

ESTUDO PARA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES DE PAVIMENTAÇÃO USANDO ESCÓRIAS DE ACIARIA E RESÍDUOS DE CONCRETOS REFRACTÁRIOS DA SIDERURGIA¹

Eduardo Bezerra de Oliveira e Souza²

Wilfrid Keller Schwabe³

Abdias Magalhães Gomes⁴

Resumo

Este trabalho tem como objetivo principal o estudo e a avaliação da fabricação de elementos de pavimentação intertravada, para aplicação em pisos, em conformidade com a Norma Brasileira NBR – 9781/87, utilizando os resíduos de concretos refratários e escórias de aciaria LD, ambos oriundos do processo siderúrgico. Os resíduos de concretos refratários gerados nas diversas fases do processo siderúrgico foram escolhidos para serem misturados com a escória de aciaria LD, com a finalidade de substituir os recursos naturais areia e brita. São apresentadas as composições em peso das misturas usadas na fabricação dos elementos de pavimentação, bem como sua massa específica, e análise granulométrica. A caracterização ambiental das amostras utilizadas foi feita em conformidade com as normas brasileiras, após a fabricação do produto. O ensaio de compressão simples e o de abrasão foram conduzidos para mostrar a adequação da utilização desses resíduos quando comparados com aqueles que utilizam recursos naturais. A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que os resíduos usados têm potencial de serem utilizados na produção de componentes para pavimentação.

Palavras-chave: Resíduos da siderurgia; Pavimentos intertravados; Escória de aciaria; Resíduos de concretos refratários.

STUDY TO PRODUCE PAVING COMPONENTS USING STEEL SLAGS AND REFRACTORY CONCRETE WASTES OF THE STEELMAKING PROCESS

Abstract

The main purpose of this research is to study and evaluate the production of interlocking concrete pavers, in accordance with Brazilian standard NBR – 9781/87, using BOF steel slag and refractory concrete wastes, both coming from steelmaking process. These wastes were chosen in order to substitute natural aggregates like sand and limestone rocks. Density and granulometric analysis were carried out and the composition in weight of the used mixtures, are showed. Environmental characterization was done according to brazilian standards. The simple compression and abrasion tests were made to show the adequacy of these residues when compared with natural resources. The conclusion, according to the results obtained, is that the wastes used have a great potential for utilization in the production of interlocked pavers.

Key words: Steelworks wastes; Interlocked pavers; Steel slags; Refractory concrete wastes.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro Metalúrgico, Mestrando em Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais.*

³ *Engenheiro Químico, Dr.Ing., Professor Adjunto da Universidade Federal de Minas Gerais.*

⁴ *Engenheiro Civil, Dr., Professor Adjunto da Universidade Federal de Minas Gerais.*

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional humano e o desenvolvimento industrial continuam pressionando os sistemas naturais. Freqüentemente, é atribuída ao desenvolvimento industrial dos últimos séculos, a maior parte dos impactos causados ao meio ambiente. Com o desenvolvimento tecnológico, o número de indústrias do mundo vem crescendo a cada dia e com elas as quantidades de resíduos industriais. A maior parte destes tem destino incerto e, na maioria das vezes, ficam expostos ao ambiente, contaminando-o.

Como conseqüência, cresce a pressão sobre a indústria, considerada como a maior degradadora do meio ambiente, para melhorar o seu desempenho ambiental.

O setor siderúrgico brasileiro tem grande importância econômica, principalmente no centro-sul do país. No entanto, essa atividade industrial gera enormes quantidades de resíduos/co-produtos. Com o crescimento das preocupações ambientais nos anos 80 e 90, e as restrições impostas pela legislação, novamente a indústria siderúrgica se viu diante de exigências.

O simples descarte desses resíduos no meio ambiente é uma prática que deve ser evitada. Assim, é necessário o emprego de tecnologias limpas que permitam o seu reaproveitamento ou reciclagem de maneira econômica-ecológica. O reaproveitamento de resíduos provenientes dos processos siderúrgicos, principalmente das escórias de aciaria, devido ao grande volume gerado, como agregados na construção civil, na pavimentação de estradas rodoviárias e como lastro de ferrovia entre outros, constitui-se, na atualidade, uma das melhores soluções para o problema ambiental, associado ao descarte de resíduos poluentes.

Outros resíduos do processo siderúrgico são aqueles provenientes da utilização de concretos refratários, que são produtos monolíticos ou pré-moldados, usados no revestimento de equipamentos como altos fornos, carros-torpedo, convertedores de aciaria LD, e outros.

De acordo com Silveira et al.⁽¹⁾ a média da siderurgia brasileira de geração de resíduos é de 700 kg/t de aço bruto produzido.

A produção mundial de aço alcançou em 2005, mais de um bilhão e cem milhões de toneladas. A produção brasileira foi 31,6 milhões de toneladas, gerando aproximadamente 22 milhões de toneladas de resíduos/co-produtos (IBS, 2006).⁽²⁾

Este trabalho, fundamentalmente, tem como objetivo geral, estudar e avaliar a possibilidade de fabricação de elementos de pavimentação intertravada, para aplicação em pisos, em conformidade com a norma brasileira NBR – 9781/87,⁽³⁾ empregando os resíduos de concretos refratários e escórias de aciaria, oriundos da indústria siderúrgica.

Justifica-se o estudo, pela busca de mais uma alternativa de utilização ambientalmente correta, das escórias de aciarias das usinas siderúrgicas, e também para os resíduos de concretos refratários, em substituição à utilização de recursos naturais.

1.1 Escória de Aciaria LD

A escória de aciaria é um subproduto (resíduo) da fabricação do aço, sendo produzida durante o processo de separação do aço líquido das impurezas, dentro dos fornos de elaboração do aço. A escória ocorre como líquido fundido e é uma solução complexa de silicatos e óxidos, que se solidificam após o resfriamento.

Benquerer⁽⁴⁾ afirma que a produção média de escória nas Aciarias LD é de cerca de 120 kg por tonelada de aço bruto. Conforme o Anuário Estatístico do IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia, de 2006, a produção brasileira de aço bruto, usando esta tecnologia, correspondeu em 2005 a 24,65 milhões de toneladas, ou seja, 78%. Se considerarmos a produção acima mencionada em 2005, houve no Brasil uma geração de escória de aciaria LD, da ordem três milhões de toneladas.

Após o seu resfriamento, a escória de aciaria é processada (beneficiada) através da britagem, peneiramento e separação magnética, para obter agregados finos e grossos a serem usados em diferentes tipos de aplicação.

As escórias provenientes das diversas usinas, e que utilizam o mesmo processo LD, têm composições químicas semelhantes, mas nem todas são adequadas para aplicação como agregados.

Dunster⁽⁵⁾ define que a escória de aciaria LD consiste primariamente de silicatos de cálcio em conjunto com óxidos e compostos de ferro, manganês, alumina e outros elementos traço. Da maior importância, é a forma mineralógica da escória, que depende diretamente do processo de produção do aço e da taxa de resfriamento desta.

Para Motz,⁽⁶⁾ a presença de CaO livre e de MgO livre é o componente mais importante para a utilização de escórias de aciaria na engenharia de construção civil com relação à sua estabilidade de volume. Em contato com a água, a CaO hidrata-se rapidamente e pode causar mudanças de volume em um curto espaço de tempo (semanas), enquanto que o MgO hidrata-se de uma maneira mais lenta e contribui para a expansão em longo prazo, que pode levar anos para se desenvolver. Como consequência desta expansão volumétrica, há uma desintegração dos agregados de escória e uma perda de resistência. As escórias de aciaria, com teor elevado de cal livre (CaO) na composição química, quando expostas à umidade, podem transformar o CaO, em hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , e posteriormente em carbonato de cálcio (CaCO_3). Este é o fenômeno denominado de formação da tufa. Alguns fatores podem acelerar as reações de formação desta, tais como: a reatividade da escória com a água, a área superficial (tamanho das partículas), a porosidade do material (absorção da escória), a quantidade de água à qual ela é exposta e o teor de CO_2 na atmosfera.

Ainda segundo Motz,⁽⁷⁾ nos últimos 30 anos, as escórias de aciaria, foram alvo de intensas investigações no sentido de estabelecer comparações de suas propriedades com aquelas dos agregados naturais. As propriedades estudadas são iguais ou mesmo melhores, especialmente aquelas relacionadas à abrasão, ao desgaste e ao derrapamento. Essas propriedades, aliadas a uma superior capacidade de adesão, maior densidade, reduzem a espessura das camadas asfálticas submetidas a tráfego intenso. Também por possuírem uma alta massa específica são adequadas para utilização nas construções hidráulicas.

Euroslag⁽⁸⁾ informa a seguinte distribuição no uso de 15 milhões de toneladas de escória de aciaria na Europa em 2004:

- 45% na construção de estradas;
- 3% na engenharia hidráulica;
- 3% na indústria de fertilizantes;
- 1% na indústria do cimento;
- 14% na reciclagem interna das usinas siderúrgicas;
- 17% estocagem intermediária;
- 11% disposição final;
- 6% outros usos.

Dongxue et al. (1997) e Shi E Qian (2000) apud Gumieri,⁽⁹⁾ citam que na China, os cimentos já são fabricados comercialmente com escórias de Aciaria LD resfriadas lentamente. Na fabricação desses cimentos, a escória de LD é misturada com escória de alto forno granulada, clínquer, gesso e adições. Citam também que aproximadamente 40% do volume total de escórias LD na China são usados na fabricação de cimentos.

Montgomery e Wang (1991) apud Gumieri,⁽⁹⁾ citam na Austrália o uso combinado da escória LD com a escória de alto forno e clínquer, na fabricação de cimento composto. Descrevem que o $\text{CaO}_{\text{livre}}$ nas escórias LD pode ser absorvido pela escória de alto forno, reduzindo, dessa forma, a instabilidade das mesmas. Mencionam ainda, que a proporção de escória LD deve ser entre 10 e 55% em relação à massa total dos materiais (escória de alto forno, clínquer e gesso) constituintes do cimento. A resistência do cimento composto é similar à do cimento comum, quando a quantidade de escória LD utilizada for, no máximo, 35%, e a quantidade de clínquer for superior a 55% da massa dos materiais empregados.

Ramakrishna et al.⁽¹⁰⁾ estudaram em escala de laboratório, a aplicação da escória de aciaria para remoção de tintas (coloração) de águas residuárias. A justificativa para utilização da escória de aciaria como substituta do carvão ativado para adsorção das impurezas iônicas, é que esta por ser porosa, possuindo uma grande área superficial e uma grande variedade de tamanhos de partículas torna-a aplicável para o objetivo acima.

Li⁽¹¹⁾ desenvolveu um novo método de tratamento para degradação do 4-clorofenol e seus componentes intermediários de oxidação. Os resultados experimentais mostraram que o 4-clorofenol e seus intermediários podem ser decompostos completamente pela utilização da escória de aciaria LD, com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), numa solução ácida ($\text{pH} = 2,8 \pm 0,2$). Os óxidos de ferro presentes na escória (FeO e Fe_2O_3), em solução ácida, são dissociados produzindo íons ferroso e férrico. Os íons ferrosos reagem com o peróxido de hidrogênio e formam o “Reagente de Fenton”, que pode produzir os radicais hidroxilas (OH^\cdot), de alto poder oxidante e que oxidam os compostos químicos orgânicos.

Yan et al.⁽¹²⁾ pesquisaram a capacidade de neutralização ácida a logo prazo de uma escória de forno elétrico a arco. Concluíram que as capacidades de neutralização ácida da escória de aciaria são diferentes para diferentes níveis de pH. A maioria dessas capacidades é consumida nas faixas de pH acima de 8,5. A maior contribuição para a capacidade de neutralização ácida da escória é atribuída ao Ca e ao Mg, presentes na mesma.

Gumieri⁽⁹⁾ estudou a viabilidade técnica de utilização de escórias de Aciarias LD como adição em cimentos. Utilizando amostras de escória resfriadas lentamente e também com resfriamento brusco, concluiu que este elimina a expansão da escória e o desenvolvimento das propriedades pozolânicas/ cimentícias da escória granulada.

Ziemkiewicz e Simmons⁽¹³⁾ reportam que várias escórias de aciaria com diferentes capacidades de neutralização foram lixiviadas com uma água ácida de mina de qualidade conhecida. O objetivo do trabalho foi o de determinar a habilidade da escória de aciaria, de alta alcalinidade, de adicionar alcalinidade para e remover metais de águas de minas ácidas. Desde que a composição química básica das escórias consiste principalmente de CaO e MgO e outros componente básicos, o lixiviado deste material resulta na liberação de um material de elevada alcalinidade, com pH na faixa de 10 a 11. Contudo a cal presente na escória de aciaria, diferentemente da cal agrícola, está numa combinação fraca com a sílica, ferro e

manganês. A escória não “queima” assim como a cal agrícola e nem reverte para carbonatos. Portanto, a escória permanece estável, quase neutra, e com isso produz alcalinidade por longos períodos de tempo até a sua exaustão. Os resultados dos testes mostraram que uma quantidade muito pequena de metais encontrada nos lixiviados, teve sua origem na lixiviação da escória, mesmo sob condições ácidas. Esses resultados indicam que muitos dos metais presentes na escória permanecem ligados e na forma insolúvel, estáveis mesmo, para uma variedade de faixas de pH.

Ahn et al.⁽¹⁴⁾ testaram vários resíduos da indústria siderúrgica, incluindo a escória de aciaria LD, como forma de tratamento de águas de drenagem de minas, com alta concentração de arsênio (As). Foram construídas barreiras permeáveis reativas para o controle dos lixiviados subsuperficiais provenientes do conteúdo das barragens. A justificativa é que os resíduos da siderurgia geram pH na faixa de 9 a 12, produzindo altas concentrações de Ca. O mecanismo de remoção é feito através da formação de compostos cálcio e arsênio ao invés de compostos de óxido de ferro.

Maslehuddin e Sharif⁽¹⁵⁾ reportam os testes feitos com agregados de escórias de forno elétrico a arco (FEA), comparando as suas características com aquelas dos agregados naturais de calcário. Os resultados indicam que algumas das propriedades físicas e a durabilidade do concreto feito com agregados de escória de aciaria foram superiores às daquelas do concreto feito com agregados naturais. Salientam ainda como importante, a possibilidade de uso desses agregados de escória de aciaria naquelas regiões carentes de agregados naturais para fabricação de estruturas de maior responsabilidade.

Shih et al.⁽¹⁶⁾ investigaram a possibilidade de combinação de argila com escória de produção de aço inoxidável em Taiwan, para produção de tijolos. As propriedades avaliadas no produto foram a absorção de água, a resistência à compressão, alterações dimensionais pela secagem e pela temperatura de queima. Foram feitas várias formulações, utilizando de 0 a 30% de agregado de escória na mistura com argila. Os resultados obtidos nos tijolos pelo ensaio de compressão indicam que estas satisfazem os critérios das respectivas normas de Taiwan.

1.2 Concretos Refratários

Os refratários são produtos fundamentais para uma vasta gama de indústrias. De modo geral, qualquer processo que envolva altas temperaturas depende do desempenho de refratários. Os refratários são utilizados nas indústrias siderúrgicas, do cimento, do vidro, petroquímica e outras onde são necessárias excelentes propriedades térmicas e outras mais específicas como resistência à abrasão, resistência à corrosão e ao choque térmico. A Tabela 1 mostra a geração de concretos refratários em algumas áreas/equipamentos de uma usina siderúrgica integrada.

Para suportar essas solicitações e em função da natureza das mesmas, foram desenvolvidos inúmeros tipos de produtos, a partir de diferentes tipos de matérias primas, ou misturas dessas.

Um concreto refratário é um material cerâmico, obtido pela mistura de agregados refratários segundo uma distribuição granulométrica balanceada, e cimento refratário à base de aluminato de cálcio, podendo também conter aditivos que cumprem funções diversas, com características de pega hidráulica inicial, passando ou não a uma segunda fase, por uma peça cerâmica, de acordo com a temperatura a ser submetido. O teor de cimento empregado determina a quantidade de água necessária à moldagem.

Tabela 1: Geração de concretos refratários

Grupo	Equipamento	Geração
Concretos refratários monolíticos e pré-moldados	Canal principal de vazamento de gusa (CG)	0,35 Kg de concreto / t de gusa
	Carro torpedo (CT)	0,032 Kg de concreto / t de gusa
	Desgaseificador RH (RH)	0,050 Kg de concreto / t de aço

Fonte: MAGNESITA, 2006.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento de um novo produto, a partir da reciclagem de um ou mais resíduos industriais, é necessário um conjunto amplo de conhecimentos, para que se possa gerar uma alternativa que seja viável técnica e ambientalmente.

Os materiais utilizados para a confecção das peças intertravadas de concreto para pavimentação, foram: escória de aciaria LD estabilizada, concreto refratário de canal principal de vazamento de gusa (CG), concreto de rebote de carro torpedo (CT), concreto refratário de desgaseificador (RH). A escolha desses resíduos se deve ao seu volume de geração, facilidade e oportunidade de reciclagem, custo de disposição e interesse de seus geradores.

A classificação e a caracterização ambiental dos resíduos devem compreender a análise química completa, o ensaio de lixiviação e o ensaio de solubilização de acordo com a NBR 10004/04, NBR 10005/04 e NBR 10006/04,⁽¹⁷⁾ respectivamente. O produto reciclado escolhido para fabricação é especificado pela NBR 9781/87, "Peças de Concreto para Pavimentação".⁽³⁾

Todos os produtos reciclados selecionados para o estudo foram previamente submetidos a processo de britagem e seleção granulométrica objetivando enquadrá-los como um agregado graúdo de diâmetro máximo de 9,5 mm (brita nº zero).

A Tabela 2 mostra as misturas formuladas para a confecção dos corpos de prova. Partiu-se de uma mistura padrão, de composição em peso conhecida, e que utiliza somente agregados naturais, finos e grossos (Areia Artificial = AA; Areia Natural = AN; Pó de Pedra = PP e Brita zero ou pedrisco = B0). Nas misturas 1, 2, e 3 os componentes da mistura padrão foram substituídos pelos resíduos conforme mostrado. Na Figura 1 pode-se observar amostras dos corpos de prova produzidos em laboratório, a partir de moldes plásticos. Estes, após preenchimento com concreto, foram submetidos a processo de vibração, numa mesa vibratória. Posteriormente, foram submetidos à cura em câmara úmida durante 28 dias e então foram submetidos aos testes mecânicos.



Figura 1: Mesa vibratória, moldes e componentes fabricados.

Tabela 2: Composição das misturas usadas nos corpos de prova (kg)

Componente/Mistura	Mistura 1 (LD)	Mistura 2 (GTH)	Mistura 3 (RH)
Areia Artificial (AA)	5,4	X	X
Areia Natural (AN)	5,4	5,4	5,4
Pó de Pedra (PP)	5,4	X	5,4
Brita Zero (B0)	X	5,4	5,4
Cimento ARI	3,5	3,5	3,5
Escória A.Forno moída (EAF)	1,2	1,2	1,2
Concreto Canal de Gusa (CG)	X	4,0	X
Concreto C. Torpedo (CT)	X	3,4	X
Concreto Desgaseificador (RH)	X	3,4	5,4
Escória de Aciaria (LD)	5,4	X	X

A quantidade de água utilizada foi de 2,0 L para todas as misturas

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 3, 4 e 5 mostram os resultados da análise química, da massa específica e da análise granulométrica, respectivamente, realizados nos resíduos utilizados.

Tabela 3: Composição química dos resíduos (%)

Resíduo/Composto	Escória de Aciaria (LD)	Conc. Ref. Canal de Gusa (CG)	Conc. Ref. Carro Torpedo (CT)	Conc. Ref. Desgaseificador (RH)
SiO ₂	10,82	19,11	28,38	0,22
TiO ₂	0,53	1,36	2,16	0,01
Al ₂ O ₃	4,98	76,72	46,23	96,40
Cr ₂ O ₃	0,15	-	0,06	0,14
Fe ₂ O ₃	26,61	1,34	18,62	1,00
MnO	4,74	-	0,26	-
CaO	41,68	3,60	3,02	1,16
MgO	8,90	0,49	0,39	0,76
Na ₂ O	-	-	0,38	0,24
K ₂ O	-	-	0,32	0,03
ZrO ₂	-	-	0,09	0,01
SO ₃	0,16	-	-	-
P ₂ O ₅	1,43	-	0,09	0,03
C _{total}	0,56	3,77	-	-

Tabela 4: Massa específica dos resíduos (g/cm³)

Resíduo	Massa específica - frasco de Chapman
Escória LD	3,31
Conc. Ref. CG	2,98
Conc. Ref. CT	2,79
Conc. Ref. RH	3,36
NBR 9776/1987	

Tabela 5: Análise granulométrica dos resíduos

Peneira (mm)	Escória LD			Conc. Ref. CG			Conc. Ref. CT			Conc. Ref. RH		
	Massa retida (g)	% retida	% acum. retida	Massa retida (g)	% retida	% acum. retida	Massa retida (g)	% retida	% acum. retida	Massa retida (g)	% retida	% acum. retida
6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,8	3,30	0,33	0,33	0	0	0	34,3	3,43	3,43	0	0	0
2,4	544,0	54,39	54,72	1,6	1,6	1,6	223,1	22,31	25,74	126,4	12,64	12,64
1,2	266,5	26,65	81,37	100,7	10,07	10,23	392,4	39,24	64,98	300,5	30,05	42,69
0,600	109,5	10,95	92,32	196,2	19,62	29,85	149,7	14,97	79,95	174,5	17,45	60,14
0,300	35,1	3,51	95,83	281,7	28,17	58,02	71,0	7,10	87,05	118,9	11,89	72,03
0,150	15,8	1,58	97,41	260,2	26,02	84,04	51,3	5,13	92,18	108,6	10,86	82,89
Fundo	24,9	2,49	99,90	158,8	15,88	99,92	75,7	7,57	99,75	171,2	17,12	100,01
NBR 7217:1987 - Para todos os resíduos, o teste foi feito com uma massa de 1000g												

Os ensaios de lixiviação e solubilização para as amostras da Mistura 1 (LD) e da Mistura 2 (GTH), foram conduzidos de acordo com as normas NBR 10005/04 e NBR 10006/04, respectivamente. Para ambas as amostras, o resultado da lixiviação mostrou que os valores obtidos dos elementos analisados satisfazem aos limites máximos permitidos no Anexo F (Concentração – Limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação) da NBR 10004/04. No ensaio de solubilização, a Mistura 1 (LD) apresentou valores de fenóis totais e alumínio acima dos limites máximos no extrato e a Mistura 2 (GTH) apresentou também o alumínio além dos limites máximos especificados no Anexo G (Padrões para o ensaio de solubilização) da NBR 10004/04 (Resíduos sólidos – Classificação).

A determinação da resistência à compressão das amostras foi feita de acordo com a NBR 9780/87 – Peças de Concreto para Pavimentação – Determinação da Resistência à Compressão – Método de Ensaio. As peças foram fabricadas utilizando-se formas de plástico e as dimensões obtidas nas peças satisfazem as dimensões especificadas na norma de: comprimento máximo de 400 mm, largura mínima de 100 mm e altura mínima de 60 mm. Os corpos de prova ensaiados estavam saturados em água e foram capeados utilizando-se argamassa colante. A Tabela 6 apresenta os valores da resistência à compressão simples obtidos nos ensaios.

Tabela 6: Resistência à compressão simples (MPa)

Composição	Tensão de Ruptura (MPa)	Média (MPa)
Mistura 1 (LD)	11 12 10	11
Mistura 2 (GTH)	26 28 30	28
Mistura 3 (RH)	33 28 25	29
Todas as peças foram ensaiadas com a idade a idade de 28 dias		

A partir da análise dos resultados apresentados na Tabela 6 é possível concluir que as misturas 2 e 3 têm potencial para ser utilizadas na produção de peças intertravadas para pavimentação, na medida em que, sem contar com o processo de adensamento combinado referenciado como “vibro-prensagem” e utilizado na prensas comumente existentes nas empresas de pré-fabricação de artefatos de concreto, proporcionou resistências médias de 28 e 29 MPa, muito próximas do valor mínimo recomendado pela norma brasileira que é de 35 MPa. Apenas a mistura 1 não é adequada à utilização.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos no ensaio de abrasão utilizando as três misturas anteriores, no qual se empregou 250 rotações em máquina de teste em atendimento às prescrições contidas na NBR 13818/03.

Tabela 7: Resultado do ensaio de abrasão

Composição	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Perda por Abrasão (%)
Mistura 1 (LD)	209,7	194,5	7,25
Mistura 2 (GTH)	241,4	235,7	2,36
Mistura 3 (RH)	229,7	224,1	2,44

Os testes de abrasão confirmam a tendência de bom desempenho das misturas 2 e 3 (RH e GTH), cujos valores foram inferiores ao valor mínimo sugerido pela literatura técnica e pelos fabricantes de pisos intertravados, que é abrasão inferior a 4%, ocasião em que o piso resistirá muito bem a tráfego leve a pesado. Como exemplo, um piso coletado em uma obra urbana na cidade de Belo Horizonte, e que vêm apresentando bom desempenho a mais de cinco anos, apresenta, segundo a metodologia de ensaio de abrasão adotada neste trabalho,

resultados em média de 2,0%, valor muito próximo daqueles apresentados na Tabela 7, para as amostras das misturas 2 e 3. A máquina usada no ensaio é mostrada na Figura 2.



Figura 2: Máquina de ensaio de abrasão.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, foi possível avaliar que os resíduos de concretos refratários reciclados, adequadamente ajustados a uma composição granulométrica típica de brita nº zero, têm potencial para ser utilizados como matéria prima na produção de peças intertravadas para uso em pavimentação, proporcionando boas resistências à compressão e à abrasão.

No que tange aos testes de solubilização e lixiviação, não foram detectados o registro de nenhum tipo de material perigoso ou que possa provocar danos ambientais.

É necessário que testes sejam realizados com misturas em verdadeira grandeza, a partir de prensas que normalmente são utilizadas nas fábricas de produtos e artefatos de concreto, proporcionando desta forma a inserção da ação de prensagem à comumente utilizada vibração. Da mesma forma, serão realizados testes a partir de outras misturas que contenham na sua composição, a escória de aciaria LD juntamente com os concretos refratários e também escória granulada de alto forno.

Esta etapa será realizada em breve e os resultados oportunamente serão divulgados.

Agradecimentos

Agradecemos a MAGNESITA S.A por todo apoio dado no desenvolvimento deste trabalho, no fornecimento das amostras, no suporte técnico, no fornecimento de fontes bibliográficas, nas análises e ensaios.

Agradecemos também a SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA. e a FUNDAÇÃO VICTOR DEQUECH pelo incentivo, através da concessão de substancial desconto na realização dos ensaios de lixiviação e solubilização.

REFERÊNCIAS

- 1 SILVEIRA, N. O., SILVA, M. V. A. M., AGRIZZI, E. J., LANA, M. F., SILVA, E. A., MENDONÇA, R. L. Acerita – Escória de Aciaria LD com Redução de Expansão. In **Revista ABM**, São Paulo, vol. I, nº I, p. 1 – 5, julho 2004.
- 2 Anuário Estatístico. IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia. Rio de Janeiro. 2006.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781/1987 – Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação. Rio de Janeiro. 1987. 4p.
- 4 BENQUERER, R. A. Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Siderúrgicas Integradas a Coque. 225p. **Dissertação de Mestrado** apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- 5 DUNSTER, A. M. Blastfurnace slag and steel slag as aggregates: A review of their uses and applications in UK construction. In: 3rd European Slag Conference. 2nd to 4th October 2002, Keyworth, UK. p 21 – 29.
- 6 MOTZ, H. The European Standardization of Slags. In: 2nd **European Slag Conference**. 9th to 11th October 2000. Düsseldorf. P 151 – 162.
- 7 MOTZ, H. Production and use of air-cooled blastfurnace and steel slags. In: 3rd **European Slag Conference**. 2nd – 4th October 2002, Keyworth, UK. p 7 – 20.
- 8 **EUROSLAG**. Legal Status of Slags. Position Paper. January 2006. Disponível em www.euroslag.org/medis/Position_paper_Jan_2006.pdf. Acesso em 18/06/2006.
- 9 GUMIERI, A. G. Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Escórias de Aciaria do Processo LD como Adição em Cimentos. 226p. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2002.
- 10 RAMAKRISHNA, K. R. VIRARAGHAVAN, T. Use of slag for dye removal. **Waste Management**. Vol. 17. Nº 8. 1997. pp 483 – 488.
- 11 LI, Y-S. The use of waste basic oxygen furnace slag and hydrogen peroxide to degrade 4-chlorophenol. **Waste Management**. Vol. 19. 1999. pp 495 – 502.
- 12 YAN, J.; MORENO, L.; NERETNIEKS, I. The long-term acid neutralizing capacity of steel slag. **Waste Management**. Vol. 20. 2000. pp 217 – 233.
- 13 ZIEMKIEWICZ, P.; SIMMONS, J. Use of steel slag for treatment of acid mine drainage. In: 3rd. **European Slag Conference**. 2nd – 4th October 2002, Keyworth, UK. pp 167 – 182.
- 14 AHN, J. S., CHON, C-M., MOON, H-S., KIM, K-W. Arsenic removal using steel manufacturing byproducts as permeable reactive materials in mine tailing containment systems. **Water Research** 37. 2003. pp 2478 – 2488.
- 15 MASLEHUDDIN, M., SHARIF A. M. Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes. **Construction and Building Materials**. 17. 2003. pp 105 – 112.
- 16 SHIH, P. H., WU, Z. Z., CHIANG, H. L. Characteristics of bricks made from waste steel slag. **Waste Management**. Vol. 24. 2004. pp 1043 – 1047.
- 17 **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Coletânea de Normas:
- 18 NBR 10004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004. 71p.
- 19 NBR 10005. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro. 2004. 16p.
- 20 NBR 10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro. 2004. 3p.
- 21 NBR 10007. Amostragem de Resíduos Sólidos.

- 22 **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 9776. Agregados
23 – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco
Chapman. Rio de Janeiro. 1987. 3p.
- 24 **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 7217. Agregados
– Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro. 1987. 5p.
- 25 **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 9780. Peças de
Concreto para Pavimentação – Determinação da Resistência à Compressão –
Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 1987. 3p.
- 26 **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 13818. Placas
Cerâmicas para Revestimento – Especificação. Rio de Janeiro. 1997.