Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DO USO DE ESCÓRIA DE ACIARIA EM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO[1]

MACIEL, Francisco W. F. (1); SOUSA, Matheus (2); CABRAL, Antônio E. B. (3)

(1) Universidade Federal do Ceará (UFC), wandisley@alu.ufc.br
(2) Universidade Federal do Ceará (UFC), matheusgomes@alu.ufc.br
(3) Universidade Federal do Ceará (UFC), eduardo.cabral@ufc.br

RESUMO

A fim de minimizar problemas ambientais e de gerenciamento, um possível uso para as escórias produzidas como subprodutos durante a produção do aço é como agregado para blocos de concreto. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o uso de escória de aço BOF (Basic Oxygen Furnace) na substituição parcial de agregado graúdo) na produção de blocos intertravados de concreto. Amostras de Pavers com 0%, 30% e 50% de substituição de escória em volume foram produzidas e tiveram suas dimensões e resistência à compressão medidos, além do teste de consistência em estado fresco. Os resultados para avaliação visual e análise dimensional foram condizentes com a norma, mas não se atingiram os valores normativos para resistência à compressão aos 7 dias de idade para uso em pavimentação. Porém, os resultados também mostraram que a resistência à compressão das amostras aumentou à medida que a taxa de substituição também aumentou, até o limite de 50%, em comparação à referência. Esse fato demonstra o potencial uso de um subproduto da indústria siderúrgica atualmente visto como um desperdício, agora como material de construção.

Palavras-chave: *Escória de aciaria. Concreto. Blocos intertravados.*

ABSTRACT

In order to minimize environmental and management problems, a possible use for these slags is as aggregate for concrete paving blocks. The objective of this paper is to evaluate the use of BOF steel slag in partial substitution of coarse aggregate (gravel) on the production of concrete interlocking pavers. Paver specimens with 0%, 30% and 50% of slag substitution in volume were cast and had their dimensions, compressive strength and abrasion resistance measured, besides the consistence test in fresh state. The results for visual evaluation and dimensional analysis fit the standard, but did not reach normative values for compressive strength at 7 days of age for paving. Although, the results also showed that the compressive strength of the specimens has increased as the substitution rate also increased, until the limit of 50%, compared to reference. This fact demonstrates the potential use of a byproduct of the steel industry currently seen as a waste, now as a construction material.

Keywords*: Steel slag. Concrete. Pave blocks.*

[1] MACIEL, Francisco W. F.; SOUSA, Matheus; CABRAL, Antônio E. B. Avaliação do uso de escória de aciaria em blocos intertravados de concreto para pavimentação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

A produção do aço gera uma quantidade considerável de resíduos e coprodutos. Segundo o Instituto Aço Brasil (2018), no ano de 2017, foram geradas, aproximadamente, 21 milhões de toneladas de subprodutos, tais como pós, lamas, escórias, carepas, dentre outros. Desses resíduos, aquele proveniente da etapa de refino em conversores de oxigênio denomina-se escória de aciaria tipo BOF (XUE *et al*., 2006). Esse resíduo vem sendo estudado nos últimos anos em aplicações como substituição de agregado miúdo e graúdo em concreto convencional, concreto asfáltico para estradas, estudos de expansividade em concreto, dentre outros (BRAND; ROESLER, 2015; LI; DING, RAHMAN e HE, 2016; DING *et al*., 2017).

Na Companhia de Siderurgia do Pecém (CSP), localizada no município de São Gonçalo do Amarante, Ceará, há a formação de quatro tipos de escória, sendo duas provenientes do processo de refino, em forno de conversão de oxigênio. Em prol do reaproveitamento de resíduos, com fins de sustentabilidade, este trabalho utilizou um dos tipos de escória produzidas nessa usina (BSSF) para substituição parcial de agregado graúdo na fabricação de blocos intertravados de concreto para pavimentação, haja vista a necessidade de estudos acerca da viabilidade do aproveitamento dos resíduos gerados pela indústria siderúrgica. Dessa forma, o objetivo foi avaliar o uso de escória de aciaria em blocos intertravados de concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O principal processo de fabricação do aço se inicia com a redução dos minérios de ferro em alto forno. No processo de refino do aço, são produzidos três tipos de escória (PFEIL; PFEIL, 2016). Cerca de 41% de toda a escória de aciaria produzida formam estoques passivos e, por isso, precisam ser aproveitados, a fim de reduzir riscos ambientais e econômicos (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2018). Vários trabalhos analisam a utilização dessas escórias como componentes de construção (LI *et al*., 2016; ROSSA; PORTELLA 2012), destacando-se o uso em blocos intertravados de pavimentação (ABDELBARY; MOHAMED, 2018). Os blocos de concreto, também como conhecidos como *pavers*, são peças pré-fabricadas, maciças e que permitem constituir pavimentos intertravados de concreto a partir da justaposição destas peças (BITTENCOURT, 2012; ALCANTARA, 2018).

Penteado *et al*. (2019) em seu estudo sobre o uso de escória de forno de arco elétrico para produção de blocos de pavimentação em concreto, procederam à substituição de agregado graúdo natural por agregado de escória nos teores de 25%, 50% e 75% em relação à referência sem substituição, e o traço utilizado foi de 1:2:3:0,51 (cimento:areia:agregado graúdo:água) para todos os teores e testaram os blocos fabricados em relação à resistência à compressão. Os resultados mostraram que a adição de escória provocou um aumento (aos 7 dias) na resistência à compressão do *paver*. Os autores afirmam que isso pode ocorrer em razão da superfície rugosa da escória, que promove uma maior adesão à pasta de cimento, aumentando a resistência mecânica do concreto. Além disso, para absorção de água dos blocos aos 28 dias de idade, os autores perceberam que esta foi reduzida para os traços que continham escória, em relação à referência, sem substituição (PENTEADO *et al.*, 2019).

De maneira similar, substituindo-se agregado graúdo natural por escória de forno de arco elétrico em blocos de pavimentação em concreto, Abdelbary e Mohamed (2018) avaliaram a resistência à abrasão e à compressão e absorção de água, dessa vez para diferentes proporções de mistura e com diferentes teores de substituição de

agregado. Notou-se que, similarmente ao que ocorre com o trabalho de Penteado *et al*. (2019), no trabalho de Abdelbary e Mohamed (2018) a resistência à compressão aumentou cerca de 29% e a absorção de água diminui cerca de 25% com a substituição de agregado graúdo natural por escória de aciaria de arco elétrico (quando analisado os teores de 0% e 100% de substituição). Além disso, essas relações ocorrem de maneira proporcional ao teor de substituição, assim como a resistência à abrasão é melhorada conforme se aumenta a quantidade de escória (ABDELBARY; MOHAMED, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

A água utilizada para a confecção dos blocos intertravados de concreto foi proveniente do sistema de abastecimento local da Universidade Federal do Ceará – *Campus* do Pici. O aditivo utilizado tem função plastificante e densificador de concreto, com massa específica igual a 1,012 g/cm³ e isento de cloretos. O aglomerante utilizado foi o cimento do tipo CP V-ARI da marca Apodi, pela necessidade de desforma rápida. Os agregados naturais utilizados no estudo são provenientes de uma pedreira situada no munícipio do Eusébio, Ceará. Para essa pesquisa, utilizaram-se como agregados miúdos a areia natural e o pó de brita e como agregado graúdo a brita 12,5mm, cujas propriedades são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades dos agregados utilizados

Propriedade	Agregado miúdo (Areia)	Agregado miúdo (Pó de brita)	Agregado graúdo (Brita 12,5mm)
Massa específica (g/cm³)	2,62	2,6	2,45
Massa unitária solta (g/cm³)	1,47	1,46	1,45
Massa unitária compactado (g/cm³)	1,58	-	-
Absorção (%)	-	-	0,87
Teor de argila (%)	2,44	-	-
Módulo de Finura	2,64	3,02	5,97
Dimensão máxima característica (mm)	2,36	4,75	12,5

Fonte: Os autores (2020)

Utilizou-se a escória gerada na fabricação de aço através do processo *Basic Oxygen Furnace* (BOF) na Companhia de Siderurgia. Suas propriedades encontram-se resumidas na Tabela 2.

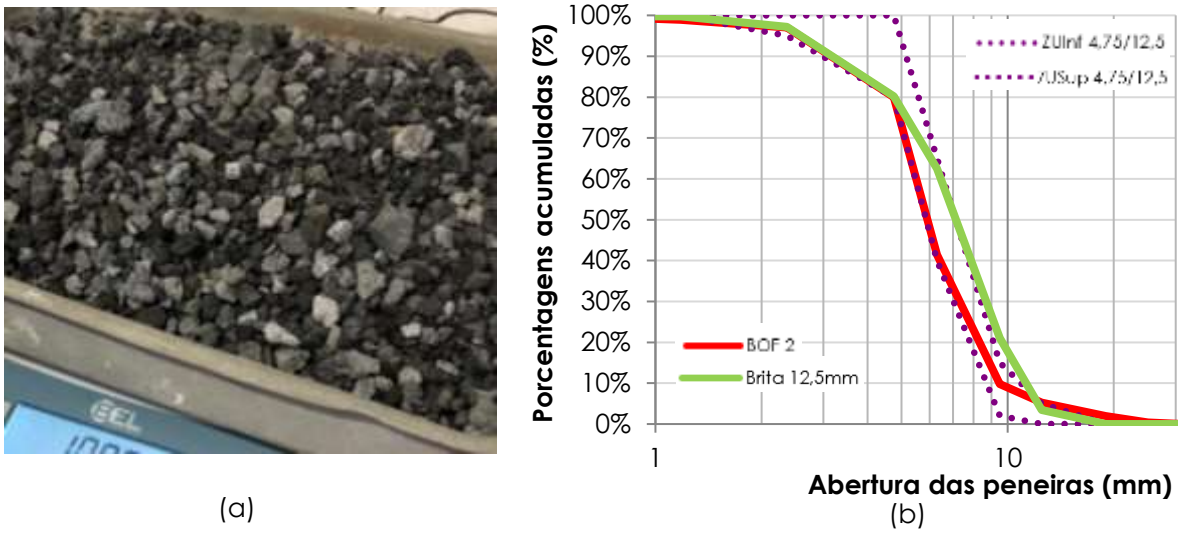
Tabela 2 – Propriedades dos agregados utilizados

Propriedade	Norma	Resultado
Massa específica (g/cm³)	NM 53	3,48
Absorção (%)	NM 53	0,7
Módulo de Finura	NM 248	5,63
Dimensão máxima característica (mm)	NM 248	12,5
Índice de abrasão Los Angeles (%)	NM 51	19,7

Fonte: Os autores (2020)

Foi realizado tratamento granulométrico na escória para que sua granulometria se assemelhasse à do agregado graúdo e, assim, sua utilização fosse possível, como substituta deste, deixando-a nas mesmas proporções. A Figura 1 apresenta o resultado após tratamento.

Figura 1 – (a) Foto do resíduo utilizado e (b) Curva granulométrica da Escória BOF 2 e da Brita 12,5mm após tratamento granulométrico da escória



(a) (b)

Fonte: Os autores (2020)

3.2 Método de Pesquisa

Conforme traço estabelecido na Tabela 3, optou-se por produzir 03 traços, sendo um de referência (TR) e dois com substituição em volume de agregado graúdo por escória de aciaria em 30% (T30) e 50% (T50), conforme Tabela 4. Esses traços foram definidos com base nos trabalhos de Penteado *et al.* (2019), Abdelbary e Mohamed (2018) e Alcantara (2018).

Tabela 3 – Traço de referência do concreto usado

Traço	Cimento	Areia Natural	Pó de Pedra	Brita 12,5 mm	Relação água/cimento
Referência	1	0,90	3,90	1,20	0,44

Fonte: Os autores (2020)

Tabela 4 – Consumo (kg/m³) dos materiais na composição dos traços

Traço%	Cimento	Areia Natural	Pó de Pedra	Brita 12,5 mm	Escória BOF 2	Água
TR	142,86	128,57	557,14	171,43	-	59,99
T30	142,86	128,57	557,14	120,00	71,30	61,39
T50	142,86	128,57	557,14	85,71	118,83	62,31

Fonte: Os autores (2020)

A etapa seguinte foi a fabricação dos blocos. Para isso, utilizou-se a máquina Vibroprensa da empresa Tprex. A fabricação deu-se pela pesagem e separação dos materiais conforme os traços, seguindo pela mistura na betoneira, transporte para a vibroprensa e desforma.

Os blocos fabricados tiveram dimensão de 200 mm x 100 mm x 80 mm (C x L x H),

resultando em uma área de carregamento de 6193 mm². Após a confecção dos blocos, foram realizados os ensaios conforme estabelecidos na Tabela 5, de acordo com o que preconiza cada norma. Os blocos foram curados ao ar, cobertos por saco plástico e sob "pallets" até as idades estabelecidas para ensaio.

Tabela 5 – Ensaios do estado seco e endurecido dos blocos

Ensaio	Norma
Consistência pelo consistômetro "VeBe"	ACI 211.3
Inspeção Visual	NBR 9781/2013
Avaliação Dimensional	NBR 9781/2013
Absorção de Água	NBR 9781/2013
Resistência à Compressão	NBR 9781/2013

Fonte: Os autores (2020)

O ensaio de consistência foi realizado antes de lançar o concreto preparado na Vibroprensa. Esse procedimento foi realizado conforme norma ACI 211.3, do Instituto Americano de Concreto, para todos os traços. Inicialmente, fez-se o lançamento do concreto, seguido pelo abatimento do cone e, por fim, o ensaio com mesa vibratória e aferição do tempo de compactação da mistura

O ensaio de inspeção visual e a avaliação dimensional seguiram o que preconiza a norma ABNT NBR 9781 (2013). Foram avaliadas 18 peças (06 por traço). O ensaio de resistência à compressão foi realizado aos 7 dias e, posteriormente, aos 28 dias juntamente com o de absorção de água, ensaios estes preconizados pela mesma norma.

4 RESULTADOS

Os resultados do ensaio de consistência VeBe no estado fresco estão sumarizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado do ensaio de consistência

Traço	Abatimento (mm)	Tempo VeBe (s)	Descrição da consistência
TR	0	21,0	Extremamente seco
T30	0	23,5	Extremamente seco
T50	0	24,0	Extremamente seco

Fonte: Os autores (2020)

Os resultados apresentados mostram que o concreto tem consistência extremamente seca, isto é, com valor de *slump test* inexpressivo e tempo de VeBe superior a 18 segundos (conforme ACI 211.3), assim indicado para utilização como *pavers*. Devido a essa característica, recomenda-se que a fabricação do produto seja feita com alta compactação, o que é o caso da Vibroprensa.

No estado endurecido, a avaliação visual indicou que o chanfro, as arestas e o ângulo de inclinação estão de acordo com a norma e, por isso, foram aceitas. A análise dimensional também aceitou as peças fabricadas, tendo em vista que o Índice de Forma (IF)[2] resultou em 2, quando a norma exige que esse índice seja igual ou menor que 4. As imagens do ensaio podem ser vistas em:

[2] O Índice de Forma (IF) é calculado pela razão entre o comprimento do bloco e sua espessura (C/L = 200 mm/100 mm = 2).

<http://abre.ai/ensaiopaver2020>.

O ensaio de resistência à compressão contou com 18 amostras, sendo 06 corpos de prova para cada traço. As peças ficaram submersas por 24 horas e foram, posteriormente, submetidas ao rompimento em uma prensa universal de ensaios. Os resultados do ensaio de resistência são apresentados na Tabela 7.

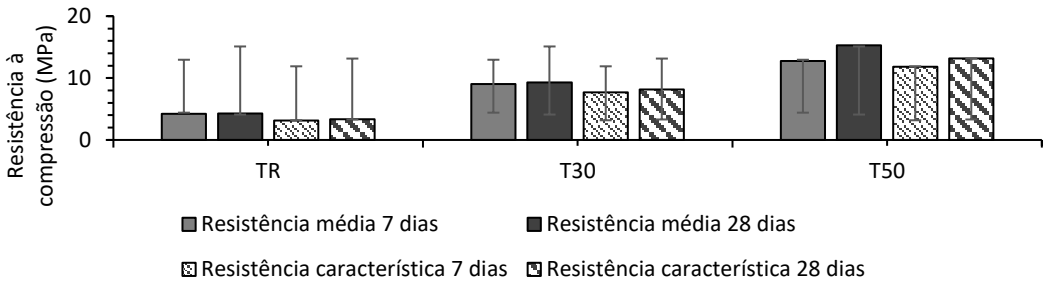
Tabela 7 – Resultado do ensaio de resistência

Traço	Idade (dias)	Carga de ruptura (N)	Resistência média (MPa)	Resistência característica - fpk (MPa)	*Desvio padrão (s)*	*Coeficiente de Student 80% (t)*
TR	7	26397	4,25	3,12	*1,22*	*0,92*
TR	28	26623	4,28	3,35	*1,01*	*0,92*
T30	7	55909	9,03	7,67	*1,48*	*0,92*
T30	28	57455	9,27	8,16	*1,2*	*0,92*
T50	7	79383	12,78	11,84	*1,03*	*0,92*
T50	28	94508	15,27	13,19	*2,25*	*0,92*

Fonte: Os autores (2020)

A resistência à compressão característica obedece a distribuição normal pela curva de *Student* (t) com nível de confiança de 80%, no caso o valor de t=0,92 é oriundo da ABNT NBR 9781 (2013) em função do tamanho da amostra (06 corpos de prova). A partir da Tabela 7, elaboraram-se os gráficos da Figura 2 e notou-se que traço de referência apresentou baixa resistência aos 7 e 28 dias[3]. Acredita-se que esse resultado pode ter sido influenciado pelo tipo de areia utilizado, que, apesar de ser agregado miúdo, possui baixo índice de finos e pode ter influenciado para uma baixa coesão quando na mistura.

Figura 2 – Resultado do ensaio de resistência



Fonte: Os autores (2020)

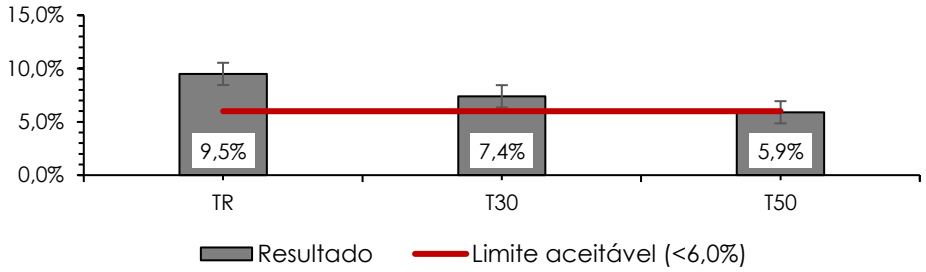
A norma ABNT NBR 9781 (2013) estabelece que a resistência à compressão deve atender aos seguintes valores aos 28 dias: igual ou maior que 35 MPa para tráfego de pedestres e veículos leves; e igual ou maior que 50 MPa para tráfegos com maiores solicitações. Analisando a Figura 2, infere-se que, para o estabelecido na norma, os traços estudados não atingiram o mínimo exigido. Isso pode ser explicado pelo traço e fator água/cimento utilizados, os quais podem não ser os ideais para os materiais utilizados. Todavia, notou-se que a resistência, para todas as idades, aumentou consideravelmente à medida em que se adicionou escória ao traço, o que traz a percepção de que o resíduo pode contribuir com o aumento da resistência.

Esses resultados corroboram com as pesquisas de Abdelbary e Mohamed (2018) e

[3] Notou-se que não houve grandes diferenças de resistência para as idades estudadas, o que já era esperado dada a utilização do cimento CP V-ARI.

Penteado *et al.* (2019), que notaram crescimento da resistência com o aumento de substituição de escória no agregado graúdo para blocos de concreto. A melhoria de resistência pode ser explicada pela boa adesão entre o agregado de escória e a pasta de cimento, uma vez que a superfície da escória é mais áspera e permite melhor zona de aderência.

Figura 3 – Resultado do ensaio de absorção (aos 28 dias)



Fonte: Os autores (2020)

A Figura 3 apresenta o resultado do ensaio de absorção na idade de 28 dias para os 3 traços estudados. Conforme a ABNT NBR 9781 (2013), as peças devem apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%. Para esse critério, apenas o T50, traço com substituição parcial de 50% de brita por escória, apresentou bom resultado, marcando com 5,9% de absorção. Por outro lado, o TR, traço com uso de 100% de brita, apresentou percentual de absorção de 9,5%, superior ao limite da norma, o que corrobora as características de absorção verificadas nas propriedades dos agregados.

Os resultados desse ensaio ratificam a pesquisa de Abdelbary e Mohamed (2018), que notaram que a adição de escória, quando substituta do agregado graúdo (brita), reduzia o potencial de absorção de água no bloco de concreto, pois o agregado de escória tem porosidade inferior à brita.

5 CONCLUSÕES

Essa pesquisa teve como objetivo analisar o uso de escória de aciaria em substituição parcial ao agregado graúdo em blocos de concreto intertravados. Os resultados obtidos, apesar de positivos para a avaliação visual e análise dimensional, não alcançaram, nas idades estudadas, valores satisfatórios quanto à resistência à compressão para utilização em pavimentação conforme as normatizações vigentes.

A maior contribuição da presente pesquisa, no entanto, é ter demonstrado que, substituindo-se em volume o agregado graúdo natural (brita 12,5mm) do concreto por escória de aciaria, a trabalhabilidade é preservada e a resistência à compressão aumenta vertiginosamente, até 50% de substituição, valor limite dos ensaios realizados. Portanto, esses resultados corroboram estudos semelhantes anteriores e demonstram a potencialidade da utilização de um coproduto como material de construção civil, até então tido como rejeito da siderurgia. A utilização da escória, em substituição ao agregado graúdo, mostra-se, pois, viável, desde que sejam feitos os devidos ajustes necessários no processo de fabricação dos *pavers,* notadamente quanto ao traço e relação a/c ótimos.

Sugere-se, para pesquisas futuras, a variação do traço, a fim de obter um traço ótimo em prol da adequação aos valores normativos para *pavers*. Além disso, indica-se estudar mais teores de substituição da brita por escória e, oportunamente, proceder

o tratamento granulométrico para permitir que a escória seja utilizada como agregado miúdo, substituindo-se pó de pedra ou areia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FUNCAP pelo apoio financeiro nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABDELBARY, A.; MOHAMED, A. R. Investigating abrasion resistance of interlocking blocks incorporating steel slag aggregate. **ACI Materials Journal**, v.115, p. 47-54, 2018.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 51:** agregado graúdo – ensaio de abrasão "Los Ángeles". Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa

específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9781:** Peças de concreto para pavimentação – Especificação e

métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 12042:** materiais inorgânicos – determinação do desgaste por abrasão. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ALCANTARA, M. R. G. de. **Estudo da utilização de cinzas pesadas de termoelétricas para produção de blocos de concreto para pavimentos intertravados.** 2018. 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2018.

BITTENCOURT, S. F. **Avaliação da resistência à compressão de *pavers* produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Estadual de Campinas, Limeira, SP, 2012.

BRAND, A. S.; ROESLER, J. R. Steel furnace slag aggregate expansion and hardened concrete properties. **Cement & Concrete Composites**, v. 60, p. 1-9, 2015.

DING, Y.C.; CHENG, T.W.; LIU, P.C.; LEE, W.H. Study on the treatment of BOF slag to replace fine aggregate in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 146, p. 644-651, 2017.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade**. 2018. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/relatorios.asp>. Acesso em: 05 Jul. 2019.

LI, Q.; DING, H.; RAHMAN, A.; HE, D. Evaluation of Basic Oxygen Furnace (BOF) material into slag-based asphalt concrete to be used in railway substructure. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 115, p.593-601, 2016.

PENTEADO, C. S. G.; EVANGELISTA, B. L.; FERREIRA, G. C. S.; BORGES, P. H. A.; LINTZ, R. C. C. Use of electric arc furnace slag for producing concrete paving blocks. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 21-32, 2019.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço:** Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

ROSSA, J.; PORTELLA, K. F. Adição de escória de alto forno em argamassas colantes tipo AC-I. **Cerâmica**, v. 58, p. 542-548, 2012.

XUE, Y.; WU, S.; HOU, H.; ZHA, J. Experimental investigation of basic oxygen furnace slag used as aggregate in asphalt mixture. **Journal of Hazardous Materials**, v.138, p. 261-268, 2006.