

SIDERÚRGICAS E SUSTENTABILIDADE: ALTERNATIVA COM O USO DE CO-PRODUTO SIDERÚRGICO NA ENGENHARIA RODOVIÁRIA ¹

Ronaldo Lacourt de Mendonça²
Leomar João Nascimento³
Karine Meirelles Nascimento⁴

Resumo

A escória de aciaria, juntamente com a escória de alto forno, é um dos co-produtos que são gerados em maiores volumes pelas siderúrgicas. É fato, também, que sua aplicabilidade, ao contrário da escória de alto forno, é bastante comprometida tendo em vista suas especificidades como heterogeneidade e alto potencial expansivo. Nas últimas três décadas este material vem sendo aplicado na engenharia rodoviária com relativo sucesso, porém, esta utilização ainda encontra-se tímida, não possibilitando a destinação da totalidade dos volumes gerados. Assim sendo, o propósito deste trabalho é evidenciar os vários estudos que foram e são realizados objetivando a garantia do sucesso na aplicação do material, como aqueles que resultaram no desenvolvimento de um processo de tratamento da escória de aciaria com o intuito de redução de seu potencial expansivo, bem como os sucessos de aplicações já realizadas em obras rodoviárias. Hoje, estudos estão sendo conduzidos de forma a normalizar a aplicação da escória de aciaria em obras de infra-estrutura rodoviária, com a finalidade de garantir ao material confiabilidade e aceitação do mercado consumidor, conseguindo-se, assim, destinação para o mesmo em sua totalidade. Visando a normalização, foi celebrado um Convênio entre DNIT/17ªUNIT/IPR e CST, o qual objetiva a determinação de novos parâmetros e procedimentos, os quais serão determinados com base nas caracterizações físicas e químicas do material, bem como a avaliação do seu potencial expansivo em laboratório, aliados à sua aplicação no campo, para, após comprovação técnica de sua viabilidade, a normalização dos métodos a serem utilizados na execução dos serviços.

Palavras-chave: Escória de aciaria, ACERITA®, Co-produtos

1 Congresso Anual da ABM, 25 a 28 de julho de 2005, Belo Horizonte – MG.

2 *Engenheiro Civil, Consultor na área da Engenharia Rodoviária, Representante da ABPV – Associação Brasileira de Pavimentação – no estado do Espírito Santo*

3 *Engenheiro Civil*

4 *Engenheira Civil*

1 INTRODUÇÃO

Com o grande crescimento, em escala mundial, das indústrias e a crescente busca, na atualidade, do desenvolvimento em bases auto-sustentáveis, tornou-se imperioso o reaproveitamento dos materiais oriundos dos mais variados processos industriais.

Com a indústria siderúrgica não foi diferente. Responsável pela geração, no mundo, de mais de 44 milhões de toneladas por ano de escória de aciaria (ARTHUR D LITTLE LTD., SETEPLA TECNOMETAL ENGENHARIA LTDA, 1999, RG-8), um dos co-produtos do aço, sendo que dessa quantidade total, cerca de 3 milhões de toneladas são geradas no Brasil, sentiu necessidade de viabilizar a reciclagem dos seus co-produtos, buscando, para isso, o desenvolvimento de novas tecnologias. Isso porque com a reciclagem de seus co-produtos, além de reduzir ou até mesmo extinguir os seus custos com deposição de materiais e com tratamentos impostos pelas organizações ambientais, seria capaz de promover o seu desenvolvimento sustentável, o qual configura a atual demanda mundial.

Tendo em vista a necessidade de promover sua sustentabilidade, a indústria siderúrgica passou a buscar destinação para os seus co-produtos. Destes, vale ressaltar que, como foi dito por Machado (2000, p. 3), diferentemente da escória de alto forno, a qual já possui destinação definida na fabricação de cimento, a escória de aciaria tem sua destinação comprometida, tendo em vista o seu alto potencial expansivo e sua heterogeneidade. Assim sendo, sua aplicabilidade como matéria-prima na construção civil fica restrita a alguns casos específicos.

Mesmo com essa dificuldade, a utilização, no mundo, de escória de aciaria na engenharia rodoviária, mais especificamente como agregado em revestimento asfáltico, vem sendo percebida desde o início da década de 70, sendo que no Brasil a utilização do referido material teve início na década de 80, em camadas do pavimento e em vias não pavimentadas em Vitória e Vila Velha no estado do Espírito Santo. (BRANCO, 2004, p. 1)

Apesar da escória de aciaria estar tendo destinação há aproximadamente 30 anos, é ainda insuficiente, tendo em vista os grandes volumes que são gerados anualmente. Diante dessa realidade, as siderúrgicas verificaram a necessidade do desenvolvimento de técnicas eficientes, as quais garantissem o bom desempenho da escória de aciaria nas obras em que a mesma fosse empregada, de forma a ampliar sua utilização em larga escala, dando destinação adequada à totalidade das quantidades geradas.

Tendo conhecimento de que a aplicação adequada da escória de aciaria para uso nas camadas que compõe um pavimento depende, fundamentalmente, do controle do seu alto potencial expansivo, a Companhia Siderúrgica de Tubarão - CST, em parceria com a Kaeme Empreendimentos e Consultoria Ltda, desenvolveram um processo de tratamento para redução da expansão, utilizando-se de aeração e umectação na escória de aciaria "in natura" recém produzida pela Companhia Siderúrgica de Tubarão - CST, com o intuito de reduzir a sua expansibilidade até que a mesma atingisse valores aceitáveis, recomendados pelo método PTM-130/78 da Universidade da

Pensilvânia com adaptação do DER/MG, que por sua vez serviram de embasamento para elaboração (hoje em REVISÃO) da norma DNIT-EM 262/94 – Escórias de aciaria para pavimentos rodoviários, para o emprego em obras civis sem que para isso houvesse qualquer alteração no processo de fabricação do aço. A escória de aciaria gerada por este processo de aeração e umectação é denominada escória de aciaria com redução de expansão, a ACERITA®.

Este foi um grande passo rumo a boa aplicação técnica da escória de aciaria na construção rodoviária, porém não suficiente. Isso porque, além de se ter que controlar o potencial expansivo, deve-se também determinar parâmetros para que a mesma seja aplicada e apresente bom desempenho nas obras. A determinação de parâmetros é importante uma vez que, sendo a ACERITA® um material alternativo no uso de camadas de um pavimento, a aplicação demanda uma sistemática própria na sua aplicação.

Assim sendo, verificou-se a necessidade de que, além de determinação de uma sistemática própria de aplicação, era imperiosa a normalização de tal sistemática, tendo em vista que, dessa forma, o material ganharia confiabilidade e aceitação no mercado consumidor. Buscando suprir tal necessidade, passou-se a realizar estudos com esse fim, sendo, para isso, celebrado um Convênio de Cooperação Técnica entre o DNIT/17ªUNIT, o IPR e a CST, o qual objetiva a determinação de novos parâmetros e procedimentos para que a aplicação da escória de aciaria seja viabilizada, sendo que para chegar ao fim pretendido, está sendo realizada a caracterização física e química do material bem como a avaliação de seu potencial expansivo, aliada à sua aplicação em obras rodoviárias com o propósito de se avaliar o seu desempenho, culminando com, após comprovação técnica de sua viabilidade, a normalização dos procedimentos e parâmetros para execução dos serviços.

Dessa forma, os estudos realizados em torno da aplicação do material tomaram novo rumo, ou seja, passaram a focar a normalização dos procedimentos que deverão ser utilizados quando da execução de obras com o referido material. Hoje, os estudos encontram-se em fase avançada de desenvolvimento, com grandes perspectivas de conclusão e concretização da norma.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o alcance da viabilidade de aplicação da escória de aciaria em obras rodoviárias foi necessário a definição de uma série de processos.

Primeiramente, foi necessário adequar a granulometria do material à uma das granulometrias indicadas pelo DNIT para aplicação rodoviária, tendo sido desenvolvida uma planta de britagem na área interna da CST, na qual o material após ser beneficiado, atinge a granulometria da FAIXA “C” determinada pelo DNIT para execução de camadas de base em pavimentos rodoviários. Em segundo lugar, se fez necessário a redução do potencial expansivo da escória de aciaria, sendo este um fator que obstaculizava a utilização do referido material na área rodoviária. Assim sendo, a CST juntamente à uma empresa de consultoria rodoviária, a Kaeme Empreendimentos e Consultoria Ltda, desenvolveram um processo de redução de expansão, sendo este

processo objeto de patente, baseado na aeração e umectação do material, até que o mesmo atinja valores aceitáveis, recomendados pelo método PTM-130/78 da Universidade da Pensilvânia com adaptação do DER/MG. O material gerado deste processo foi a escória de aciaria com redução de expansão, a qual foi denominada de ACERITA®.

Após a definição desses dois processos, um de adequação da granulometria do material e outro de redução do seu potencial expansivo, sentiu-se a necessidade de se realizar estudos de forma a se avaliar as outras características do novo material, a ACERITA®, as quais possuem relevância para obras rodoviárias, tais como a determinação de seus índices físicos, massa específica real e unitária, massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, capacidade de carga (a qual é medida em termos de ISC – Índice de Suporte Califórnia), resistência ao desgaste, forma, durabilidade.

Tais análises foram feitas a partir de ensaios laboratoriais, os quais seguiram os métodos de ensaio preconizados pelo DNIT, a saber:

- DNIT - ME 122/94 (Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito)
- DNIT - ME 082/94 (Solos - determinação do limite de plasticidade)
- DNIT - ME 054/94 (Equivalente areia)
- DNIT - ME 081/94 (Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo) e DNIT - ME 084/95 (Agregado miúdo - determinação da densidade real)
- DNIT - ME 152/95 (Agregado em estado solto - determinação da massa unitária)
- DNIT – ME 129/94 (Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas)
- DNIT - ME 049/94 (Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas)
- DNIT - ME 086/94 (Agregado - determinação do índice de forma)
- DNIT - ME 035/98 (Agregados - determinação da abrasão "Los Angeles")
- DNIT - ME 089/94 (Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio e magnésio).

De posse de todas as informações supracitadas, verificou-se a possibilidade de utilização do referido material com argila, tendo sido estudadas as misturas da escória de aciaria com redução de expansão – ACERITA® com argila, em diferentes percentuais em peso, com a realização dos ensaios laboratoriais supracitados.

Aliadas às análises laboratoriais, foram realizadas aplicações em obras rodoviárias, as quais seguiram as sistemáticas de aplicação preconizadas pelo DNIT para materiais naturais, a saber: as especificações de serviços DNIT – ES 303/97 (Pavimentação - base estabilizada granulometricamente) e DNIT – ES 301/97 (Pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente), de forma a se ter a confirmação em campo, do desempenho do material bem como de suas misturas com argila.

3 RESULTADOS ALCANÇADOS E DISCUSSÃO DOS MESMOS

Como já foi explicitado, com relação à granulometria do material, após o beneficiamento, o mesmo atinge granulometria adequada a aplicação rodoviária, mais precisamente a “faixa C” do DNIT, e com relação à expansibilidade, valores aceitáveis

definidos pelo método PTM-130, que diz que os valores obtidos com a realização do ensaio devem ser menores que 3%.

Já as misturas com argila, adicionada à ACERITA® nos percentuais de 10% a 50%, as mesmas se enquadraram nas faixas C ou D preconizadas pelo DNIT, ou seja, possuem granulometria adequada a aplicação rodoviária.

Tabela 1. Enquadramento de faixas para bases rodoviárias do DNIT

MISTURAS	FAIXA PARA CAMADA DE BASE PRECONIZADA PELO DNIT
ACERITA® + ARGILA (90% e 10%)	FAIXA C
ACERITA® + ARGILA (80% e 20%)	FAIXA C
ACERITA® + ARGILA (70% e 30%)	FAIXA D
ACERITA® + ARGILA (60% e 40%)	FAIXA D
ACERITA® + ARGILA (50% e 50%)	FAIXA D

Fonte: Análises laboratoriais no Laboratório de Solos DNIT/17ª UNIT

Com relação às demais características analisadas, relevantes à aplicação rodoviária, notou-se a superioridade do material em relação aos materiais naturais comumente utilizados, sendo mostrados a seguir os valores encontrados para a ACERITA®, suas misturas com argila e para o material pétreo comumente utilizado, a brita.

Tabela 2. Caracterização da ACERITA®

PLASTICIDADE	NÃO PLÁSTICO
EQUIVALENTE AREIA	>35 %
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÁXIMA	2,300 a 2,450 g/cm ³
UMIDADE ÓTIMA	10 a 12 %
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)	> 100 %
MASSA ESPECÍFICA REAL	3,20 a 3,40
MASSA UNITÁRIA	1,65 a 1,85 Kg/dm ³
ÍNDICE DE FORMA	0,800 a 0,950
ABRASÃO LOS ANGELES	17 a 18 %

Fonte: Análises laboratoriais no Laboratório de Solos DNIT/17ª UNIT

Tabela 3. Caracterização das misturas de ACERITA® e argila

LIMITE DE LIQUIDEZ	20 a 50 %
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	2 a 20 %
EQUIVALENTE AREIA	5 a 25 %
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÁXIMA	2,000 a 2,450 g/cm ³
UMIDADE ÓTIMA	9 a 12 %
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)	em torno de 100 %
MASSA ESPECÍFICA REAL	3,00 a 3,40
MASSA UNITÁRIA	1,40 a 1,70 Kg/dm ³

Fonte: Análises laboratoriais no Laboratório de Solos DNIT/17ª UNIT

Tabela 4. Caracterização da brita

PLASTICIDADE	NÃO PLÁSTICO
EQUIVALENTE AREIA	70 %
MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÁXIMA	2,180 g/cm ³
UMIDADE ÓTIMA	10 %
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)	100 %
MASSA ESPECÍFICA REAL	2,80
MASSA UNITÁRIA	1,45 Kg/dm ³
ÍNDICE DE FORMA	0,700
ABRASÃO LOS ANGELES	50 %

Fonte: Análises laboratoriais no Laboratório de Solos DNIT/17ª UNIT

Ainda com relação ao material, pode-se destacar as várias aplicações já realizadas no estado do Espírito Santo, no entorno da siderúrgica CST, nas quais está sendo verificado, a partir do monitoramento que é realizado pela consultoria Kaeme, o bom comportamento do material. A seguir serão mostradas algumas fotografias das obras realizadas e monitoradas.



Figura 1. Depósito de granito



Figura 2. Ciclovía

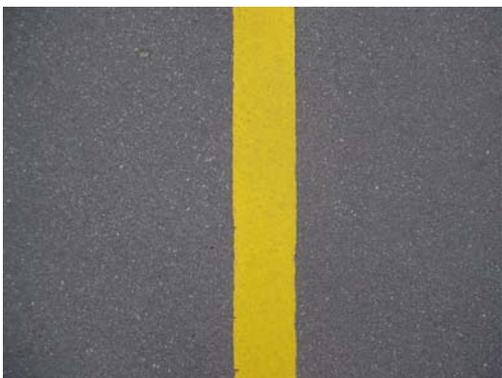


Figura 3. Bom desempenho pavimento com ACERITA®



Figura 4. Pátio de estocagem



Figura 5. Vias pavimentadas



Figura 6. Vias pavimentadas sujeitas à tráfego pesado

4 CONCLUSÕES

Assim sendo, com os materiais e métodos explicitados acima, está sendo possível a utilização do material e de suas misturas com argila em obras rodoviárias, mais precisamente nas camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários.

Feito isso, a escória de aciaria que, antes, não possuía aplicação definida, passou a ser utilizada na engenharia rodoviária com sucesso, tendo sido realizadas diversas obras, nas quais não estão sendo verificados, até hoje, qualquer comprometimento de suas estruturas, sendo tal constatação feita com base no monitoramento o qual é realizado pela consultoria já mencionada.

Apesar de a normalização ainda não ter sido alcançada, uma vez que a pesquisa para atingimento da mesma ainda está em andamento, os resultados já alcançados até o presente momento são bastante animadores, já havendo, inclusive, uma demanda do produto em escala comercial. A expectativa é de que, após a normalização do material para utilização em obras de engenharia rodoviária, o uso deverá ser bastante ampliado.

Agradecimentos

Ao Convênio de cooperação técnica firmado entre o DNIT/17ª UNIT/IPR e a CST pelo apoio e pela oportunidade dada de executar os estudos apresentados;

À CST - Companhia Siderúrgica de Tubarão pelo apoio e pela oportunidade dada de desenvolver os estudos apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTHUR D. LITTLE LTD, SETEPLA Tecnometal Engenharia Ltda, 1999, **Relatório Técnico - Estudo sobre aplicações de escórias siderúrgicas preparado para o Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS e empresas siderúrgicas associadas.**

MACHADO, A.T., 2000, **Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria**. Tese de M. Sc., POLI/USP, São Paulo, SP.

BRANCO, V.T.F.C, 2004, **Caracterização de misturas asfálticas com uso de escória de aciaria como agregado**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PTM - Pennsylvania Testing Method 130,1978. **"Método de ensaio para a avaliação do potencial de expansão da escória de aciaria"**. Adaptado pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais - DMA-1/DER-MGG-1982.

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994a, EM 262 **"Escórias de aciaria para pavimentos rodoviários"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994b, ME 122 **"Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994c, ME 082 **"Solos - determinação do limite de plasticidade"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994d, ME 054 **"Equivalente areia"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994e, ME 081 **"Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1995, ME 084 **"Agregado miúdo - determinação da densidade real"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994f, ME 152 **"Agregado em estado solto - determinação da massa unitária"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994g, ME 049 **"Solos - compactação utilizando amostras não trabalhadas"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994h, ME 049 **"Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994i, ME 086 **"Agregado - determinação do índice de forma"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994j, ME 035 **"Agregados - determinação da abrasão *Los Angeles*"**

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994I, ME 089
“Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio e magnésio”

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1997, ES 303
“Pavimentação – base estabilizada granulometricamente”

DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1997, ES 301
“Pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente”

7 BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

ALVARENGA, J.C.A, 2001, Um estudo de avaliação estrutural e econômica de pavimentos flexíveis de escória de aciaria. **Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.**

Consulpavi Projetos e Consultoria Ltda, 2002, **Uso de escória de aciaria LD em todas as camadas do pavimento.** BR-393, Volta Redonda, RJ, Brasil.

SILVA, E.A, 1994, **Uso de escória de aciaria em pavimentação viária.** 28ª Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, v. 1.

SILVA, E.A e MENDONÇA, R.L., 2001b, **Utilização de escória de aciaria em todas as camadas do pavimento.** Revista Engenharia Ciência e Tecnologia. V. 4, n.2.

SILVA, E.A e MENDONÇA, R.L. e DOBELE, C.H.M, 2002, **Utilização da escória de aciaria em todas as camadas do pavimento.** 16º Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro, RJ.

SILVA, E.A, 2003a, **1º Seminário sobre uso de escória em pavimentação viária,** Salvador, BA.

SILVA, E.A, 2003b, **Relatório desenvolvido para a Construtora Queiroz Galvão, trecho Rodovia do Contorno, Volta Redonda II,RJ.**

SILVA, E.A e MENDONÇA, R.L. e DOBELE, C.H.M, SIQUEIRA, M., SOARES, J.B., 2003, **Uma experiência inédita: uso de escória de aciaria LD em toda as camadas do pavimento.** 34º Reunião Anual de Pavimentação, Campinas, SP, v.I

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002, **Relatório Técnico - Estudo para avaliação do tempo de estabilização da escória de aço carbono da Gerdau S.A.**

SIDERURGICAL INDUSTRY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: ALTERNATIVE WITH THE USE OF SIDERURGICAL BY-PRODUCT IN ROAD CONSTRUCTION

*Ronaldo Lacourt de Mendonça
Leomar João Nascimento
Karine Meirelles Nascimento*

Abstract

The steel slag, along with the blast furnace slag, is one of the main co-products developed by steel-industries, in terms of amount produced. It's a fact that, its applicability, as opposed to the blast furnace slag, is highly compromised, due to its specificities as heterogeneity and high expansive potential. In the last three decades this material has been applied on road construction with relative success. However, this use is still incipient, not allowing the placing of all the generated volumes. In light of this situation, the purpose of this paper is to show up the many studies that have been and are being made in order to promote a successful appliance of the material. Among these studies are those that resulted on the development of a treatment process for the steel slag, intending to reduce its expansive potential, as well as some successful appliances that have already been carried out on road construction. Nowadays, studies are being conducted to normalize the use of the steel slag in road construction, aiming to guarantee to the material reliability and acceptance from the consumers, as a way to ensure the complete absorption of the product by the market. Pursuing the normalization, an Accord was celebrated between DNIT/17^oUNIT/IPR and CST, which sets new parameters and procedures, determined by the material's physical and chemical peculiarities, as well as the evaluation of its expansive potential in laboratory, allied to its appliance in field, in order to, after technical proofs of its viability, promote the normalization of the methods to be used on the execution of the services.

Key-words: Steel slag, ACERITA®, co-products