

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE EXPANSÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA LD ANTES E APÓS TRATAMENTO¹

Gisele Lopes Carreiro Rodrigues²

Marina de Oliveira Polese³

Maristela Gomes da Silva⁴

Moema Ribas Silva⁵

Fernando Lordello dos Santos Souza⁶

Resumo

A escória de aciaria, co-produto da fabricação do aço, possui excelentes características físicas e mecânicas. No entanto, seu potencial expansivo, quando em contato com a água, dificulta a sua utilização. Existem tratamentos aplicados à escória de aciaria que podem acelerar essas reações de hidratação e minimizar seu potencial expansivo. A avaliação da expansibilidade da escória de aciaria, tanto não tratada quanto tratada, é essencial para sua devida aplicação na construção civil. O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de expansão, com a utilização do ensaio a vapor *Steam Test*, de escória de aciaria brasileira LD antes e após tratamento ao tempo por 6 meses e por 12 meses. Os resultados mostram que o tratamento ao tempo não é eficiente, adotando-se o limite de 5% de aceitação e período de realização do ensaio de 7 dias. Porém, se considerarmos aplicações em categorias menos rigorosas, as amostras estudadas poderiam ser aplicadas.

Palavras-chave: Escória de aciaria LD; Tratamentos; Expansibilidade; *Steam test*.

EVALUATION OF THE EXPANSIBILITY OF LD STEEL SLAGS NON TREATED AND TREATED

Abstract

The steel slag, co-product of the steel industries, had excellent physical and mechanical characteristics. However its expansibility makes it difficult its use. There are some treatments, applied to the steel slag, that could accelerate the hydration reactions, reducing the volumetric expansion of the steel slag in loco. The evaluation of this potential expansibility of the steel slag is essential to determine the effectiveness of the treatment. The objective of this work is to evaluate the expansion potential of the LD steel slag non-treated and treated, by weathering during 6 months and 12 months, by Steam Test. The results show that the treatment, by weathering, it is not efficient, adopting the limit of 5% of acceptance and period of accomplishment of the assay of 7 days. However, if to consider applications in less rigorous categories, the studied samples could be applied.

Key words: LD Steel slag; Treatment; Expansibility; Steam test.

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

² Engenheira Civil, aluna do curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: giselelcr@gmail.com.

³ Engenheira Civil, aluna do curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: marinapolese@terra.com.br.

⁴ Doutora em Engenharia Civil e professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: margomes@npd.ufes.br.

⁵ Doutora em Engenharia Civil e professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: mribasilva@gmail.com.

⁶ Mestre em Engenharia Civil e professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: fernalor@npd.ufes.br.

INTRODUÇÃO

A escória de aciaria, um dos co-produtos gerados pelas siderúrgicas, é obtida na etapa de redução do ferro, seja na forma de gusa líquido ou na forma de ferro esponja.

No processo de fabricação do aço LD, adiciona-se ao forno primeiramente a sucata e, depois, o ferro gusa líquido no conversor e em seguida, é lançado um jato de oxigênio gasoso a alta velocidade, acima da do som.^(1,2) Depois de fundido o metal, no conversor, são adicionadas cal virgem e cal dolomítica. Para a eliminação de elementos indesejáveis no aço, como carbono, silício e fósforo são usados oxigênio e cal virgem e, para proteção do revestimento refratário do forno é utilizada a cal dolomítica. Finalmente, o aço e a escória de aciaria LD foram gerados. Como o aço possui densidade duas vezes maior que a escória líquida, eles ficam separados.⁽³⁾

A escória de aciaria, que é mais leve, flutua sobre o aço líquido e é escoada e conduzida às baias de resfriamento. Em algumas siderúrgicas, há planta de beneficiamento, em que a escória é britada e separada granulometricamente, além de realizada a separação metálica.

A escória de aciaria LD possui características físicas e mecânicas tão boas quanto às das rochas graníticas. Porém, a escória possui um alto potencial expansivo, que limita sua utilização.

Com o intuito de reduzir o efeito dessas reações expansivas, frente à sua utilização, foram desenvolvidos tratamentos, que aplicados à escória de aciaria viabilizam seu uso. No Brasil, os tratamentos utilizados são exposição prolongada da escória de aciaria ao tempo e ao tempo com molhagem e aeração periódica.

O método de determinação do potencial de expansão da escória de aciaria utilizado no Brasil é o PTM 130. Entretanto, a necessidade de um ensaio rápido e eficiente, para a determinação da expansibilidade das escórias de aciaria, levou ao desenvolvimento do ensaio a vapor *Steam Test*, método este normalizado na Europa (parte da norma prEN 1744-1 – Testes para propriedades químicas de agregados – análises químicas).⁽⁴⁾ O objetivo do *Steam Test* é a reação entre o vapor d'água e o CaO livre e/ou o MgO livre.⁽⁵⁾

Comparam-se os resultados de testes de laboratório do ensaio *Steam Test* com os resultados de expansibilidade obtidos com escórias de aciaria sob condições de utilização em pavimentação, concluiu-se que há coerência entre os resultados obtidos no laboratório, em curto prazo, e o desempenho do material no campo, em longo prazo.⁽⁵⁾

Este trabalho apresenta a avaliação do potencial de expansão, com a utilização do *Steam Test*, de escória de aciaria brasileira LD antes e após tratamento ao tempo por 6 meses e por 12 meses.

METODOLOGIA

São utilizadas três amostras de escória de aciaria LD provenientes da mesma usina. A princípio é analisada a amostra não tratada. Após 6 e 12 meses de tratamento, respectivamente, são analisadas as amostras tratadas.

A amostragem dessas escórias é realizada seguindo um procedimento de amostragem, elaborado por professores da Universidade Federal do Espírito Santo,⁽⁶⁾ com base em norma de amostragem de agregados, NBR NM 26:2000,⁽⁷⁾ norma ambiental, NBR 10007:1987,⁽⁸⁾ e considerações estatísticas.

O tratamento da escória de aciaria consiste na exposição ao tempo com molhagem ocasional e sujeita a intempérie.

As amostras são analisadas quimicamente por complexometria (Perda ao Fogo, Dióxido de silício, Óxido de alumínio, Óxido de ferro, Óxido de cálcio, Óxido de magnésio, Anidrido sulfúrico, Óxido de sódio, Óxido de potássio, Ferro Metálico e Óxido de Cálcio livre) e por absorção atômica (Anidrido Fosfórico). A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) realizou as análises químicas das amostras. Para determinação do potencial de expansão das escórias de aciaria é realizado o teste a vapor *Steam Test*. O ensaio é realizado no LEMAC – Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção Civil, na Universidade Federal do Espírito Santo, com o equipamento *Steam Test* (Figura 1), conforme norma EN 1744-1:1998.



Figura 1 – Equipamento *Steam Test*.

No *Steam Test* a amostra de escória de aciaria seca e compactada, com granulometria específica, é submetida a um fluxo de vapor a 100°C. A umidade necessária para reação da cal livre e do óxido de magnésio livre é continuamente cedida a amostra do teste. Mudanças no volume são lidas a partir de um indicador digital. O período de ensaio definido pela norma EN 1744-1 é de 24 horas para as escórias LD, porém, a norma BS EN 13242/2002,⁽⁹⁾ para escórias de aciaria utilizadas em bases e sub-bases, cita o tempo de ensaio, para as amostras com teor de MgO acima de 5%, de 7 dias (168 horas). O limite de aceitação adotado, de acordo com a norma EN 13242/2002,⁽⁹⁾ é de 5% para a categoria de aceitação mais rigorosa.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das amostras de escória de aciaria LD não tratadas e tratadas constam do Quadro 1.

Quadro 1 – Resultados das análises químicas das amostras de escória de aciaria LD não tratadas e tratadas

Ensaio		NT	T6	T12
Perda ao Fogo	PF	n.d.	n.d.	0,51
Dióxido de silício	SiO ₂	7,40	7,79	8,20
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	2,89	3,49	1,89
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	35,82	37,30	31,72
Óxido de cálcio	CaO	36,44	36,24	35,96
Óxido de magnésio	MgO	10,49	9,23	8,90
Anidrido sulfúrico	SO ₃	0,12	0,13	n.r.
Enxofre	S	n.r.	n.r.	0,07
Óxido de sódio	Na ₂ O	0,01	0,01	0,04
Óxido de potássio	K ₂ O	n.d.	n.d.	0,02
Anidrido Fosfórico	P ₂ O ₅	1,25	1,22	1,64
Ferro Metálico	Fe	n.d.	n.d.	3,76
Óxido de Cálcio livre	CaO I	4,48	7,07	4,77

Obs.: n.r. – não realizado; n.d. – não detectado.

Pode-se observar que o resultado da análise química mostra que o teor de MgO das amostras estudadas é superior a 5%, confirmando a necessidade de realização do *Steam Test* por período de 7 dias. O resultado do teor de CaO livre encontrado é inesperado, já que, com o tratamento, esse teor deveria diminuir. Este resultado pode ser explicado pela pequena quantidade de amostra utilizada neste ensaio e pela heterogeneidade inerente da escória.

As Figura 2, Figura 3 e Figura 4 mostram os resultados do potencial de expansão das amostras não tratada e tratada ao tempo por 6 meses e por 12 meses, segundo o método BS EN 1744-1:1998 realizado por período de 7 dias.

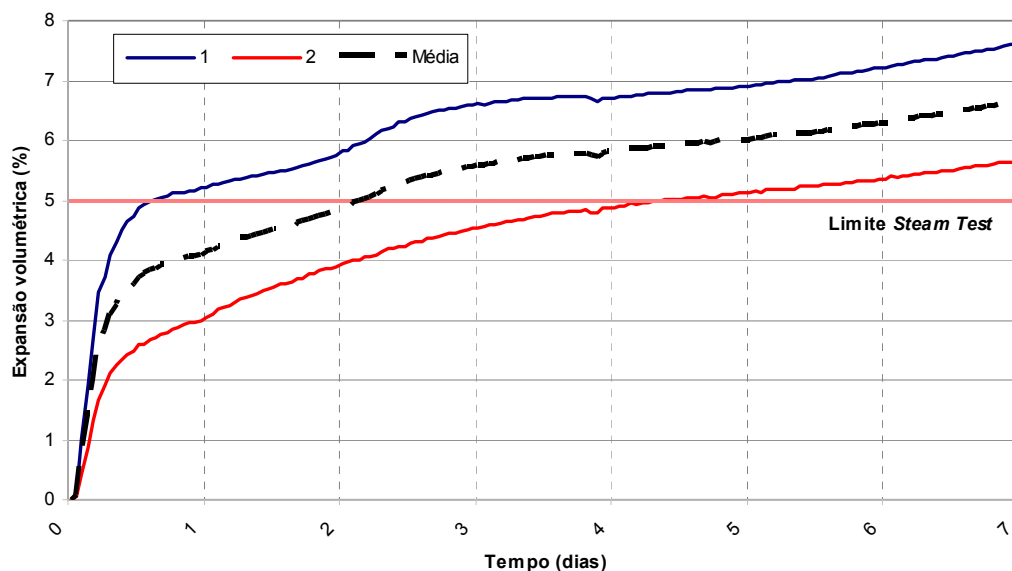


Figura 2 - Resultados da expansão acumulada da amostra não tratada, segundo o método *Steam Test*, por período de 7 dias

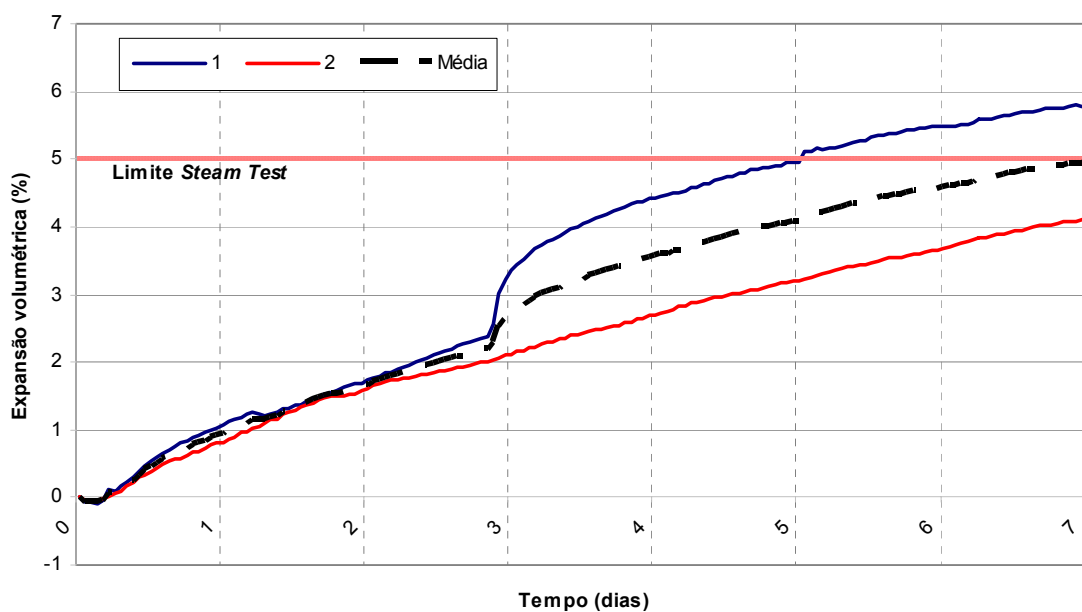


Figura 3 - Resultados da expansão acumulada da amostra tratada ao tempo, por 6 meses, segundo o método *Steam Test*, por período de 7 dias.

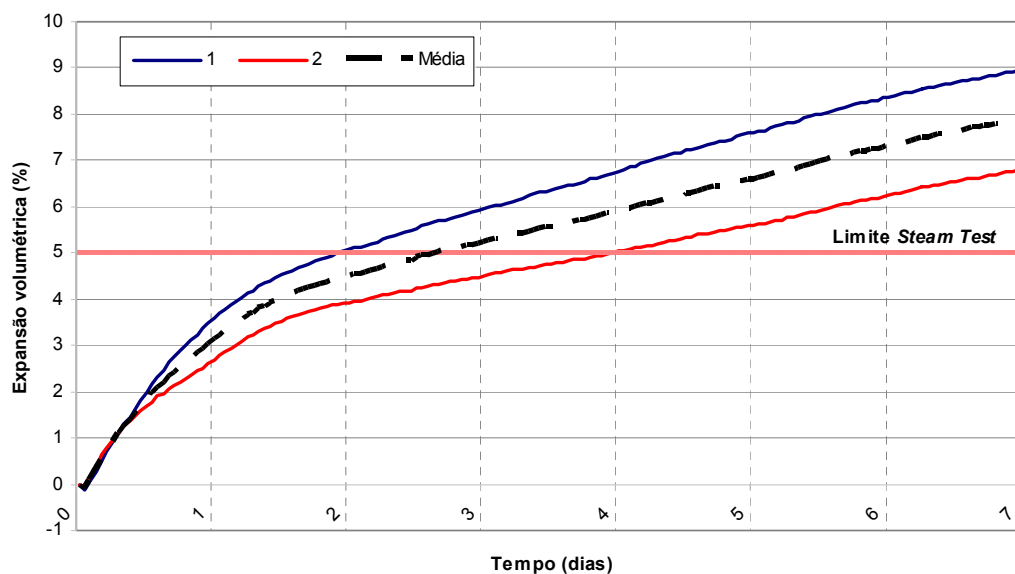


Figura 4 - Resultados da expansão acumulada da amostra tratada, por 12 meses, segundo o método *Steam Test*, por período de 7 dias

A

Tabela 1 mostra a análise estatística das amostras não tratada, tratada ao tempo por 6 meses e por 12 meses da Usina 1. A Figura 5 mostra o potencial de expansão máximo, determinado pelo *Steam Test*, realizado por 7 dias, das amostras de escórias de aciaria da Usina 1.

Tabela 1 – Análise estatística das amostras.

Análise estatística	Amostras tratadas ao tempo		
	não tratada	tratada por 6 meses	tratada por 12 meses
Média	6,64	4,96	7,86
Desvio padrão	1,38	1,16	1,53
Máximo	7,61	5,78	8,95
Mínimo	5,66	4,14	6,78
Variância	1,90	1,35	2,34
Coef. de variação (%)	20,79	23,43	19,44

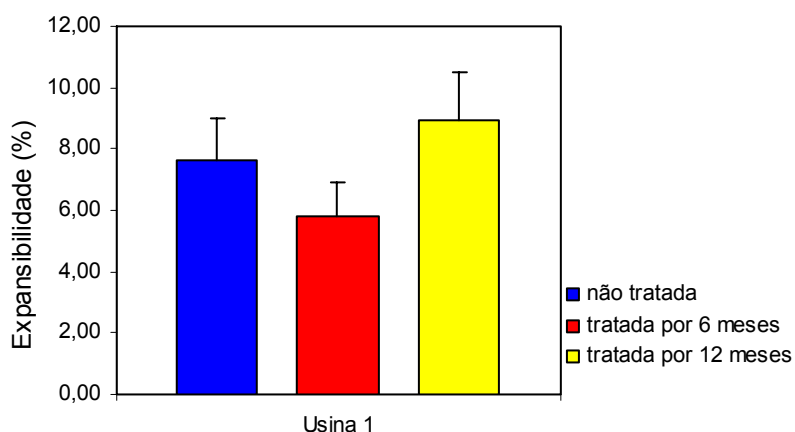


Figura 5 – Potencial de expansão máximo determinado pelo *Steam Test*, realizado por 7 dias.

Comparando-se os resultados do potencial de expansão das amostras com os resultados da análise química, pode-se concluir que o teor de cálcio livre não pode ser associado ao potencial de expansão. Observa-se que, na amostra tratada por 6 meses, em que o teor de CaO livre é maior, ocorre o menor potencial de expansão. Com o tratamento de 6 meses na amostra de escória de aciaria utilizada, há uma redução no potencial de expansão. Porém, observa-se que com tratamento prolongado para 12 meses há um aumento do potencial de expansão. Este resultado pode ser, em parte, justificado pela heterogeneidade da própria escória e pela falta de critérios para melhor controle do tratamento.

Dessa forma, o tratamento analisado, ao tempo, não é eficiente, quando avaliado pelo ensaio *Steam Test*, adotando-se o valor máximo e o limite de 5% de aceitação com período de realização do ensaio de 7 dias. Provavelmente, o tratamento utilizado somente acelera parte das reações de hidratação referentes ao óxido de cálcio. Logo, é necessário reavaliar este tratamento de redução do potencial de expansão de escórias de aciaria LD.

Porém, se considerarmos outras categorias de aplicações, em que a escória de aciaria não se encontra confinada, as amostras de escórias de aciaria estudadas poderiam ser aplicadas.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados permite concluir que o tratamento avaliado, ao tempo, por 6 meses e por 12 meses, não reduz o potencial de expansão das escórias de aciaria LD a níveis satisfatórios, considerando o limite de 5% do ensaio *Steam Test*, realizado por período de 7 dias. Entretanto, se considerarmos outras categorias de aplicações, em que a escória de aciaria não se encontra confinada, as amostras estudadas poderiam ser aplicadas. Observa-se que, na Europa, cada país define a categoria de utilização da escória de aciaria, de acordo com a sua experiência de aplicação.

É importante ressaltar que, o ensaio *Steam Test* é extremamente agressivo e expõe a amostra a condições de aceleração dos mecanismos de expansão e, conseqüentemente, favorece a heterogeneidade dos resultados de potencial de expansão das escórias de aciaria. Portanto, pode-se sugerir sua melhor aplicação para identificação da expansão decorrente da hidratação do MgO livre, que pode ser extremamente lenta nas utilizações das escórias de aciaria como base e sub-base, e que pode comprometer o desempenho do pavimento em serviço. Deve-se considerar que, em várias situações os problemas, originados da expansão da escória de aciaria utilizada em base e sub-base, ocorreram após alguns anos de utilização.

Porém, é necessário revisar o limite de aceitação deste método, para as escórias de aciaria LD brasileiras, com monitoramento de trechos experimentais por pelo menos 5 (cinco) anos, visando conhecer melhor a expansibilidade proveniente das reações de hidratações do óxido de magnésio livre, que são mais lentas que as reações do óxido de cálcio livre.

Agradecimentos

As autoras agradecem o apoio financeiro, para a realização deste trabalho, das seguintes instituições: FINEP, CNPq, CAPES e IBS.

REFERÊNCIAS

- 1 ARAUJO, A. L. **Manual de Siderurgia – Produção**. São Paulo, Editora Arte & Ciência, 1997 V.1.
- 2 GENTILE, E.F.; MOURÃO, M.B. Visão geral do processo siderúrgico. **Curso Siderurgia para não Siderurgistas**. Programa de Educação Continuada. Associação Brasileira de Metalurgia. São Paulo, 06 a 10 de março de 2006.
- 3 MASUERO, A.B.; DAL MOLIN, D.; VILELA, A.C. Estabilização e viabilidade técnica da utilização de escórias de aciaria elétrica. **ANTAC**, Porto Alegre, v. 4, p. 57-81, 2004.
- 4 BRITISH STANDARD – BS. **BS EN 1744-1 – Test for chemical properties of aggregates – chemical analysis**. 1998.
- 5 MOTZ, H; GEISELER, J. – **Products of steel slag an opportunity to save natural resources**, In: Waste Management 21, Duisburg, Alemanha, 2001, p. 285-293.
- 6 SOUZA, F.L.S.; PENA, D.C.; SILVA, M.G.; ZANDONADE, E.; BRAGA, F.S.; **Procedimento de amostragem da escória de aciaria**. Universidade Federal do Espírito Santo. 2003.

- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. – **NBR NM 26** – Agregado – amostragem - 2000.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. – **NBR 10007** – Amostragem de resíduos sólidos – 1987.
- 9 BRITISH STANDARD – BS. **BS EN 13242** – **Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction** .2002.