produção e proporções adequadas para compor os blocos, utilizando a escória de acordo com as normas NBR 7215 e NBR 5739. A resistência notável dos blocos, com corpos de prova suportando mais de 40 MPa no ensaio de compressão, atendeu aos requisitos mínimos de segurança, combinando estética e aplicabilidade. A médio prazo, prevê-se a redução do acúmulo de resíduos, impulsionando empregos e benefícios econômicos para indústrias e cidades, além de avanços ambientais. A granulometria ideal da escória foi obtida por moagem e peneiramento, superando expectativas de força de compressão para o rompimento dos corpos de prova, obtendo resistência em até 60 MPa. A pesquisa, contudo, demanda continuidade, devido a limitações temporais, com foco futuro no comportamento da escória na argamassa e no concreto, aprimorando sua compreensão e ampliando sua aplicabilidade na gestão sustentável de resíduos sólidos.

Palavras-chave: Aciaria; Blocos intertravados; Escória de aciaria; Gestão de resíduos sólidos; Reaproveitamento; Sustentabilidade.

Sustainable utilization of steel slag

Abstract

Solid waste management has generated global concern, the proper treatment of these materials requires actions to mitigate their socioeconomic and environmental impacts. This study focuses on the utilization of steel slag in the production of interlocking blocks for pavement, aiming for social, economic, and environmental benefits. The research explored production methods and appropriate proportions for composing the blocks, adhering to the standards NBR 7215 and NBR 5739. The notable strength of the blocks, with specimens supporting over 40MPa in the compression test, met the minimum safety requirements, combining aesthetics and applicability. In the medium term, a reduction in waste accumulation is anticipated, driving employment and economic benefits for industries and cities, along with environmental advancements. The ideal particle size distribution of the slag was achieved through milling and sieving, exceeding expectations of compression strength for the rupture of test specimens, resisting up to 60MPa. However, the research requires continuity due to time constraints, with a future focus on the slag's behavior in concrete, enhancing understanding and expanding its applicability in sustainable solid waste management.

Keywords: Steel slag; Interlocking blocks; Steelmaking; Solid waste management; Reuse; Sustainability.

¹Curso de Engenharia de Materiais e Técnico em Mecânica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

²Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

³Instituto de Engenharias Integradas, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Campus Theodomiro Carneiro Santiago, Itabira, MG, Brasil.

⁴Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, João Monlevade, MG, Brasil.

*Autor correspondente: ricardo.luz@unifei.edu.br



1 Introdução

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 [1], define uma ordem de prioridade para a gestão de resíduos, começando pela prevenção e redução, seguida pela reutilização e reciclagem, e, quando não for possível evitar o descarte ele deverá ser realizado de maneira adequada. No Brasil, onde a indústria siderúrgica tem uma forte presença, a gestão ineficaz da escória de aciaria, um subproduto do processo de produção de aço, constitui um grande desafio ambiental, resultando no acúmulo de grandes quantidades de resíduos e riscos de contaminação [2].

As escórias de aciaria geradas pelas siderúrgicas variam principalmente conforme o processo tecnológico utilizado, elas podem ser geradas nos fornos elétricos a arco (FEA) ou nos fornos à oxigênio (LD). Devido às suas características químicas e físicas, ambas possuem grande potencial para uso na construção civil, em substituição aos agregados naturais. Pesquisas publicadas tanto no Brasil quanto no exterior confirmam que o uso dessas escórias como substitutos, além de cumprir os requisitos técnicos, muitas vezes melhora as propriedades mecânicas dos materiais de construção [3].

Portanto este estudo tem como objetivo investigar sua viabilidade como substituto completo da areia na produção de blocos para pavimentação em diferentes proporções [4]. Além disso, exploraremos seu potencial aglutinante como alternativa ao cimento. O propósito é contribuir para uma melhor compreensão e aproveitamento desse subproduto industrial em contextos construtivos e sustentáveis.

2 Revisão bibliográfica

As escórias de aciaria, subprodutos da produção de aço, são classificadas em oxidantes e redutoras, geradas pelos processos de produção e utilizadas para dessulfurar o metal líquido. Diferentes tipos de escória, como granulada, pelotizada e cristalizada, são obtidos através de métodos distintos de resfriamento, refletindo em suas propriedades e aplicações industriais. Classificadas como resíduos perigosos, exigem tratamento especial devido aos riscos à saúde e ao meio ambiente, e sua composição varia de acordo com diversos fatores, como tipo de aço produzido e método de resfriamento [5-8].

A escória de aciaria é rica em óxido e hidróxido de cálcio, bem como apresenta em sua composição fases semelhantes à do clínquer Portland, tais como silicatos dicálcico e tricálcico (Ca_2SiO_4 e Ca_3SiO_5), além de ferroaluminato tetracálcico ($\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$), conferindo hidraulicidade à escória, ainda que menos significativamente comparado à escória de alto-forno e ao clínquer Portland. Estas características da escória de aciaria, permitem que o resíduo seja um possível substituto do ativador alcalino para a escória de alto forno, em formulações cimentícias [9-11].

As escórias de aciaria possuem características físicas distintas, como morfologia angular e superfície áspera, que resultam de seu processo de formação durante a produção de aço [12,13]. Essas propriedades, detalhadas na Tabela 1, desempenham um papel crucial em várias aplicações industriais, especialmente na incorporação em misturas de argamassas, de concreto e de outros materiais de construção [12]. A produção mundial de aço gera cerca de 150 kg de escória para cada tonelada de aço produzido, encontrando aplicação em diversos setores, como produção de fertilizantes, estabilização de solos e uso na indústria cimenteira [13]. Apesar dos desafios de expansibilidade, sua reutilização traz benefícios ambientais, técnicos e econômicos significativos [13-16].

Por causa das suas excelentes propriedades mecânicas, a escória de aciaria tem sido amplamente empregada em argamassas e concretos, tanto como agregado (em diversas granulometrias) quanto como adição mineral. Monosi et al. [17] investigaram o uso da escória de aciaria proveniente de fornos elétricos a arco, substituindo completamente o agregado graúdo e parcialmente o agregado miúdo (até 42%). Após 28 dias, os concretos com maior proporção de escória e resistência média de 35 MPa apresentaram um aumento de até 41% na resistência à compressão em comparação ao concreto de referência. Da mesma forma, San-José et al. [18], ao substituir integralmente os agregados graúdos e 30% dos miúdos, observaram concretos com resistências à compressão 36,5% superiores às dos concretos convencionais.

De forma geral, a substituição de agregados no concreto tende a melhorar suas propriedades mecânicas. Diversos estudos relataram aumento no módulo de elasticidade e na resistência à compressão [17-19]. De acordo com Biskri et al. [20] a utilização de agregados graúdos de escória de aciaria em concretos de alto desempenho, em conjunto com adições minerais como sílica ativa e escória granulada de alto-forno, também levou a resistências à compressão superiores, com um aumento de 24% e 17,7%, respectivamente, em comparação com concretos convencionais de alto desempenho.

Em relação às propriedades físicas dos concretos com escória de aciaria, eles geralmente apresentam uma massa específica maior em comparação aos concretos convencionais, devido à alta densidade desse agregado [9,17,18,21]. Dado o foco na criação de produtos mais duráveis, as pesquisas envolvendo escória de aciaria têm se concentrado cada vez mais na análise de seu desempenho a longo prazo.

Tabela 1. Propriedades físicas da escória de aciaria

Propriedades	Valores Típicos
Massa específica	3,2-3,6 (g/cm ³)
Massa unitária	1,3-1,9 (g/cm ³)
Absorção de água (porcentagem/massa)	< 3%
Índice de abrasão (ASTM C131)	20-25%
Ensaio de sanidade com Sulfato de sódio	< 12%
Angulo de atrito interno	40-50°
Dureza (escala Moh)	6-7
índice de suporte Califórnia (CBR)	até 300%

Tabela 2. Composição da escória de aciaria doada pela Vallourec S.A.

Al_2O_3	CaO	FeO	MgO	MnO	P_2O_5	SiO_2
1,17%	51,57%	19,75%	5,51%	2,79%	1,66%	17,55%

No contexto da pavimentação, os blocos intertravados se destacam como uma solução eficiente, atendendo às forças verticais e horizontais e sendo regulamentados por normas como a ABNT NBR 9781 e ABNT NBR 9780 [22,23]. Esses blocos são amplamente utilizados em diversas aplicações, como vias urbanas e rurais, ciclovias e pátios industriais [24]. Para garantir uma instalação adequada, é essencial o confinamento dos blocos, o uso de juntas de areia, e a preparação correta do subleito, sub-base e base [25].

3 Materiais e métodos

Nesta pesquisa, foram empregados diversos materiais para a produção dos corpos de prova como óleo queimado utilizado como desmoldante, cimento Portland CP V de secagem rápida e escória de aciaria fornecida pela Vallourec em substituição a areia lavada. A Tabela 2 apresenta a composição química da escória utilizada, destacando os principais óxidos presentes.

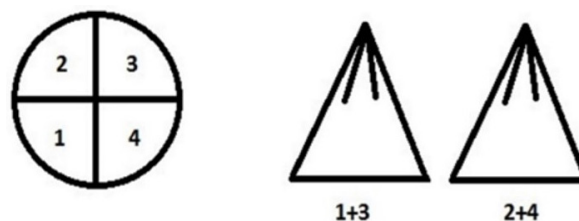
Os procedimentos realizados incluíram a moagem da escória, seguida de peneiramento para a obtenção de quatro faixas granulométricas e a análise da densidade. As proporções da mistura escória com cimento foram definidas com base em traços preestabelecidos (Tabela 3). Sendo o traço 1, o padrão proposto na norma ABNT NBR 7215 [26] e os traços 2, 3 e 4, um estudo da substituição do cimento pela escória de maneira gradual, com o acréscimo crescente de 2,5% na composição da escória a partir da composição do traço 1 (padrão). Para assegurar a homogeneização, utilizou-se o método de quartejamento em pilha cônica, repetindo o processo quatro vezes, conforme mostrado na Figura 1.

Para a fabricação dos corpos de prova, é essencial seguir os procedimentos adequados de preparação da argamassa, respeitando os traços e proporções estabelecidos pela norma ABNT NBR 7215 [26]. Porém, o processo envolve a mistura do cimento com a escória (em substituição a areia), previamente quarteeada, seguida pela adição de água até atingir a consistência desejada, ajustada visualmente e de forma incremental, conforme as especificações da norma. Os corpos de prova foram moldados de acordo com as diretrizes, utilizando moldes cilíndricos, e submetidos a um regime de cura definido pela norma, que consiste em 24 horas de cura ao ar, seguidas de cura em água saturada com cal. A resistência foi avaliada em períodos de 28 e 90 dias [26], destacando-se os ensaios mecânicos de compressão realizados aos 28 e 90 dias, por serem considerados os intervalos de cura mais representativos para analisar o comportamento mecânico da argamassa dentro do contexto proposto. A Tabela 4 apresenta a quantidade de água utilizada em cada traço e os respectivos tempos de cura.

Tabela 3. Relação em porcentagem de cimento e escória por traço

Traço	% Cimento	% Escória
1*	25%	75%
2	22,5%	77,5%
3	20%	80%
4	17,5%	82,5%

*O traço 1 foi baseado na ABNT NBR 7215, seguindo proporção de 1:3.

**Figura 1.** Processo de quartejamento

Foram produzidos 16 corpos de prova para cada traço como proposto na Tabela 2. Após o período de cura, eles foram submetidos ao teste de compressão, utilizando uma base de neoprene para assegurar maior qualidade [26]. O ensaio de compressão foi realizado com uma máquina de ensaio universal *Emic*, modelo *DL30000N*, que aplicou compressão contínua e uniforme nos corpos de prova, permitindo uma análise precisa de suas propriedades mecânicas [27].

4 Resultados e discussões

A granulometria da escória foi classificada com base nos resultados obtidos durante o processo de peneiramento, conforme os requisitos da norma ABNT NBR 7211 [28]. Embora tenha havido um desvio em relação à linha padrão estabelecida pela norma, devido à não consideração da escória retida no fundo durante a elaboração da planilha, a granulometria da escória se enquadrou na faixa 4, como ilustrado na Figura 2. Isso indica sua adequação para a produção de concretos, atendendo às especificações necessárias.

Os ensaios de compressão mecânica, realizados após 28 e 90 dias de cura (Figura 3 e Tabela 5), forneceram dados essenciais sobre as propriedades do concreto com diferentes percentuais de substituição de cimento por escória de aciaria.

As amostras testadas em triplicata mostraram que a substituição de 82,5% do cimento por escória resultou nas menores resistências à compressão, com valores de 22,58MPa aos 28 dias e 33,97MPa aos 90 dias, evidenciando um desempenho inferior em relação às outras proporções. Na substituição de

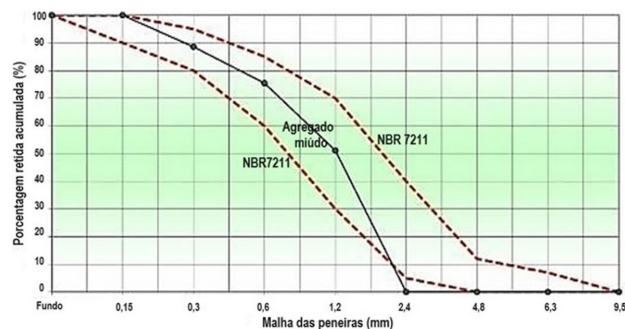
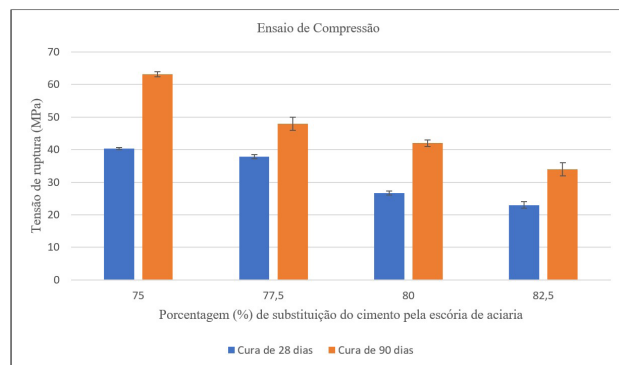
Tabela 4. Quantidade de água dos traços

Tempo de cura	17,5%	20,0%	22,5%	25,0%
28 dias	450 mL	475 mL	495 mL	520 mL
90 dias	440 mL	480 mL	505 mL	525 mL

Tabela 5. Resultados dos ensaios de compressão após 28 e 90 dias de cura, para as substituições realizadas

Porcentagem de substituição do cimento pela escória de aciaria	Resistencia a compressão após 28 dias de cura (MPa)	Resistencia a compressão após 90 dias de cura (MPa)
75,0 (traço 1*)	40,32 ± 0,26	63,05 ± 0,83
77,5 (traço 2)	38,02 ± 1,77	48,43 ± 1,90
80,0 (traço 3)	26,73 ± 0,62	41,82 ± 1,10
82,5 (traço 4)	22,58 ± 1,20	33,97 ± 1,66

*: O traço 1 foi baseado na ABNT NBR 7215, seguindo proporção de 1:3.

**Figura 2.** Granulometria da escória**Figura 3.** Resultados dos ensaios de compressão após 28 e 90 dias de cura, para as substituições realizadas.

80%, a resistência aos 28 dias foi de 26,73MPa, sem diferença significativa, mas após 90 dias, o valor subiu para 41,83MPa, revelando uma melhora relevante. A substituição de 77,5% destacou-se como a mais promissora, alcançando resistências de 38,02MPa aos 28 dias e 48,43 MPa aos 90 dias. Esses resultados foram comparados ao traço de referência baseado na norma ABNT NBR 7215 [26,29], que registrou resistências de 40,32 MPa aos 28 dias e 63,05 MPa aos 90 dias, confirmando que, apesar do potencial das substituições com escória, o traço de referência ainda apresenta melhor desempenho em

termos de resistência. Quando se avalia a utilização da escória em substituição a areia lavada, nota-se o excelente resultado quando comparado aos padrões propostos pela norma ABNT NBR 9781 [30]. Tal norma define que a resistência mínima à compressão exigida é de 35 MPa para pavimentações destinadas ao tráfego de pedestres, veículos leves e comerciais de linha, e de 50 MPa para veículos especiais e aplicações sujeitas a fortes solicitações de abrasão, sendo esses valores estabelecidos para uma idade de cura de 28 dias. No entanto, é importante observar que essa resistência mínima pode ser atingida em idades superiores a 28 dias, desde que os blocos atinjam os valores especificados no momento da instalação nos pavimentos. Medeiros-Júnior et al. [31] demonstram que cimentos como CPII e CPV podem necessitar de mais de 60 dias de cura para alcançar uma resistência à compressão de 50 MPa, evidenciando que cimentos comerciais podem requerer períodos mais longos de cura do que os 28 dias previstos. Neste contexto, o traço 1, apresentou 15,20% acima da resistência mínima para pavimentações destinadas ao tráfego leve na cura de 28 dias e 26,10% acima da resistência mínima para tráfego de veículos especiais na cura de 90 dias.

O traço 2 apresenta resultados promissores para aplicação em pavimentação, especialmente para o tráfego de veículos leves. Mas, ao considerar os ensaios de compressão realizados após 90 dias de cura, o traço 3 também poderia ser considerado adequado para o mesmo propósito, ampliando as opções de utilização.

5 Conclusões

A análise da granulometria da escória demonstra sua conformidade com as especificações da norma ABNT NBR 7211, apesar do desvio em relação ao pontilhado da norma devido à não consideração da escória retida no fundo na elaboração da planilha, sugerindo uma classificação na faixa 4 e indicando conformidade com os requisitos para agregados destinados a argamassas.

Os ensaios de compressão mecânica demonstraram uma correlação positiva entre o aumento do teor de cimento

e o aprimoramento contínuo da resistência à compressão, à medida que a substituição do cimento por escória de aciaria diminuía. Em especial, a amostra com 77,5% de escória em substituição ao cimento destacou-se por seu bom desempenho, reforçando a confiabilidade e a homogeneidade do material. A substituição completa da areia pela escória, baseado na norma ABNT NBR 7215, trouxe o melhor resultado na resistência a compressão, mostrando que a substituição da areia pela escória resultados acima dos padrões para utilização em pavimentos.

A utilização de escória de aciaria em argamassas demonstrou ser uma forma promissora de manejo deste

resíduo sólido, indicando uma excelente forma de reduzir a poluição causado em seu descarte, gerando assim, um impacto positivo no meio ambiente e sociedade. Para estudos futuros, recomenda-se explorar a influência de outros fatores, como adições de aditivos ou variações nas condições de cura, além de investigar o desempenho dos materiais em ambientes mais próximos das condições reais de campo. Distender os períodos de cura além dos 90 dias e aprofundar os estudos sobre a granulometria da escória também são áreas promissoras de pesquisa, visando uma compreensão mais refinada das propriedades e um aprimoramento contínuo das aplicações práticas desses materiais na Engenharia Civil.

Referências

- 1 Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Diário Oficial da União. 2010 Ago 2.
- 2 Sibucks A, Oliveira CG, Molica JR Fo, Oliveira VT, Oliveira VT. Identificar e quantificar os metais presentes da lama de aciaria e propor uma destinação. Revista Produção Online. 2019;19(1):274-289.
- 3 Faria RAF. Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas e da durabilidade de concretos com Escória de Aciaria Elétrica (EAF) como agregado graúdo [dissertação]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás; 2007.
- 4 Sersale R. Characterization and potential uses of steel slag. Brussels: Silicates Industriels; 1986.
- 5 Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União. 2010 Ago 3.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 7501:2020: resíduos sólidos: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT; 2020.
- 7 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 13028:2017: resíduos sólidos: amostragem de resíduos. Rio de Janeiro: ABNT; 2017.
- 8 Brasil. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União. 1998 Fev. 13.
- 9 Carvalho SZ, Vernilli F, Almeida B, Demarco M, Silva SN. The recycling effect of BOF slag in the Portland cement properties. Resources, Conservation and Recycling. 2017;127:216-220.
- 10 Ahmed MJ, Santos WF, Brouwers HJH. Air granulated basic Oxygen furnace (BOF) slag application as a binder: Effect on strength, volumetric stability, hydration study, and environmental risk. Construction & Building Materials. 2023;367:130342.
- 11 Zepper JCO, van der Laan SR, Schollbach K, Brouwers HJH. Reactivity of BOF slag under autoclaving conditions. Construction & Building Materials. 2023;364:129957.
- 12 Polese MO, Carreiro GL, Silva MG. Steelslag microstructural characterization. Matéria (Rio de Janeiro). 2006;11:442-452.
- 13 Benitez LH, Marques JDC No, Ferreira FGS, Chotoli FF, Santos RFC, Guilge MS. Bloco de concreto com incorporação de escória de aciaria BSSF: um estudo para substituição de agregados naturais. Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB. 2022;59(3):785-801.
- 14 Saade MRM, Oliveira BM, Silva MG, Silva VG. Aplicação da análise do ciclo de vida na construção civil: discussão sobre alocação de impactos entre o aço e suas escórias. PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção. 2011;1(6):97-114.
- 15 Oliveira BS, Cordeiro J, Neves PCB, Calazans GM, Costa JGS. Avaliação do potencial do reaproveitamento da escória de aciaria LD como agregado siderúrgico. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. 2018;7(2):206-229.
- 16 Gumieri AG, Dal Molin DCC, Vilela ACF. Utilização de escória de aciaria do processo Linz-Donawitz como adição em cimentos. Tecnológica em Metalurgia, Materiais e Mineração. 2004;1(1):69-74.
- 17 Monosi S, Ruello M, Sani D. Electric arc furnace slag as natural aggregate replacement in concrete production. Cement and Concrete Composites. 2016;66:66-72.

- 18 San-José JT, Vegas I, Arribas I, Marcos I. The performance of steel-making slag concretes in the hardened state. *Materials & Design*. 2014;60:612-619.
- 19 Anastasiou E, Filikas K, Stefani M. Utilization of fine recycled aggregates in concrete with fly ash and steel slag. *Construction & Building Materials*. 2014;50:154-161.
- 20 Biskri Y, Achoura D, Chelghoum N, Mouret M. Mechanical and durability characteristics of High-Performance Concrete containing steel slag and crystalized slag as aggregates. *Construction & Building Materials*. 2017;150:167-178.
- 21 Manso J, Polanco J, Losanez M, González J. Durability of concrete made with EAF slag as aggregate. *Cement and Concrete Composites*. 2006;28(6):528-534.
- 22 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 9781: bloco vazado de concreto simples para alvenaria: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT; 1987.
- 23 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 9780: bloco vazado de concreto simples para alvenaria: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT; 1987.
- 24 Silva WBCD, Barroso SHDA, Cabral AEB. Avaliação da aplicação de cinzas pesadas de termelétrica em blocos intertravados de concreto para pavimentos. *Matéria*. 2020;25(1):e12570.
- 25 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 13028:2017: resíduos sólidos: amostragem de resíduos. Rio de Janeiro: ABNT; 2017.
- 26 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 7215: cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT; 1996.
- 27 Instron Brasil Equipamentos Científicos Ltda. Máquinas de ensaio universais [Internet]. 2023 [acesso em 21 fev. 2024]. Disponível em: <https://www.instron.com/pt-br/products/testing-systems/universal-testing-systems>
- 28 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 7211:2017: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro: ABNT; 2017.
- 29 Arrivabene LF, Pinto LAB Jr, Oliveira JRD, Tenório JAS, Espinosa DCR. Viabilidade técnica da fabricação de cimento com mistura de escória de aciaria LD e resíduo de granito. *Revista Escola de Minas*. 2012;65(2):241-246.
- 30 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 9781: peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT; 2013.
- 31 Medeiros-Júnior RA, Lima MG, Medeiros MHF, Real LV. Investigação de resistência à compressão e da resistividade elétrica de concretos com diferentes tipos de cimento. *Revista ALCONPAT*. 2014;4(2):113-131.

Recebido em: 21 Fev. 2024

Aceito em: 9 Nov. 2024

Editor responsável: André Luiz Vasconcellos da Costa e Silva 