

Caracterização Mecânica da Escória de Aciaria com Vistas de Aplicação em Estacas Granulares

Tales Moreira de Oliveira

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, talesciv@gmail.com

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil

Carolina Luiza Paterline Novais

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, carolinaluiza.6@gmail.com

Mônica Damasceno Sant'Ana

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, ds.monnica@gmail.com

Fábio Lucas Almeida Santos

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, fabiolucas0000@gmail.com

Guilherme de Souza Marçal

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, guilhermemarcals@gmail.com

Rafael Vilela de Oliveira

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, rafael.vilela.deoliveira@gmail.com

David Melgaço Souza Silva

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, souzamelgaco.eng@gmail.com

Jordan Lopes Albino

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, jordan.civil@gmail.com

Erivelto Luís de Souza

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, souza.erivelto@ufsj.edu.br

Claudio Henrique de Carvalho Silva

Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, Brasil, silvac@ufv.br

RESUMO: Este estudo foi desenvolvido visando caracterizar mecanicamente a escória de aciaria buscando sua aplicação em estacas granulares como agregado. Para isso, uma amostra com cerca de meia tonelada de escória de aciaria foi inicialmente peneirada em um conjunto de peneiras, predefinido para atender a três diferentes granulometrias, de acordo com a formulação de Fuller Talbot, a fim de se estudar qual destas apresentaria o melhor resultado para o ensaio de Índice de Suporte Califórnia. Sendo, portanto, executado o ensaio de compactação na energia intermediária com a finalidade de se obter os parâmetros ótimos deste ensaio. Dessa forma encontrou-se a granulometria que oferece maior estabilidade e resistência após o material ser compactado e ensaiado para o índice de Suporte Califórnia. Com a escolha da melhor granulometria executaram-se os ensaios de Abrasão Los Angeles (DNER-ME 035, 1998), Esmagamento (DNER-ME 197, 1997), Determinação da massa específica de agregados graúdos (DNER-ME 081, 1998), Absorção (DNER-ME 081, 1998) e Determinação da massa específica de agregados miúdos (NBR 9776,

1987). A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que a escória de aciaria é um material viável sobre a ótica técnica para aplicação em estacas granulares, além de trazer benefícios ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Escória de aciaria, estacas granulares, caracterização mecânica da escória.

1 INTRODUÇÃO

O solo é um material que possui um comportamento complexo quanto à distribuição de cargas e deformação, (IWAMOTO, 2000). Além de ser constituído por um sistema trifásico heterogêneo, (REINERT & REICHERT, 2006). Devido a essas características, o desafio para a construção civil tem aumentado, visto que com a constante densificação das regiões urbanas, grande parte das áreas com solo de boa qualidade, para fundação, já está em uso.

Diante desta dificuldade, cabe à engenharia geotécnica o desenvolvimento e aplicação de técnicas de melhoramento de solo que permitam o uso correto do terreno, satisfazendo os critérios de segurança, técnicos e econômicos exigidos (VENDRUSCOLO, 1996).

Atualmente já existe uma grande variedade de técnicas para o melhoramento de terrenos que são utilizadas de acordo com o tipo de solo e com a característica que se pretende aprimorar, além de levar em conta a localização e custo da obra. Dentre essas técnicas estão as estacas granulares, as quais são normalmente construídas com areia ou brita e atuam como elementos de reforço do terreno, (SOARES, 2005). Essa solução é muito eficaz para solos moles, argilas, siltes, areias siltsosas e areias fofas, pelo fato de promover uma melhoria no comportamento geral do maciço do solo além de transferir parte dos esforços para os elementos de reforço construídos.

Visando uma solução sustentável e de baixo custo, uma pesquisa foi realizada na Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Alto do Paraopeba, localizado na cidade de Ouro Branco, MG, com o objetivo de caracterizar mecanicamente a escória de aciaria para determinar a viabilidade técnica e econômica de sua aplicação como agregado artificial para a composição de estacas

granulares.

A escória de aciaria foi escolhida como elemento de estudo devido à sua alta taxa de estocagem sem destino nas siderúrgicas da região do Alto do Paraopeba. Pelo fato deste material possuir um grande potencial latente de poluição, a sua conversão em insumo para a engenharia de fundações é de grande valia ao meio ambiente e à geotecnia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Agregado

Para o desenvolvimento desse trabalho, uma amostra de aproximadamente meia tonelada de escória de aciaria, fornecida pela empresa de beneficiamento de resíduos siderúrgicos, Letek Minas e originada dos processos siderúrgicos da Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil – VSB, de forno elétrico a arco, foi utilizada como material de estudo.

2.2 Metodologia

Primeiramente, a escória de aciaria foi peneirada utilizando-se as peneiras com aberturas variando entre 25; 19; 6,30; 2; 0,425 e 0,075 mm. Posteriormente utilizou-se, a formulação de Fuller Talbot, para composição de diferentes granulometrias:

$$p = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n \quad (1)$$

Onde:

p: porcentagem da fração com grãos de diâmetro menor que d,

D: diâmetro máximo dos grãos constituintes do material,

d: diâmetro para qual se deseja determinar a % passante

n: coeficiente que depende das peculiaridades geométricas do material.

Usando-se $n = 0,4$; $0,5$ e $0,6$, rejeitando o material retido na peneira de 25 mm e o material passante na peneira de $0,075\text{ mm}$, constitui-se três diferentes granulometrias que foram testadas em laboratório.

Para se determinar qual das granulometrias apresentaria a melhor resposta mecânica, obteve-se para cada faixa granulométrica a umidade ótima e peso específico aparente seco máximo através do ensaio de compactação na energia intermediária (DNER-ME 129, 1994). Após a obtenção desses parâmetros, amostras nas granulometrias desejadas foram compostas e, para a moldagem dos corpos de prova na umidade ótima de compactação do material, adicionou-se um volume de água previamente calculado executando-se a sua compactação. Antes de realizar a compactação o material foi vedado por 24 horas, para a completa homogeneização da água adicionada, em sacos plásticos hermeticamente fechados. Posteriormente as amostras foram submetidas ao ensaio de Índice de Suporte Califórnia ou Califórnia Bearing Ratio (CBR) de acordo com o (DNIT-ME 172, 2016).

Com os resultados do ensaio de CBR, foi possível aferir qual granulometria possui melhor estabilidade e consequentemente sendo esta a mais promissora ao emprego em estaca granular, permitindo por tanto por meio deste ensaio a escolha da granulometria. Assim sendo, executaram-se os seguintes-ensaios: i) Ensaio de Abrasão Los Angeles (DNER-ME 035, 1998); ii) Ensaio de resistência ao Esmagamento (DNER-ME 197, 1997); iii) Determinação da massa específica de agregados graúdos e Absorção (DNER-ME 081, 1998) e iv) Determinação da massa específica de agregados miúdos (NBR NM 52, 2009).

3 RESULTADOS

3.1 Granulometria

A Tabela 1 e a Figura 1 a seguir apresentam as granulometrias estudadas de acordo com a metodologia anteriormente relatada.

Tabela 1. Granulometrias estudadas

n (Fuller Talbot)		0,4	0,5	0,6
Abertura de peneiras		% Passante		
#	(mm)			
1"	25	100.0	100.0	100.0
3/4"	19	89.6	87.2	84.8
1/4"	6.35	57.8	50.4	43.9
10	2	36.4	28.3	22.0
40	0.425	19.6	13.0	8.7
200	0.075	9.8	5.5	3.1
Fundo	0	0.0	0.0	0.0

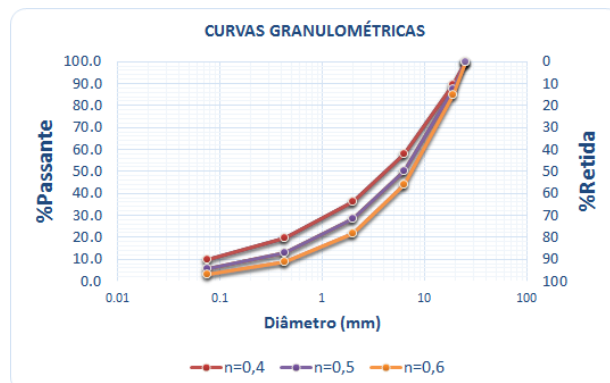


Figura 1. Distribuição granulométrica, dos agregados segundo a formulação de Fuller Talbot.

3.2 Compactação

A Tabela 2 resume os parâmetros ótimos de compactação para as três granulometrias anteriormente apresentadas.

Tabela 2. Resultado do ensaio de Compactação para as diferentes granulometrias.

Ensaio de Compactação			
Amostra	Energia de Compactação	Teor de umidade ótima (W_{ot}), (%)	Peso específico aparente seco Máximo ($\gamma_{dmáx}$), (kN/m^3)
$n = 0,4$	Intermediária	4,50	15,5
$n = 0,5$		2,88	15,5
$n = 0,6$		3,98	15,6

3.3 Índice de Suporte Califórnia - ISC

Na Tabela 3 são apresentados os resultados do ISC e expansão, para as diferentes granulometrias estudadas e compactadas na energia intermediária de acordo com os parâmetros ótimos da compactação.

Tabela 3. Resultado do ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC.

Amostra	ISC (%)	Expansão (%)
n = 0,4	158	2,30
n = 0,5	193	3,55
n = 0,6	100	3.16

3.4 Resultados de ensaios para granulometria, n = 0,5.

Na Tabela 4, são apresentados a seguir os resultados dos ensaios mecânicos e físicos, para o material formado na granulometria com n = 0,5.

Tabela 4. Resultado dos ensaios Mecânico e Físico.

Ensaio Mecânico e Físico	
Abrasão Los Angeles	54,76%
Esmagamento	25,48%
Massa específica de agregados graúdos	3,31g/cm ³
Absorção de agregados graúdos	2,07%
Massa específica de agregados miúdos	3.29g/cm ³

3.5 Custos de Insumos

Na Tabela 5, constam preços médios de agregados por tonelada.

Tabela 5. Preço Médio dos Agregados

Preço médio dos agregados praticados no Brasil	
Brita 01	R\$ 25,00
Brita 02	R\$ 25,20
Brita Graduada	R\$ 24,00
Escória Beneficiada	R\$ 15,00

4 DISCUSSÕES

Para compor estacas granulares compactadas executadas através de processos de impacto, os dados da compactação apresentados na Tabela 2, permitem obter os parâmetros executivos para este tipo de estaca. A energia intermediária (12,6 kg.cm/cm³) fora escolhida para o material em estudo, pois uma energia maior poderia levar a um desgaste excessivo das partículas da escória ou até sua quebra durante o processo de

execução, de acordo com as respostas dos ensaios mecânicos realizados.

No caso, por exemplo, das estacas (colunas) de brita, Método com encamisamento (Cased-borehole method) (ROCHA, 2012); Trado contínuo seguido de reversão e compactação (DOMINGUES, 2006), Estacas de agregado compactado (Rammed Aggregate Píer – RAP), sistemas de Vibro-compactação, (ROCHA, 2012) e ainda para colunas compactadas em solos arenosos empregando a técnica utilizada no nordeste brasileiro (PASSOS, 2005), sugere-se por este trabalho, a utilização de uma granulometria compatível à obtida para n = 0,5 conforme Tabela 01, uma vez que para esta granulometria se tem a melhor estabilidade, ou seja, maior valor de CBR. Análise do resultado da abrasão “Los Angeles” verificou que o material de estudo apresenta perda de massa superior a recomendada pela ABNT NBR NM 51, (2001), que sugere perda máxima de massa por este ensaio de 50%, para aplicação em concreto, entretanto pela forma de aplicação e levando-se em consideração que este material estará enterrado quando compuser estacas granulares e devido à forma de ação das cargas oriundas da superestrutura das edificações, desde que se respeite a energia intermediária, este trabalho considera válido a sua aplicação.

Em termos de esmagamento para o material graúdo a norma portuguesa NP EN 206-1 (2007), que remete para a E 373 – inertes para argamassa e concretos, sugere que os resultados são considerados satisfatórios quando o resultado do ensaio for inferior a 45%, tendo a escória estudada apresentado resultado igual a 25,48%.

No caso da determinação da densidade pelo frasco de Chapman recomenda-se pela NBR-9776 (1987), a utilização 0,5 kg de material para o ensaio, entretanto, fez-se necessário o aumento da massa devido a densidade elevada do agregado ensaiado, bem superior aos agregados obtidos de rocha, e, portanto, para obter o volume necessário ao desenvolvimento do ensaio utilizou-se 0,6 kg.

As características granulométricas, bem como as reações químicas (não estudadas neste trabalho), que se desenvolvem no processo de umidificação do material, remetem a uma

elevada dificuldade de se executar e determinar a curva de compactação do material, quanto a sua resposta ao ensaio de ISC, o material apresenta uma elevada resistência. A expansão que é um problema no caso de pavimentos rodoviários, por exemplo, pode ser considerada benéfica no caso de fundações, pois o aumento de volume da escória compactada induz uma situação de confinamento do solo na lateral da estaca, aumentando o atrito lateral estaca-solo por esta interação.

Quanto aos custos de aquisição dos insumos para construção de estacas de brita, apresentados na Tabela 5, pode-se afirmar que a escória possui um custo médio em torno de 60% mais barato, e que, portanto, dentro de uma faixa de distância média de transporte, a escória se apresentará viável sob o ponto de vista econômico.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados dos ensaios, este material possui na granulometria contínua ($n = 0,5$), um ISC da ordem de 193%, expansão igual 3,55%, massa específica dos grãos da ordem de $3,3\text{g/cm}^3$, abrasão igual 55%, umidade ótima de compactação igual 2,9% e peso aparente específico seco pós compactação igual 16 kN/m^3 . Apesar de ter apresentado um valor de resistência ao desgaste considerado baixo, o mesmo apresenta uma resistência ao esmagamento de moderada a alta, o que valida a sua aplicação na energia intermediária de compactação. Por tanto, este material quando assim empregado, poderá compor estacas granulares compactadas, apresentando um custo que chama bastante atenção, além de agregar o conceito de sustentabilidade e trazendo diversos benefícios ao meio ambiente. E por fim apresentando Resistência e Dureza compatível e necessária para este tipo de fundação.

AGRADECIMENTOS

Apoiadores deste projeto, Letek Minas, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, DTECH/UFSJ, Grupo de Pesquisa em

Infraestrutura de Transportes e Obras Geotécnicas – INFRAGEO e FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2001) *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. NBR NM 51 – *Agregado graúdo – Ensaio de Abrasão Los Angeles*, Rio de Janeiro.
- ABNT (2009) *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. NBR NM 52 – *Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente*, Rio de Janeiro.
- ABNT (1987) *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. NBR 9776 – *Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman*, Rio de Janeiro.
- DNER (1994) *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem*. DNER - ME 129, *Solos, Compactação Utilizando Amostras não Trabalhadas*, Rio de Janeiro.
- DNER (1994) *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem*, DNER - ME 049, *Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras não Trabalhadas*, Rio de Janeiro.
- DNER (1998) *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem*, DNER - ME 035, *Agregados, Determinação da Abrasão “lós Angeles”*, Rio de Janeiro.
- DNER (1997) *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem*, DNER - ME 197, *Agregados: determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos*, Rio de Janeiro.
- DNER (1998) *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem*, DNER - ME 081, *Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo*, Rio de Janeiro.
- DNIT (1998) *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*, DNIT 172/2016 - ME, *Solos - Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras não Trabalhadas – Método de Ensaio*, Rio de Janeiro.
- Domingues, T. S. S. (2006) *Reforço de fundações com colunas de brita em aterros sobre solos moles. Análise e dimensionamento*, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 236 p.
- Instituto Português da Qualidade (IPQ), (2007) *Betão*. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade, Norma Portuguesa NP EN 206-1, Lisboa.
- Iwamoto, R. K. (2000) *Alguns Aspectos dos Efeitos da Interação Solo-Estrutura em Edifícios de Múltiplos Andares com Fundação Profunda*, Escola de engenharia de São Carlos, Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, 157 p.
- LNEC (1993) E 373-1993 – *Inertes para argamassa e betões*. Características e verificação de conformidade.

- Passos, P. G. O. (2005) *Melhoramentos de solo arenosos com estacas de areia e brita*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 159 p.
- Reinert, D. J. & Reichert, J. M. (2006) *Propriedades Física do Solo*, Notas de Aula, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 18 p.
- Rocha, C. J. T. (2012) *Comparação de alguns métodos para o dimensionamento de estacas de brita: aplicação a um caso de estudo*, Tese de doutorado, Faculdade de ciências e tecnologia. Porto, Portugal, 183 p.
- Soares, W. C. (2005) *Análise de recalques de edifícios em solos melhorados com estacas de compactação*, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 151 p.
- Vendruscolo, M. (1996) *Estudo do comportamento de fundações superficiais em solo melhorado mediante ensaios de placa*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 163 p.