



REVESTIMENTO PRIMÁRIO EM VIAS URBANAS E RURAIS UTILIZANDO ESCÓRIA DE ACIARIA, COM CONTROLE DE GRANULOMETRIA¹

Ronaldo Lacourt de Mendonça²
Gisele Lopes Carreiro Rodrigues³

Resumo

A escória de aciaria é gerada e preparada para utilização em Revestimento Primário com controle de granulometria e monitoramento da execução através de ensaios de campo e de laboratório. Elaboração de especificações e características geotécnicas dos materiais empregados, para uma mistura de escória de aciaria com o material do sub-leito, objetivando a melhoria das condições do tráfego em vias urbanas e rurais. Para a verificação do comportamento do revestimento pós obra em cada trecho analisado é elaborada uma Ficha de Avaliação da Serventia, com base num Levantamento Visual Contínuo LVC, onde são avaliadas as superfícies do revestimento primário por meio da determinação do Índice de Condição do Revestimento Primário (ICRP), do Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) e do Índice de Estado da Superfície (IES). Com base em conceitos normativos contidos na norma – DNIT 008/2003 adaptado para o Revestimento Primário. São considerados principalmente os “buracos”, saliências, irregularidades transversais e longitudinais encontrados na superfície. Na avaliação são ignorados os aspectos do projeto geométrico (alinhamento, largura, acostamento, largura do revestimento, etc.) Os resultados obtidos em mais de 240 km de ruas urbanas e vias rurais permitem uma avaliação do desempenho deste tipo de revestimento, além de permitirem a formulação de conclusões sobre os critérios de aplicabilidade da forma mais adequada na utilização deste co-produto siderúrgico. Os cuidados ambientais são considerados para uma aplicação ambientalmente correta. Concluimos que o Revestimento Primário executado com escória de aciaria é uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente correta,

Palavras-chave: Escória de aciaria; Revestimento primário; Granulometria.

PRIMER IN URBAN AND RURAL WAYS USING STEEL SLAG WITH GRADING CONTROL

Abstract

The steel slag is prepared and generated for primer with grading control and execution monitoring through the lab and site test. Specifications and geotactic characteristics elaborations of the used materials, for a steel slag mixture with the sub grade material objectified the conditions improvement of the traffic in urban and rural ways. To verify the covering improvement on the post construction job in each analyzed stretch is elaborate an evaluation with a Fiche of Evaluation of the Usefulness, basis on a Continuous Visual Survey (CVS) which the primer surfaces are evaluates by determinations of the Primer Conditions Index (PCI), Expedite Gravity Global Index (EGGI) and Surface Condition Index (SCI). Basis on the standards concepts in the DNIT 008/2003 adapted for primer. Be considerate manly the “holes”, salience, transverses and axial errors found on the surface. On the evaluations avoid the geometric project aspects (alignment, width, pavement shoulder, wearing course width, etc.) the got resulted in more than 240 km urban streets and rural way, allow a performance evaluation on this kind of wearing course, and also allow the formulation of conclusions about the criteria of applicability on the best ways of uses on this siderurgical co-product. The ambiental cares are consider for correct ambiental applicability. We conclude that the primer with steel slag is a technical and economic alternative and ambiental correct.

Key word: Steel slag; Primer; Grading.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro Civil (Kaeme Empreendimentos e Consultoria Ltda e Representante da ABPv para o Estado do Espírito Santo).

³ MSc Engenheira Civil (Kaeme Empreendimentos e Consultoria Ltda).

1 INTRODUÇÃO

Seguindo a tendência mundial das indústrias siderúrgicas no aproveitamento dos resíduos gerados na produção do aço apresentamos uma experiência de aplicação na área rodoviária com parâmetros de controle e monitoramento, na fase de construção e no pós-obra.

A siderurgia brasileira produz cerca de 27 milhões de toneladas de aço bruto por ano⁽¹⁾ considerando que por tonelada de aço produzido são gerados cerca de 120 kg de escória de aciaria⁽²⁾ havendo portanto necessidade do desenvolvimento de aplicações técnicas adequadas, visando reduzir ou até extinguir os volumes e custos com os estoques deste material.

A aplicação de escória de aciaria em pavimentação, poderá ter sua utilização comprometida, tendo em vista o seu alto potencial expansivo e sua heterogeneidade,⁽³⁾ necessitando de tratamento ou adequação a sua aplicação.

Mesmo com essa dificuldade, a utilização, no mundo, de escória de aciaria na engenharia rodoviária, vem sendo verificada 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.⁽⁴⁾

Com o objetivo de utilizar a escória de aciaria, sem tratamento de redução de expansão, neste estudo é apresentada uma alternativa de realizar um Revestimento Primário das vias urbanas e rurais, sem qualquer confinamento e misturadas ao material do subleito existente, em proporções adequadas ao tipo de tráfego no local. Para tanto há necessidade de produzir uma escória de aciaria com granulometria específica para garantir ao Revestimento Primário um ISC (Índice Suporte Califórnia) compatível com o tráfego (esforço dinâmico) ou com as cargas (esforço estático), no local da aplicação.

As escórias de aciaria geradas pelo processo de fabricação do aço a partir de conversores a oxigênio LD – iniciais das aciarias austríacas Linz e DonaWitz que utilizaram pela primeira vez este processo em escala industrial, e neste estudo foram utilizadas as escórias de aciaria LD, provenientes da ArcelorMittal Tubarão, Vitória/ES e cuja aplicação foi realizada dentro de um programa de cooperação social denominado “Novos Caminhos” entre a Arcelor e as prefeituras municipais próximas da siderúrgica.

Ao produto obtido, a partir de uma granulometria específica, foi denominado de REVSOL[®] (SOLução de REVstimento) que é “uma escória de aciaria LD produzida com granulometria de 0 a 19 mm.

As aplicações do REVSOL como Revestimento Primário dentro do programa “Novos Caminhos”, onde foram executados cerca de 240 Km por um período de três anos (2006 a 2009) em ruas urbanas e estradas vicinais, tiveram resultados considerados plenamente satisfatórios pelo poder público e pelos órgãos técnicos envolvidos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o alcance da viabilidade de aplicação da escória de aciaria LD em Revestimento Primário foi necessário o estabelecimento de vários parâmetros e processos de aplicação. A granulometria da escória de aciaria a ser produzida foi o primeiro parâmetro a ser verificado, para tanto foi necessário adequar a planta de britagem da siderúrgica a fim de obter um material enquadrado dentro da Faixa “C”



do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). O material do subleito deverá ser caracterizado para realização das misturas com o REVSOL®.

Após a definição desses dois processos, um de adequação da granulometria da escória e outro da caracterização do material do subleito, verificou-se a necessidade de se realizar estudos de forma a se avaliar as outras características da mistura, 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:

- DNER - ME 122/94⁽⁵⁾ (Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito);
- DNER - ME 082/94⁽⁶⁾ (Solos - determinação do limite de plasticidade);
- DNER - ME 054/97⁽⁷⁾ (Equivalente areia);
- DNER - ME 081/98⁽⁸⁾ (Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado gráudo) e DNIT - ME 084/95⁽⁹⁾ (Agregado miúdo - determinação da densidade real);
- DNER - ME 152/95⁽¹⁰⁾ (Agregado em estado solto - determinação da massa unitária);
- DNER - ME 129/94⁽¹¹⁾ (Solos - compactação utilizando amostras não trabalhadas);
- DNER - ME 049/94⁽¹²⁾ (Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas);
- DNER - ME 086/94⁽¹³⁾ (Agregado - determinação do índice de forma);
- DNER - ME 035/98⁽¹⁴⁾ (Agregados - determinação da abrasão "Los Angeles"); e
- DNER - ME 089/94⁽¹⁵⁾ (Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio e magnésio) .

De posse de todas as informações supracitadas, verificaram-se as possibilidades de utilização do REVSOL® com mistura de argila, tendo sido estudadas várias misturas da escória de aciaria REVSOL® com argila, em diferentes percentuais em volume, com a realização dos ensaios laboratoriais supracitados.

Antes da execução dos serviços é necessária a elaboração de uma seção tipo, onde é indicada a espessura e os percentuais da mistura (%REVSOL + %material do subleito) do Revestimento Primário que é função do tráfego existente ou esperado para o segmento em questão.

Para a execução dos serviços o equipamento mínimo é o seguinte:

- motoniveladora com escarificador;
- trator com grade de arrasto;
- caminhão pipa; e
- rolo compactador vibratório liso.

A execução dos serviços é bastante simples e consiste em escarificar o subleito existente da via com a motoniveladora, em cerca de 10 cm a 15 cm, lançar a escória de aciaria sobre o leito escarificado na espessura especificada na seção tipo. É importante observar que a espessura da seção tipo é compactada, a espessura solta deverá ser calculada. Após o lançamento e regularização da camada a mistura deverá ser homogeneizada com grade de arrasto e misturada com água que deve ser lançada utilizando o caminhão pipa para deixar a mistura na umidade ótima, determinada em laboratório e em seguida compactar com rolo vibratório liso na energia do Proctor Intermediário (PI) e cortar com abaulamento de

1%. Após a conclusão dos serviços a via deverá ser umectada por 10 dias consecutivos para proporcionar o concrecionamento da mistura evitando a formação de poeira.

O controle da execução é realizado com a verificação do grau de compactação atingido pela camada compactada através do método do Frasco de Areia e da espessura média do Revestimento. Nas regiões urbanas, onde houver concentração de residências é recomendável a execução de uma capa selante realizada após concluída a compactação e o abaulamento com uma pintura de emulsão asfáltica RR 2C seguida de um “salgamento” com areia média, rolada com rolo liso.

Em vias rurais o procedimento é idêntico, entretanto devido às extensões serem maiores e quando a declividade do terreno for elevada, há necessidade de promover uma drenagem dos bordos com uma previsão de saídas d’água a cada 50 metros, para evitar o lançamento das águas pluviais em córregos de pequeno volume d’água, devido a lixiviação, principalmente do CaO, que podem provocar alterações de PH.

A avaliação dos serviços executados foi realizada com base nas normas: DNIT 008/2003-PRO⁽¹⁶⁾ “Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi rígidos”, e DNIT 009/2003-PRO⁽¹⁷⁾ “Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos” com adaptação para o REVESTIMENTO PRIMÁRIO.

3 RESULTADOS ALCANÇADOS

Como já foi explicitado, com relação à granulometria da escória de aciaria, após o beneficiamento, a mesma atinge granulometria adequada à aplicação rodoviária, mais precisamente, a “faixa C” do DNIT.

Já as misturas com argila, adicionada ao REVSOL[®] nos percentuais de 20%;30% e 40%, as mesmas se enquadraram nas faixas C ou D preconizadas pelo DNIT, ou seja, possuem granulometria adequada a aplicação rodoviária (Tabela 1).

Tabela 1 – Enquadramento de faixas

MISTURAS	FAIXA PRECONIZADA PELO DNIT
REVSOL [®] + ARGILA (80% e 20%)	FAIXA C
REVSOL [®] + ARGILA (70% e 30%)	FAIXA D
REVSOL [®] + ARGILA (60% e 40%)	FAIXA D

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, na Tabela 2, os valores encontrados para o REVSOL[®] e na Tabela 3, suas misturas com argila.

Tabela 2 – Caracterização da escória de aciaria - REVSOL[®]

ENSAIO	RESULTADO
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 %

Tabela 3 – Caracterização das misturas de REVSOL® e argila

ENSAIO	RESULTADO
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

O Revestimento Primário executado com escória de aciaria apresenta um concrecionamento que o diferencia de qualquer outro material normalmente utilizado para revestimento primário (saibro, cascalho, bica corrida, etc.), além de possuir um módulo resiliente muito maior que, por exemplo, a brita que apresenta um módulo de 250 MPa enquanto que a escória de aciaria com granulometria de 0 a 19 mm apresenta um módulo de 460 MPa.

Do ponto de vista ambiental a escória de Aciaria é classificada pela Norma da ABNT - NBR 10004/2004⁽¹⁸⁾ como Resíduo Classe II B – Resíduo Não Perigoso Inerte.

Alguns procedimentos com relação aos cuidados ambientais são recomendados:

- não é recomendável a utilização de escória de aciaria nas proximidades de nascentes de pequeno volume de água;
- não fazer depósito de escória de aciaria em terrenos com declividade elevada;
- não fazer depósito de escória nas proximidades de residências, sem que o material seja coberto ou mantido umectado;
- evitar a formação de poeira com compactação do material; e
- não lançar as águas pluviais, que percorrem o revestimento executado com escória, em córregos.

Ainda com relação ao material, podemos destacar as várias aplicações já realizadas no estado do Espírito Santo, nas quais o monitoramento foi realizado por um período de três anos e se apresentam em perfeitas condições.

A Figura 1 apresenta um Revestimento Primário executado há mais de três anos, em estrada vicinal de baixo volume de tráfego, no município de Viana/ES.



Figura 1. Via Rural. Estrada de Peroba.

4 DISCUSSÃO

A avaliação dos serviços executados foi realizada com base nas normas, DNIT 008/2003-PRO⁽¹⁶⁾ “Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi rígidos”, e DNIT 009/2003-PRO⁽¹⁷⁾ “Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos”, adaptadas para o Revestimento Primário.

Não foi realizada a verificação das deformações elásticas, através da Viga Benkelman, entretanto foi observado o comportamento da camada de base através da visualização de trilha de roda, deformação plástica sob a ação das cargas provenientes do tráfego existente ou de cargas estáticas.

Basicamente foi analisada a capacidade de um trecho ou segmento específico do revestimento primário capaz de proporcionar um rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego.

A medida subjetiva das condições de superfície de um revestimento primário é o VALOR da SERVENTIA ATUAL – VSA, que é feito por avaliação, percorrendo-se os trechos em análise, registrando a opinião do avaliador, sobre a capacidade do revestimento primário de atender as exigências do tráfego que sobre ele atua, naquele momento, quanto à suavidade e ao conforto (Figura 2).

Os procedimentos adotados (segundo as normas do DNIT- adaptada para Revestimento Primário) para a avaliação dos revestimentos em questão, foram as seguintes :

- segmento em questão foi avaliado determinando o Valor de Serventia Atual como se fosse para uma rodovia de tráfego intenso e constituído de veículos comerciais e de passageiros;
- foi considerado o estado atual da superfície, conseqüentemente podemos classificar um revestimento primário como “bom”, embora suspeite que o mesmo possa romper-se em futuro próximo;
- na avaliação foram ignorados os aspectos do projeto geométrico (alinhamento, largura, acostamento, largura do revestimento, etc.). Os trechos foram avaliados como se o projeto geométrico fosse adequado para qualquer tipo de tráfego; e
- foram considerados principalmente os “buracos”, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície.

VSA - Valor de Serventia Atual										
0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
PÉSSIMO		RUIM		REGULAR		BOM		ÓTIMO		
CONCEITO										

Figura 2 – Conceito de VSA.

Para cada trecho analisado foi elaborada a Ficha de Avaliação da Serventia, com base num levantamento visual contínuo (LVC), onde são avaliadas as superfícies do revestimento primário por meio da determinação do *Índice de Condição do Revestimento Primário* (ICRP), do *Índice de Gravidade Global Expedido* (IGGE) e do *Índice do Estado de Superfície* (IES).

Com base em conceitos normativos contidos na norma DNIT 008/2003 PRO⁽¹⁶⁾, adaptado para o revestimento primário, apresentamos a tabela de freqüência de



defeitos (Tabela 4) e de conceitos do Índice de Condição do Revestimento Primário (Tabela 5) e Índice do Estado da Superfície (Tabela 6).

Tabela 4 – Tabela de freqüência de defeitos

Buracos			Trincas, Deformações Degradação e demais defeitos			Tabela de pesos para o cálculo			
FREQUÊN.	Quant / Km	GRAVID.	FREQUÊN.	% A (da área)	GRAVID.	GRAVID.	Peq	Med	Maior
A-ALTA	> 5	3	A-ALTA	> 50	3	3	0,65	1,00	1,00
M-MÉDIA	2 a 5	2	M-MÉDIA	10 a 50	2	2	0,45	0,70	0,80
B-BAIXA	< 2	1	B-BAIXA	< 10	1	1	0,30	0,60	0,70

Tabela 5 - Conceitos do ICRP- (Índice de Condição do Revestimento Primário)

CONC.	ÓTIMO	BOM	REGULAR	RUIM	PÉSSIMO
DESCR.	Concreção adequada, esp. adequada, compactação uniforme, conservação rotineira	Desgaste superficial, poucas trincas, pouco material solto, necessita alguma intervenção, com boa espessura	Revestimento com sinais de desagregação, trincas longitudinais e transversais, espessura reduzida.	Defeitos generalizados, espessura insuficiente, buracos material solto, trincas. formação de poeira	Defeitos generalizados, material solto, erosões, buracos, deformações, muita poeira.
ICRP	5-4	4-3	3-2	2-1	1-0

Tabela 6 - IES - Índice do Estado da Superfície (Revestimento primário)

DESCRIÇÃO	IES	CÓDIGO	CONCEITO
IGGES < 20 e ICRP > 3,5	0	A	ÓTIMO
IGGES < 20 e ICRP < 3,5	1	B	BOM
20 < IGGES < 40 e ICRP > 3,5	2		
20 < IGGES < 40 e ICRP < 3,5	3	C	REGULAR
40 < IGGES < 60 e ICRP > 2,5	4		
40 < IGGES < 60 e ICRP < 2,5	5	D	RUIM
60 < IGGES < 90 e ICRP > 2,5	7		
60 < IGGES < 90 e ICRP > 2,5	8	E	PÉSSIMO
IGGES > 90	10		

Para exemplificar apresenta-se uma verificação realizada:

Executor: *Prefeitura Municipal de Cariacica*

Localização: *Cariacica*

Área: *11.360 m²*

Data da execução: *Julho de 2008*

Quantidade utilizada de REVSOL: *2.577,38 toneladas*

Caracterização do estado de superfície:



Ressalta-se que a caracterização do estado de superfície baseia-se na inspeção visual da superfície do revestimento, estando referenciados todos os defeitos encontrados durante a avaliação.

a- Avaliação subjetiva da superfície - VSA:

Foram avaliadas 6 (seis) ruas do Bairro Pro-lar;

✓ Avenida Cariacica	nota 2,50	Avaliação - REGULAR
✓ Rua Guarará	nota 2,75	Avaliação - REGULAR
✓ Rua 12	nota 3,50	Avaliação - BOM
✓ Rua 11	nota 3,50	Avaliação - BOM
✓ Travessa I	nota 3,50	Avaliação - BOM
✓ Travessa II	nota 3,50	Avaliação - BOM

Média Ponderada do Bairro do VSA= 3,39 – Avaliação- Bom

b- Avaliação do ICRP (Índice da Condição do Revestimento Primário):

A freqüência dos defeitos é considerada A=alta , M=média, B=baixa e I=inexistente, calculada através da Média Ponderada das extensões do segmento:

Média Ponderada do Bairro do ICRP=3,39

c- Determinação do IGGE - Índice de Gravidade Global Expedita:

É calculado a partir da fórmula:

$IGGE=(Pt \times Ft)+(Poap \times Foap) + (Ppr \times Fpr)$, sendo:

- Pt e Ft – peso e freqüência do conjunto de trincas t;
- Poap x Foap – peso e freqüência do conjunto de deformações;
- Ppr x Fpr – peso e freqüência do conjunto de painéis e remendos.

Média Ponderada do Bairro IGGE = 37,74

d- Determinação do IES – Índice do Estado da Superfície do revestimento primário:

Em função dos valores encontrados IGGE (Índice de Gravidade Global Expedita) = 37,74 e o ICRP (Índice de Condição dos Revestimento primários Flexíveis)= 3,39 concluímos, baseado na norma DNIT 008/2003 – PRO⁽¹⁶⁾, adaptada para Revestimento Primário, que o IES – Índice do Estado da Superfície do revestimento primário apresenta o seguinte conceito :

BAIRRO PRO-LAR (conclusão)

IGGE < 20 ICRP < 3,5 IES = 1 Código: B Conceito: BOM

Podemos dizer que o revestimento primário, não obstante a ocorrência dos defeitos apontados, atende neste momento à finalidade a que se destina.

e- Considerações:

No período do monitoramento técnico realizado, junto ao Bairro Pro-Lar, constatamos que o material está sendo aplicado com espessura de 8 cm em média com mistura de argila, apresenta-se com bom aspecto, aparentando boa compactação.



Na Travessa II, observamos que após a conclusão dos trabalhos de compactação a via foi reaberta para instalações de dispositivos de drenagem, pela concessionária de abastecimento de água (Cesan), que deveriam ser realizados antes para não danificar e dar mais durabilidade ao revestimento.

Por se tratar região urbana, deveria ser executada uma pintura de imprimação com CM-30, ou ,que se mantenha a via umectada nos primeiros dias de aplicação do material, e durante períodos prolongados de estiagem, para que não ocorra a emissão de poeira.

5 CONCLUSÃO

O Revestimento Primário executado com escória de aciaria com mistura de argila é uma alternativa para garantir o tráfego em ruas urbanas e vias rurais, em qualquer época do ano, com segurança e conforto. Estudos devem prosseguir para melhor definir parâmetros e métodos construtivos, como também pesquisar outras escórias geradas por outros processos, que não o LD.

Agradecimentos

À ArcelorMittal Tubarão pelo apoio e pela oportunidade dada de desenvolver os estudos apresentados.

A Kaeme Empreendimentos e Consultoria pelo apoio integral ao estudo realizado.

REFERÊNCIAS

- 1 INSTITUTO AÇO BRASIL. Site www.acobrasil.org.br acessado em 31/05/2010. 2010
- 2 BALTAZAR, R.P. Caracterização do fator expansão de uma escória de aciaria em diferentes processos de cura para uso em pavimentação. Tese de M.Sc., UFV, Viçosa, MG. 2001
- 3 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.
- 4 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. 2004.
- 5 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994 – Método de Ensaio - ME 122/94 Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito.
- 6 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994 – Método de Ensaio - ME 082/94 Solos - determinação do limite de plasticidade.
- 7 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1997 – Método de Ensaio - ME 054/97 Equivalente areia.
- 8 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1998 – Método de Ensaio - ME 081/98 Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo.
- 9 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1995 – Método de Ensaio - ME 084/95 Agregado miúdo - determinação da densidade real.
- 10 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1995 – Método de Ensaio - ME 152/95 Agregado em estado solto - determinação da massa unitária.
- 11 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994 – Método de Ensaio – ME 129/94 Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas.
- 12 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994 – Método de Ensaio - ME 049/94 Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.

- 13 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994 – Método de Ensaio - ME 086/94 Agregado - determinação do índice de forma.
- 14 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1998 – Método de Ensaio - ME 035/98 Agregados - determinação da abrasão "Los Angeles".
- 15 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994 – Método de Ensaio - ME 089/94 Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio e magnésio.
- 16 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2003 – Procedimento PRO 008/2003 Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi rígido
- 17 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2003 – Procedimento PRO 009/2003 Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos
- 18 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004 – Norma Brasileira NBR 10004/2004 Definições Resíduos Sólidos