

# SUB-BASE E BASE DE PAVIMENTO COM ESCÓRIA DE ACIARIA – UMA EXECUÇÃO MONITORADA<sup>1</sup>

Ronaldo Lacourt de Mendonça<sup>2</sup>  
Gisele Lopes Carreiro Rodrigues<sup>3</sup>

## Resumo

O monitoramento criterioso, em todas as etapas construtivas de um pavimento em via de transporte de carga, utilizando escória de aciaria com redução de expansão - ACERITA® nas camadas de sub-base e base foi de fundamental importância para a execução adequada deste pavimento. Inicialmente, foram coletadas amostras para caracterização dos materiais empregados na camada de aterro e na regularização e da escória de aciaria aplicada na camada de sub-base e base. Durante a execução do pavimento, foram verificados o grau de compactação e o teor de umidade em todas as camadas. A imprimação da base foi realizada com a finalidade de protegê-la. Este pavimento, denominado Avenida Industrial, foi construído no município da Serra-ES e liga a portaria norte da siderúrgica ArcelorMittal Tubarão à Rodovia BR 101, possui 9 (nove) meses de idade e apresenta excelente comportamento estrutural para o tráfego existente, conforme monitoramento realizado periodicamente. O monitoramento pós-obra é imprescindível para o levantamento histórico do comportamento do pavimento ao longo dos anos.

**Palavras-chave:** ACERITA®; Sub-base; Base; Monitoramento.

## SUB-BASE AND BASE OF STEEL SLAG PAVEMENT – A MONITORED EXECUTION

### Abstract

A rigid control during every stage in the construction of pavement layers (sub-base and base) using treated steel slag - ACERITA® - was the main factor to guarantee a high quality execution of this road. First of all, samples were collected to qualify the material of the specific layers before they were applied. During the construction, in all layers, the humidity and the degree of compaction were verified. The base was protected with a special surface priming (CM-30). This road, called *Avenida Industrial* was constructed in the city of Serra-ES to connect ArcelorMittal Tubarão to the Federal Road (BR 101). After 9 (nine) months of the end of the road execution, the pavement has shown excellent structural behavior considering the traffic conditions that it is exposed to. This conclusion is based on results obtained by monitoring the pavement after construction. This periodic control is essential to keep a historical about the pavement behavior by the years.

**Key words:** ACERITA®; Sub-base; Base; Monitoring.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

<sup>2</sup> Engenheiro Civil da Kaeme Empreendimentos e Consultoria Ltda. E-mail: kaeme@kaeme.eng.br

<sup>3</sup> MSC Engenheira Civil da Kaeme Empreendimentos e Consultoria Ltda. E-mail: kaeme@kaeme.eng.br

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias siderúrgicas brasileiras estão em processo de crescimento acelerado, logo, a necessidade de reaproveitamento dos co-produtos gerados na fabricação do aço torna-se evidente. A escória de aciaria é um dos co-produtos de maior geração na siderúrgica que pode ser utilizada como agregado em diversas aplicações, como em camadas de sub-base e base de pavimentações, contenção de encostas, lastro ferroviário, entre outras. Entretanto, apesar de possuir características físicas favoráveis à sua utilização, a escória possui um potencial expansivo elevado, que pode inviabilizar sua aplicação em alguns casos.<sup>(1)</sup>

Diante dessa realidade, surge a necessidade de desenvolver técnicas eficientes, para garantir o bom desempenho da escória de aciaria, de forma a ampliar sua utilização em larga escala, dando destinação adequada à totalidade das quantidades geradas.

A ArcelorMittal Tubarão em parceria com a Kaeme Empreendimentos e Consultoria Ltda desenvolveram um processo de redução da expansibilidade da escória de aciaria. Este processo consiste na aeração e umectação diária da escória, até que ela atinja o potencial de expansão máximo de 3%, pelo método PTM-130 adaptado pelo DER-MG.<sup>(2)</sup> O produto gerado deste processo é denominado ACERITA® - escória de aciaria com redução de expansão.

No entanto, além de controlar o potencial de expansão da escória de aciaria, surge também a necessidade de 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.

O objetivo deste trabalho é mostrar todas as etapas construtivas das camadas de sub-base e base que utilizaram ACERITA® como agregado da Av. Industrial, localizada na Serra/ES. Além disso, avaliar o desempenho do pavimento ao longo do tempo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Avenida Industrial, com aproximadamente 2 km de extensão, localizada no entroncamento da rodovia ES 010, no município da Serra/ES, possui a sub-base e a base construída com ACERITA®. Durante a sua construção, no período de setembro de 2006 a maio de 2007, realizou-se o seu monitoramento, com o objetivo de coletar dados. Foram realizadas verificações de campo e análises laboratoriais dos materiais utilizados nas camadas de aterro, subleito, regularização, sub-base e base. A camada de rolamento, composta de CBUQ, não foi monitorada.

A Figura 1 mostra o perfil do pavimento da Av. Industrial.

<b>Revestimento - 5cm CBUQ</b>
<b>Base - 15cm ACERITA®</b>
<b>Sub-base - 20cm ACERITA®</b>
<b>Sub-leito regularizado</b>

A coleta das amostras para a realização dos ensaios foi realizada durante a execução da obra em todas as camadas, sendo pelo menos, a cada 5 estacas ou 100 metros, em vários pontos, desde o bordo esquerdo até o bordo direito da pista.

A caracterização física, realizada nos materiais, consiste na realização dos ensaios de granulometria, limite de liquidez, índice de plasticidade, massa específica aparente seca máxima, umidade ótima, CBR e grau de compactação das camadas.

**Quadro 1 – Ensaios físicos realizados nas amostras com as respectivas normas.**

Ensaios	Norma
Granulometria	DNER -ME 080/94 <sup>(3)</sup>
Limite de liquidez	DNER - ME 122/94 <sup>(4)</sup>
Índice de plasticidade	DNER - ME 082/94 <sup>(5)</sup>
Massa específica aparente seca máxima	DNER – ME 129/94 <sup>(6)</sup>
CBR	DNER - ME 049/94 <sup>(7)</sup>
Frasco de areia	DNER-ME 092/92 <sup>(8)</sup>

As camadas de aterro e subleito devem possuir grau de compactação acima de 95%, em conformidade com a norma DNER ES 282-97.<sup>(9)</sup> Já as camadas de regularização, sub-base e base devem possuir grau de compactação superior a 97%. O material das camadas de aterro, subleito e regularização é a argila e a ACERITA® compõe as camadas de sub-base e base. A Figura 2 mostra a realização do ensaio frasco de areia na camada de regularização, no ramo 600, e a Figura 3 mostra a compactação da base, no ramo 500, e a realização do ensaio frasco de areia, para verificação do grau de compactação.



**Figura 2** – Realização do ensaio frasco de areia na camada de regularização no ramo 600 da Av. Industrial.



**Figura 3** – (a) Compactação da camada de base no ramo 500 e (b) realização do ensaio de frasco de areia.

Além disso, no primeiro semestre de 2007, foi realizado o levantamento visual contínuo, conforme norma DNIT- 008/2003 PRO<sup>(10)</sup> e DNIT- 009/2003 PRO,<sup>(11)</sup> do pavimento que já estava com capa asfáltica, antes da liberação do tráfego. No início de 2008 foi realizado novamente o levantamento visual contínuo para comparação dos resultados. Com o objetivo de monitorar, ambientalmente, ao longo do tempo o solo abaixo das camadas de sub-base e base executadas com escória de aciaria com redução de expansão gerada na ArcelorMittal Tubarão, denominada ACERITA®, na Av. Industrial, localizada no município da Serra/ES, foi coletada amostra para testes de lixiviação e solubilização. A primeira coleta foi realizada no início de 2008 e enviada para análise em laboratório específico.

### 3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 apresentam os resultados de caracterização física da argila que compõem as camadas de aterro, subleito e regularização, respectivamente.

**Tabela 1** – Resultados de caracterização física do material de aterro.

Ensaio	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Limite liquidez (%)	48	73	31	14	28,3%
Limite plasticidade (%)	22	33	17	5	22,1%
Índice de plasticidade (%)	25	40	14	9	35,7%
Massa específica seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,664	1,827	1,443	0,119	7,1%
Umidade ótima (%)	19,1	29,1	14,9	4,1	21,7%
CBR (%)	5,6	9,0	4,2	1,3	23,1%
Massa específica seca máxima (in situ) (g/cm <sup>3</sup> )	1,641	1,862	1,418	0,128	7,8%
Grau de compactação (%)	99,2%	102,9%	95,2%	2,2%	2,2%

**Tabela 2 – Resultados de caracterização física do material de subleito.**

Ensaio	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Limite liquidez (%)	41	49	37	6	14,3%
Limite plasticidade (%)	21	26	18	4	17,4%
Índice de plasticidade (%)	20	23	18	2	11,4%
Massa específica seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,681	1,758	1,524	0,109	6,5%
Umidade ótima (%)	18,9	24,6	14,9	4,1	21,9%
CBR (%)	5,7	6,5	5,3	0,5	9,5%
Massa específica seca máxima (in situ) (g/cm <sup>3</sup> )	1,665	1,789	1,518	0,088	5,3%
Grau de compactação (%)	99,1%	103,0%	95,0%	2,8%	2,8%

**Tabela 3 – Resultados de caracterização física do material de regularização.**

Ensaio	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Limite liquidez (%)	47	64	20	12,5	26,7%
Limite plasticidade (%)	22	27	12	4,3	19,4%
Índice de plasticidade (%)	25	40	5	9,0	36,2%
Massa específica seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,678	2,126	1,498	0,135	8,0%
Umidade ótima (%)	18,9	25,1	12,0	3,3	17,6%
CBR (%)	7,3	26,0	4,0	4,7	64,3%
Massa específica seca máxima (in situ) (g/cm <sup>3</sup> )	1,671	2,127	1,357	0,142	8,5%
Grau de compactação (%)	100,0%	106,7%	94,3%	2,5%	2,5%

De acordo com os resultados da camada de aterro e subleito, pode-se observar que o grau de compactação destas camadas atende ao mínimo previsto na norma (95%). Já na camada de regularização, o valor mínimo do grau de compactação não está atendendo ao proposto (97%), entretanto, nesses casos, o laboratorista responsável pela obra recomendava a continuação da compactação a fim de atingir o grau mínimo previsto.

As Tabela 4 e Tabela 5 apresentam os resultados de caracterização física da ACERITA® que compõem as camadas de sub-base e base, respectivamente.

**Tabela 4 – Resultados de caracterização física do material de sub-base.**

Ensaio	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Granulometria	Faixa C				
Limite liquidez (%)	NP				
Limite plasticidade (%)	NP				
Índice de plasticidade (%)	NP				
Massa específica seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,270	2,360	2,179	0,046	2,0%
Umidade ótima (%)	14,9	17,5	13,1	1,3	9,1%
CBR (%)	94,4	139,0	72,0	13,4	14,2%
Massa específica seca máxima (in situ) (g/cm <sup>3</sup> )	2,328	2,497	2,155	0,071	3,1%
Grau de compactação (%)	102,9%	108,5%	99,9%	2,0%	2,0%

**Tabela 5 – Resultados de caracterização física do material de base.**

Ensaio	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
Granulometria	Faixa C				
Limite liquidez (%)	NP				
Limite plasticidade (%)	NP				
Índice de plasticidade (%)	NP				
Massa específica seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,302	2,380	2,237	0,038	1,6%
Umidade ótima (%)	14,3	16,8	10,5	1,8	12,8%
CBR (%)	97,3	107,0	86,0	6,1	6,2%
Massa específica seca máxima (in situ) (g/cm <sup>3</sup> )	2,356	2,487	2,256	0,050	2,1%
Grau de compactação (%)	102,4%	106,6%	98,9%	2,0%	2,0%

Segundo a norma DNER-ES 301/97,<sup>(12)</sup> que estabelece parâmetros para a construção de sub-bases, os resultados da ACERITA® utilizada na camada de sub-base estão bons. O CBR está superior ao exigido na norma (20%) e o grau de compactação está adequado.

Os resultados de ACERITA® utilizada na camada de base também são considerados bons quando avaliado pela norma DNER-ES 303/97,<sup>(13)</sup> para bases de pavimentos.

As Tabelas 1 e 2 apresentam o resultado do levantamento visual contínuo realizado na Av. Industrial no mês de abril de 2007 e de fevereiro de 2008, respectivamente. Sendo, ICPF, o índice de condição de pavimentos flexíveis, IGGE, o índice de gravidade global expedito, IES, o índice do estado de superfície do pavimento e VSA, o valor de serventia atual.

**Tabela 1 – Levantamento visual contínuo da Av. Industrial, realizado em Abril/2007.**

Ramo	300	400	500	600
Estacas	300 a 323	400 a 423	500 a 545	600 a 642
Extensão (m)	460	460	900	840
ICPF	4	4,2	4	4
Quant. Trincas	5	1	40	35
Fator Trincas	0,3	0,3	0,45	0,45
Quant. Deformações	0	0	0	2
Fator Deformações	0	0	0	0,6
Quant. Painéis e Remendos	16	6	14	5
Fator Painéis e Remendos	1	1	1	1
IGGE	17,5	6,3	32	21,95
IES	0	0	2	3
CONCEITO IES	<b>ÓTIMO</b>	<b>ÓTIMO</b>	<b>BOM</b>	<b>BOM</b>
VSA	4	4	4,25	4,25

**Tabela 2** - Levantamento visual contínuo da Av. Industrial, realizado em Fevereiro/2008.

<b>Ramo</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>600</b>
Estacas	300 a 323	400 a 423	500 a 545	600 a 642
Extensão (m)	460	460	900	840
ICPF	4	4	4	4
Quant. Trincas	2	5	11	15
Fator Trincas	0,3	0,3	0,45	0,45
Quant. Deformações	3	1	1	2
Fator Deformações	0,6	0,6	0,6	0,6
Quant. Painelas e Remendos	4	4	11	0
Fator Painelas e Remendos	1	1	1	1
IGGE	6,4	6,1	16,55	7,95
IES	0	0	0	0
CONCEITO IES	<b>ÓTIMO</b>	<b>ÓTIMO</b>	<b>ÓTIMO</b>	<b>ÓTIMO</b>
VSA	4	4	4,2	4,2

Como observado nos resultados de levantamento visual contínuo, o conceito dos ramos 300 e 400 da Av. Industrial se manteve e nos ramos 500 e 600 mudou de bom para ótimo. Este comportamento é comum em pavimentos executados com escória de aciaria na sub-base e base, aparecem inicialmente, quando não há tráfego, algumas trincas e, após a liberação do tráfego, algumas trincas desaparecem.

Os ensaios de lixiviação e solubilização do solo abaixo das camadas de sub-base e base com escória de aciaria ACERITA ainda não foram concluídos.

#### **4 CONCLUSÕES**

Em qualquer processo construtivo, a importância do conhecimento e controle dos materiais e métodos utilizados na execução dos serviços desenvolvidos em todas as camadas de um pavimento, associados a um monitoramento, pós-obra, por um período prolongado, é indiscutível.

Apesar da utilização de escória de aciaria em pavimentação rodoviária ser algo bastante conhecido em várias partes do mundo, já há algum tempo, no Brasil, as aplicações têm apresentado alguns resultados não muito satisfatórios, devido, principalmente, a falta de um melhor entendimento do comportamento da estrutura dos pavimentos executados com escória de aciaria.

Nesta aplicação, de sub-base e base para pavimentação da Av. Industrial, foram tomados todos os cuidados, desde a implantação do serviços de terraplenagem, com conhecimento de todos os procedimentos utilizados, bem como a análise criteriosa do material para aterro, de jazida ou não, e de corte (sub-leito), para que nenhuma dúvida pudesse pairar sobre as características físicas destes materiais.

Pelos resultados apresentados podemos observar que os materiais para aterro, sub-leito e camada de regularização, apresentam um coeficiente de variação elevado e que os materiais para sub-base e base executados com escória de aciaria ACERITA® apresentam coeficientes de variação bastante reduzidos, caracterizando a uniformidade do material, proporcionando, desta forma, a garantia de bom resultado final, uma vez que a execução foi realizada conforme normas e especificações de projeto.

Com a pista concluída, e os resultados dos ensaios realizados, atestando a boa qualidade dos serviços executados, teve início o processo de monitoramento da pista nos aspectos físicos e ambientais, isto é, comportamento estrutural sob a ação do tráfego e aspecto ambiental, quanto as variações ou não das características do terreno natural (sub-leito) existente sob a rodovia.

Inicialmente foram realizados dois monitoramentos em atendimento às Normas PRO 008 e 009 DNIT/2003, sendo um, logo após a conclusão dos serviços em abril/2007, e outro, em fevereiro/2008. O conceito IES = ótimo e um VSA igual ou maior que 4, definem o valor de Serventia Atual do Pavimento. A coleta de material do sub-leito para análise química (em andamento) deverá ser repetida anualmente.

Até o momento, a rodovia, que apresenta um tráfego de veículos cujo número N é da ordem de  $10^4$ , sendo os veículos de carga em maior número, está em perfeitas condições, o que vem comprovando a qualidade da estrutura do pavimento, e o nível de conforto dos usuários bastante elevado.

O monitoramento estrutural e ambiental deverá ser realizado por cerca de 5 anos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a ArcelorMittal Tubarão, a Prefeitura da Serra e a Contek Engenharia pelo apoio recebido.

## Referências

- 1 RODRIGUES, G.L.C. **Caracterização e avaliação da expansibilidade de escórias de aciaria LD não tratadas e tratadas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFES, 2007.
- 2 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-MG-1982**.
- 3 DNER -ME 080/94
- 4 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem **ME 122** - "Solos - determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito". 1994.
- 5 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem **ME 082** - "Solos - determinação do limite de plasticidade". 1994.
- 6 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem **ME 129** - "Solos - compactação utilizando amostra não trabalhadas". 1994.
- 7 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem **ME 049** - "Solos - determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas". 1994.
- 8 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem **ME 092** - "Solos - determinação da massa específica aparente "in situ", com emprego do frasco de areia. 1992.
- 9 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem **ES 282** - "Terraplenagem - aterros". 1997.
- 10 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, **PRO 008** - "Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento". 2003.

- 11 DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes **PRO 009** - .2003
- 12 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem **ES 301** - Pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente. 1997.
- 13 DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem **ES 303** - Pavimentação – base estabilizada granulometricamente. 1997.