

## **AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE COPRODUTO DE ACIARIA E GRANULADA DE ALTO FORNO EM MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO**

**Priscila do Nascimento**  
**Patrício José Moreira Pires**  
**Jamilla Emi Sudo Lutf Teixeira**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil

### **RESUMO**

Esta pesquisa, ainda em andamento, tem como objetivo de analisar a viabilidade de incorporação de agregados siderúrgicos na composição do microrrevestimento asfáltico a frio avaliando o desempenho dos agregados nas misturas. O microrrevestimento asfáltico a frio (MRAF) é um dos tratamentos disponíveis para manutenção e preservação de pavimentos asfálticos, também utilizado como camada selante, impermeabilizante, rejuvenescedora e antiderrapante. As escórias possuem excelentes propriedades físicas e químicas, características importantes para agregados utilizados no microrrevestimento. Logo serão analisados os desempenhos desses agregados nas misturas do MRAF, bem como verificar suas características a fim de atender as exigências normativas e garantir maior qualidade da mistura. Além de contribuir para redução da exploração de recursos naturais com a incorporação de agregados alternativos.

### **1. INTRODUÇÃO**

O MRAF é um dos tratamentos disponíveis para a manutenção e preservação de pavimentos asfálticos. Se trata de uma combinação de mistura de agregados bem graduados de alta qualidade, emulsão asfáltica modificada por polímero elastomérico de ruptura controlada (RC1C-E), material de enchimento (*filler*) e outros aditivos, misturados e assentados em um pavimento estruturalmente sólido e previamente preparado (DNIT 035, 2018).

Em virtude das solicitações impostas pelo tráfego e das ações dos agentes atmosféricos (ar, sol e água), o ligante asfáltico sofre um processo de envelhecimento, onde se torna quebradiço e rígido, dessa forma, obter um programa de manutenção do pavimento asfáltico é muito importante para reduzir a evolução dos defeitos, reabilitar as condições funcionais e aumentar a vida útil da rodovia (CERATTI e REIS, 2011; ZHENGBING, 2014).

Segundo o Global Steel Report (International Trade Administration - ITA, 2018), o Brasil ocupa a nona posição na produção de aço no mundo, em 2017 segundo o IAB (Instituto aço Brasil, 2018), a produção de aço bruto foi de 34,4 milhões de toneladas. E para cada tonelada de aço produzido são gerados cerca de 607 kg de coprodutos siderúrgicos, sendo que as escórias de alto forno representam um total de 42% desse total, e a escória de aciaria 27% (IAB, 2018).

Outro motivo importante para utilização desses coprodutos na mistura do MRAF é a busca de uma mistura com elevada qualidade já que os coprodutos possuem características excelentes quanto a suas propriedades físicas e químicas.

As escórias de aciaria já vêm sendo utilizadas pavimentação, porém os estudos para o emprego no MRAF ainda são escassos. Já a escória granulada de alto forno é utilizada para fabricação de cimento e ainda não é conhecida a viabilidade do seu emprego no MRAF. Assim relevando a importância desta pesquisa.

### **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a viabilidade de incorporação de agregados siderúrgicos na composição do microrrevestimento asfáltico a frio considerando o desempenho dos agregados nas misturas. Para isso é necessário avaliar o efeito da substituição parcial dos agregados naturais por agregados siderúrgicos nas propriedades de absorção, adesividade, resistência a abrasão, durabilidade, reatividade e qualidade dos

agregados miúdos. Será verificado a possibilidade de combinar os dois tipos de coprodutos em uma só dosagem a fim de se aproveitar boas características existentes em casa coproduto com o propósito de se obter uma dosagem com alta qualidade.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental foi dividido em duas etapas: a primeira etapa refere-se à caracterização completa dos agregados naturais e siderúrgicos, bem como definir as composições das misturas para enquadramento na faixa II do DNIT. Na segunda etapa serão realizados os ensaios com a misturas do MRAF, inicialmente utilizando agregado natural e posteriormente empregando teores distintos com substituição de agregados naturais por siderúrgicos. Os agregados siderúrgicos são provenientes da empresa Arcelor Mittal Tubarão localizada na cidade Serra no estado do Espírito Santo. Os agregados naturais foram fornecidos pela pedreira Brasitália localizada na cidade Cariacica também do Espírito Santo. Os agregados estão ilustrados na Figura 1.



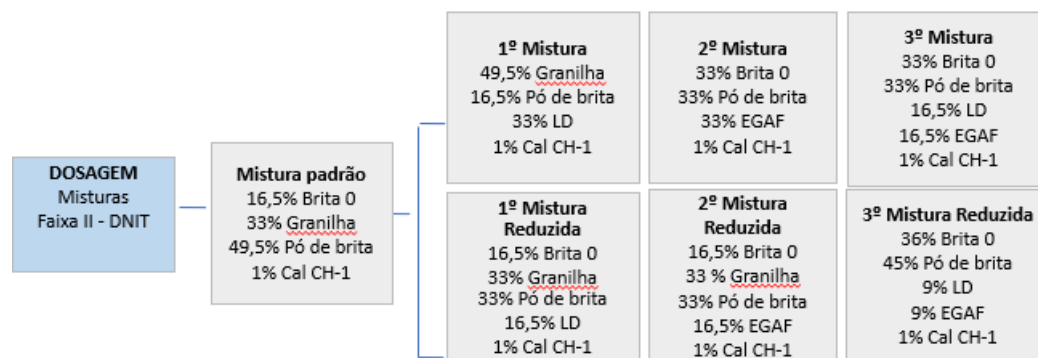
**Figura 1:** Escória de aciaria LD, Escória granulada de alto forno, Brita 0 fina, Granilha e Pó de brita

Os ensaios que se referem a primeira etapa são: Granulometria completa (DNER-ME 083:96), índice de forma (NBR 6954:89), abrasão los angeles (DNER-ME 035:98), durabilidade (DNER-ME 089:94), equivalente de areia (DNER-ME 054:97), adsorção no azul de metileno (NBR 14949:17), densidade e absorção de água do agregado graúdo (DNER-ME 081:98), densidade do agregado miúdo (DNER-ME 084:95), massa unitária (NM 45:2006), Micro-Deval (ASTM D6928:17), fluorescência de raio-X e difração de raio-X. Além destes também serão realizados os seguintes ensaios com os agregados siderúrgicos: Potencial de expansão (DNIT-EM 113/09), solubilização (NBR 10006:04), lixiviação (NBR 10005:04), capacidade de troca catiônica e capacidade de troca aniônica.

A emulsão asfáltica foi fornecida pela empresa DISBRAL, localizada em Goiânia – GO. a empresa fornece a emulsão com o certificado contendo os resultados dos ensaios conforme exigido na norma DNIT 128:2010.

Na segunda etapa serão realizados os ensaios com as misturas tais como: Tempo mínimo de misturação (NBR 14798:17), Perda por abrasão úmida - WTAT (NBR 14746/14), Excesso de asfalto e adesão de areia pela máquima - LWT (NBR 14841/15), adesividade da mistura (NBR 14757/17) e determinação da coesão e das características de cura pelo coesímetro MCT (NBR 14798/17).

Serão avaliadas um total de seis misturas, utilizando agregados siderúrgicos e naturais, para isso será necessário alterar as porcentagens a fim de obter o enquadramento na faixa II do DNIT. Além disso, será executado uma mistura apenas com agregados naturais que servirá como parâmetro para analisar o comportamento das misturas. O resumo das misturas a serem analisadas bem como os ensaios da segunda etapa, estão ilustrados na Figura 2.



**Figura 2:** Dosagem das misturas - Faixa II DNIT

No primeiro momento o teor de agregado siderúrgico foi maximizado, posteriormente foi reduzido pela metade a fim de analisar o comportamento das misturas.

#### 4. RESULTADOS PRELIMINARES

Os resultados das caracterizações dos agregados naturais e siderúrgicos que já foram executados são exibidos na tabela 3.

**Tabela 3:** Caracterização dos agregados naturais e siderúrgicos

Ensaio (Caracterização dos agregados)	Normas	Resultados					Limites DNIT-ES 035/2018	Limites DNER-EM 262/94 (LD)
		LD	EGAF	Brita 0	Granilha	Pó de brita		
Abrasão Los Angeles (%)	DNER-ME 035:98	21,78	-	44,86	41,42	-	Igual ou inferior 30%	Máximo 25%
Equivalente de areia (%)	DNER-ME 054:97	76,03	99,69	76,33	93,53	81,97	Igual ou superior 65%	-
Massa unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	NM 45/2006	1,908	1,219	1,463	1,599	1,709	-	1,5 - 1,7
Densidade real do agregado miúdo (g/cm <sup>3</sup> ) #4 - #200	DNER-ME 084/95	3,296	2,790	2,865	2,875	2,801	-	3 - 3,5
Densidade aparente do agregado graúdo #3/8" - #4 (g/cm <sup>3</sup> )	DNER-ME 081/98	3,243	-	2,825	-	-	-	3 - 3,5
Absorção de água #3/8" - #4 (%)	DNER-ME 081/98	2,128	-	1,079	-	-	-	1 - 2
Adsorção no azul de metileno (ml/g)	NBR 14949/2017	2,0	6,5	10,0	8,0	8,0	Máximo 10ml	-
pH (potencial hidrogeniônico)	-	11	7,8	8,4	8,3	8,4	-	-
Durabilidade (%)	DNER-ME 089/94	2,21	-	11,42	-	-	Inferior 12%	0 - 5

Analisando os resultados apresentados, observa-se que o valor de abrasão Los Angeles para a escória de aciaria LD é superior aos valores dos agregados naturais, confirmando maior resistência mecânica em relação ao agregado natural. Valores de abrasão Los Angeles superiores a 30% são admitidos caso os agregados tenham sido utilizados anteriormente apresentando desempenho satisfatório, segundo a norma DNIT 035/18. Verifica-se uma maior absorção de água na escória LD comparado ao agregado natural, isso indica maior porosidade no agregado siderúrgico, com isso é necessária uma análise quanto ao teor de emulsão asfáltica de projeto, se a mistura com LD terá um maior consumo de emulsão. Outro resultado que merece destaque é o de adsorção no azul de metileno, que avalia a reatividade dos

agregados, nesse ensaio a carga negativa do agregado (aniônico) vai adsorvendo o azul de metileno que possui carga positiva (catiônico), assim neutralizando a carga do agregado, até o momento em que não reage mais, nesse momento é liberado o azul de metileno. A escória de aciaria LD possui baixíssima reatividade quando comparada aos agregados naturais, a escória granulada de alto forno também apresentou reatividade menor que os agregados naturais. Conforme resultado do pH, os agregados naturais e siderúrgicos são básicos, ou seja, aniônicos (carga negativa), por isso a emulsão asfáltica utilizada na mistura do microrrevestimento é catiônica (carga positiva). Quanto ao ensaio de durabilidade, foi realizado nos agregados graúdos e obteve resultados satisfatórios.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa está em desenvolvimento, serão realizados ensaios químicos para analisar o efeito da composição química dos agregados na reatividade dos mesmos, uma vez que essas características influenciam na composição química da emulsão asfáltica utilizada nas misturas do microrrevestimento. Também serão realizados os ensaios LWT e WTAT para determinação do teor ótimo de projeto da emulsão, com objetivo de evitar exsudação e desgaste acima dos limites estabelecidos na norma vigente. Posteriormente será analisada a coesão por meio do ensaio no Coesímetro MCT e a adesividade das misturas. Além disso, será observada se com a utilização dos agregados siderúrgicos na mistura, haverá aumento no teor de emulsão asfáltica. Por fim pretende-se oferecer alternativas na produção do microrrevestimento com a utilização de coprodutos siderúrgicos, nos quais apresentam ótimas características que são relevantes para a composição da mistura do microrrevestimento, conforme foram apresentadas na caracterização dos materiais.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da pesquisa à empresa Arcelor Mittal Tubarão, agradecem a empresa Disbral e Stratura por todo apoio prestado a autora e a pedreira Brasitália pelos agregados fornecidos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14949. Microrrevestimentos asfálticos – Caracterização da fração fina por meio da absorção de azul de metileno. Rio de Janeiro, 2017.
- CERATTI, J. A. P.; REIS, R. M. M. Manual de Microrrevestimento Asfáltico a Frio - MRAF. Instituto Pavimentar. Rio de Janeiro, 2011.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - EM 262: Escórias de aciaria para pavimentos rodoviários. Rio de Janeiro, 1994.
- Janeiro, 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 035 – ES. Pavimentação asfáltica - Microrrevestimento asfáltico - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2018.
- IAB - Instituto Aço Brasil. Relatório de Sustentabilidade 2018. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/assets/pdfs/A%C3%A7o%20Brasil%20C2%BB%20Completo.pdf>>. Acesso em: 16/01/2019.
- ZHENGBING, L. Asphalt Pavement Preventive Maintenance Technology Overview. Applied Mechanics and Materials. Vols. 638-640, p. 1135-1138, Switzerland, 2014.
- International Trade Administration – ITA. US Department of Commerce. Global Steel Report. 2018. Disponível em: <<https://www.trade.gov/steel/pdfs/global-monitorreport-2017.pdf>>. Acesso em: 16/01/2019.

---

Priscila do Nascimento (priscila.npr@gmail.com)

Patrício José Moreira Pires (patricio.pires@gmail.com)

Jamilla Emi Sudo Lutf Teixeira (jamillateixeira@gmail.com)

Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo

Av. Fernando Ferrari – Campus Universitário – Goiabeiras – CEP 29.060-970 –

Vitória - ES, Brasil