

# Uso de escória de aciária na melhoria das propriedades mecânicas do solo Laterítico do Distrito Federal para utilização em pavimentação

Matheus Viana DE SOUZA<sup>a</sup>, Caio Soares CAMARGOS<sup>a,1</sup>,  
Hellen Evenyn FONSECA DA SILVA<sup>a</sup> e Ivonne GÓNGORA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Católica de Brasília

**Resumo.** Geosynthetics are materials industrialized with synthetic or natural polymers, coming from the petrochemical industry, being able to be used in several engineering works, as reinforcement of road layers, drainage of roads and of special areas, gain of stability in slope, and others, being able to perform more than one finality. This study aims to evaluate the use of this type of material, through comparative analysis, with the natural soil, soil with hydrated lime, soil with geogrid and both concomitantly mixed, in order to analyze the gain of mechanical resistance of the soil and its possible applications with samples from the lateritic soil of Brasília extracted from the Universidade Católica de Brasília - Brazil. In the geogrid samples, it will be analyzed the positioning of this between the first and second, second and third layers of compaction in order to ascertain the location that best confers resistance to the soil. The tests performed to perform these studies were CBR and Simple Compression.

**Palavras Chave.** Sustentabilidade, escória do aço, propriedades mecânicas, melhoria de solos.

## 1. Introdução

O estudo da engenharia em técnicas que auxiliam o aprimoramento e melhor desenvolvimento da execução da pavimentação vem aumentando constantemente, inovando em técnicas e materiais, para que seja possível encontrar algum material que tenha um melhor custo-benefício em relação a sua implementação, como o aumento da sua resistência e durabilidade e também tem aumentado a preocupação com a reutilização de resíduos gerados. Entre esses materiais, encontra-se a Escória de Aço.

Segundo Zapparoli (2016) [1], o Instituto Aço Brasil calcula em 17,7 milhões de toneladas o total de resíduos gerados na produção siderúrgica apenas em 2013. Com processo de fabricação do aço, as sobras adquirem ganhos ambientais e mudança no conceito de resíduos para o setor, gerando uma maior sustentabilidade com o meio ambiente.

---

<sup>1</sup>Hellen Evenyn Fonseca da Silva, Caio Soares Camargos, Matheus Viana de Souza, Rideci Farias;  
E-mail: caiocamargos1996@gmail.com.

De acordo com Ramos (2016) [2], o Agregado Siderúrgico apresenta custo atraente em relação à brita zero, com economia de aproximadamente 50%, e excelentes propriedades técnicas requeridas para esse tipo de aplicação. A aderência superficial da mistura asfáltica com agregado siderúrgico em relação ao agregado natural britado, na mesma faixa granulométrica, é sensivelmente superior, dando maior segurança ao usuário principalmente em dias de chuva.

O local de estudo escolhido foi o Distrito Federal (DF), localizado na região Centro-Oeste do Brasil. O solo predominante nessa região é o Latossolo, que possui um Ph ácido, de coloração tipicamente avermelhada, causado pelos mineirais que o compõe. A acidez é evidenciada pela presença de Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ), enquanto que a sua coloração, pelo Óxido de Ferro ( $Fe_2O_3$ ).

O objetivo principal desta pesquisa é analisar o comportamento do solo laterítico de Brasília com adição de Escória do Aço (EA) como material constituinte de um pavimento rodviário, seguindo os critérios necessários para sua execução. Os objetivos específicos desta pesquisa são: Analisar como a expansibilidade e a capacidade de suporte de carga do solo se comporta com as porcentagens de 50% Solo 50% EA, 40 % Solo 60% EA e 30 % Solo 70% de adição de escória, relação calculada de acordo com o peso total, para obtenção da melhor porcentagem, para empregabilidade nas estruturas de base e sub-base de rodovias.

## **2. Materiais e Métodos**

O solo encontrado em sua forma natural é condicionado em laboratório para o processo de secagem, sendo assim possível dar início ao processo de destorroamento, para que fosse dado início aos ensaios de caracterização.

Em primeiro contato com o solo, foi realizado uma classificação tácil-visual para analisar se não houvesse na amostra altos índices de matéria-orgânica, já que a presença não é indicada, pois apresenta uma baixa resistência e alta compressibilidade do solo.

A metodologia adotada foi dividida nas seguintes fases:

### *2.1. Limites de Consistência*

Esta determinação abrange os ensaios de Limite de Pasticidade (ABNT NBR 7180/2016) [3] e Limite de Liquidez (ABNT NBR 6459/2016) [4]. Executado os ensaios, o Limite de Liquidez obtido foi de 44% e o Limite de Plasticidade de 33%.

A partir destes dados, é possível calcular o Índice de Plasticidade (IP) de 11%, e um Índice de Consistência (IC) de 1,56% para uma umidade natural de 26,8% .

### *2.2. Análise Granulométrica do solo*

O método de ensaio de granulometria do solo puro realizado foi o de granulometria por sedimentação, de acordo com a Norma ABNT NBR 7181/2016[5], com adição do defloculante Hexametáfosfato de Sódio.

### 2.3. Preparação das amostras de solo

As amostras deformadas de solo preparadas para o ensaio de caracterização foram realizadas conforme o especificado pela ABNT NBR 6458/1986[6].

### 2.4. Compactação

A compactação consiste no processo mecânico que, através de uma aplicação repetida e rápida de cargas ao solo, conduz a uma diminuição do seu volume, e, portanto, a uma diminuição do índice de vazios e aumento do peso do volume seco (SANTOS, 2008) [7].

O ensaio Proctor, também conhecido como ensaio de compactação, é regimentado pela Norma ABNT NBR 7182/2016 [8]. Para a execução do ensaio, a amostra deve ser previamente seca ao ar e destorroada. O ensaio consiste em compactar uma quantidade de solo com soquetes e cilindros, equipamentos padrões de laboratório.

### 2.5. Massa específica California Bearing Ratio - CBR

O CBR, por tradução Índice Suporte Califórnia (ISC), pode ser definido como a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de maneira padronizada, um pistão numa amostra de solo convenientemente preparada e a pressão para penetrar o mesmo pistão à mesma profundidade, numa amostra padrão de pedra britada, ou material equivalente, exigindo pressão de 1.000 psi para penetração de 0,1" ou 1.500 psi para a penetração de 0,2" (SENÇO, 2007) [9]. A escória do aço utilizada (Figura 2), é proveniente do estado de Minas Gerais, utilizados com 90% de material passante na peneira 3/4" e 10% na peneira 4".



Figura 1. Amostra preparada para execução do ensaio.

Para a execução do ensaio, foi utilizada a energia de compactação Proctor Modificada, em que consiste em cinco camadas de solo com 55 Golpes do pistão, para as tres porcentagens de mistura solo-escória, acondicionados em um cilindro. Posteriormente, são colocados os extensômetros, para medir a sua expansão durante o

período submerso em água, conforme ilustra a Figura 2. No Brasil, esse ensaio é regimentado pela Norma ABNT NBR 9895/2016[10].



**Figura 2.** Cilindros submersos em água para execução do CBR.

### 2.6. Massa Específica

O ensaio, de acordo com a norma do DNER – ME 194/98 [11], determina que sejam colocados 500 gramas do agregado no frasco de Chapman, adicionado de 200 cm<sup>3</sup> de água destilada, realizando assim, a leitura do volume no frasco, conforme mostrado na Figura 3. A norma recomenda ainda que, sejam realizadas duplicatas com amostras do mesmo agregado.



**Figura 3.** Amostras do Ensaio de Massa Específica pelo frasco de Chapman.

### 2.7. Absorção de Água

A absorção de água do resíduo pode ser definida com sendo o aumento de massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água, expressa em porcentagem de sua massa seca.

O ensaio segue a Norma da ABNT NBR 6458/2016 [12], onde o agregado deve ser lavado a fim de retirar o material fino, em sequencia colocada em água destilada a temperatura ambiente por 24 horas. Após esse período, a amostra foi águada, enxugada por um pano umido absorvente; em seguida, colocado em estufa e retirado 24 horas depois, medindo a sua massa seca.

### 3. Resultdos e Discussão

#### 3.1. Caracterização do solo

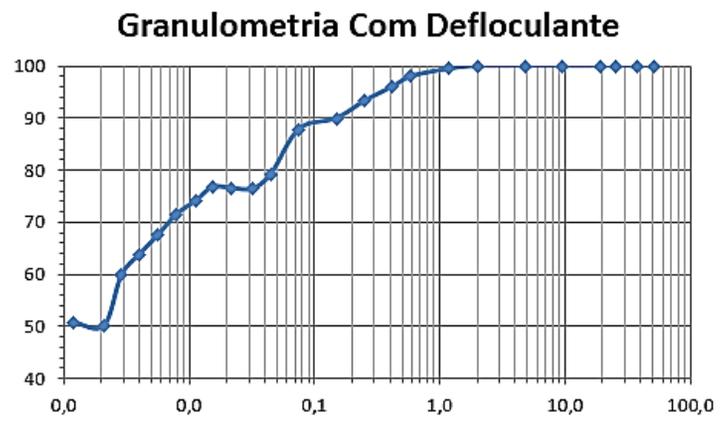
O resumo dos dados encontrados através dos ensaios de caracterização é dado pela Tabela 1 e a classificação de acordo com a granulometria, como silte de baixa compressibilidade.

**Tabela 1.** Resultados de caracterização do solo.

Ps (g/cm <sup>3</sup> )	Wnat (%)	Wi (%)	Wp (%)	IP (%)	IC (%)
2,46	26,8	44	33	11	1,56

Legenda: Ps = Massa Específica dos Sólidos; Wnat = Teor de Umidade Natural; Wi = Limite de Liquidez; Wp = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade e; IC = Índice de Consistência.

O ensaio de granulometria do solo puro realizado foi o de granulometria por sedimentação. Sua classificação foi dada através do gráfico, conforme ilustra a Figura 4.



**Figura 4.** Análise granulométrica.

#### 3.2. Compactação

Mediante aos ensaios executados no laboratório, é possível constatar que, o solo em seu estado natural, possui uma umidade ótima de compactação em torno dos 26,8% e peso específico aparente de 17,6 kN/m<sup>3</sup>.

O solo com adição de 50% de escória compactado, possui uma umidade ótima aproximadamente de 25,34% e peso específico aparente seco de 21,73 kN/m<sup>3</sup> aproximadamente

A compactação do solo com adição de 60% de escória, resultou em uma umidade ótima em torno de 23,52% e peso específico aparente de 24,10 kN/m<sup>3</sup>.

Para a porcentagem de 70% de escória adicionada ao solo, foi obtida uma umidade ótima de 21,61% e peso específico aparente de 24,62 kN/m<sup>3</sup>.

Após a análise dos resultados de compactação das três amostras, é possível concluir que quanto maior a adição de escória presente no solo, menor sua umidade ótima e maior o seu peso específico.

### 3.3. California Bearing Ratio – CBR

Depois de 96 horas dos cilindros imersos em água, com suas leituras devidamente realizadas a cada 24 horas, com a leitura do Índice Suporte Califórnia, foi constatado que conforme a porcentagem de adição de Escória do Aço aumenta, menor é a sua expansão, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultado das expansões.

Escória(%)	Expansão (%)
50	0,17
60	0,11
70	0,08

No que diz respeito ao Índice de Suporte Califórnia, a norma infere que o agregado siderúrgico, para utilização em reforço de base em pavimentação deve apresentar um ISC maior ou igual a 80% enquanto que para sub-base, o ISC mínimo aceitável é de 20%. Os resultados podem ser analisados, conforme ilustra a Tabela 3.

**Tabela 3.** Resultados de Compressão Simples e Coesão.

Escória (%)	ISC (%)
50	74,93
60	77,64
70	88,76

### 3.4. Massa Específica

O ensaio de massa específica dos grãos, de acordo com a norma ABNT NBR 2698/87[13], atuando em conjunto com a norma do DNER – ME 194/98[14], infere que o resíduo possui uma massa específica de 3 g/cm<sup>3</sup> a 3,5 g/cm<sup>3</sup>

### 3.5. Absorção de Água

A absorção de água do resíduo, de acordo com a norma do DNER – EM 262/94 [15], infere que a absorção total do resíduo não pode exceder mais que 2%. O resultado obtido foi de uma absorção de 0,58%, sendo assim, viável nesse quesito.

#### 4. Considerações Finais

In relation to the water absorption of the residue, the standard recommends that the residue can not exceed more than 2% of total absorption, therefore, the residue can be used.

For the specific mass, the standard suggests that the residue has a specific mass of 3 g/cm<sup>3</sup> to 3.5 g/cm<sup>3</sup>, so it can be considered as aggregate for paving.

Among the percentages of soil-slag mixture of the studied steel, only soil with 70% of slag presented a satisfactory result for the base layer for paving, since the norm infers that the steel aggregate must present the California Bearing Ratio equal to or higher to 80%. However, the mixtures of 50 and 60% can be used as a paving sub-base, since the minimum required ISC by standard is greater than 20%.

In general, it was concluded that the slag can be substituted as an aggregate for use of improvement and reinforcement, with the mixture of 70% Steel Slag for base and the percentages of 50 and 60 for paving sub-base.

#### Referências

- [1] ZAPAROLLI, Domingos. Resíduos do aço recebem destino nobre. Disponível em: <<http://economia.ig.com.br/empresas/industria/arcelormittalbrasil/2014-10-15/destino-nobre-para-residuos-do-aco.html>>. Acesso em: 30 agosto 2017..
- [2] RAMOS, Fernando M. Da aciaria para o pavimento. Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/da-aciaria-para-o-pavimento>>. Acesso em: 2 abril 2018..
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) ABNT NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro/RJ..
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) ABNT NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro/RJ.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) ABNT NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro/RJ.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) ABNT NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro/RJ.
- [7] SANTOS, Jaime A. “Obras Geotécnicas”. (2008). Dissertação de trabalho de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Lisboa. 18P. Disponível em: <[http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/Compacta\\_T.pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/Compacta_T.pdf)>. Acesso em: 22 abril 2018. [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia.
- [8] Senço, W. De. (2007). Manual de Técnicas de Pavimentação: volume I.2. ed. São Paulo: Pini, 1 v671p.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) ABNT NBR 9895: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ.
- [10] DNER 194 (1998). Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por Meio do Frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) ABNT NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro/RJ.
- [12] DNER 262 (1994). Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Agregados – Escória de Aciária para Pavimentos Rodoviários – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- [13] BRASIL, Instituto Aço. INDÚSTRIA REAPROVEITA 85% DOS RESÍDUOS DAS USINAS. (2013). Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/congresso2013/imprensa/noticias/industria-reaproveita-85-dos-residuos-das-usinas>>. Acesso em: 30 agosto 2017.