

Análise da Viabilidade do Uso de Açobrita em Pavimentos Rodoviários

Nairo David Tarazona Buitrago
UnB, Brasília, Brasil, nairodavidtarazona@gmail.com

Victor Hugo Souza Oliveira
UnB, Brasília, Brasil, victorh.souzaoliveira@gmail.com

Luís Fernando Martins Ribeiro
UnB, Brasília, Brasil, lmartins@unb.br

Andre Luís Brasil Cavalcante
UnB, Brasília, Brasil, albrasilc@gmail.com

RESUMO: O açobrita é o material resultante da britagem, estabilização granulométrica e redução do potencial de expansão da escória de aciaria. Este estudo de caracterização é componente de um projeto desenvolvido a partir de uma parceria entre o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), o Instituto Aço Brasil (IABR) e a Universidade de Brasília (UnB), que avalia a aplicabilidade deste coproduto como constituinte de camadas de base e sub-base em pavimentos rodoviários. O estudo descreve os mecanismos de expansão da escória e os métodos de estabilização volumétrica. São pontuados os campos aplicáveis das escórias, destacando-se sua utilização como agregado nas estruturas de base de rodovias. Compreendem-se as características recomendadas, a normativa técnica, os critérios de aceitação do insumo para fins rodoviários e as recomendações executivas para a utilização do açobrita. Determinaram-se as propriedades físicas e mecânicas do açobrita, do solo e da mistura por meio de ensaios seguindo os procedimentos recomendados por normas nacionais e internacionais. Apresentou-se o comportamento do açobrita misturado com um solo tropical, em diferentes proporções, para sua utilização como elemento constituinte das camadas de pavimentos rodoviários. Os resultados obtidos indicaram a importante aplicabilidade do açobrita em obras rodoviárias e bem como poderão ser aplicados no desenvolvimento de procedimentos normativos do DNIT.

PALAVRAS-CHAVE: açobrita, caracterização, expansibilidade, viabilidade e pavimentação.

1 INTRODUÇÃO

O parque siderúrgico brasileiro é o maior da América do Sul. Dada a intensa demanda gerada pelos setores consumidores de aço, fazem-se necessárias diretrizes que compreendam a modernização tecnológica e o desenvolvimento de planos de melhoria do gerenciamento ambiental. A produção de coprodutos e resíduos é bastante significativa no processo de produção de aço. Percebe-se,

portanto, a importância de se incentivar o desenvolvimento de novos insumos e avaliar as limitações daqueles já propostos.

Engenheiros Geotécnicos lidam com consideráveis limitações de desempenho de materiais construtivos provenientes do aproveitamento de resíduos.

A escória é um material que apresenta funções fundamentais no processo de fabricação do aço, a fim de se garantir boa qualidade ao produto final, sendo considerado, em muitos

países, um subproduto capaz de conferir valor agregado aos materiais nos quais é aplicada (GRAFFITTI, 2002).

Este estudo apresenta a metodologia a ser empregada para a caracterização de amostras do resíduo siderúrgico fornecidas pelo Instituto Aço-Brasil (IABR). As amostras compõem o material que poderá ser utilizado futuramente como camadas base de trechos experimentais na obra de restauração da rodovia BR 381/MG. Além das amostras de açobrita, foram analisadas também amostras do solo do local da possível implantação do trecho experimental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Escória de Aciaria

A escória de aciaria é um coproduto resultante do processo siderúrgico, que se inicia nas minerações, onde é extraído o minério de ferro, minério de calcário, dolomita e carvão mineral. Essas matérias-primas são transportadas até as usinas, e após o beneficiamento, são levadas aos altos fornos, onde, sob ação do calor e oxigênio, o minério de ferro é reduzido. Essa primeira redução tem como principal finalidade diminuir o teor de impurezas em processos siderúrgicos integrados (PARENTE et al. 2003).

Após a separação da escória de alto forno, o ferro-gusa é encaminhado à aciaria, processo em que será transformado em aço. Atualmente, dois processos são os mais representativos: o de fusão e refino de sucata em fornos elétricos a arco e o de refino do ferro-gusa líquido em conversores a oxigênio.

Nessa segunda transformação, com o objetivo de reduzir o teor de carbono do gusa para a obtenção do aço, é necessária a adição da cal (CaO) e de dolomito ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) para a proteção do refratário do forno. A escória de aciaria é um produto resultante da combinação desses elementos (MACHADO, 2000).

A composição da escória, a temperatura, a fluidez e sua proporção exercem influência determinante na qualidade do processo de fundição, e consequentemente, na qualidade do aço. A escória desempenha papel fundamental na retirada das impurezas e impede seu retorno

ao aço. O material tem ainda como função impedir o contato do metal líquido com a atmosfera, evitando assim sua reoxidação e a perda de temperatura (KUDRIN, 1984).

O processamento da escória de aciaria é realizado por intermédio das seguintes operações: resfriamento controlado, britagem, separação magnética, classificação granulométrica e estabilização volumétrica.

Todas as etapas de processamento são importantes para a obtenção de um material de construção eficaz, utilizado como alternativa ao agregado natural (ABM, 2008).

O desenvolvimento e a continuidade da aplicação das escórias de aciaria enfrentam, porém, restrições de ordem econômica vinculadas ao baixo valor unitário deste coproduto, quando comparado com seu principal concorrente, o agregado natural, ainda considerado abundante no Brasil. Dessa forma, fica limitado o alcance economicamente viável para sua comercialização a partir da fonte de geração, por cerca de 100 km, podendo aumentar caso não existam jazidas de agregados naturais na região (ABM, 2008).

2.2 A Expansibilidade das Escórias

As reações expansivas envolvem certos compostos presentes na escória de aciaria. Essa expansão gera tensões internas que originam trincas no material. Dentre estes compostos volumetricamente instáveis, o CaO e o MgO são os maiores responsáveis pelo enfraquecimento por diferença de volume molar nas suas reações (MACHADO, 2000).

A escória de aciaria contém uma grande quantidade de partículas de aço ou ferro metálico que ficam incorporadas à escória quando é introduzido o oxigênio. Estas partículas podem contribuir para a instabilidade volumétrica da escória, por meio da geração de produtos de corrosão e oxidação (MACHADO, 2000).

Outra reação que determina a expansão da escória de aciaria é a transformação alotrópica do silicato dicálcico ou ortosilicato de cálcio ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ou C_2S) por favorecer o agravamento dos efeitos da expansibilidade causados pelo CaO e pelo MgO.

2.3 Utilização das Escórias em Estruturas de Pavimentação

No Brasil o uso da escória de aciaria como agregado miúdo e graúdo em estruturas de pavimentação não é recente, havendo vários trechos executados há mais de 20 anos (ROHDE, 2002). Verifica-se, entretanto, dificuldades quanto à utilização da escória de aciaria na execução de obras rodoviárias devido ao tratamento inadequado do seu potencial expansivo, que pode chegar a 10,0%, resultando em patologias nas estruturas do pavimento (SILVA, 2001 apud CASTELO BRANCO, 2004).

Apesar da necessidade de se adotar técnicas de cura para a utilização desse material, a possibilidade da execução de camadas mais finas de bases, para a mesma resistência à carga/compressão e durabilidade, em relação à aplicação de materiais convencionais, contribui para as vantagens econômicas da utilização de escórias como agregados na construção de pavimentos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As propriedades das amostras de açobrita LD utilizadas neste estudo foram obtidas através de ensaios de caracterização física e mecânica, executados conforme as metodologias definidas pelo DNIT, pela ABNT e baseando-se em normas técnicas internacionais utilizadas em estudos anteriores.

Os lotes de açobrita foram fornecidos com o apoio do grupo IABR. A escória de aciaria foi britada, estabilizada granulometricamente e recebeu o tratamento para a redução do potencial de expansão. Todas as amostras têm procedência definida por uma área próxima ao local onde a princípio seriam executadas as camadas de base e sub-base sob a forma de trechos experimentais em pontos predefinidos da obra de restauração da rodovia BR 381/MG.

Além das amostras de açobrita, foram analisadas também amostras do solo argiloso presente no local, que seria utilizado como a camada de subleito da obra de pavimentação do trecho mencionado.

Analisou-se o comportamento destes materiais simulando as condições de campo para cada camada e objetivando-se avaliar a influência das proporções de material nas características mecânicas das misturas.

Prepararam-se, portanto: amostras do solo argiloso puro; amostras da mistura composta por 70% de açobrita + 30% de solo, em peso (denominada M7030); amostras da mistura composta por 80% de açobrita + 20% de solo, em peso (denominada M8020); amostras da mistura composta por 90% de açobrita + 10% de solo, em peso (denominada M9010). Avaliou-se ainda o comportamento do açobrita puro.

Os métodos de ensaios de caracterização realizados e suas respectivas normas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Métodos de ensaios de caracterização física e mecânica com suas respectivas normas.

Métodos de ensaios	Normas
Abrasão	DNER-ME 035/98
Absorção do Agregado Graúdo	DNER-081/98
Análise Granulométrica	NBR-7181
	DNER-ME 083/98
	NBR-7182
Compactação, ISC e Expansibilidade	NBR-9895
	DNIT113-2009 ME
	DNIT 160/2012 ME
	NBR-6508
Densidade Real dos Grãos	DNER-081/98
	NBR-6459
Limites de Atterberg	NBR-7180

Os corpos de prova das amostras de solo foram moldados utilizando-se as energias de compactação dos ensaios Proctor Normal e Proctor Modificado. As misturas compostas por solo e açobrita e as amostras de açobrita puro foram compactadas utilizando-se a energia de compactação do ensaio Proctor Modificado.

Para ensaio de Abrasão Los Angeles utilizou-se a graduação na faixa A.

O potencial de expansão do aço-brita foi avaliado segundo o método descrito pela norma brasileira ME113 (DNIT, 2009), que consiste em uma adaptação do método PTM 130 (Pennsylvania Test Method No. 130: Evaluation

of Potential Expansion of Steel Slags).

A partir dos resultados da curva de compactação do açobrita, moldaram-se três corpos de prova para os ramos úmido e seco e para a umidade ótima. Foram compactadas três camadas de igual altura, cada uma sendo submetida a 56 golpes do soquete cilíndrico de 4,50 kg, com altura de queda de 45,70 cm e diâmetro da face inferior igual a 5,00 cm. Os corpos de prova foram submersos em água pré-aquecida a 38 °C e levados à câmara climatizada a 69°C. Os valores de expansão foram mensurados por 7 dias. Ao término deste período, a água foi removida, mantendo-se as amostras na estufa à temperatura de $71 \pm 3^\circ\text{C}$ na condição de saturação (não submersa) por mais 7 dias, prosseguindo-se com as medidas diárias. Após os 14 dias de expansão, os corpos de prova foram retirados do molde e desmanchados para a verificação da formação cristalina na superfície das partículas do açobrita.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Açobrita

4.1.1 Caracterização Físico-mecânica

As etapas do processo de produção, estocagem, britagem e estabilização das escórias de aciaria apresentam considerável variabilidade, devendo-se este fato à variabilidade da estruturação dos processos siderúrgicos de cada usina fornecedora. O açobrita é, portanto, um material heterogêneo, não podendo ser realizadas generalizações acerca das propriedades de materiais advindos de outras fontes. Este estudo é referente apenas às propriedades das amostras aqui analisadas.

O material é não plástico, apresenta partículas arredondadas, aspecto poroso, peso específico dos sólidos igual a 36,23 kN/m³ e absorção de água de 1,93%.

Realizaram-se cinco análises granulométricas por peneiramento. Os valores obtidos estão dentro dos limites da faixa granulométrica para agregado siderúrgico,

recomendados pela norma NBR 16364 (ABNT, 2015).

Dada a paridade das curvas granulométricas obtidas, foram adotados valores médios para a classificação do material segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). Os coeficientes de uniformidade ($C_u=13,64$) e curvatura ($C_c=0,71$), indicam sua uniformidade média (C_u entre 5 e 15) e má graduação (o valor de C_c é menor que 1). Constatou-se ainda pouca presença de material fino (2,47%), possibilitando a classificação do material como areia mal graduada limpa (SP), cor cinza.

A partir da classificação AASHTO, o material é não plástico, pertencente ao grupo A-1-a, que apresenta como materiais constituintes fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia, sugerindo um comportamento adequado para bases e sub-bases.

No ensaio de resistência à abrasão Los Angeles, verificou-se um desgaste de 28%. A norma EM 262 (DNER, 1994) recomenda para uso em revestimento e sub-base, o valor máximo de 25% de desgaste para escórias de aciaria. A norma NBR 16364 (ABNT, 2015), porém, estabelece os limites de desgaste de 55%. O material apresentaria, portanto, resistência mecânica adequada à utilização em camadas de base de pavimentos rodoviários.

4.1.3 Compactação e ISC

A Figura 1 apresenta os resultados do ensaio de compactação e ISC realizado para o açobrita utilizando-se 100% da energia do Proctor Modificado, sem reuso do material.

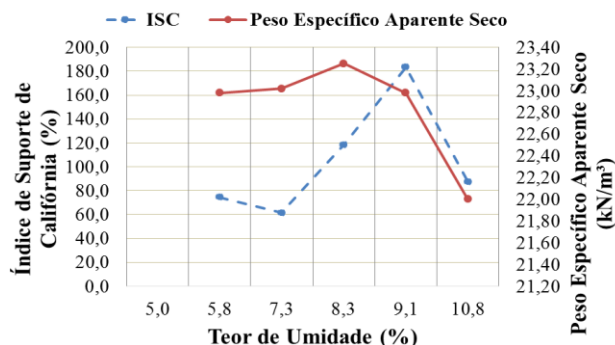


Figura 1. Curva de Compactação e ISC do açobrita na energia do Proctor Modificada.

Obteve-se uma curva abatida, com

características similares às de curvas de compactação de areias limpas. Isto é possivelmente explicado por seu baixo conteúdo de material fino e sua não plasticidade. Determinou-se o valor do peso específico aparente seco máximo de 23,10 kN/m³ e da umidade ótima de compactação de 8,75%, considerando a trabalhabilidade do material e os resultados obtidos a partir do ensaio de ISC. O máximo peso específico aparente seco foi superior aos valores dos agregados tradicionais (20 a 22 kN/m³), sendo a umidade ótima de compactação muito similar. Observa-se ainda que o material no ramo seco foi pouco sensível às variações de umidade. O valor máximo obtido de Índice de Suporte de Califórnia foi de 183% para a amostra com 9,1% de umidade de compactação. Em geral, os valores de ISC se mostraram superiores aos dos agregados convencionais. O ISC na umidade ótima é de 164%.

4.1.4 Avaliação do Potencial de Expansão

A Tabela 2 apresenta os principais valores de expansão volumétrica, obtidos a partir dos resultados do ensaio proposto pela norma ME 113 (DNIT, 2009). A Figura 2 apresenta as curvas de expansão acumulada no tempo das 3 amostras ensaiadas.

Tabela 2. Taxa de expansão acumulada no tempo de ensaio.

Ensaio:				
Corpo de Prova		1	2	3
Teor de Umidade (%)		8,7 (Ótima)	10,7 (Ramo Úmido)	6,7 (Ramo Seco)
Condição	Dia No.	Expansão Acumulada (%)		
Imersa	1	0,21	0,07	0,03
	7	0,74	0,52	0,77
Saturada	14	0,87	0,96	0,92

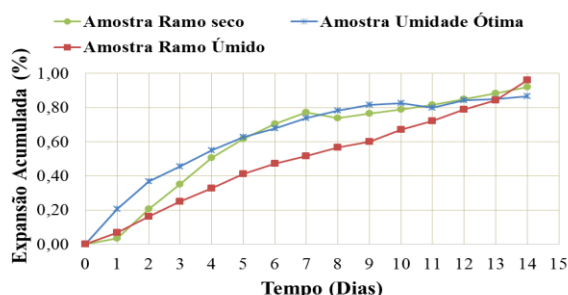


Figura 2. Curvas de expansão acumulada no tempo do açobrita compactado na energia do Proctor Modificada.

Obtiveram-se valores muito abaixo do limite de 3% estabelecido pela norma para os 3 corpos de prova ensaiados. A expansão apresentada pelo corpo de prova na umidade ótima foi a menor, sendo maior a taxa de expansão da amostra compactada no ramo úmido. No sétimo dia as características do ensaio alteraram-se da condição submersa para a condição saturada não submersa, fato que pode justificar a diminuição da taxa de expansão observada nas curvas referentes ao ramo seco e à umidade ótima. Na amostra do ramo úmido foi observada uma taxa de expansão constante na primeira etapa de imersão. Na etapa de saturação (não imerso) esta taxa aumenta, sendo observado ao final do ensaio o maior valor para este parâmetro. A amostra compactada no ramo seco, em geral apresenta uma tendência de valores médios daqueles referentes às duas outras curvas.

Verificou-se, portanto, o cumprimento das especificações técnicas referentes à expansibilidade para a utilização do material em pavimentos rodoviários.

4.2 Solo Argiloso

4.2.1 Caracterização Física

O solo destinado à mistura com o coproduto açobrita apresenta coloração avermelhada, peso específico dos sólidos igual a 29,51 kN/m³. O teor de silte na amostra de solo ensaiada por sedimentação sem defloculante representa 84% da amostra, sendo o teor de argila, 7,1%. A relação entre os teores de argila com e sem defloculante é de 8,42, revelando considerável nível de agregação das partículas.

O ensaio de granulometria por sedimentação indica a presença de aproximadamente 44% de partículas de argila.

Obtiveram-se valores para o limite de liquidez e limite de plasticidade de 68,5% e 47,16%, respectivamente. Resultou-se em um índice de plasticidade de 21,34%.

O solo apresenta-se como argilo-siltoso de alta plasticidade (MH-OH) a partir dos parâmetros de classificação estabelecidos pelo SUCS. A partir da classificação AASHTO, o material é plástico, pertencente ao grupo A-7-6,

cujos materiais constituintes são solos argilosos que apresentam comportamento inadequado para subleitos.

Estes resultados não se adequam às especificações para misturas de agregado siderúrgico e solo, recomendadas pela norma NBR 16364 (ABNT, 2015). Essa norma determina para solos com características lateríticas, um limite de liquidez menor ou igual a 40% e um índice de plasticidade menor ou igual a 15%.

4.2.2 Ensaio de Compactação e ISC

Os resultados do ensaio de compactação realizado para o solo do local são apresentados na Figura 3. Utilizaram-se as energias Proctor Normal e Modificada.

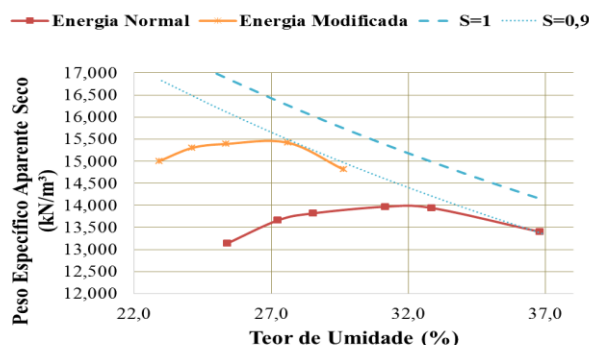


Figura 3. Curvas de compactação do solo nas energias Proctor Normal e Modificada.

As curvas apresentam o formato típico das curvas de compactação de solos coesivos, tendo bem definidos os pontos de máximo peso específico aparente seco, relacionados aos teores de umidade ótima para a compactação.

A Tabela 3 descreve os resultados dos ensaios de ISC e expansibilidade para a energia de compactação Proctor Modificado:

Tabela 3. Resultados dos ensaios de compactação, expansão e ISC do solo na energia Proctor Modificado.

Ponto	Peso Específico Aparente Seco (kN/m³)	Teor de Umidade (%)	Expansão (%)	ISC (%)
1	15,00	22,9	4,9	7,9
2	15,30	24,1	3,87	19,9
3	15,39	25,3	3,03	32,5
4	15,42	27,6	2,64	22,3
5	14,81	29,6	2,3	9,1

O Índice de Suporte Califórnia máximo é de 32,5% na energia de compactação de Proctor modificada, corroborando a baixa qualidade deste material para a utilização em estruturas de base. Para subleitos, porém, este valor é considerado elevado. Observaram-se ainda valores altos de expansão, comportamento indesejável para sua aplicação em estruturas de pavimentação.

Mesmo com todas as premissas a respeito da aplicabilidade deste solo em estruturas de pavimento, optou-se por avaliar o desempenho deste material em associações com o açobrita e analisar o possível ganho de desempenho para esta associação.

4.3 Misturas de Açobrita e Solo Argiloso

4.3.1 Caracterização Física

As misturas M7030 e M8020 se mostraram adequadas aos limites toleráveis da faixa granulométrica D da norma NBR 16364 (ABNT, 2015). Já granulometria da mistura M9010 se adequa aos limites de tolerância da faixa A, especificados pela norma.

Os valores de densidade real dos grãos, obtidos a partir do valor médio de 3 análises realizadas no pentapicnômetro estão descritos na tabela 4.

Tabela 4. Valores de densidade real dos grãos das misturas de açobrita e solo.

Mistura	Gs (g/cm³)
M7030	3,271
M8020	3,314
M9010	3,38

Atesta-se o aumento da densidade real dos grãos a partir do incremento de açobrita na proporção da mistura.

Para a determinação dos limites de Atterberg, foi ensaiada a fração de material passante na malha de 0,42 mm de abertura das três misturas. Todas as amostras são caracterizadas como não plásticas (NP).

Destaca-se que a despeito da composição das misturas, que compreende teores altos de solo plástico, o comportamento não plástico do açobrita predomina na determinação da

plasticidade do material. Este fato é observado inclusive na mistura com o maior teor de solo (30%).

4.3.2 Compactação e ISC

Os ensaios de compactação para as misturas foram realizados manualmente, sem reuso de material e com o 100% da energia do Proctor modificado. Para a definição do teor de umidade ótima e do peso específico aparente máximo, consideraram-se os resultados dos ensaios de ISC e a trabalhabilidade do material durante a compactação.

A Figura 4 apresenta as curvas de compactação das misturas e a do açobrita.

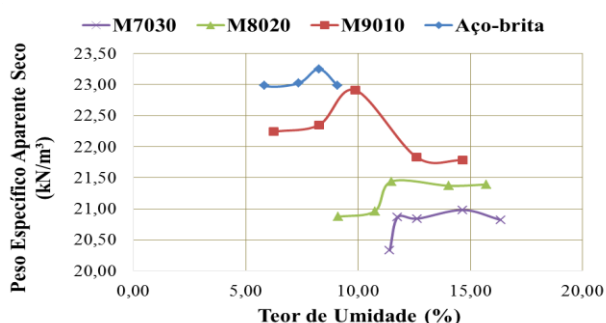


Figura 4. Curvas de compactação das misturas e do açobrita na energia Proctor Modificada.

Na Figura 5 são representadas as curvas de variação do índice de vazios em relação aos teores de umidade nas amostras de açobrita e das misturas (M7030, M8020 e M9010). A mistura M9010 destaca-se por apresentar os menores valores, indicando seu alto grau de compactação. Já as outras amostras apresentam valores de relação de vazios muito similares entre si.

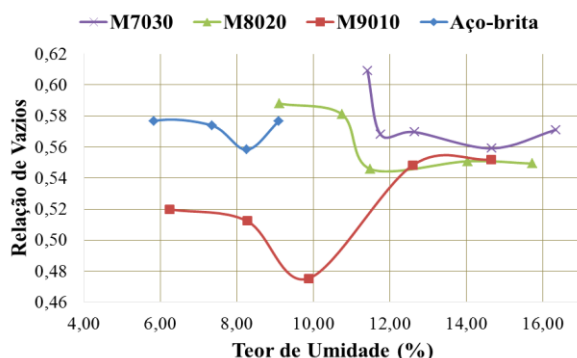


Figura 5. Curvas da relação de vazios das misturas e do açobrita compactados na energia Proctor Modificada.

A Tabela 5 resume os máximos valores obtidos para os parâmetros peso específico aparente seco, expansão e ISC para cada material compactado na energia modificada.

Tabela 5. Resumo dos máximos resultados obtidos.

Mistura	Peso Específico Aparente Seco (kN/m³)	Teor de Umidade Ótima (%)	Expansão (%)	ISC (%)
Açobrita	23,10	8,75	0	164,00
Solo	15,50	26,50	3,03	32,50
M7030	21,00	14,70	0,41	213,00
M8020	21,44	11,49	0,38	185,70
M9010	22,91	9,87	0,05	254,90

Observou-se que o aumento do teor de açobrita resulta no aumento dos valores de peso específico aparente seco máximo e na diminuição no teor de umidade ótima de compactação. Da análise das curvas de variação no índice de vazios em relação ao teor de umidade, percebe-se que os menores valores de índice de vazios foram obtidos na mistura M9010. Pode-se dizer, portanto, que esta apresentou maior efetividade no processo de compactação, sendo a melhor indicada para a utilização como camada de base para pavimentos rodoviários. Destaca-se, porém, a adequação de todas as misturas ao uso em pavimentos rodoviários. A análise de custos é, portanto, um fator determinante para a escolha.

A expansão determinada a partir dos métodos do ensaio ISC foi baixa, mantendo-se dentro da especificação de 1% da norma NBR 16364 (ABNT, 2015).

5 CONCLUSÕES

Fundamentando-se nas análises dos resultados obtidos nos ensaios realizados nesta pesquisa, avaliou-se a adequação do material às condições de aplicação em estruturas de pavimentação.

Embora o solo utilizado apresente alta plasticidade, esta característica não compromete as propriedades mecânicas da mistura obtidas a partir dos ensaios de compactação e Índice de Suporte Califórnia. Este fato sugere a possibilidade de, a partir de estudos

complementares, reavaliar-se as especificações do solo utilizado em misturas com açobrita nos prodimentos normativos do DNIT.

O açobrita apresentou conformidade em relação a todas as especificações analisadas neste estudo para os fins propostos. Entretanto, dada a sua heterogeneidade, recomenda-se a realização de ensaios para controle de qualidade do material, precedentes à sua utilização em obras.

Os resultados obtidos neste estudo tendem a contribuir para a elaboração e revisão de procedimentos normativos do DNIT. Sugere-se a aplicação destes resultados em estudos futuros que compreendam a análise de trechos experimentais. Atenta-se para o fato de que adicionalmente à mistura M8020, inicialmente considerada a proporção ideal, as outras duas misturas avaliadas, M7030 e M9010, apresentaram ótimo comportamento para a utilização em camadas de base. Sugere-se ainda, para trabalhos futuros, a avaliação da influência do solo nos comportamentos mecânicos do açobrita a partir da mistura em outras proporções.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro à pesquisa e ao Programa de Pós-graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB) por disponibilizar o espaço e os equipamentos do laboratório de Geotecnia para realização dos ensaios. Os autores agradecem ainda ao DNIT e ao Instituto Aço Brasil, destacando a importância da parceria entre órgãos públicos, privados e instituições acadêmicas para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias e métodos construtivos mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Metalurgia E Materiais (2008). *Gestão de Coprodutos*. Brasília, DF.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). *NBR 6459, Solo - Determinação do Limite de Plasticidade - Método de Ensaio*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). *NBR 7180, Solo - Determinação do Limite de Liquidez - Método de Ensaio*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). *NBR NM 51, Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles" - Método de Ensaio*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). *NBR NM 53, Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água - Método de Ensaio*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). *NBR 16364, Execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente com agregado siderúrgico para pavimentação rodoviária*
- Castelo Branco, V.T.F. (2004). *Caracterização de Misturas Asfálticas com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 135 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). *EM 262, Escória de Aciaria para Pavimento Rodoviário - Especificação de Material*.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). *ME 049, Solos - Determinação do Índice de Suporte de Califórnia utilizando amostras não trabalhadas - Método de ensaio*.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1998). *ME 083, Agregados - Análise granulométrica - Método de Ensaio*.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2013). *ME 113, Pavimentação rodoviária - Agregado artificial - Avaliação do potencial de expansão de escória de aciaria - Método de Ensaio*.
- Graffitti. (2002). *Avaliação do teor de cal livre em escória de aciaria elétrica*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 77 p.
- Kudrin, V. A. (1984). *Metalurgia del Acero*. Moscou: Editorial Mir, 423 p.
- Machado, A. T. (2000). *Estudo Comparativo dos Métodos de Ensaio para Avaliação da Expansibilidade das Escórias de Aciaria*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Construção Civil - POLI/USP, São Paulo, 135 p.
- Parente, E.B.; A.H. Boavista e J.B. Soares (2003). *Estudo do comportamento mecânico de misturas de solo e escória de aciaria para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza*. XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Brasil, 8 p.
- Rohde, L. (2002). *Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos - estudo laboratorial*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 101 p.
- Silva, P. (2001). *Estudo do Reforço de Concreto de Cimento Portland (Whitetopping) Na Pista Circular Experimental do Instituto de Pesquisas Rodoviárias*. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, 358 p