

Estudo da estabilização granulométrica e química de material fresado para emprego em camadas de pavimentos

Study of granulometric and chemistry stabilization of reclaimed asphalt pavement for employment in layers of pavements

Marcos Rodrigues da Silva(1); Tatiana Cureau Cervo(2); Magnos Baroni(3); Fernanda Duarte(4)

1 Mestrando em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.

E-mail: marcosrodrigues.engcivil@gmail.com

2 Doutora em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.

E-mail: cervo.tatiana@gmail.com

3 Doutor em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.

E-mail: magnos.baroni@gmail.com

4 Pós-graduanda em Arquitetura e Lighting. Instituto de Pós-graduação e Graduação, Brasil.

E-mail: fduarte.engcivil@gmail.com

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 5, n. 1, p. 20-31, Jan.-Jun. 2018 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Agosto 09, 2017; Aceito: Março 07, 2018]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2018.v5i1.2079>

Endereço correspondente / Correspondence address

Marcos Rodrigues da Silva

Rua: Farrapos Nº 207 Complemento: Ap 101, Bairro: Nossa

Senhora Medianeira, Santa Maria - RS

CEP: 97.015-230

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora-chefe: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

Sabendo-se da necessidade de preservação ambiental dos materiais pétreos naturais, do elevado custo que envolve as obras de pavimentação e do passivo ambiental gerado por materiais fresados, torna-se indispensável à busca de insumos alternativos, que otimizem a sustentabilidade do meio rodoviário. A pesquisa se fundamenta na realização de ensaios laboratoriais em misturas de material fresado, pó de pedra e cimento Portland, com a finalidade de determinar possíveis traços com diferentes teores de material fresado para serem utilizados como camada de base ou sub-base para pavimentos. Para o desenvolvimento do estudo, foi coletado material fresado da BR-287, enquanto o pó de pedra é de origem basáltica da Formação Serra Geral. Para a estabilização química, devido sua disponibilidade na região, optou-se por utilizar o cimento pozolânico CP IV-32. Por se tratar de misturas granulares, tomou-se como referência as faixas granulométricas do DNIT-ES 141/2010, adotando seis misturas estabilizadas granulométrica e quimicamente. Os traços foram submetidos a quatro ensaios específicos: ensaio de análise granulométrica, compactação Proctor, resistência à compressão simples (RCS) e resistência à tração por compressão diametral (RTCD). Os ensaios para determinação das propriedades mecânicas tiveram tempo de cura de 7, 14 e 28 dias. Através da análise dos resultados, percebeu-se que todos os traços obtiveram efeitos satisfatórios em relação à NBR 12253 (ABNT, 1992), evidenciando a potencial utilização do material fresado como agregado para misturas a serem empregadas em camadas de suporte para pavimentos.

Palavras-chave: Material Fresado. Base de Pavimentos. Resistência Mecânica. Estabilização Granulométrica e química.

Abstract

The necessity of environmental preservation of natural stone materials, the high costs that involves paving works and environmental liabilities generated by Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), turns essential the search for alternative inputs to enhance the sustainability of the road environment. The research is based on laboratory tests in mixtures of RAP, powdered rock and Portland cement, with the objective of determining possible traits with different RAP contents to be used in base and sub-base of pavements. To develop the study, RAP was collected from highway BR-287, while the powdered rock is of basaltic origin of Serra Geral Formation. For chemical stabilization, due to its availability in the region, was chosen the use of the pozzolanic cement, CP IV-32. The granulometric ranges were used as reference of specification DNIT-ES 141/2010, adopting six blends of materials estabilized granulometrically and chemically. The samples were subjected to four specific tests: particle size distribution, Proctor compaction, compressive strength and compressive strength by diametral tensile. The tests for the determination of mechanical properties had healing time of 7, 14 and 28 days. By analyzing the results, it was observed that all mixture obtained satisfactory results in relation to NBR 12253 (ABNT, 1992), evidencing the potential use of RAP as an aggregate for mixtures to be used in floor support layers of pavement.

Keywords: RAP. Paviment base. Mechanical resistance. Granulometric and chemical stabilization.

1 Introdução

No Brasil o transporte rodoviário representa mais de 61% das cargas e 95% dos passageiros (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT, 2017). Desse modo, a malha rodoviária brasileira se constitui em uma infraestrutura de fundamental importância na economia e desenvolvimento do País. Consequentemente é preciso que apresente qualidade satisfatória para o tráfego de veículos.

Entretanto, a CNT (2017) identificou 52.911 km correspondentes a 50% da extensão total avaliada, com algum tipo de problema no pavimento. O processo de conservação e/ou restauração dessas rodovias, uma vez viabilizado, poderá gerar milhares de toneladas de material asfáltico e agregados resultantes da remoção de revestimentos de pavimentos deteriorados. Nesse cenário, uma alternativa favorável à disposição final do material fresado, na literatura internacional chamado de *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), é sua utilização como agregado reciclado para a construção de camadas estabilizadas para pavimento.

A técnica de reciclagem de pavimentos ganhou ênfase na última década, apesar de já estar sendo aplicada a mais de 20 anos (BROSSEAUD, 2011). Contudo, a utilização do material fresado estabilizado ainda carece de uma metodologia de dosagem e projeto, podendo levar ao comprometimento do desempenho da camada reciclada (DA SILVA, 2017). Portanto, necessita-se que as pesquisas avancem no sentido de analisar as mais diversas formas de utilização desse material, gerando assim um banco de documentação técnica qualificada para estimular o reuso do pavimento fresado, assegurando seu desempenho adequado.

Diante deste contexto, a pesquisa objetivou verificar a ação de diferentes teores de material fresado em uma matriz pétreia composta de pó de pedra e cimento Portland. De acordo com Behak (2013), as mudanças estruturais a que estão sujeitas as camadas de materiais cimentados estão relacionadas à fadiga, que é considerada o mecanismo primário de ruptura de pavimentos com este modelo de camada. Por isso, o comportamento mecânico foi avaliado não somente a RCS, especificado pela NBR 12253 (ABNT, 1992), mas também em relação ao ensaio de RTCD. A partir de tais propriedades mecânicas, espera-se atingir de forma objetiva e com maior confiabilidade a influência do teor de RAP em misturas estabilizadas.

2 Programa experimental

O programa experimental foi elaborado com o objetivo de avaliar a resistência à compressão e à tração diametral das misturas compostas por matriz pétreia variável de material fresado e pó de pedra. Essas misturas foram estabilizadas com substituição em massa de 6% de cimento Portland CP IV-32. Foram realizadas 6 misturas, ensaiadas nos tempos de cura de 7, 14 e 28 dias. As proporções estão identificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Nomenclatura das misturas

Nomenclatura	Composição da mistura
100F0P	100% fresado + 6% cimento
80F20P	80% fresado e 20% pó de pedra + 6% de cimento
60F40P	60% fresado e 40% pó de pedra + 6% de cimento
40F60P	40% fresado e 60% pó de pedra + 6% de cimento
20F80P	20% fresado e 80% pó de pedra + 6% de cimento
0F100P	100% pó de pedra + 6% de cimento

Paiva e Oliveira (2014) afirmaram que o desempenho da mistura é analisado a partir de sua estabilidade granulométrica e dos parâmetros relacionados à compactação, umidade ótima e tempo de cura. Ainda, a necessidade de se estabilizar a mistura com pó de pedra surge da deficiência de finos encontrada na composição granulométrica do material fresado (CONSOLI *et al.*, 2017), o que dificulta seu enquadramento em faixas de estabilização utilizadas para camadas de base granular, conforme DNIT-ES 141 (2010). A fim de obter a estabilização química das misturas, o teor de cimento foi fixado em 6%, uma vez que a NBR 12253 (ABNT, 1992) indica que esse teor deve ser de no mínimo 5%. Além disso, Rossato *et al.* (2013) verificaram que as únicas misturas de RAP e pó de pedra que atingiram a resistência mínima a compressão de 2,1 MPa, indicada por norma, foram as que continham o teor de 6% de cimento CP IV-32.

3 Materiais

O revestimento asfáltico fresado utilizado é oriundo da restauração da pista existente na BR-287, na cidade de Santa Maria/RS e possui teor de betume médio de 6,20%, determinado conforme DNER-ME 053/94. A massa real dos materiais foi determinada pela metodologia Rice, obtendo-se a Densidade Máxima Medida (DMM) de 2,433 g/cm³, conforme a NBR 15619 (ABNT, 2008).

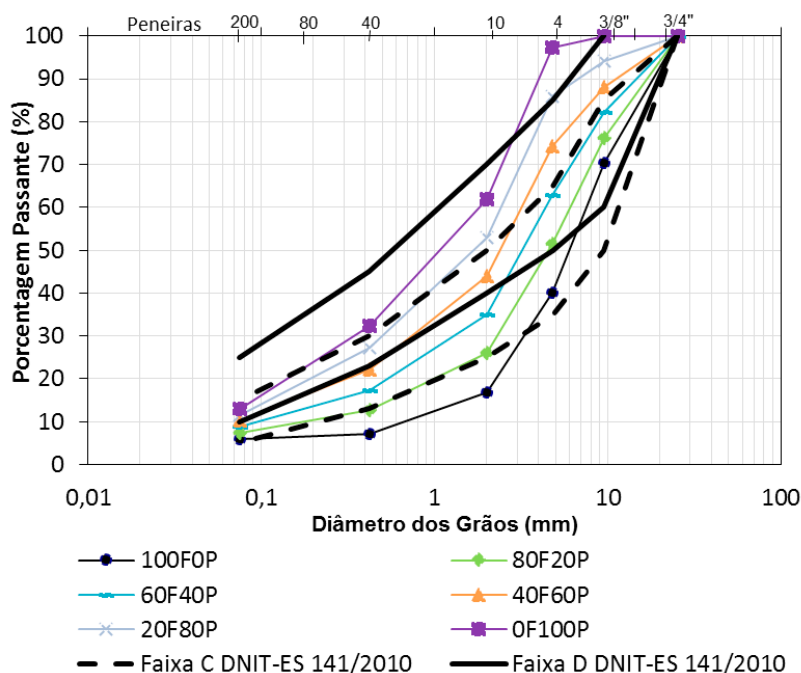
Devido à facilidade de obtenção no comércio local e à apresentação de uma ótima resistência a meios agressivos, o cimento adotado foi o CP IV-32 da marca Votorantim. Já o pó de pedra utilizado tem origem basáltica da Formação Serra Geral e foi extraído da pedreira Della Pasqua Engenharia e Construção LTDA, localizada no município de Itaara/RS. As características do agregado empregado podem ser verificadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características tecnológicas do pó de pedra

Propriedade	Método	Pó de Pedra
Massa Específica (g/cm ³)	DNER-ME 195/97	2,66
Índice de Vazios (%)	NBR NM45 (ABNT, 2006)	42,89
Massa Unitária (kg/m ³)	NBR NM45 (ABNT, 2006)	1523,07

4 Métodos

Como já mencionado, o desempenho de uma mistura estabilizada para emprego como camada de pavimento está diretamente relacionado à sua composição granulométrica. Nesta pesquisa, foram testadas as faixas A, B, C e D da norma DNIT-ES 141/2010. Para o ensaio de granulometria, utilizou-se a normativa DNER-ME 083/1998. A Figura 1 apresenta a distribuição granulométrica das misturas.

Figura 1. Curva de distribuição granulométrica das misturas

Considerando as tolerâncias da faixa de projeto que variam de $\pm 2\%$ para a peneira N° 40, verificou-se, na Figura 1, que as misturas 80F20P e 60F20P são as únicas que se enquadraram na faixa C e que as misturas 40F60P e 20F80P são as únicas que se enquadraram na faixa D. Além disso, nenhuma composição se enquadrou nas faixas A e B, logo, essas não foram apresentadas na pesquisa.

O ensaio de compactação com energia modificada do ensaio proctor foi realizado nas seis misturas, seguindo a norma DNER-ME162/94. A partir da curva de compactação foi possível determinar os valores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados do ensaio de compactação

Mistura	Umidade ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (kg/m³)
100F0P	8,3	1980
80F20P	8,2	2054
60F40P	8,8	2084
40F60P	7,6	2105
20F80P	8,5	2115
0F100P	8,4	2052

Com a análise dos parâmetros de compactação dos materiais estudados, é possível afirmar que a adição do material virgem preencheu os vazios das misturas com fresado aumentando sua massa específica. Ou seja, quanto maior a proporção de pó de pedra nas misturas com RAP, maior é a massa específica do traço. Consequentemente, os materiais com menores índices de vazios tenderam a ter uma maior resistência ao cisalhamento e maior rigidez, fato esse que corrobora com os estudos de Taha *et al.* (2002). Devido principalmente a deficiência de finos na granulometria do material fresado, a mistura 100F0P apresentou a menor massa específica dentre as 6 misturas estudadas. Por fim a mistura 0F100P apresentou a menor densidade dentre as 5 misturas com pó de pedra, o que comprova que a inserção de RAP na matriz melhora as propriedades físicas dos materiais. Com relação a umidade ótima, as misturas apresentaram baixo desvio padrão, sendo o valor médio de 8,3% adotado como referência.

Definidos os parâmetros de compactação das misturas, executou-se a moldagem dos corpos de prova (CPs) cilíndricos para realização dos ensaios de resistência. Os mesmos têm as seguintes dimensões: 100 x 200 mm para RCS e 100 x 63 mm para RTCD. Para cada mistura e tempo de cura foram moldados quatro corpos de prova, totalizando 72 amostras para cada ensaio.

As amostras foram compactadas com energia dinâmica, através de 3 camadas para RCS e 1 camada para RTCD. A quantidade de material a ser utilizada por camada foi calculada de acordo com a massa específica do traço e o volume do corpo de prova. Após a compactação, duas cápsulas eram retiradas para determinação do teor de umidade e os CPs eram encaminhados para câmara úmida, onde eram desmoldados após 48h e lá permaneciam até o momento da realização dos ensaios.

O ensaio de RCS normativo pela DNER-ME 201/94, apresenta boa efetividade na verificação do comportamento de misturas estabilizadas com cimento Portland. Após 6, 13 e 27 dias na câmara úmida, os CP foram submersos em tanque com água por um período de 24 horas, visando aproximar a condição de saturação. Para determinação do esforço e ruptura dos CP, foi utilizada prensa hidráulica da marca Amsler, número de série 599/644, calibrada na escala de 10 kN.

Como já citado, o ensaio de RTCD é outro teste comumente indicado na literatura para análise, não só de misturas recicladas com cimento, mas de qualquer

material estabilizado quimicamente. Visto que a tração é uma das principais solicitações sofridas por camadas cimentadas em pavimentos, sua análise se torna indispensável. O ensaio seguiu os procedimentos da norma DNIT 136/2010. As amostras após pré-condicionamento de 12 horas a 25°C, foram ensaiadas na prensa Marshall da marca Solotest.

5 Resultados

A NBR 12253 (ABNT, 1992), sugere que para utilização de solo cimento em camadas de pavimento, deve-se garantir uma RCS igual ou superior a 2,1 MPa aos 7 dias de cura. Devido à inexistência de especificações técnicas referentes ao uso de material fresado como agregado para ser utilizado em camadas de pavimento, utilizou-se a mesma como diretriz. Os resultados médios dos CPs relativos aos ensaios de resistência à compressão simples e à tração por compressão diametral são apresentados na Figura 2.

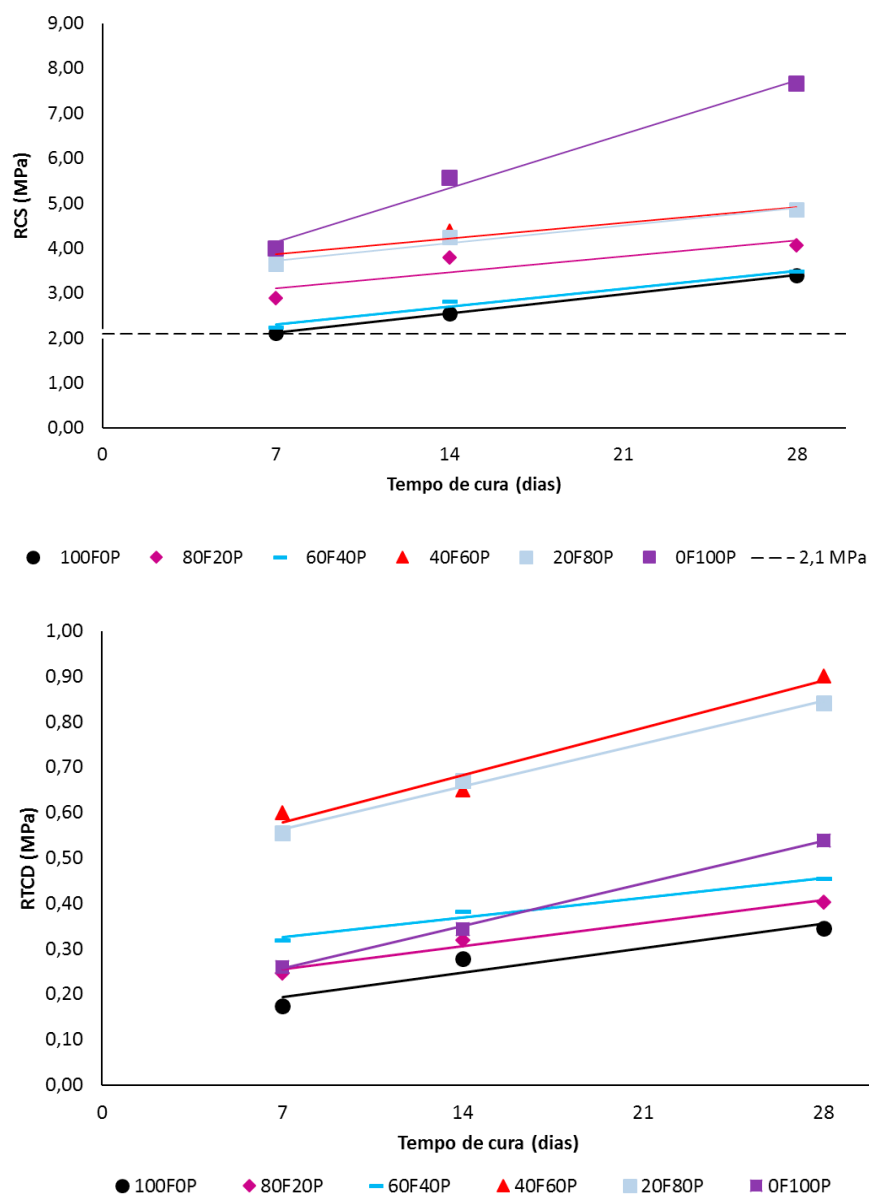
Todas as misturas apresentaram um aumento linear de resistência com o aumento do tempo de cura, fato já esperado devido à ação pozolânica do cimento CP IV-32. Em relação às misturas referências 0F100P e 100F0P, verificou-se que ambas atingiram o mínimo de resistência à compressão simples exigido por norma, porém não se enquadraram nas faixas granulométricas de trabalho. Sendo assim, a sua utilização tornou-se inviável.

Em seus estudos, Pires *et al.* (2014) e Consoli *et al.* (2017) avaliaram a mistura 70% fresado e 30% pó de pedra. Os autores encontraram, respectivamente, as resistências à compressão de 2,15 MPa e 3,52 MPa e à tração de 0,28 e 0,51 MPa para 28 dias de cura. Através da comparação desses resultados com as misturas de 80F20P e 60F40P se verificou que as resistências encontradas nesta pesquisa condizem com as apresentadas na literatura. Logo, traços com baixo consumo de material pétreo virgem, por apresentarem resultados quanto à resistência e granulometria de acordo com as referências e normativas, podem ser considerados os melhores resultados desta pesquisa em termos ambientais.

Taha *et al.* (2002) avaliaram a influência de diferentes teores de material fresado estabilizados com material pétreo virgem e cimento. Os autores verificaram que menores consumos de material fresado nas misturas aumentaram a densidade da mesma, principalmente devido à diminuição do índice de vazios. Tal fato, também foi verificado nos ensaios de compactação desta pesquisa, onde as misturas 40F60P e 20F80P apresentaram a maior massa específica. Logo, esperava-se que as resistências destas misturas fossem superiores, o que se comprovou com a análise dos resultados.

Os traços com 40F60P e 20F80P apresentaram resistências à compressão condizentes com a normativa de referência. Com relação à resistência à tração, atingiram-se valores na faixa de 0,85 a 0,91 MPa aos 28 dias de cura, esse incremento

Figura 2. Curvas de resistência à compressão simples e à tração por compressão diametral



de resistência à tração é extremamente importante para camadas cimentadas, visto que, é a propriedade mecânica que está diretamente relacionada com os efeitos da fadiga que a camada cimentada estará submetida.

Além disso, devido aos traços apresentarem resistências à compressão e tração similares, a melhor alternativa de utilização, se possível, entre ambos seria o traço com 40F60P em vista da maior reutilização do RAP. Ainda, por terem apresentado resistências à compressão 76% maiores que a mínima especificada por norma, esta pesquisa revelou que uma possível aplicação dessas misturas, com prévio estudo, poderia ser realizada com menores teores de cimento.

6 Conclusões

Esta pesquisa teve como principal objetivo a verificação de possíveis traços para a reutilização do material asfáltico oriundo da fresagem, para aplicação em camadas de pavimento. Por se tratar de um material com grande disponibilidade sempre que se faz necessário uma intervenção nas rodovias, sua correta aplicação e estudo, pode comprovar ainda mais sua viabilidade técnica e econômica. Em vista disso, certos pontos foram verificados:

- ♦ Quanto maior a adição de pó de pedra na matriz pétreia, maior foi a densidade verificada nas 4 misturas com RAP. Esse fato se deve principalmente ao maior preenchimento dos vazios deixados pelos agregados do material fresado, aumentando o empacotamento das partículas e resistência. A mistura 100F0P apresentou a menor densidade dentre as misturas estudadas, principalmente devido a deficiência de finos na granulometria do material fresado. Por fim, com a análise da mistura 0F100P, percebeu-se que a adição de RAP na matriz pétreia aumenta a densidade da mistura e consequentemente, melhora as propriedades físicas da mesma. Com relação a umidade ótima, devido ao baixo desvio padrão, adotou-se o valor médio de 8,3% como referência para todas as misturas.
- ♦ Quanto à estabilização granulométrica, as faixas de enquadramento, segundo o DNIT-ES 141/10 que poderiam ser utilizadas foram, respectivamente, faixa C para as misturas 80F20P e 60F40P e faixa D para 40F60P e 20F80P. As misturas 100F0P e 0F100P não se enquadraram em nenhuma das faixas granulométricas especificadas pela normativa.
- ♦ Apesar das misturas 0F100P e 100F0P terem atingido o mínimo de resistência à compressão simples exigido por norma (2,12 e 4,00 MPa aos 7 dias de cura), não se enquadraram nas faixas granulométricas de trabalho. Sendo assim, a sua utilização tornou-se inviável.
- ♦ De modo geral, as misturas 80F20P e 60F40P apresentaram os melhores resultados da pesquisa. Por associarem um alto teor de fresado em sua composição com resistências à compressão (2,88 e 2,22 MPa) e tração (0,25 e 0,32) que condizem com as referências e normativas aos 7 dias de cura, aliaram de forma inquestionável os quesitos técnicos, econômicos e ambientais.
- ♦ As misturas com baixo consumo de RAP, 40F60P e 20F80P, também apresentaram resultados satisfatórios (3,75 e 3,65 MPa para RCS e 0,6 e 0,56 para RTCD), evidenciando-se sua elevada resistência à tração. Essa propriedade é importantíssima para análise da durabilidade de camadas com materiais cimentados, principalmente devido aos fenômenos de fadiga que estão sujeitas.

Por fim, os resultados das misturas de material fresado, pó de pedra e cimento, permitem concluir que camadas de base ou sub-base de pavimentos flexíveis, executadas com essas misturas, podem atingir propriedades mecânicas satisfatórias para sua utilização *in loco*. Portanto, o fresado se elenca como um material passível de reutilização visando à redução de custos e preservação ambiental.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12253: *Solo cimento – Dosagem para emprego em camada de pavimento*. Rio de Janeiro, 1992. 14p.

_____. NBR 15619: *Misturas asfálticas – Determinação da massa específica máxima medida em amostras não compactadas*. Rio de Janeiro, 2008. 8p.

_____. NBR NM 45: *Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

BEHAK, L. *Análise estrutural de Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego Revestidos com Solo Modificado com Cal Considerando Ensaio Laboratoriais e Monitoramento de Trechos Experimentais*. 2013. 298p. Tese de Doutorado (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BROSSEAUD, Y. *Reciclagem de misturas asfálticas: Evolução após 20 anos e a situação atual na França*. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES, 2011, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu, 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. *Pesquisa CNT de rodovias 2017: Relatório gerencial*. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2017, 406p.

CONSOLI, N. C.; PASCHE, E.; SPECHT, L. P.; TANSKI, M. Key parameters controlling dynamic modulus of crushed reclaimed asphalt paving–powdered rock–Portland cement blends. *Journal of Road Materials and Pavement Design*, 2017, p. 1-18.

DA SILVA, M. R.; BARONI, M.; BUDNY, J.; CERVO, T.C.; SPECHT, L.P. *Avaliação do Comportamento Mecânico do Material Fresado com Adições de Cimento Portland, Cal Hidratada, Sílica de casca de Arroz e Cinza Volante*. *Revista Estradas*. v. 22, p. 82-86. 2017. ISSN 1807-426X.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER-ME 053: *Misturas betuminosas – percentagem de betume*. Rio de Janeiro, 1994, 5p.

_____. DNER-ME 083: *Agregados – análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 1998, 5p.

_____. DNER-ME 162: *Solos – ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas*. Rio de Janeiro, 1994, 7p.

_____. DNER-ME 195: *Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo*. Rio de Janeiro, 1997, 6p.

_____. DNER-ME 201: *Solos – cimento – compressão axial de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1994, 4p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT- ME 136: *Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2010, 6p.

_____. DNIT-ES 141: *Pavimentação asfáltica – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, 2010, 9p.

PAIVA, C. E. L. de; OLIVEIRA, P. C. A. de. *Impacto da atividade do CAP e do percentual de asfalto fresado na resistência à fadiga de uma base reciclada com cimento*. In: 21ª ENCONTRO DO ASFALTO, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2014.

PIRES, G. M.; RENZ, E. M.; SPECHT, L. P. *Estudo da estabilização granulométrica e química de material fresado com adição de cimento Portland e cinza de casca de arroz moída para aplicação em camadas de pavimento*. In: 43ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO / 17º ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA. Maceió, AL, 2014, 13p.

ROSSATO, F. P.; SPECHT, L. P.; PEREIRA, D. S.; PIRES, G. M.; CONCEIÇÃO, B. M. *Estudo da utilização de material fresado estabilizado com cimento Portland visando seu emprego em camada de pavimento*. In: VII SEMINÁRIO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DO RIO GRANDE DO SUL – Anais... Santa Maria – RS, 2013, 10p.

TAHA, R. et al. Cement Stabilization of Reclaimed Asphalt Pavement Aggregate for Road Bases and Subbases. *Journal of materials in civil engineering*, v. 14, n. 3, p. 239-245, 2002, ISSN 0899-1561/2002/3-239-245.