

III-153 - AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM SOLO LATERÍTICO E UM SOLO NÃO-LATERÍTICO ESTABILIZADO COM ASFALTO FRESADO

Agostinho Júnior Santos⁽¹⁾

Acadêmico de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, agostinhojuniors@gmail.com

Carolina Moulin Coelho Lima⁽¹⁾

Acadêmico de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, carolina_moulin@hotmail.com

Francis Massashi Kakuda⁽¹⁾

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil/UFSCar, fracis@ufscar.br

Marcelo de Castro Takeda⁽¹⁾

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil/UFSCar, mctakeda@ufscar.br

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Washington Luís (SP-310), Departamento de Engenharia Civil - UFSCar – São Carlos - São Paulo - CEP: 13565-905 – Brasil - Tel: +55 (16) 3351-8263 - Fax: +55 (16) 3351-8262

RESUMO

O trabalho se trata de uma avaliação da adição de asfalto fresado na estabilização de solos tropicais de comportamento laterítico, e não-laterítico a fim da sua utilização nas camadas de pavimento. Foram avaliadas quatro amostras para cada solo, sendo elas uma do solo puro e três misturas de solo/asfalto fresado nas proporções de 80/20, 70/30 e 50/50, para o solo laterítico e 70/30, 60/40 e 50/50, para o solo não-laterítico. É sabido que a preocupação com o meio ambiente é cada vez mais presente nos dias de hoje e ainda é visto um grande desperdício de materiais com boas características para o seu reaproveitamento. Nas obras de pavimentação, no processo de reabilitação do revestimento, o asfalto fresado é um material que normalmente é descartado sem uma devida utilização, tendo propriedades capazes de proporcionar um aumento de resistência nas camadas de pavimento. Por conta disso, ensaios feitos avaliaram as potencialidades e viabilidade da utilização da mistura nas camadas do pavimento. Sendo assim, este estudo aponta vantagens tanto ambientais quanto técnicas e econômicas para a sua implementação em obras futuras.

PALAVRAS-CHAVE: Asfalto Fresado, Pavimentação, Solos Tropicais, Resíduos da Construção.

INTRODUÇÃO

No Brasil, em 2016, o meio de transporte mais utilizado para o transporte de pessoas e cargas, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017), constituiu no rodoviário, contendo 212.886 Km de rodovias pavimentadas.

A escolha brasileira pelo transporte rodoviário acarreta distintas consequências ao meio ambiente. Em muitas obras pode ser visto o desperdício de materiais com potencial de constituir parte de um pavimento. Nas rodovias pavimentadas com concreto asfáltico muitas vezes no processo de reabilitação do revestimento, em que se retira parte ou toda a camada de concreto asfáltico não há a devida reutilização para este resíduo, fazendo com que o destino final deste dejetos seja em áreas de bota-fora.

No Brasil, a Lei nº 12.305/2010 que institui a política nacional de resíduos sólidos estabelece no artigo 13 a classificação dos resíduos sólidos quanto à sua origem. Na alínea h deste artigo entende-se que os resíduos da construção civil são aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis. Segundo a resolução CONAMA nº 307/2002, os resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

A fresagem é uma técnica relativamente nova no âmbito de recuperação, manutenção e restauração de pavimentos. Nos dias atuais, é uma técnica muito utilizada como parte da restauração de pavimentos deteriorados, em especial visando solucionar problemas frequentemente encontrados, como evitar o alteamento de calçadas e dos dispositivos de drenagem pluvial e atenuar o efeito da propagação de trincas (BONFIN, 2007).

Tendo em vista a diminuição dos impactos ambientais, uma saída técnica potencial para o material fresado, proveniente da capa asfáltica das rodovias, é a sua reutilização em camadas de bases ou sub-base de uma estrutura de pavimento. Essa reutilização contribui para evitar a exploração excessiva de jazidas minerais.

Além do material fresado, o solo local muitas vezes não possui as propriedades necessárias para satisfazer as exigências das normas técnicas para pavimentação. A adição do asfalto fresado ao solo como um estabilizante granulométrico tem o potencial para melhorar as características técnicas do material possibilitando a sua utilização no próprio local da obra e, reduzindo também operações de bota-fora o que permite a redução de possíveis impactos ambientais.

OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de asfalto fresado na estabilização de solos tropicais de comportamento laterítico e não-laterítico. Para este fim, os solos foram classificados e analisadas as suas características antes e após a adição do asfalto fresado para a verificação das resistências das misturas a partir do Índice de suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR).

Dessa forma, avalia-se a possibilidade de aproveitamento tanto de solos locais de uma obra, que resultaria em bota-fora quanto do pavimento asfáltico fresado para execução de camadas de pavimento. Diversos estudos tratam do uso de materiais asfálticos na execução de camadas de pavimentos em substituição a materiais britados e como forma alternativa de descarte destes materiais. Dentre estes podem ser citados: Alvim, (1999), Moreira et al., (2006), DNIT (2006b), Costa e Pinto (2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dois solos da região de São Carlos – SP, coletados na margem da rodovia SP-215 no km 152,4, no talude da margem esquerda sentido São Carlos – Dourado. As coordenadas geográficas do local são 22° 04' 00" S e 47° 54' 30" O. Um dos solos foi coletado acima da linha de seixos e o outro abaixo da linha de seixos.

O asfalto fresado (AF) foi fornecido por empresa de pavimentação da região de São Carlos - SP, sendo proveniente de serviço de fresagem em área urbana. Sem uso, o material permanecia estocado ao ar livre em área de propriedade da empresa. Não foram realizados ensaios de caracterização do AF, sendo utilizado na forma como fornecido pela empresa. Na preparação do AF, os materiais foram peneirados para separação de partículas maiores do que 19 mm, e utilizado nos ensaios o material passante.

O esquema apresentado na Figura 1 descreve o método utilizado para alcançar o objetivo proposto neste trabalho e as normas utilizadas nos respectivos ensaios.

Os materiais coletados foram submetidos a ensaios de caracterização e de comportamento mecânico. Foram selecionados três teores diferentes de asfalto fresado (AF) para preparação das misturas com solo. Um dos solos foi estabilizado com 20, 30 e 50% de asfalto fresado, enquanto outro foi estabilizado com 30, 40 e 50%. Entende-se que essa mistura guarda semelhanças com solo-brita, material tradicional empregado em camadas de pavimento. As misturas foram submetidas ao ensaio de CBR Simultâneo, na energia do Proctor Modificado, para determinação da umidade ótima, massa específica aparente seca máxima, CBR e expansão. Os solos puros também foram submetidos ao mesmo ensaio para determinação dos mesmos parâmetros para estabelecimento do controle.

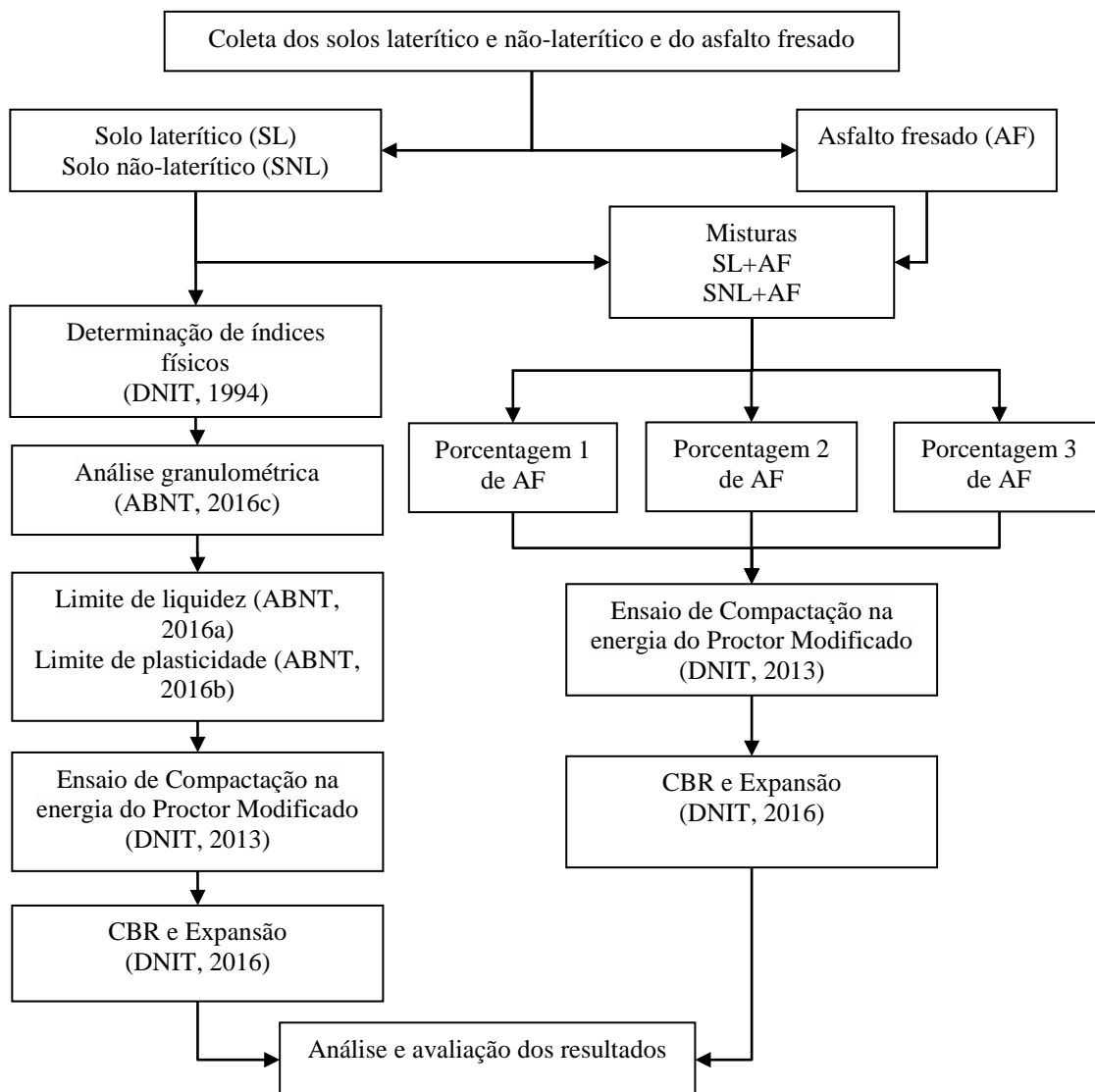


Figura 1 – Esquema do método empregado

RESULTADOS OBTIDOS

Os solos foram submetidos ao ensaio de classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) para determinação da gênese (DNIT-CLA 259/96). O solo coletado acima da linha de seixos, chamado de solo 1, foi classificado como de comportamento laterítico argiloso (LG') e o solo abaixo da linha de seixos, chamado de solo 2, como de comportamento não-laterítico argiloso (NG'). Os solos foram ainda classificados segundo as classificações tradicionais HRB (*Highway Research Board*) e SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos). Segundo estas, o solo 1 é classificado como A-2-6 e CL, respectivamente, e o solo 2 como A-7-6 e CH, respectivamente. O solo 1 pode ser descrito como uma areia argilosa, enquanto o solo 2 é uma argila silto-arenosa. A Tabela 1 apresenta um resumo dos ensaios de caracterização dos solos. As figuras 2 e 3 apresentam as curvas granulométricas dos solos 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1 – Resumo dos ensaios de caracterização dos solos

Amostra	Classificação			Limites		Granulometria			γ_s (kN/m ³)
	MCT	HRB	SUCS	LL	LP	Argila	Silte	Areia	
Solo 1	LG'	A-2-6	CL	33%	16%	20%	1%	79%	27,58
Solo 2	NG'	A-7-6	CH	62%	36%	30%	30%	40%	24,44

γ_s : Peso específico dos sólidos; LL: Limite de liquidez; LP: Limite de plasticidade

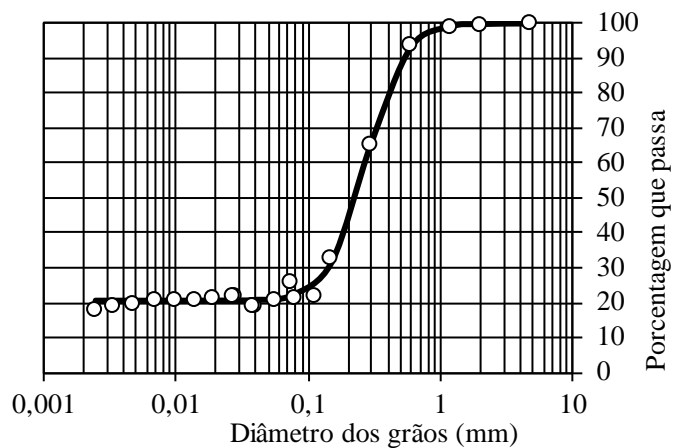


Figura 2 – Curva granulométrica do Solo 1 (LG')

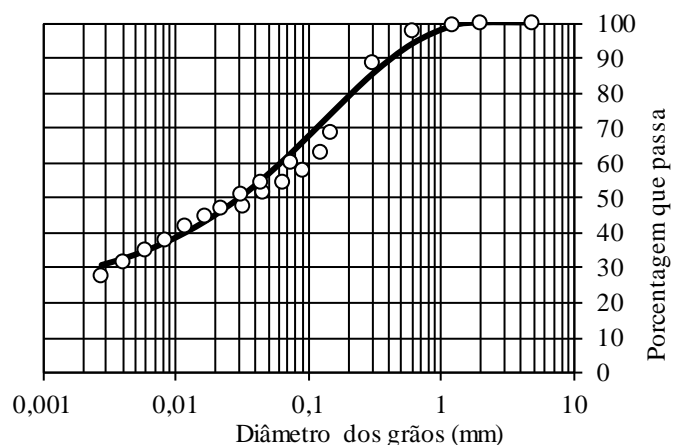


Figura 3 – Curva granulométrica do Solo 2 (NG')

As Figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, as curvas de compactação obtidas para os solos 1 e 2. Analisando estas figuras verifica-se que, conforme esperado, houve uma redução no teor de umidade ótima com o aumento do teor de AF na mistura. Não foi possível, contudo, identificar um padrão de comportamento do peso específico aparente seco máximo.

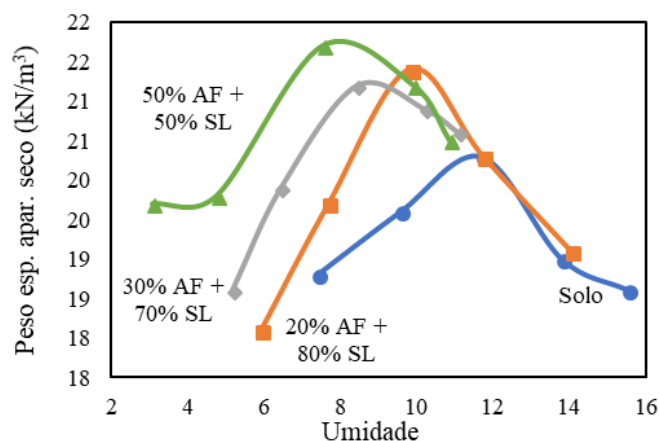


Figura 4 – Curvas de compactação da amostra SL e misturas de AF+SL

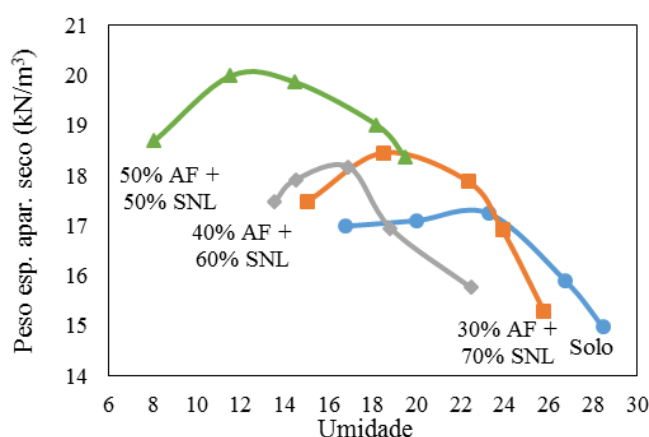


Figura 5 – Curva de compactação da amostra SNL e misturas de AF+SNL

A Tabela 2 resume os valores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo obtidos dos ensaios de compactação dos solos puros e misturas com AF.

Tabela 2 – valores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo obtidos nos ensaios de compactação

Mistura	Umidade ótima (%)	γ_{\max} (kN/m³)	Mistura	Umidade ótima (%)	γ_{\max} (kN/m³)
SL puro	11,5	2,03	SNL puro	23,8	1,73
20% AF + 80% SL	9,9	2,14	30% AF + 70% SL	20,6	1,91
30% AF + 70% SL	8,7	2,09	40% AF + 60% SL	16,0	1,83
50% AF + 50% SL	8,0	2,12	50% AF + 50% SL	14,2	2,0

A Tabela 3 e a Figura 6 apresentam os resultados dos ensaios de CBR e expansão para misturas com solo laterítico. A Tabela 4 e a Figura 7 apresentam os resultados dos ensaios de CBR e expansão para misturas com solo não-laterítico.

Os dois solos estudados, no estado puro, não apresentam valores de CBR que permitam seu emprego em camadas superiores do pavimento. Para sub-bases o valor mínimo de CBR é 20%, enquanto para bases o valor mínimo é 60% para vias de tráfego leve e 80% para volumes de tráfego superiores. Os solos ensaiados no estado puro obtiveram um CBR de 18% e 13%, respectivamente para o solo laterítico e o não-laterítico.

Tabela 3 - CBR e Expansão das misturas de AF+SL

Mistura	CBR (%)	Expansão (%)	Ganhos do CBR com relação ao solo SL puro
Solo SL puro	18	0,07	-
20% AF + 80% SL	60	0,07	233 %
30% AF + 70% SL	150	0,05	733 %
50% AF + 50% SL	186	-0,1	933 %

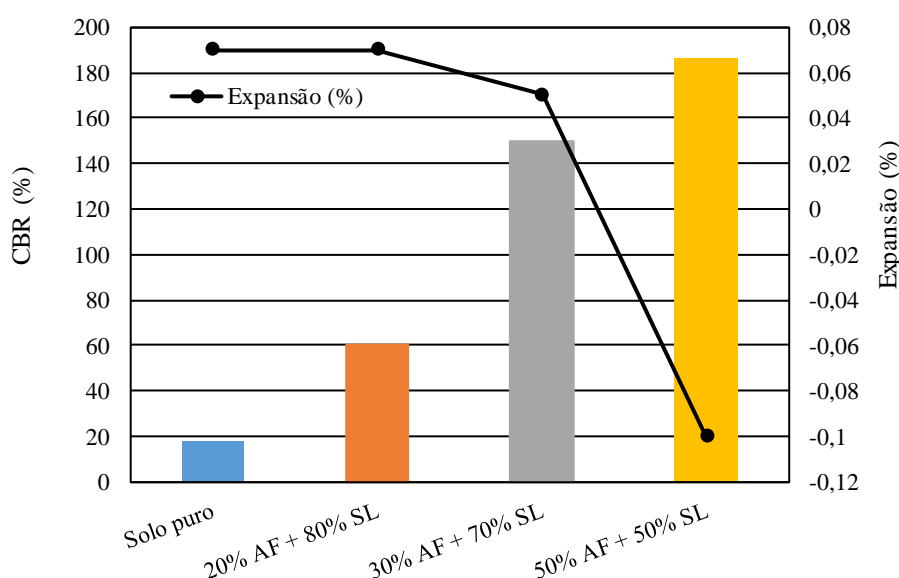


Figura 6 – CBR e Expansão do Solo 1

Na Tabela 3, observa-se que os ganhos percentuais do valor do CBR na umidade ótima da mistura com a proporção de 20% de AF foi de 233% em relação ao solo puro. Para a mistura com a proporção de 30% de AF o ganho foi de 733% e para a mistura com a proporção de 50% de AF aumentou 933% em relação ao solo puro. Nestas proporções, já seria possível aplicar as misturas em camadas de base de pavimentos. Os ganhos observados foram expressivos, indicando para teores acima de 30% resultados de CBR que superam o material padrão, ou seja, valores de CBR superiores a 100%. Observa-se também a tendência de redução da expansão com o aumento do teor de AF. Dessa forma, considerando-se o CBR e a expansão das misturas com teores acima de 30% de AF é possível afirmar que esta seja uma alternativa tecnicamente viável para execução de camadas de base, permitido o uso de materiais que inicialmente seriam descartados e reduzindo, consequentemente, os impactos ambientais.

Na Tabela 4 e na Figura 7, observa-se que, em termos percentuais, o aumento do valor de CBR na umidade ótima de compactação para as misturas com relação ao material de referência, ou seja, o solo puro, foram de 62% para a mistura com a adição de 30% de asfalto fresado, 169% para a mistura com adição de 40% de asfalto fresado e 362% para a mistura com adição de 50% de asfalto fresado. Apesar do ganho considerável em termos percentuais se comparado com o material de referência, deve-se atentar a sua utilização nas camadas de uma estrutura de pavimento, respeitando as normas vigentes no país. Ou seja, a estabilização do solo não-laterítico com AF permitiria seu emprego em camadas de sub-base ou bases de tráfego leve no caso das misturas com 50% de cada material. Observa-se também a tendência de redução da expansão com o aumento do teor de AF.

Tabela 4 - CBR e Expansão das misturas de AF+SNL

Mistura	CBR (%)	Expansão (%)	Ganhos do CBR com relação ao solo SNL puro
Solo SNL puro	13	2,3	-
30% AF + 70% SNL	21	0,9	62%
40% AF + 60% SNL	35	0,7	169%
50% AF + 50% SNL	60	1,08	362%

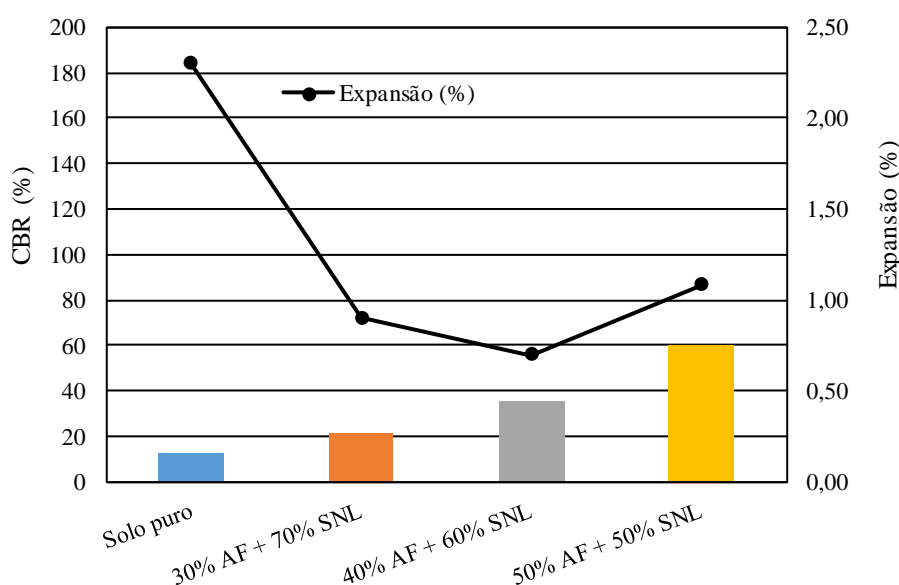


Figura 7 - CBR e Expansão do solo 2

CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou o comportamento de duas amostras de solos com gênese distinta, sendo uma de comportamento laterítico e outro de comportamento não-laterítico. Estes materiais foram estudados puros, como grupo de controle, e estabilizados com asfalto fresado em três proporções. As principais conclusões observadas foram:

- A incorporação do asfalto fresado nos solos produziu o aumento do valor do CBR e a redução da expansão, permitindo, dessa forma, que as misturas possam ser empregadas em camadas de pavimentos.
- Nas misturas com solo laterítico, nas proporções de 30% e 50% de AF, os valores de CBR obtidos foram de 150% e 186%, respectivamente, com expansões inferiores a 0,05%. Sendo assim, o emprego destas misturas pode possibilitar um aumento da resistência da camada a ser utilizada, minimizar os custos de transporte de material, como também reduzir a exploração de jazidas minerais e o descarte incorreto do material, tornando-se assim uma solução econômica e ecologicamente correta. Contudo, ressalta-se que outros estudos complementares devam ser realizados a fim de melhor caracterizar o material.
- Nas misturas com solo não-laterítico, os resultados dos ensaios de CBR das misturas não atendem as exigências técnicas para a utilização em camadas de base de pavimento, mas poderia ser utilizado em camadas de sub-base e reforço do Subleito.
- Por fim, a utilização de asfalto fresado para estabilização de solos mostrou-se promissor quanto a melhoria dos valores de CBR como de expansão, entretanto, deve-se verificar se esse mesmo comportamento se repete em outros tipos de solos. Sua utilização deve, portanto, ser analisada para cada situação. Entretanto, deve-se ressaltar a sua contribuição quanto a diminuição de impactos ambientais gerados pela extração de novas jazidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. 2 ed., 2016a.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. 2 ed., 2016b.
3. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. 2 ed., 2016c.
4. ALVIM, I.M. Fresagem & Reciclagem de Pavimentos e Suas Aplicações na Restauração de Rodovias. 1999. Disponível em: <<http://www.fresar.com.br>>. Acesso em: 06 out. 2016
5. BARROS, R. F. Utilização do revestimento fresado da BR-104, como material de reforço da camada de base e/ou sub-base. 2013. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.
6. BONFIM, V. Fresagem de pavimentos asfálticos. 3ª ed. São Paulo: Exceção Editorial, 2007.
7. CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (BRASIL) – Boletim estatístico – Fevereiro de 2017.
8. CONAMA (2002) – Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente nº 307 de 05 de julho de 2002.
9. COSTA, C.; PINTO, S. O uso de reciclagem de pavimentos como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil. Revista Engenharia. São Paulo, 602.ed, p.96-102, 2011.
10. DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. 2ª ed. IPR: Rio de Janeiro. 2006.
11. DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. – DNIT 041/1994 – ME: Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização. IPR, 1994.
12. DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. – DNIT 164/2013 – ME: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. IPR, 2013.
13. DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. – DNIT-CLA 259/1996: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura. IPR, 1996.
14. DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. – DNIT 172/2016 - ME: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. IPR, 2016.
15. MOREIRA, J. P. M. V., CORREIA, A. G., & PEREIRA, P. A. Contribuição para a Reutilização de Material Fresado em Camadas Estruturais de Pavimento. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, 10, 2006, Lisboa, Portugal. Geotecnia Multidisciplinar. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 2006. P. 439-448.