AVALIAÇÃO MECÂNICA DO USO DE RESÍDUO DE FRESAGEM DE PAVIMENTOS NA ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO SILTOSO

Mechanical evaluation of the use of recycled asphalt pavement for a silty soil stabilization

Gabriel Orquizas Mattielo Pedroso
UNESP – FEG | Guaratinguetá, São Paulo | gabriel.pedroso@unesp.br

Cássio de Carvalho Araújo Moura
UNISAL | Lorena, São Paulo | cassiodecam@gmail.com

Mariana Ferreira Benessiuti Motta
UNESP – FEG | Guaratinguetá, São Paulo | mariana.motta@unesp.br

Resumo

Na Engenharia Civil, atualmente, medidas como reciclagem, reaproveitamento e reutilização são essenciais nas práticas da profissão. Sendo assim, no ramo de pavimentação há diversas iniciativas para utilizar materiais provenientes da fresagem da camada asfáltica do pavimento. O material fresado, quando descartado incorretamente, se torna um resíduo agressivo ao meio ambiente, tornando sua reutilização necessária. Desse modo, o objeto deste estudo é verificar a aplicação do resíduo de fresagem na estabilização de um solo siltoso, a fim de utilizar a mistura dos materiais nas camadas do pavimento. Para tanto, o material fresado foi incorporado ao solo, nas proporções de 25; 50 e 75%, e verificado suas propriedades físicas e mecânicas por meio dos ensaios de granulometria, compactação e Índice de Suporte California (ISC ou CBR). Os resultados mostraram que conforme foi sendo adicionado material fresado, os valores de massa específica máxima seca aumentam, o teor de umidade ótima diminui, e a expansão do solo diminui. Entretanto, embora houve a diminuição da expansão, não houve uma variação significativa no valor do CBR, assim, para que as misturas possam ser aplicadas em outras camadas do pavimento flexível, essas não satisfazem as condições mínimas do DNIT para utilização em camadas de base e sub-base.

Palavras-chave: Pavimentação; Estabilização de solos; Fresado asfáltico

ABSTRACT

Currently, in Civil Engineering, measures such as recycling, and reuse are essential in the practices of the profession. Therefore, in the field of flexible pavement there are several initiatives to use materials from the milling of the asphalt layer of the pavement. The milled material, when discarded incorrectly, becomes an aggressive waste to the environment, making its reuse necessary. Thus, the object of this study is to verify the application of the milling residue in the stabilization of a silty soil, to use the mixture of materials in the pavement layers. For this purpose, the recycled asphalt pavement (RAP) was incorporated into the soil, in proportions of 25;50 and 75%, and its physical and mechanical properties were verified through granulometry, compaction and California Bearing Ration (CBR) tests. The results showed that as RAP was added, the maximum dry specific density increased, the optimum moisture content decreased, and the soil expansion decreased. However, although there was a decrease in expansion, there was no significant variation in the CBR value, so that the mixtures can be applied to other layers of the flexible pavement, it does not meet the minimum DNIT conditions for use in base and sub-base layers.

Keywords: Pavement; Soil stabilization; RAP

1 INTRODUÇÃO

Um pavimento pode ser definido como um sistema de múltiplas camadas semi-infinitas destinado a: distribuir os esforços verticais e horizontais oriundos do tráfego, proteger as camadas inferiores das intempéries e proporcionar aos usuários uma superfície segura e regular de maneira a permitir o deslocamento com segurança e economia (MEDINA, MOTTA, 2005).

Diferente de outras obras de engenharia, os empreendimentos rodoviários têm vida útil entre 10 e 20 anos, o que, inevitavelmente leva a um processo de manutenção e reabilitação bastante presentes. As técnicas e processos empregados na reabilitação variam desde a sobreposição de uma capa asfáltica pouco espessa até a reconstrução total do pavimento, dependendo da avaliação estrutural e funcional e do tráfego previsto (BALBO, 2007). Quando um pavimento asfáltico se torna deteriorado estruturalmente, há necessidade de restaurar sua capacidade de carga através de colocação de espessuras adicionais de camadas ou através do corte de todo ou parte do revestimento deteriorado por equipamento especial – fresadora – e execução de nova camada de revestimento asfáltico. O material gerado no corte pode ser reaproveitado por reciclagem (BERNUCCI *et al.,* 2006).

A reciclagem de pavimentos, consiste na reutilização total ou parcial dos materiais existentes no revestimento, na base e/ou na sub-base, em que os materiais são novamente misturados e compactados; pode-se ainda adicionar agregados virgens para correção granulométrica e/ou agentes cimentantes (BONFIM, 2007). A utilização de material fresado nas camadas do pavimento vem sendo amplamente estuda, como por exemplo: em revestimento asfáltico (SILVA, 2013); em camadas de base e sub-base (SPECHT, 2013). Na estabilização de solos, os trabalhos de Vieira de Araújo Junior (2019) e Gonçalves (2019) avaliaram teores de fresado variando de 10 a 60%, onde o fresado adicionado apresenta granulometria passante na 50mm, para a estabilização de diferentes solos. De forma geral, o fresado adicionado nestas pesquisas apresenta propriedades semelhantes a de uma brita, portanto, a sua adição melhora as características mecânicas do solo, podendo ser empregado como substituição de matérias pétreos para vias de baixo volume de tráfego ou pavimentos urbanos.

O objetivo deste trabalho é avaliar a adição do fresado para estabilizar um solo com baixa resistência e alta expansão para a sua utilização em camadas do pavimento. Para execução deste estudo, foram feitas análises de diferentes traços de mistura, onde foi avaliado as propriedades físicas e mecânicas dos materiais.

2 METODOLOGIA

Os materiais utilizados na pesquisa são: solo areno-siltoso da região do Vale do Paraíba-SP; e material fresado de pavimentos asfálticos flexíveis. Ambos os materiais são amostras deformadas coletadas em um aterro de resíduo inerte (Figura 1). Os materiais foram secos em estufa, destorroados e peneirados na peneira #4 (4,75mm) para realizar os ensaios.

Figura 1: Foto dos materiais: a) Fresado de mistura asfáltica; b) Solo siltoso



A metodologia foi dividida em duas etapas. Na primeira, foram feitas as caracterizações físicas por meio da granulometria do solo e do material fresado separados. Já na segunda, a caracterização mecânica foi realizada através dos ensaios de compactação e índice de suporte California (CBR) dos materiais separados e da mistura. A análise da mistura foi feita nas seguintes proporções e as siglas representativas: a) 100%Solo (100%S); b)75%Solo + 25% Fresado (25%F+75%S); c) 50%Solo + 50% Fresado (50%F+50%S); d) 25%Solo + 75% Fresado (75%F+25%S).

2.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

O ensaio de granulometria foi realizado em duas etapas: preparação das amostras, de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016a); e a granulometria conjunta, de acordo com NBR 7181 (ABNT, 2016b). Ambos os materiais foram previamente secos em estufa por 24 horas, e para o material fresado foi realizado somente o peneiramento, enquanto, para o solo foi realizado peneiramento e sedimentação.

2.2 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Os ensaios de compactação foram realizados de acordo com as instruções da norma técnica NBR 7182 (ABNT, 2016c). Utilizou-se energia de compactação intermediária conforme a recomendação do DNIT para camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis, ou seja, utilizou-se o soquete de 4,5kg, com altura de queda de 45,7 cm, em 5 camadas de 26 golpes cada no cilindro grande (2085 cm³ de volume).

Para um ajuste preciso da curva de compactação, foram obtidos ao mínimo 6 pontos em diferentes umidades.

2.3 ENSAIO DE ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA (ISC/CBR)

O ensaio de Índice Suporte California foi realizado segundo a norma técnica NBR 9895 (ABNT, 2016d). A fim de verificar a perda de resistência do material quando em contato com a água, os ensaios foram realizados na condição inundada e na condição sem imersão em água. Na condição imerso em água, foram medidas as variações volumétricas do material durante 4 dias, para, posteriormente, calcular a sua expansão (%).

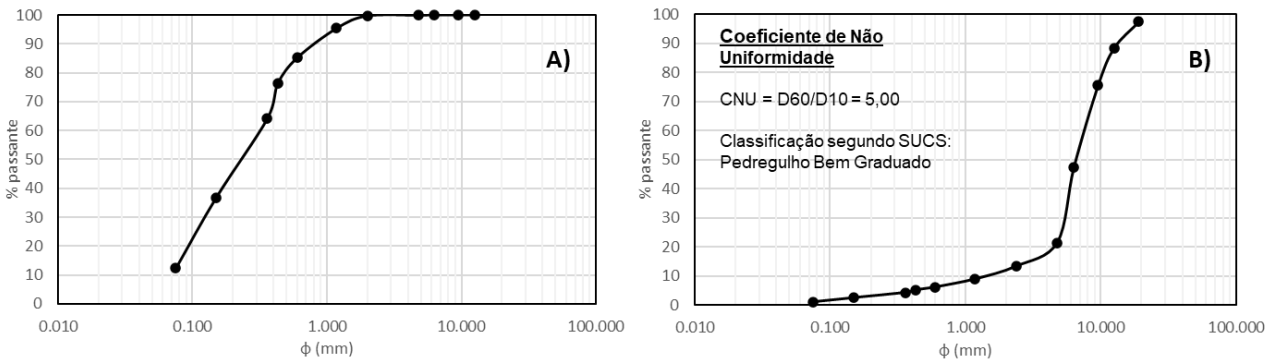
Os corpos-de-prova foram moldados na energia intermediária, conforme recomendação do DNIT para materiais de base, e somente na umidade ótima, a qual foi obtida anteriormente na curva de compactação. Foi feita a verificação do teor de umidade e massa específica seca de moldagem do corpo-de-prova, utilizando o critério de aceitação de grau de compactação ≥100% e desvio de umidade ≤ 2%.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS: GRANULOMETRIA

As curvas granulométricas dos materiais são apresentadas na Figura 2. Observa-se que para o solo (Figura 3 (a)), a maior porcentagem do material se encontra na faixa de areia e há uma pequena faixa de argila. Logo, este solo é classificado como areia siltosa (ABNT). O material fresado (Figura 2(b)) tem sua granulometria predominantemente com diâmetro maior que o solo, portanto, de acordo com o critério de classificação da SUCS (Sistema Universal de Classificação dos Solos), o peneiramento do material o classificou como pedregulho bem graduado com coeficiente de não uniformidade igual a 5.

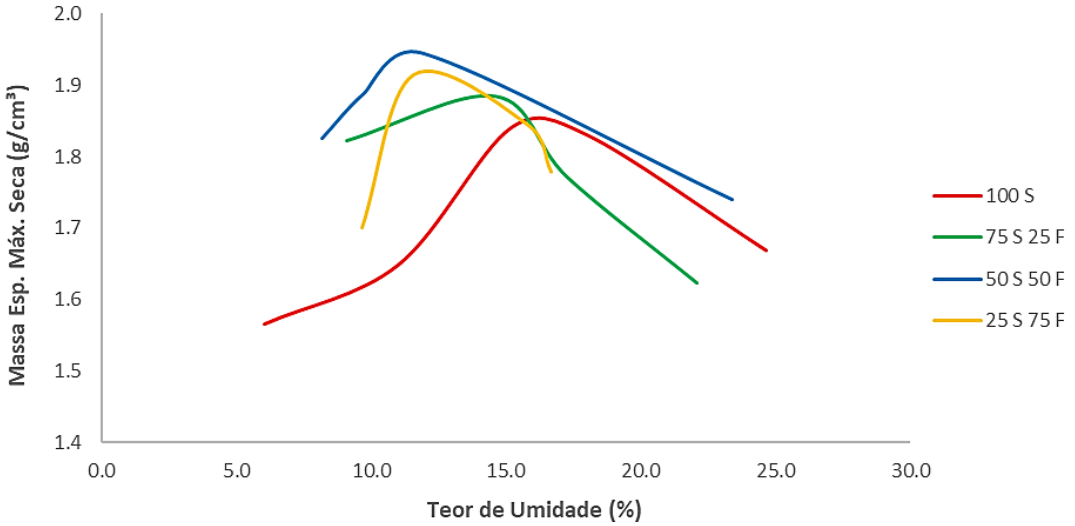
Figura 2: Curva de distribuição granulométrica: a) Solo; b) Fresado



3.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS: CURVA DE COMPACTAÇÃO

As curvas de compactação foram obtidas na energia intermediária e estão ilustradas na Figura 3. Para o solo natural foram obtidos os valores de umidade ótima de 16,25% e massa específica seca máxima de 1,86 g/cm³. Após a mistura com fresado, observou-se uma diminuição do teor ótimo de umidade para 12,40; 11,88; e 14,65%, consequentemente, verificou-se um aumento na massa específica seca máxima para 1,922; 1,945; e 1,885 g/cm³, ambas respectivamente nas proporções de 25, 50 e 75% de fresado.

Figura 3: curvas de compactação do solo e das misturas solo+fresado.

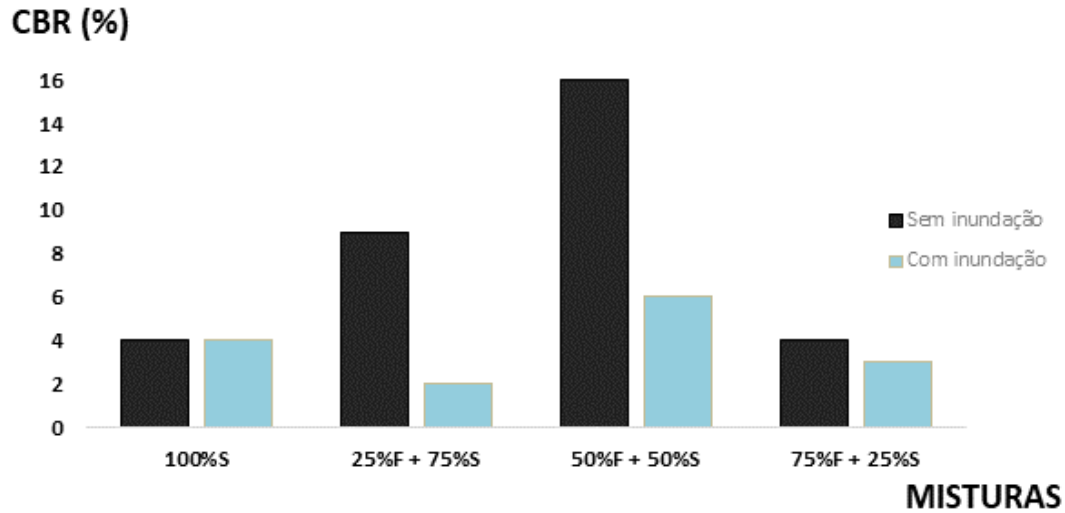


Comparando com as pesquisas realizadas por Vieira de Araújo Junior (2019) e Gonçalves (2019), foram observadas as mesmas tendências deste trabalho, onde há uma diminuição do teor de umidade ótimo com o aumento da quantidade de RAP, e a tendência de um ponto ótimo de RAP entre 25 e 50% para a massa específica seca.

3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS: CBR E EXPANSÃO

A Figura 4 apresenta a comparação dos valores de CBR das misturas na condição com inundação e sem inundação. É importante destacar a influência da água sobre o CBR dos materiais, quando estes ficaram submersos por 4 dias. Conforme os resultados, a capacidade de suporte das misturas 25% fresado + 75% solo e 50% fresado + 50% solo diminuíram consideravelmente quando saturadas, passando, respectivamente, de 9 para 2 e 16 para 6. Enquanto, a amostra de 75% fresado + 25% solo e 100% solo, a diminuição na capacidade de suporte não foi significativa, caindo de 4 para 3 e se mantendo igual, respectivamente.

Figura 4: comparação do CBR com e sem inundação



Os ensaios de CBR mostraram que a presença do material fresado não influenciou significativamente os resultados. Isso pode ser justificado pela ausência de material granular de maior diâmetro, ou seja, neste trabalho o material fresado foi passado na peneira de 4,75 mm, diferentemente dos ensaios realizados por Vieira de Araújo Junior (2019) que apresentaram um ganho de resistência, o material fresado foi passado na peneira de 50 mm. Portanto, era esperado que os valores de resistência mecânica (CBR) não alterassem significativamente.

A Tabela 1 apresenta a síntese dos resultados de CBR e expansão do solo natural e da mistura. Também, foi feita a verificação se o material atende os limites propostos pelo DNIT (2006) para a utilização nas camadas de base, sub-base, reforço do subleito e subleito.

Tabela 1: Comparação dos resultados de CBR e expansão

	PARÂMETRO	LIMITE	100%S		25%F+75%S		50%F+50%S		75%F+25%S	
			Result.	Conc.	Result.	Conc.	Result.	Conc.	Result.	Conc.
BASE	CBR (%)	≥ 80%	4,0	Não atende	6,0	Não atende	6,0	Não atende	4,0	Não atende
	Expansão (%)	≤ 0,5%	1,68	Não atende	1,24	Não atende	0,69	Não atende	0,25	Atende
SUB-BASE	CBR (%)	≥ 20%	4,0	Não atende	6,0	Não atende	6,0	Não atende	4,0	Não atende
	Expansão (%)	≤ 1,0%	1,68	Não atende	1,24	Não atende	0,69	Atende	0,25	Atende
REFORÇO SUBLEITO	CBR (%)	≥ 2%	4,0	Atende	6,0	Atende	6,0	Atende	4,0	Atende
	Expansão (%)	≤ 1,0%	1,68	Não atende	1,24	Não atende	0,69	Atende	0,25	Atende
SUBLEITO	CBR (%)	≥ 2%	4,0	Atende	6,0	Atende	6,0	Atende	4,0	Atende
	Expansão (%)	≤ 2,0%	1,68	Atende	1,24	Atende	0,69	Atende	0,25	Atende

Analisando os resultados da expansão, verifica-se que a adição de fresado (passante na peneira #4) foi eficiente para controlar a expansão do solo (areia siltosa) em estudo, apresentando valores inferiores a 2%, e na medida em que se adiciona material fresado os valores de expansão decrescem. Tais resultados também foram obtidos por Vieira de Araújo Junior (2019), mostrando o potencial do fresado para controlar a expansão do solo.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados das curvas de compactação, observa-se que, conforme o material fresado vai sendo incorporado ao solo, os valores de massa específica máxima seca aumentam e de teor de umidade ótima diminuem. Esse fato indica que os vazios do solo estão sendo minimizados, aumentando a densidade, a resistência e a estabilidade. A mistura 50% fresado + 50% solo apresenta a maior massa específica seca para uma menor umidade, mostrando ser o ponto ótimo das misturas analisadas.

Nota-se na Tabela 1 que o solo, em um primeiro momento, atende à condição do DNIT quanto à granulometria, CBR e expansão para uso como subleito. Entretanto, ele não atende os critérios normativos para uso como reforço do subleito, sub-base ou base. Os resultados mostraram que a expansão do solo foi diminuindo conforme aumentou-se a porcentagem de material fresado adicionado, ou seja, a mistura 75%F + 25% S apresentou menor valor de expansão. Por outro lado, os resultados de CBR atestam justamente o contrário, pois a mistura com o fresado diminuiu os valores de CBR com a adição de 25% e 75% de fresado, enquanto, houve um pequeno aumento no CBR para a mistura 50%.

A adição de fresado foi eficiente para controlar a expansão do solo (areia siltosa) em estudo. Sendo assim, pelas recomendações do DNIT (2006), apenas a mistura 25% fresado + 75% solo não pode ser usada em camadas de reforço de subleito. Entretanto, para as condições em estudo, a aplicação de misturas de material fresado com solo para execução de base e sub-base de pavimentos flexíveis não atendeu aos requisitos da norma. Além disso, para a viabilidade da aplicação do RAP é necessária uma avaliação ambiental das propriedades do material.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, Rio de Janeiro, RJ, 8p. (2016a)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, RJ, 13p. (2016b)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação, Rio de Janeiro, RJ, 10p. (2016c)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia, Rio de Janeiro, RJ, 14p. (2016d)

BALBO, J. T. (2007). **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2007. 557p.

BERNUCCI, L. B., et al. (2006). **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros.** Rio De Janeiro: Petrobrás; Abeda, 504p.

BONFIM, V. (2007). **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. 3 ed., São Paulo, Fazendo Arte Editora, 128p.

DNIT (2006). **Manual de Pavimentação.** 3ed. – Rio de Janeiro, 274p.

GONÇALVES, C. E. R. (2019). **Estudo de estabilização de solos utilizando material fresado e cimento.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual do Maranhão.

MEDINA, J. E MOTTA, L.M.G. (2005). **Mecânica dos Pavimentos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 574p.

SPECT, L. P., et al. (2013). **Utilização de material fresado como camada de pavimento: Estudo laboratorial e aplicação em campo.** 42ª RAPv: Reunião Anual de Pavimentação 2013, Blumenau, SC.

SILVA, E. S. (2013). **Utilização de resíduo de fresagem de pavimentos asfálticos em bases estabilizadas granulometricamente e em revestimentos asfálticos na cidade de Manaus.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 219 f.

VIEIRA DE ARAÚJO JUNIOR, L.P. (2019). **Estudo sobre estabilização de solo com material fresado de pavimentação asfáltica.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. 122f.