

## PAVIMENTOS SUSTENTÁVEIS – ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

*Use of waste in the steel industry in the manufacture of concrete block paving*

Mateus Justino Silva<sup>1</sup>, Augusto Cesar da Silva Bezerra<sup>2</sup>, Viviane de Jesus Gomes Alves<sup>3</sup>, Tatiana Nunes<sup>1</sup>, Sandro Almada<sup>1</sup>, Ricardo Andre Fiorotti Peixoto<sup>4</sup>

(1) *Mestrando em Engenharia Civil, DEC, CEFET-MG*

*mateusengenhheiro@yahoo.com.br; clefimalo@yahoo.com.br; sandro.almada@arcelormittal.com.br*

(2) *Professor Mestre, Campus Araxá, CEFET-MG augustobezerra@araxa.cefetmg.br;*

(3) *Professora Mestre, Universidade do Estado de Minas Gerais gomesviviane@yahoo.com.br;*

(4) *Professor Doutor, Universidade Federal de Ouro Preto ricardofiorotti@em.ufop.br*

### Resumo

Devido à grande quantidade de resíduos gerados em distintos processos e suas severas conseqüências com relação ao meio ambiente, estudos sobre seu adequado tratamento e disposição têm sido objeto de interesse da comunidade científica, e de grande relevância para as atividades geradoras de resíduos e da indústria da construção civil, que buscam minimizar os impactos ambientais provocados. Somados à crescente geração de resíduos, observa-se forte crescimento populacional com significativa aglomeração nos centros urbanos, que cria regiões de pouca ou nenhuma permeabilidade. A ausência de áreas permeáveis contribuem de forma significativa para o aumento dos picos de descarga pluviais nos corpos hídricos, que inevitavelmente transbordam e causam danos. Este trabalho tem como objetivo principal, desenvolver metodologia para a produção de blocos intertravados de concreto, a partir da utilização de resíduos industriais, que possam apresentar satisfatório desempenho mecânico, econômico e ambiental, bem como ganhos sociais e de sustentabilidade ao processo e ao meio urbano. Assim sendo, resíduos gerados pela siderurgia (escória de aciaria) foram utilizados na produção de blocos de concreto para pavimentação em escala industrial, a partir da implementação de metodologias específicas de segregação de materiais, dosagem e no próprio processo. A análise dos resultados obtidos indicou potencial aplicabilidade dos produtos obtidos a partir da substituição total dos agregados naturais por resíduos como blocos de concreto para pavimentação de vias de tráfego urbano.

*Palavra-Chave: concreto, pavimentação, tecnologia de materiais, escoria de aciaria, sustentabilidade*

### Abstract

Due to the large amount of waste generated in different processes and their severe consequences with regard to the environment, studies of adequate treatment and disposal have been the subject of interest to the scientific community, and of great relevance to the activities generating the waste industry and construction, which seek to minimize environmental impacts. Coupled with increasing waste generation, there is strong population growth with significant overcrowding in urban centers. This type of occupation creates regions of little or no permeability, and the absence of permeable areas contribute very significantly to the increase in peak stormwater discharge on water bodies, which inevitably. Thus, this paper's main objective is to develop methodology for the production of paving concrete blocks, from the use of industrial waste as raw material, which may present a satisfactory mechanical performance, economic and environmental, as well as social gains and sustainability to the process and the urban environment. Therefore, waste generated by plants (steel slag) were used in the production of concrete block paving on an industrial scale, from specific methodologies for segregation of materials, dosage, and the process itself. The results obtained indicated the potential applicability of the products obtained from the total replacement of natural aggregates by waste and concrete blocks for paving the way for urban traffic.

*Keywords: concrete, pavers, steel slag*

## 1 Introdução

Conforme NETINGER et al. (2011) por séculos escórias de alto forno e de aciaria foram usados para as mais variadas finalidades. Os primeiros relatos referem-se a Aristóteles, que notou que escórias tinha sido usado como um medicamento em 350 aC (GEISELER e VAITTINEN, 2002). Hoje em dia, no entanto, elas são na sua maioria usados na construção; como agente aglutinante (MOTZ, 2002; HRN EN 197-1, 2005), como um ligante independente (COLLINS e SANJAYAN, 1998; COLLINS e SANJAYAN, 1999; LECOMTE et al., 2006; MELO NETO et al., 2008; BAKHAREV et al., 2002), como material de construção para estruturas hidráulicas (JOOST, 2002), como um material para estabilização de solo na construção de estradas, como um material para leitos de estradas ou como um agregado em misturas asfálticas (GEISELER e VAITTINEN, 2002; DUNSTER, 2002; EMERY, 1984 apud NETINGER et al., 2011).

Segundo DINIZ (2009), no Brasil a geração de escória de aciaria foi de 3,2 milhões de toneladas no ano de 2007, sendo 68% deste total provenientes do processo LD e 32% oriundos do processo das aciarias elétricas.

Atualmente, parte dessa produção é utilizada na construção civil, mas, para isso ocorrer à escória de aciaria precisa passar por um processo de estabilização de no mínimo seis meses, com o objetivo de transformá-la menos reativa quimicamente.

BALTAZAR (2001) ressalta que 44% da geração de escória de aciaria são estabilizadas nos pátios de disposição das siderúrgicas e são aplicadas como agregados na construção de infra-estrutura rodoviária, estabilização granulométrica de bases e sub-bases e como lastro em vias de transporte ferroviário; e 56% de toda a geração são estocadas, formando um passivo ambiental de 1,8 milhões de toneladas a cada ano.

Para HENDRIKS et al. (2007), reutilização e reciclagem não são fenômenos novos. Os rejeitos de materiais começaram a ser usados em construções na Holanda, em 1920. Durante esse período, entulho e escória eram processados como agregados, no então, chamado de concreto de brita, usado para a construção de edifícios residenciais, embora em escala limitada. Rejeitos de materiais eram também reutilizados em outros países. Em Avesta (Suécia), por exemplo, ainda há um forno de rocha de escória de aço que data de 1874. Uma das aplicações mais comuns das escórias de refino, após a estabilização da expansão, é como agregado em obras de engenharia civil podendo-se citar, do ponto de vista de estradas, o seu emprego em ferrovias, como lastro e sublastro, em rodovias, como serviços de pavimentação e infraestrutura. Pode-se referir, também, ao seu uso na contenção de encostas, na forma de gabiões, na indústria do cimento e como fonte de ferro na agricultura.

No Brasil, o setor siderúrgico estimula a coleta e recicla o aço contido nos produtos no final da vida útil, empregando-o na fabricação de novos produtos siderúrgico, sem qualquer perda da qualidade. Desta forma, a produção de aço a partir de sucata reduz o consumo de matérias-primas não renováveis, economiza energia e evita a necessidade de ocupação de áreas para o descarte de produtos em obsolescência.

JOHN (1995) considerou que a natureza expansiva da escória de aciaria e a inexistência de critério técnico de execução simples para que se possa detectar a sua estabilização têm sido os principais fatores que influenciam na durabilidade das obras de engenharia realizadas com este material. Por outro lado, poucos resultados têm sido publicados em

periódicos nacionais e internacionais, nesta área, sendo este um campo aberto a investigações.

GEYER (1996) verifica que o fator limitante da reutilização das escórias de aciaria é exatamente o cal livre que permanece como parte de sua matéria prima que ainda não reagiu. Neutralizar a ação deste cal ou ainda eliminá-lo da escória de forma econômica, bem como identificar um método de ensaio expedito que permita avaliar o aspecto estabilidade volumétrica das escória é um desafio a ser vencido para o melhor aproveitamento deste resíduo industrial.

A utilização da escória de aciaria de forno elétrico e LD como agregado miúdo e graúdo para concreto, os resultados indicaram melhor desempenho quanto às resistências mecânicas e aos concretos de escória em relação aos agregados convencionais. Foram realizados ensaios de durabilidade, ataque por sulfatos, carbonatação, ataques da água do mar e reação álcali-agregado. A escória de aciaria apresentou bom desempenho frente aos ensaios. LIMA (1999), PEIXOTO (2008)

SILVA (2001) investigou o desempenho do concreto produzido com agregado graúdo de escória de ferro-cromo e verificou que a relação água-cimento e a idade exercem efeitos significativos na resistência do concreto à compressão.

MACHADO et al. (2002) pesquisaram o emprego das escórias de aciaria como agregados na construção civil e verificou que a expansibilidade da escória está diretamente ligada ao tamanho dos grãos. O tempo de estabilização relacionado com o tamanho das partes de escória expostas à umidade e ao CO<sub>2</sub> na pilha de estocagem.

O sucesso do uso de escória de aciaria em concreto tem sido relatada por MASLEHUDDIN et al. (2003), que descobriu que as propriedades físicas do agregado de escória de aciaria foram superiores aos dos agregados de calcário moído, e que o concreto preparado com escória de aciaria apresentou desempenho melhor do que o concreto preparado com agregados de calcário, especialmente em relação à resistência e durabilidade.

Algumas tentativas foram feitas para uso de escória de aço na produção de tijolos de argila (SHIH et al, 2004). No caso mencionado, verificou-se que, quando até 10% de argila foi substituído por escória, as propriedades finais dos tijolos ainda atendeu aos requisitos da norma pertinente.

Verificaram MANSO et al. (2006) que, durabilidade do concreto com escória é aceitável e menor que a durabilidade do concreto convencional. O estudo do desempenho ambiental foi realizado por meio do ensaio de lixiviação e comprovado que os efeitos de alguns elementos tóxicos presentes ficaram encapsulados no concreto.

NASCIMENTO (2007) examinou o potencial para uso da escória proveniente da reciclagem do aço em concreto de cimento Portland, em substituição total aos agregados convencionais (areia e brita) em concretos não estruturais e conclui que, estatisticamente, o desempenho dos dois concretos foi igual.

Recentemente NETINGER et at. (2011) investigou a possibilidade de se utilizar escórias de aciaria como um agregado de concreto. Os resultados obtidos mostraram que as frações grosseiras escória são adequadas para aplicação em concreto e concluiu que as escórias podem ser um bom substituto para os agregados naturais.

BASSETO e BALDO (2011) apresentaram os resultados, em substituição dos agregados naturais por agregados de escória de aciaria, na composição do concreto asfáltico para

pavimentos flexíveis. A pesquisa experimental contou com composição química, a lixiviação e propriedades mecânicas das escórias, e caracterização e desempenho dos conglomerados betuminosos. Todas as misturas com a escória de aciaria satisfizeram os requisitos.

DUCMAN e MLADENOVIC (2011) estudaram a possível utilização de escória de aciaria de forno elétrico a arco em concretos refratários. Os autores verificaram que escória passa por uma transformação mineralógica de wustite em magnetita quando é aquecido a temperaturas superiores a 800°C, essa transformação é acompanhado pela expansão volumétrica, que apresenta fissuras no concreto o refratário e piora drasticamente suas propriedades mecânicas. Esta transformação é irreversível, de modo que quando escória é aquecida a uma temperatura de 1000°C antes de seu uso para o concreto refratário, os produtos finais apresentam propriedades mecânicas que são comparáveis aos de concreto com agregado refratário convencional, por exemplo, bauxita.

WANG et al. (2011) estudou a influência da escória de aciaria na hidratação do cimento. Os resultados mostraram que a escória de aciaria promove o grau de hidratação do cimento em idades posteriores.

WANG (2010) estudou a expansibilidade de agregados graúdos de escória de aciaria com a utilização de autoclave. Com base nos resultados, o uso de escória de aciaria em condições de confinamento pode ser desenvolvido.

Com base nas diversas publicações recentes sobre a utilização de escória de aciaria como agregados, o presente trabalho corrobora com o desenvolvimento científico e tecnológico sobre o tema abordado.

## 2 Materiais e métodos

Neste trabalho foram utilizadas escórias de aciaria provenientes de quatro usinas siderúrgicas, sendo coletadas uma tonelada de amostra em cada uma das quatro indústrias, localizadas na região Sudeste do Brasil, como indicado na tabela 1.

Tabela 1 – Localização das indústrias siderúrgicas, 2010.

Usina	Tipos de escória	Estado
A1	AE	SP
A2	AE	MG
A3	LD	MG
A4	LD	MG

As escórias utilizadas foram encaminhadas para planta industrial especializada em pós-processamento e recuperação de materiais metálicos das escórias de aciaria geradas pelas usinas estudadas (CICLOMETAL-MG). As escórias brutas foram segregadas e classificadas segundo faixas indicadas pela normalização para agregados graúdos e miúdos. O objetivo deste processo foi a retirada dos constituintes metálicos das amostras. Estas amostras passaram por um método de segregação magnética especializada e foram submetidas aos processos de estabilização e inertização, que tem por finalidade neutralizar os efeitos prejudiciais da expansão de elementos como o óxido de cálcio (CaO) e o óxido de magnésio (MgO).

A escória produzida, após este processo, recebeu o nome de escória de aciaria pós-processada (EAPP), a qual foi encaminhada para outra planta especializada para a

fabricação de blocos de concreto para pavimentação (UNISTEIN-MG), onde foram fabricadas as peças pré-moldada de concreto (PPC).

Para a confecção das PPC foi utilizadas duas proporções de materiais. A primeira mistura foi utilizada para fabricar PPC, chamados neste trabalho de PPC de referência. Esta mistura foi realizada para parâmetro de comparação, sendo confeccionada com cimento, água e agregados naturais, comumente consumidos pelo processo convencional de fabricação. Na segunda mistura, os agregados naturais grãos e miúdos foram substituídos por agregados reciclados de EAPP. Estes agregados foram classificados segundo a sua distribuição granulométrica. O agregado reciclado de escória de aciaria pós-processada na faixa granulométrica passante na peneira com abertura 4,8mm e retida na peneira com abertura 2,0mm foi denominado AR-EAPP 1 e o agregado reciclado de escória de aciaria pós-processada na faixa granulométrica passante na peneira com abertura 6,3mm e retida na peneira com abertura 4,8mm foi denominado AR-EAPP 2. O AR-EAPP 2 foi obtido através de uma blenda entre os agregados classificados com a denominação de pedrisco (AR-EAPP 2 A) e brita 0 (AR-EAPP 2 B). As proporções utilizadas (traços) nas moldagens podem ser observadas na tabela 2

Tabela 2 – Proporções de materiais utilizados para a moldagem de PPC

Materiais	Quantidades (Kg)	
	Proporção de referência	Proporção com EAPP
Cimento	78	78
Agregado miúdo convencional	295	295
Agregado grão convencional	135	-
AR-EAPP 1	-	88
AR-EAPP 2	-	88
Água		

A água utilizada na pesquisa proveniente da Companhia de Saneamento de Minas Gerais S.A. (COPASA), responsável pelo tratamento e distribuição de água potável na cidade de Belo Horizonte e Região Metropolitana.

As escórias coletadas nas usinas foram britadas e separadas em faixas granulométricas, com material passante na peneira malha 3/8" e abertura de 9,5mm. Após o peneiramento, a escória passou por um processo de retirada das partículas metálicas por meio de sistema gravimétrico-magnético. Para estabilização e inertização, a escória foi espalhada em pátio, onde foi virada e revirada durante 90 dias. *A posteriori*, a escória recebeu o nome de Escória de Aciaria de Pós Processada (EAPP).

Os traços dimensionados foram realizados para atender as demandas do processo produtivo e de aplicação dos blocos para pavimentação. Foram considerados como parâmetros de dosagem as tensões normativas de 35 MPa para vias com tráfego de veículos comerciais e de linha e 50 MPa para vias com tráfego de veículos especiais ou com significativas solicitações à abrasão, em conformidade com a NBR 9781 (ABNT, 1987).

Os blocos para pavimentação foi produzidos da mistura cimentícia em processo industrial. A adição de materiais foi conduzida por processo gravimétrico e os elementos moldados em uma vibroprensa. A vibroprensa utilizada nesta pesquisa foi do tipo de desforma automática sobre paletes. Os blocos com idade zero foram acondicionados sobre paletes, envelopados por lonas de PVC e transportados para o pátio onde permaneceram até a

data para a realização dos ensaios mecânicos de compressão e flexão, nas idades de 3, 7, 14, 56 dias. No laboratório de materiais do CEFET-MG, onde passaram por processamento e análise.

A determinação da expansibilidade para blocos foi procedida a partir da análise da estabilidade dimensional para as peças fabricadas em concreto convencional e escória de aciaria, segundo ciclos de molhagem e secagem. A peça foi seccionada em três partes e no centro geométrico dos terços exteriores foram fixados, com graute, pinos de referência. A colocação dos pinos serviu como orientação para as tomadas de medidas durante o processo de ensaio. Utilizaram-se para cada uma das determinações três CP. Após fixação dos pinos de referência (24 horas) foram determinadas as medidas iniciais ( $e_0$ ). Determinada a medida inicial, os CP foram colocados em estufa à temperatura de 105°C por um período de 24 horas. Após o período de aquecimento na estufa (24 horas), os CPs foram retirados e depositados sobre a bancada para a determinação da medida ( $e_{24}$ ). Depois da estabilização da temperatura do CP e a determinação das medidas entre os pinos de referência, os CP foram colocados em um tanque sob a condição de submersão por um período de 24 horas. Esse procedimento foi repetido para os intervalos de tempo relativo aos três dias ( $e_3$  – 72 horas) e sete dias ( $e_7$  – 168 horas) e 28 dias ( $e_{28}$  – 672 horas).

A resistência à compressão simples ( $\sigma_c$ ) expressa em MPa, é determinada individualmente para cada corpo-de-prova, através da razão entre sua carga de ruptura (N) e a área de sua seção transversal ( $\text{mm}^2$ ), e expressa pela média de suas repetições. Sua determinação é especificada pela NBR 9780 (ABNT, 1987) que descreve o procedimento de ensaio de determinação da resistência à compressão de peças pré-moldadas de concreto destinadas à pavimentação de vias urbanas, pátios de estacionamento ou similares.

A resistência à compressão (em MPa) da peça foi obtida dividindo-se a carga de ruptura (em N) pela área de carregamento (em  $\text{mm}^2$ ), multiplicando o resultado pelo fator “p”, função da altura da peça, conforme ilustrado na Tabela 3.3.

Tabela 2 – Fator multiplicativo “p”. (ABNT, 1987)

Altura nominal Da peça (mm)	Fator Multiplicativo “p”
60	0,95
80	1,00
100	1,05

O equipamento foi equipado com dois pratos de aço, sendo fixo o inferior e articulado o superior, com espessuras suficientes para evitar deformação durante o ensaio. Deve ser capaz de transmitir a carga de modo progressivo e sem choques, contendo duas placas auxiliares, que devem ser circulares, com diâmetro de  $(90 \pm 0,5)$  mm, confeccionadas de aço, com dureza superficial maior que 60 RC. Suas superfícies não apresentavam afastamento com relação a uma superfície plana de contato, tomada como referência, de mais de 0,01 mm em 90.

As placas auxiliares foram acopladas à máquina de ensaio de compressão, uma fixa no prato inferior e outra articulada no superior, de maneira que seus eixos verticais centrais fiquem perfeitamente alinhados.

Para a realização do ensaio as superfícies de carregamento das peças devem ser capeadas com argamassa de enxofre ou similar, com espessura inferior a 3 mm.

Foram determinadas as propriedades relacionadas com as interações ambientais produzidas pela utilização de agregados artificiais de escória de aciaria e agregados naturais peças de concreto para pavimentação, comparativamente. As análises ambientais foram conduzidas em amostras de corpos de prova (CP) produzidos em concreto com agregados de escória de aciaria e em amostras de concreto com agregados naturais, coletadas de forma aleatória, conforme respectivos lotes. As amostras para análises ambientais foram produzidas de acordo com prescrição normativa estabelecida pela NBR 10.007 (ABNT, 2004) e as análises de caracterização da amostra bruta definidas pela NBR 10.004 (ABNT, 2004), de lixiviação da NBR 10.005 (ABNT, 2004) e de solubilização da NBR 10.006 (ABNT, 2004). Sendo as amostras processadas em laboratório externo certificado.

A lixiviação é o processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator.

O ensaio de solubilização é realizado para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados na NBR 10004 (ABNT, 2004) como classe II A - não inertes – e classe II B – inertes. A NBR 10.007 (ABNT, 2004) prescreve o procedimento para a realização deste ensaio. O procedimento é descrito da seguinte forma, deve-se secar a amostra a temperatura de até 42°C, utilizando uma estufa com circulação forçada de ar e exaustão ou estufa a vácuo, e determinar a percentagem de umidade. Deve-se colocar uma amostra representativa de 250 g (base seca) do resíduo em frasco de 1 500 mL, sendo que a operação deve ser realizada em duplicata e o resíduo pode ser utilizado não seco, desde que ele represente 250 g de material seco, para isto, fazer a compensação de massa e volume. Se a amostra passar em peneira de malha 9,5 mm, ela estará pronta para a etapa de extração; caso contrário, ela deve ser triturada.

Adiciona-se 1000 mL de água destilada, desionizada e isenta de orgânicos, se a amostra foi submetida ao processo de secagem, e agitar a amostra em baixa velocidade por 5 min, ou adicionar o volume necessário de água destilada, desionizada e isenta de orgânicos para completar 1 000 mL, se a amostra não foi submetida ao processo de secagem, e agitar a amostra em baixa velocidade, por 5 min. Deve-se cobrir o frasco com filme de PVC e deixar em repouso por 7 dias, em temperatura até 25°C e filtrar a solução com aparelho de filtração guarnecido com membrana filtrante com 0,45 µm de porosidade. Deve-se definir o filtrado obtido como sendo o extrato solubilizado e determinar o pH após a obtenção do extrato solubilizado. Deve-se retirar alíquotas e preservá-las de acordo com os parâmetros a analisar, conforme estabelecido no *Standard methods for the examination of water and wastewater ou USEPA - SW 846 - Test methods for evaluating solid waste; Physical/Chemical methods*.

### 3 Resultados

Na Figura 1 estão apresentados todos os resultados das resistências à compressão dos blocos para pavimentação, amostras de agregados naturais e reciclados escoria de aciaria, nas idades de 3, 7, 14 e 56 dias, todos os resultados das amostras estão acima

da resistência esperada para esta pesquisa, que foi dimensionada para 35 MPa na idade de 28 dias para a amostra natural de referência.

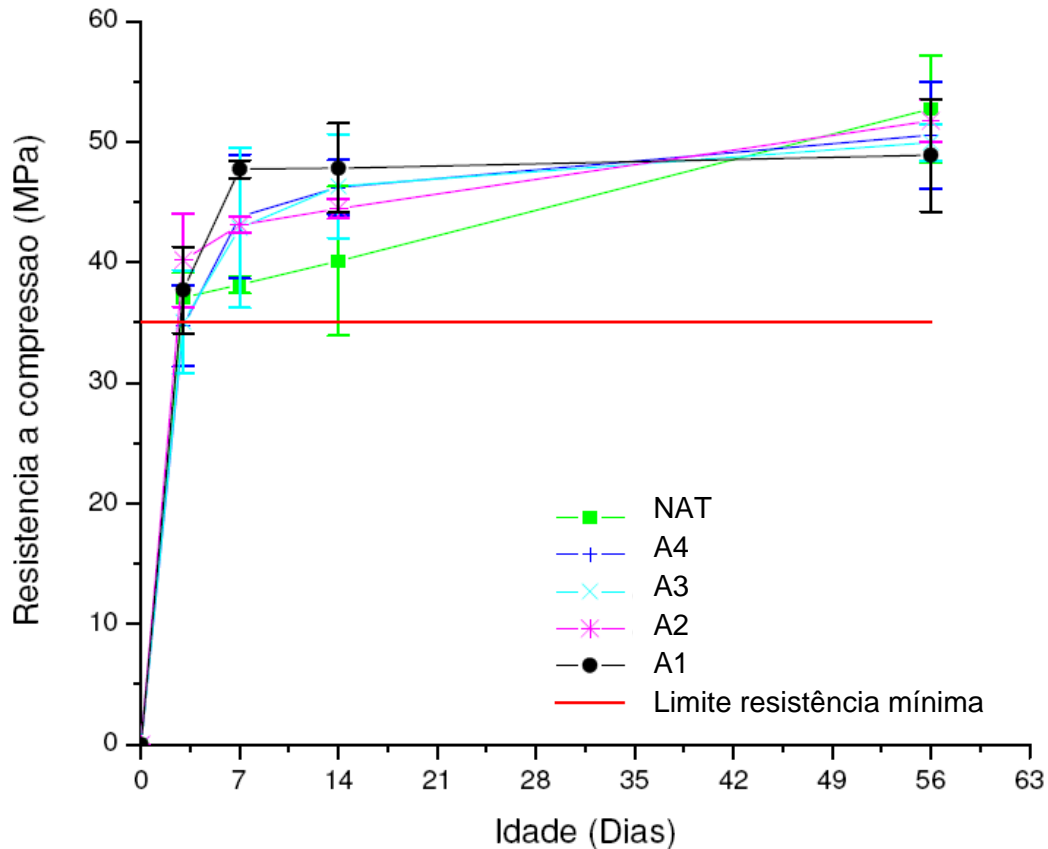


Figura 1 – Resultados da resistência à compressão dos blocos para pavimentação, de agregados naturais e escória de aciaria.

Foram realizados ensaios de lixiviação e solubilização para peças de concreto para pavimentação com agregados naturais e de escória de aciaria. Os resultados comparativos indicaram ser as peças de concreto para pavimentação produzidas com agregados naturais e reciclados de escória de aciaria idênticas do ponto de vista ambiental, classificadas como resíduo Classe IIA (resíduo não inerte).

#### 4 Conclusão

A partir dos resultados obtidos neste trabalho é possível concluir que é possível produzir peças de concreto para pavimentação a partir da substituição do agregado natural por agregado reciclado de escória de aciaria.

Avaliando o desempenho das dosagens utilizadas para produção de peças de concreto para pavimentação a partir da substituição de agregados naturais por agregados artificiais reciclados e da avaliação do comportamento mecânico das peças, conclui-se que a utilização dos agregados reciclados estudados atendem aos parâmetros normativos nacionais e ainda superam algumas propriedades das peças de concreto para pavimentação produzidas com agregados naturais.



A classificação ambiental determinada pelas análises de lixiviação e solubilização para determinação do potencial contaminante das peças produzidas com agregados artificiais (escória de aciaria) comparativamente com as peças produzidas com agregados naturais indicam ser a utilização dos agregados de escória de aciaria viável do ponto de vista ambiental e sustentável.

Finalmente, os resultados obtidos mostram que a utilização destes elementos produzidos com agregados de escória de aciaria alternativa viável para pavimentação de vias urbanas em que sejam desejáveis ações para aumento de permeabilidade e redução das descargas pluviais em corpos hídricos, adicionalmente vale lembrar que a utilização de agregados de escória de aciaria poupam recursos naturais e garantem maior sustentabilidade.

## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem às agências FAPEMIG, CNPq e CAPES pelo auxílio financeiro, e bolsas disponibilizadas para a pesquisa.

## 6 Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004 - Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. NBR 10005 - Ensaio de Lixiviação. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. NBR 10006 - Ensaio de solubilização. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. NBR 10007 - Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. NBR 9780 – Peça de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão, 1987.
- \_\_\_\_\_. NBR 9781 – Peça de concreto para pavimentação – Especificação, 1987.
- BAKHAREV, T; SANJAYAN, J. G.; CHENG, Y. B (2002) Sulfate attack on alkali-activated slag concrete. *Cem Concr Res* 32: 211–216
- BALTAZAR, R. P. Caracterização do fator expansão de uma escória de aciaria em diferentes processos de cura para uso em pavimentação. 2001. 93f. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2001.
- COLLINS, F. G.; SANJAYAN, J. G. (1998) Early age and workability of slag pastes activated by NaOH and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. *Cem Concr Res* 28:655–664
- COLLINS, F. G; SANJAYAN, J. G. (1999) Workability and mechanical properties of alkali activated slag concrete. *Cem Concr Res* 29:455–458
- DINIZ, D. H. A influencia dos finos de escória de aciaria como estabilizante para uso em pavimentos. 2009. 121f. Dissertação (mestrado) – Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Universidade Federal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2009.
- DUCMAN, V. and MLADENOVIC, A. The potential use of steel slag in refractory concrete *Materials Characterization*, v 62, n 7, p 716-723, July 2011.
- DUNSTER, A. M. (2002) Blast furnace slag and steel slag as aggregates: a review of their uses and applications in UK construction. In: 3rd European slag conference—proceedings “manufacturing and processing of iron and steel slags”. Euroslag Publication, UK, pp 21–29

- EMERY, J (1984) Steel slag utilization in asphalt mixes. National Slag Association Report MF 186-1, Canadian Technical Asphalt Association Proceedings. [www.nationalslag.org/archive/legacy/nsa\\_186\\_steel\\_slag\\_utilization\\_in\\_asphalt\\_mixes.pdf](http://www.nationalslag.org/archive/legacy/nsa_186_steel_slag_utilization_in_asphalt_mixes.pdf)
- GEISELER J, VAITTINEN I (2002) The status of processed slags from iron and steel making. In: 3rd European slag conference— proceedings “manufacturing and processing of iron and steel slags”. Euroslag Publication, UK, pp 37–42
- GEYER, R. M. T. et al. Escórias siderúrgicas: caracterização e aplicações para a indústria da construção civil. In: Anais do Seminário de Redução e matérias prima, resíduos na Siderurgia, 25 ed. Volta Redonda ABM, nov. 1996, p.363-81.
- HENDRIKS, C. F.; NIJKERK, A. A.; O ciclo da construção. Brasília: UnB, 2007.
- HRN EN 197-1 (2005) Cement. Part 1: composition, specifications and conformity criteria for common cements
- JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V. Novos mercados para as escórias de alto-forno. In: Anais do Encontro Regional sobre Meio Ambiente na Indústria Siderúrgica. 1995. Vitória, 1991. p.74-9.
- JOOST, M (2002) The utilisation of steel slag in waterway construction. In: 3rd European slag conference—proceedings “manufacturing and processing of iron and steel slags”. Euroslag Publication, UK, pp 107–117
- LECOMTE, I; HENRIST, C; LIE´GEOIS, M; MASERI, F; RULMONT, A; CLOOTS, R. (2006) (Micro)-structural comparison between geopolymers, alkali-activated slag cement and Portland cement. J Eur Ceram Soc 26:3789–3797
- LIMA, L. Horminoges con escórias de horno eléctrico como aridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental. 1999. 243f. Tese (doutorado) –Engenharia, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, Espanha, 1999.
- MACHADO, A. T. et al. O uso da escória de aciaria como agregado na construção civil. In: Anais do XI ENTAC. Foz do Iguaçu, 2002.
- MASLEHUDDIN, M; SHARIF, A. M; SHAMEEM, M; IBRAHIM, M; BARRY, M. S. Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes. Construction and Building Materials 2003;17:105–12.
- MASUERO, A. B. Estabilização das escórias de aciaria elétrica com vistas a sua utilização como substituição ao cimento. 2001. 264f. Tese (doutorado) – Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.
- MELO NETO, A. A.; ALBA CINCOTTO, M.; REPETTE, W. (2008) Drying and autogenous shrinkage of pastes and mortars with activated slag cement. Cem Concr Res 38:565–574
- MOTZ, H (2002) Production and use of air-cooled blastfurnace and steel slags. In: 3rd European slag conference— proceedings “manufacturing and processing of iron and steel slags”. Euroslag Publication, UK, pp 7–20
- MOTZ, H and GEISELER, J. Products of steel slags, an opportunity to save natural resources. In: Woolley GR, Goumans JJM, Wainwright PJ, editors. Waste materials in construction. Elsevier Science Ltd; 2000. p. 207–20.
- NASCIMENTO, K. A. L .Utilização da escória proveniente da reciclagem do aço em concreto de cimento Portland. 2007. 110f. Dissertação (mestrado) – Ciências e

Engenharia de Materiais, Escola Estadual de São Carlos, Instituto de Física, Instituto de Química, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

NETINGER, IVANKA; BJEGOVIC, DUBRAVKA; VRHOVAC, GORAN. Utilisation of steel slag as an aggregate in concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, p 1-11, 2011

PASETTO, M. and BALDO, N. Mix design and performance analysis of asphalt concretes with electric arc furnace slag *Construction and Building Materials*, v 25, n 8, p 3458-3468, August 2011

PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti ; DUARTE, João Chiabi; OLIVEIRA, José Roberto; PADULA, Flavio Renato G.; KAMADA, Cristiane E. Proposal for application of steel slag in the production of cement portland concrete, XXXIX Steelmaking Seminar, ABM v1, p231-243, Curitiba , 2008.

SHIH, P. H.; WU, Z. Z; CHIANG, H. L. Characteristics of bricks made from waste steel slag. *Waste management* 2004; 24:1043–7.

WANG, G. Determination of the expansion force of coarse steel slag aggregate. *Construction and Building Materials*, v 24, n 10, p 1961-1966, October 2010.

WANG, QIANG; YAN, PEI YU; HAN, SONG. The influence of steel slag on the hydration of cement during the hydration process of complex binder. *Science China Technological Sciences*, v 54, n 2, p 388-394, February