

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

Ronaldo Lacourt de Mendonça ²

Leomar João Nascimento ³

Karine Meirelles Nascimento ³

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/17^aUNIT/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. O aspecto ambiental, igualmente de suma importância, também é contemplado deste convênio, objetivando uma avaliação por amostragem do solo e da água do lixiviamento na pesquisa em desenvolvimento no IPR/RJ no equipamento da pista experimental circular) utilizada para teste de pavimentos.

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

SIDERURGICAL AND SUSTENTABILIDADE: ALTERNATIVE WIHT THE IRONMAKING SLAG BY-PRODUCT IN ROAD ENGINEERING

Abstract

The steel slag, along with the blast furnance 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 furnance 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^aUNIT/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

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

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

³ Engenheiro 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.

A Indústria Siderúrgica que é responsável pela geração, no mundo, de mais de 150 milhões de toneladas por ano de escória de aciaria,⁽¹⁾ e que dessa quantidade total, cerca de 4,2 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,⁽²⁾ 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 condicionada a adequação do seu uso.

Mesmo com essa dificuldade, a utilização, de escória de aciaria na engenharia rodoviária, mais especificamente como sub-base e base de pavimento e como agregado em revestimento asfáltico, vem sendo realizada 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.⁽³⁾

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, somente a CST-ARCELOR BRASIL deverá gerar até o final de 2007 cerca de 800.000 toneladas/ano.

Diante dessa realidade, verificou-se a necessidade do desenvolvimento de técnicas eficientes, as quais garantissem o bom desempenho da escória de aciaria, principalmente nas obras rodoviárias, e 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 CST-ARCELOR BRASIL, em parceria com a Kaeme Empreendimentos e Consultoria Ltda, desenvolveram um processo de tratamento para acelerar a redução da expansão, utilizando-se de aeração e umectação na escória de aciaria "in natura" recém produzida pela CST, até a expansão da mesma atingisse valores aceitáveis, recomendados pelo método PTM-130/78 da Universidade da Pensilvânia com adaptação do DER/MG.⁽⁴⁾ Este método serviu de embasamento para elaboração (hoje em REVISÃO) da norma DNIT-EM 262/94 – “Escórias de aciaria para pavimentos rodoviário”⁽⁵⁾ 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, ACERITA®.

Este foi um grande passo, em direção 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 (2004) um Convênio de Cooperação Técnica entre o DNIT/17ªUNIT, o IPR e a CST, o qual objetiva a determinação 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, ainda neste ano (2007).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o alcance da viabilidade de aplicação da escória de aciaria do tipo LD, gerada na CST, 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, apresenta 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 dificultava 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, equivalente areia, capacidade de carga (a qual é medida em termos de ISC – Índice de Suporte Califórnia), resistência ao desgaste e índice de forma.

Foram realizadas todas as análises 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*)⁽⁶⁾
- DNIT - ME 082/94 (*Solos - determinação do limite de plasticidade*)⁽⁷⁾
- DNIT - ME 054/94 (*Equivalente areia*)⁽⁸⁾
- DNIT - ME 081/94 (*Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo*)⁽⁹⁾
- DNIT - ME 084/95 (*Agregado miúdo - determinação da densidade real*)⁽¹⁰⁾
- DNIT - ME 152/95 (*Agregado em estado solto - determinação da massa unitária*)⁽¹¹⁾
- DNIT - ME 129/94 (*Solos - compactação utilizando amostras não trabalhadas*)⁽¹²⁾
- DNIT - ME 049/94 (*Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas*)⁽¹³⁾
- DNIT - ME 086/94 (*Agregado - determinação do índice de forma*)⁽¹⁴⁾
- DNIT - ME 035/98 (*Agregados - determinação da abrasão "Los Angeles"*)⁽¹⁵⁾

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.

Aliadas às análises laboratoriais, foram realizadas várias 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*)⁽¹⁶⁾ e DNIT – ES 301/97 (*Pavimentação - sub-base estabilizada granulometricamente*),⁽¹⁷⁾ de forma a se ter através de um monitoramento, a confirmação em campo, do desempenho do material bem como a avaliação do comportamento das misturas com argila.

O monitoramento realizado consistiu basicamente no levantamento visual contínuo, conforme norma do DNIT 008/2003 PRO⁽¹⁸⁾ e 009/2003 PRO⁽¹⁹⁾ onde foi verificando o valor da serventia atual (VSA), o ICPF, e o IGGE, além dos ensaios para a determinação das deformações elásticas através da viga Benkelman conforme DNIT – ME 24/94.⁽²⁰⁾

3 RESULTADOS

Quadro 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

Quadro 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

Quadro 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

Quadro 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)	80% a 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

A seguir mostraremos algumas fotografias das obras realizadas cujo histórico de acompanhamento técnico, vai desde a construção até o momento atual, sendo que algumas já com mais de 5 anos de utilização.



Figura 1 – Levantamento visual contínuo da obra do pátio de granito da Brasil Quarries Importação e Exportação Ltda



Figura 2 – Levantamento visual contínuo da obra da ciclovia – Prefeitura Municipal da Serra/ES



CLIENTE: Terminal Industrial Multimodal da Serra - TIMS
OBRA: Pavimentação vias internas **ÁREA:** 35.000 m²
SERVIÇO EXECUTADO: Recuperação do pavimento
MATERIAL: Escória de Aciaria com redução de Expansão
COMPACTAÇÃO: PI **CBR:** 112% **VOLUME:** 25.000 t
MONITORAMENTO: *INICIO* :maio / 01 *FIM* : dez / 06
 IGGE<20 ICPF >3,5 IES=0 CÓDIGO A - **ÓTIMO**
VIGA BENKELMAN : Deformação máxima 47 x 10⁻² mm

Figura 3 – Verificação com viga Benkelman da obra de pavimentação de vias internas – Terminal Industrial Multimodal da Serra - TIMS



CLIENTE: Prefeitura Municipal da Serra / ES
OBRA: Av. Industrial (Tráfego Pesado) **ÁREA:** 35.000 m²
SERVIÇO EXECUTADO: Execução de base e sub base
MATERIAL: Escória de Aciaria – ACERITA
COMPACTAÇÃO: PI **CBR:** 100% **VOLUME:** 38.000 t
MONITORAMENTO: início set 06 - *Em fase final de construção*

Figura 4 – Verificação da camada de base com ACERITA® na obra da Avenida Industrial (tráfego pesado) – Prefeitura Municipal da Serra/ES



CLIENTE: Petróleo Brasileiro S.A - PETROBRAS
OBRA: PÁTIO com base exposta **ÁREA:** 81.000 m²
SERVIÇO EXECUTADO: Base p/ Blocos e Base Exposta
MATERIAL: Escória de Aciaria ACERITA (20 cm)
COMPACTAÇÃO: PI **CBR:** 100 % **VOLUME:** 37.000 t
MONITORAMENTO: *INICIO* : nov / 04 *FIM* : dez / 06
 IGGE<20 ICPF >3,5 IES=0 CÓDIGO A - **ÓTIMO**
VIGA BENKELMAN: Deformação máxima 42 x 10⁻² mm

Figura 5 – Levantamento visual contínuo da obra do pátio com base exposta – Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS

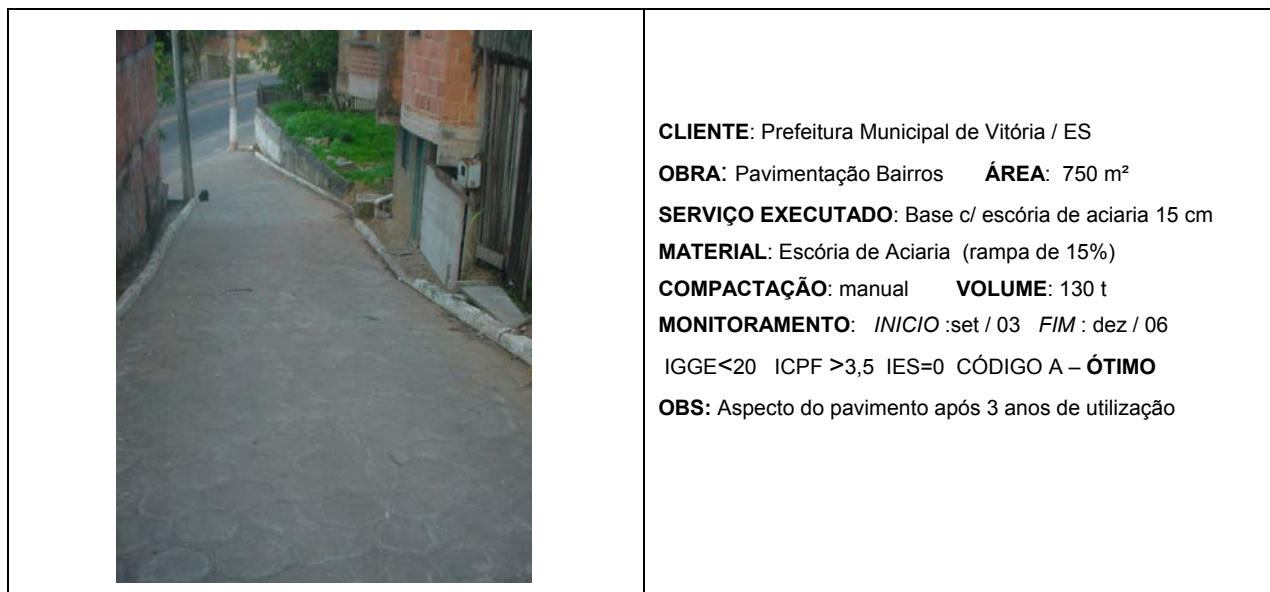


Figura 6 – Levantamento visual contínuo da obra de pavimentação de bairros – Prefeitura Municipal de Vitória/ES

4 DISCUSSÃO

Como já foi explicitado, com relação à granulometria do material, após o beneficiamento, o mesmo adquire granulometria adequada a aplicação rodoviária, mais precisamente a “faixa C” do DNIT, e com relação à expansibilidade, valores aceitáveis definidos pelo método PTM-130, com expansão inferior a 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.

Com relação às demais características analisadas, relevantes à aplicação rodoviária, notou-se a superioridade da ACERITA® e das misturas de ACERITA® com argila em relação ao material pétreo comumente utilizado: brita. O índice de abrasão Los Angeles, por exemplo, que mede o desgaste do material, é considerado bom e melhor que o da brita. Rodrigues⁽²¹⁾ cita que as características físicas das escórias de aciaria são favoráveis à sua utilização, de uma maneira geral.

Um fator que dificulta a utilização das escórias de aciaria, de um modo geral, é a distância de transporte entre a obra e a siderúrgica, pelo fato da massa unitária da escória ser superior à da brita. A CST tem realizado algumas aplicações nas proximidades da siderúrgica, (Grande Vitória/ES).

Com relação ao monitoramento das obras, a maioria dos resultados das classificações é ótimo. Motz e Geiseler⁽²²⁾ citam que, na Alemanha há pavimentos, que utilizam escória de aciaria, monitorados há mais de 25 anos, com bons resultados.

5 CONCLUSÃO

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.

Desta forma, a escória de aciaria gerada pela CST-ARCELOR BRASIL que, anteriormente não possuía uma aplicação regrada, passou a ser utilizada de maneira adequada na engenharia rodoviária, com sucesso, e principalmente mantém um monitoramento constante, tanto na aplicação como no comportamento do material ao longo do tempo.

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

- 1 OLIVEIRA, LUIZ CLÁUDIO PINTO , MULTISERV Harco , Tecnologia mundial aplicada a escória de siderurgia, 2006.
- 2 MACHADO, A.T., Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria. Tese de M. Sc., POLI/USP, São Paulo, SP, 2000.
- 3 BRANCO, V.T.F.C, Caracterização de misturas asfálticas com uso de escória de aciaria como agregado. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.
- 4 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.
- 5 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994a, EM 262 "Escórias de aciaria para pavimentos rodoviários".
- 6 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994b, ME 122 "Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito".
- 7 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994c, ME 082 "Solos - determinação do limite de plasticidade".
- 8 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994d, ME 054 "Equivalente areia".
- 9 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994e, ME 081 "Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo".
- 10 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1995, ME 084 "Agregado miúdo - determinação da densidade real".

- 11 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994f, ME 152 "Agregado em estado solto - determinação da massa unitária".
- 12 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 1994g, ME 049 "Solos - compactação utilizando amostras não trabalhadas".
- 13 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, ME 049 "Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas", 1994h.
- 14 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, ME 086 "Agregado - determinação do índice de forma", 1994j.
- 15 DNIT Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, ME 035 "Agregados - determinação da abrasão *Los Angeles*", 1994j.
- 16 DNIT Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, ES 303 "Pavimentação – base estabilizada granulometricamente", 1997.
- 17 DNIT Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, ES 301 "Pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente", 1997.
- 18 DNIT Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, PRO 008 - "Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de Pavimento flexíveis e semi-rígidos – Procedimento", 2003.
- 19 DNIT Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, PRO 009 - "Avaliação subjetiva da superfície de Pavimento flexíveis e semi-rígidos – Procedimento", 2003.
- 20 DNIT Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, ME 024/94 - "Pavimento – Determinação das deflexões pela Viga Benkelman, 1994.
- 21 RODRIGUES, G.L.C. Avaliação e caracterização de escórias de aciaria LD não tratadas e tratadas. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade Federal do Espírito Santo. 2007.
- 22 MOTZ, H.; GEISELER, J. Products of steel slag – an opportunity to save natural resources. In: Waste Management 21. Duisburg, Alemanha. 2001. p. 285-293.