

REUTILIZAÇÃO DE MATERIAL ASFÁLTICO FRESADO: AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE UTILIZAÇÃO EM ATERROS RODOVIÁRIOS

Cléber da Silva Pinto

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

Washington Peres Núñez

Luciana Rohde

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

Essa pesquisa avaliou a potencialidade de reutilização do material asfáltico fresado originado em serviços de restauração da rodovia BR-290/RS. Assim sendo, coletou-se uma amostra de 200 kg durante a fresagem a frio de um revestimento de concreto asfáltico. A amostra foi subdividida a partir de sucessivos processos de quarteamento, após, os seguintes procedimentos laboratoriais foram executados: análise granulométrica, determinação do teor de ligante, ensaio de compactação, determinação do ISC e ensaio triaxial cíclico. Simulou-se o comportamento mecânico de dois pavimentos flexíveis similares através do programa computacional *Everstress 5.0*. As estruturas diferenciaram-se, apenas, no material concebido na camada de reforço de subleito, a primeira abordagem considerou o material asfáltico fresado e a segunda uma areia de praia. A areia foi submetida aos ensaios de compactação e triaxial cíclico. Conclui-se que o material fresado pode ser utilizado em camadas de reforço de subleito substituindo à areia.

ABSTRACT

This research evaluated the reusing potentiality of milled asphalt material originated in restoration service in highway BR-290/RS. Therefore, a sample of 200 kg was collected during the cold milling of asphalt concrete lining. The sample was subdivided from successive quartering, after which the following laboratory procedures were performed: grain size, determination of asphalt binder content, compaction tests, ISC determination and cyclic triaxial test. The mechanical behavior of two similar flexible pavements was simulated using the computer program *Everstress 5.0*. The structures differed only in the material designed for subgrade layer reinforcement, the first approach considered the milled asphalt material and the second a sand beach. The sand was subjected to a compaction test and a cyclic triaxial test. It was concluded that the milled material can be used in subgrade layer reinforcement, replacing the sand.

1. INTRODUÇÃO

A indústria do transporte representa 3,5% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil. Dado que 60% das cargas são conduzidas por rodovias, tem-se que 2,1% do PIB brasileiro é função do transporte rodoviário (Medina e Motta, 2005). Sendo assim, a malha rodoviária – que representa uma fração do patrimônio da Nação – deve operar de modo a otimizar os processos que nela são efetuados. No entanto, boa parte da rede pavimentada brasileira encontra-se deteriorada, exigindo grandes investimentos para execução de serviços de restauração (David, 2006). Dessa forma, devem ser consideradas soluções que reduzam o custo desses serviços sem perda da qualidade técnica, aproveitando os recursos de maneira racional e eficiente.

Há restaurações de pavimentos que exigem a remoção das camadas deterioradas, assim sendo, o desafio é dar um destino nobre a esses materiais que por muito tempo foram considerados rejeitos da construção civil. Algumas soluções consideram a reciclagem desses, possibilitando o reaproveitamento em camadas de pavimentos. Essa solução exige adição de materiais ao fresado, assim, podem ser utilizados: agregado virgem, cimento asfáltico de petróleo (CAP), cimento *Portland*, emulsões asfálticas, espuma de asfalto e agentes rejuvenescedores (David, 2006). Nessa pesquisa foi analisada a reutilização de material asfáltico fresado sem procedimentos de reciclagem.

O material fresado avaliado foi originado nos serviços de fresagem do revestimento asfáltico da BR-290/RS. Essa rodovia é uma das principais vias do Rio Grande do Sul, cruzando-o (na

direção leste/oeste) do litoral norte até o município de Uruguai, na divisa com a Argentina. Além disso, é um dos principais acessos à capital do estado. O trecho conhecido como *Free Way* localiza-se entre as cidades Osório e Porto Alegre e recebe esse nome devido às características operacionais, foi aberto ao tráfego em 1973 e, desde 1997, está sob concessão da empresa Triunfo/CONCEPA. Entre as principais melhorias realizadas pela concessionária está a obra de ampliação da pista, com alargamento da plataforma de tráfego em uma extensão que totaliza 96,5 km. Essa estrutura de ampliação está sendo executada com pequenas distinções quanto aos materiais e às espessuras das camadas (Victorino, 2008). A figura 1 ilustra a localização da *Free Way* do Rio Grande do Sul.



Figura 1: Localização da *Free Way* do Estado Rio Grande do Sul (Victorino, 2008)

Essa pesquisa avaliou a potencialidade de substituição de um solo natural (areia de praia) utilizado na camada de reforço de subleito em alguns trechos ampliados, por material asfáltico fresado na superfície do pavimento da rodovia. Os dois materiais foram comparados a partir de análises mecânicas com o *software* Everstress 5.0, sendo assim, foram analisadas duas condições. Em uma análise considerou-se uma estrutura, chamada “estrutura original”, executada em trechos de ampliação da via, onde a camada de reforço de subleito é composta pelo solo ensaiado (areia). A outra estrutura analisada, chamada de “estrutura alternativa”, difere da anterior, apenas, no material da camada de reforço de subleito, essa abordagem considera o material asfáltico fresado.

2 REVISÃO DE CONCEITOS

2.1 Fresagem: conceitos básicos

O DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – no Glossário de Termos Técnicos Rodoviários define a fresagem de pavimentos como “Desbastamento a quente ou a frio de superfícies asfálticas, como parte de um processo de reciclagem de pavimento

asfáltico.”. Na década de 70, quando iniciou o processo de reciclagem de pavimentos o material era extraído da pista por meio de escarificação do pavimento. Esse processo resultava em um material de grandes dimensões que necessitava ser rebitado para posterior reutilização, dessa forma, considerou-se a técnica inadequada. A máquina para fresar foi desenvolvida a partir da segunda metade da década de 70 e foi considerada útil para o desbaste de pavimentos em profundidades pré-determinadas. No Brasil, a técnica teve início no ano de 1980 com o emprego de uma máquina fresadora americana, nas obras de restauração da via Anchieta (Bonfim, 2007).

Os equipamentos para fresar podem ser divididos quanto ao seu tamanho como: de pequeno porte, de médio porte e de grande porte. Equipamentos de pequeno porte são destinados a arremates junto às interferências existentes no pavimento, como: acabamento ao redor de tampões de ferro, sarjetões, entre outros. Equipamentos de médio porte apresentam vantagens, principalmente, na fresagem de ruas estreitas, esses são utilizados tanto em pequenas quanto em grandes áreas. Os equipamentos de grande porte são destinados à fresagem de grandes áreas, onde há ruas largas. O desbaste do pavimento é realizado pelo giro em alta rotação de um cilindro dotado de dente que cortam essa estrutura. O material fresado é lançado diretamente sobre uma correia transportadora, se não houver reciclagem, é depositado em um caminhão basculante que transporta o material até um local apropriado para descarte (Bonfim, 2007).

O procedimento de fresagem pode ser realizado a frio (em temperatura ambiente) ou a quente (com aquecimento prévio do pavimento). A temperatura do pavimento, quando a técnica é executada, influenciará as características de granulometria do material fresado. Segundo Bonfim (2007) um dos principais problemas nos projetos que contemplam a reciclagem desse material diz respeito à granulometria resultante da fresagem. Quando o processo é realizado com o pré-aquecimento do revestimento há ocorrência de grumos que dificultam a reutilização.

2.2 Programa computacional *Everstress 5.0*

O *software* desenvolvido pelo Departamento de Transportes do Estado de Washington (WSDOT) – USA é utilizado para a análise tensão-deformação de estruturas compostas por camadas. O programa é baseado na Teoria de Burmister que considera os pavimentos como estruturas em multicamadas com comportamento elástico linear, homogêneo e isotrópico (Barra, 2009). É necessário o conhecimento das espessuras, do módulo de resiliência e do coeficiente de Poisson das camadas além das solicitações atuantes. Assim, é possível analisar o comportamento de um pavimento com, no máximo, cinco camadas, considerando a solicitação de, até, 20 cargas. O programa é capaz de avaliar 20 pontos da estrutura em uma análise, calculando: tensões, deformações e deslocamentos provocados pelas solicitações (Franco, 2004).

2.3 Modelagens do módulo de resiliência para materiais granulares

Análises mecanísticas requerem o conhecimento de propriedades mecânica dos materiais, tais como o módulo de resiliência dos solos. A definição desse parâmetro é importante para o conhecimento do comportamento tensão-deformação das camadas dos pavimentos analisados (Malysz, 2004). Sendo assim, é necessário a realização de ensaios triaxiais, onde cargas cíclicas são aplicadas em um corpo de prova. São medidas deformações resilientes com o

objetivo de determinar o comportamento elástico dos materiais em função do estado de tensões. O módulo de resiliência é definido pela equação:

$$M_R = \sigma_d / \varepsilon_R \quad (1)$$

em que M_R : módulo de resiliência;
 σ_d : tensão desvio;
 ε_R : deformação resiliente.

De acordo com Viana (2004) os primeiros modelos de resiliência foram apresentados por Hicks e Monismith em 1971. Nesses modelos, o módulo de resiliência de solos granulares é determinado em função da tensão de confinamento ou através da soma das tensões principais conforme as expressões:

$$M_R = k_1 * (\sigma_3)^{k_2} \quad (2)$$

e

$$M_R = k_1 * (\theta / P_{atm})^{k_2} \quad (3)$$

em que M_R : módulo de resiliência [MPa];
 k_1 e k_2 : parâmetros de regressão;
 θ : $\sigma_{desvio} + 3 * \sigma_{confinante}$ [MPa];
 P_{atm} : pressão atmosférica [MPa];
 σ_3 : tensão confinante [MPa].

Além desses modelos, Takeda (2006) comenta o desenvolvimento dos modelos: composto, hiperbólico, combinado, octaédrico, Universal de Uzan-Witczack e Universal não-linear (ASSHTO).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa pesquisa realizaram-se procedimentos laboratoriais com dois materiais distintos: material asfáltico fresado e areia de praia.

3.1 Material asfáltico fresado

O material fresado utilizado nessa pesquisa é proveniente do desbaste do revestimento da rodovia BR-290 (km 55+420, pista norte) uma camada de concreto betuminoso usinado a quente. A composição do concreto asfáltico fresado é conhecida, apenas, a faixa granulométrica adotada (faixa C) especificada na norma DNIT 031/06-ES. O procedimento de fresagem atingiu a profundidade de 10 cm e foi realizado a frio por um equipamento de médio porte da marca Wirtgen, modelo W 1000 L. A coleta aconteceu a partir do material depositado sobre a caçamba do caminhão basculante. Uma amostra de 200 kg foi obtida e subdividida a partir de sucessivos procedimentos de quarteamento. Dessa forma, os seguintes ensaios foram realizados, para caracterização e avaliação do comportamento mecânico desse material:

- análise granulométrica (DNIT 031/06-ES, relação de peneiras que compõem a faixa C para projeto de misturas asfálticas);
- determinação do teor de ligante;
- compactação (DNER-ME 129/94);
- ISC (NBR 9895/87); e
- triaxial cíclico em corpos de prova 10x20 cm (AASHTO, *designation: T 307-99*).

Foram realizadas análises granulométricas com e sem extração do asfalto. A determinação do teor de ligante asfáltico ocorreu através de um procedimento não normalizado nacionalmente, foi utilizado um forno de ignição da marca Troxler que provoca a extração desse. O ensaio consiste em aquecer uma amostra a temperaturas acima de 300 °C. Assim, o ligante se transforma em gás e pó e por sucção é extraído do interior do equipamento. A determinação do teor de ligante é realizada pela variação de massa que a amostra apresenta. Assim, realizado o ensaio, tem-se como produto o agregado que compunha a mistura em meio a cinzas resultantes da queima do ligante. Dessa forma, foi possível a realização da análise granulométrica dos agregados do material asfáltico fresado. Para isso, foi necessária a remoção das cinzas por meio de lavagem com água. Foi utilizado, no ensaio de compactação e na moldagem dos corpos de prova necessários à pesquisa, energia intermediária do Proctor. Foram considerados dois modelos para analisar os resultados dos ensaios triaxiais, a tabela 1 apresenta-os. A definição dos termos, referentes a esses modelos, consta na pagina anterior, abaixo da expressão 3.

Tabela 1: Modelos utilizados na análise dos resultados do ensaio triaxial

Modelo	
1	$M_R = k_1 * (\theta/P_{atm})^{k_2}$
2	$M_R = k_1 * (\sigma_3)^{k_2}$

A adoção dos modelos 1 e 2 levou em consideração o comportamento dependente da tensão confinante que solos granulares tendem a apresentar. Além disso, o *software Everstress 5.0* permite utilizar o formato proposto pelo modelo 1 para entrada de dados das camadas granulares.

3.2 Areia

A areia considerada nessa pesquisa é proveniente da jazida Gomes no município de Osório/RS. Esse solo foi submetido aos seguintes ensaios:

- compactação (DNER-ME 129/94) e
- triaxial cíclico em corpos de prova 10x20 cm (AASHTO, *designation: T 307-99*).

Para a análise dos resultados do ensaio triaxial foram adotados os mesmos modelos utilizados com o material fresado. Nos ensaios de compactação e triaxial utilizou-se energia intermediária do Proctor para moldagem dos corpos de prova.

3.3 Análises computacionais com o software *Everstress 5.0*

Simulou-se o comportamento mecânico de dois pavimentos asfálticos similares. As estruturas diferenciaram-se, apenas, no material concebido na camada de reforço de subleito. A estrutura chamada de “estrutura original” representou um pavimento executado em trechos de ampliação da BR-290, onde a camada de reforço de subleito é constituída por areia de praia. A outra estrutura analisada, chamada “estrutura alternativa” diferente da anterior, pois apresentou o material asfáltico fresado constituindo a camada de reforço de subleito. O módulo de resiliência adotado para esse dois materiais foi obtido a partir do ensaio triaxial cíclico. As demais camadas que compõem as estruturas analisadas são idênticas e os parâmetros adotados foram os mesmos utilizados no projeto de ampliação da BR-290 entre os km 17 e 19 (pista sul). A tabela 2 apresenta a “estrutura original” e a “estrutura alternativa”.

Tabela 2: Espessura e parâmetros de projeto das camadas que compõem as estruturas analisadas

Camada	Espessura da camada (cm)	Estrutura original		Estrutura alternativa	
		Material	Parâmetros de projeto (MPa)	Material	Parâmetros de projeto (MPa)
Reves.	8	CBUQ	5000	CBUQ	5000
Base	15	Brita gradu.	$MR=180*(\theta/P_{atm})^{0,6}$	Brita gradu.	$MR=180*(\theta/P_{atm})^{0,6}$
Sub-base	30	Macadame	250	Macadame	250
Reforço de Subleito	60	Areia	$MR=71,45*(\theta/P_{atm})^{0,714}$	Fresado	105
Subleito	-	Argila	100	Argila	100

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Material asfáltico fresado

4.1.1 Análise granulométrica

A figura 2 apresenta a curva granulométrica obtida para o material fresado com e sem ligante asfáltico. Pode-se perceber que a granulometria do material fresado encontra-se completamente fora dos limites estabelecidos pela faixa C (faixa adotado no projeto do revestimento asfáltico fresado). No entanto, a granulometria do material fresado sem o ligante asfáltico encontra-se dentro dos limites estabelecidos pela faixa. Essa variação já foi observada por Bonfim (2007). O material fresado com ligante apresentou boa distribuição granulométrica, no entanto, verificou-se ausência de material fino, o qual se encontra misturado ao ligante.

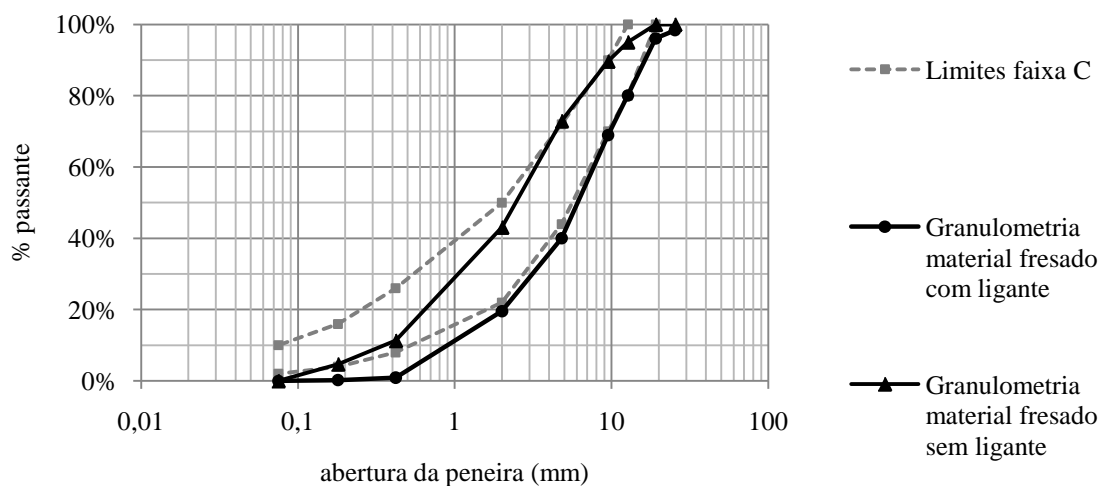


Figura 2: Análise granulométrica do material asfáltico fresado com e sem ligante asfáltico

4.1.2 Determinação do teor de ligante

O teor de ligante médio obtido a partir de dois ensaios foi de 4,69%.

4.1.3 Ensaio de compactação

O peso específico aparente seco máximo obtido foi de $18,26 \text{ kN/m}^3$ associado à 4,82% de umidade. O material apresentou dificuldade em absorver água devido a pouca quantidade de material fino e à presença de ligante asfáltico que impermeabilizava os agregados. Verificou-se que a energia aplicada durante a moldagem dos corpos de prova era, parcialmente, absorvida pelo material. Os resultados do ensaio de compactação são apresentados na figura 3, percebe-se que não houve definição do ramo seco e do ramo úmido.

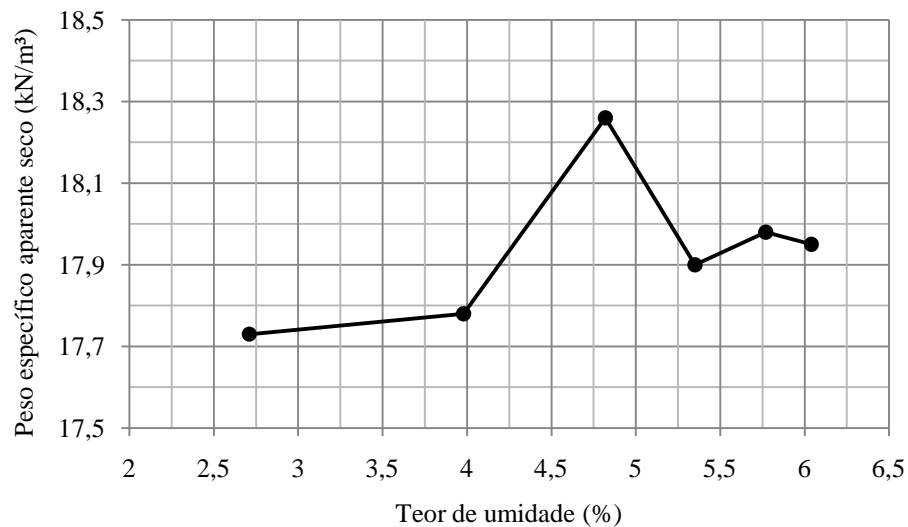


Figura 3: Ensaio de compactação

4.1.4 Determinação do ISC

O ISC obtido foi de 11%, a umidade de compactação foi de 4,61% aplicando-se a energia intermediária na moldagem do corpo de prova. O baixo valor de ISC é aceitável, considerando a utilização do fresado asfáltico como material para a camada de reforço de subleito. No ensaio de contração, verificou-se contração de 0,19mm. A figura 4 apresenta a relação (pressão calculada x penetração) obtida através do ensaio.

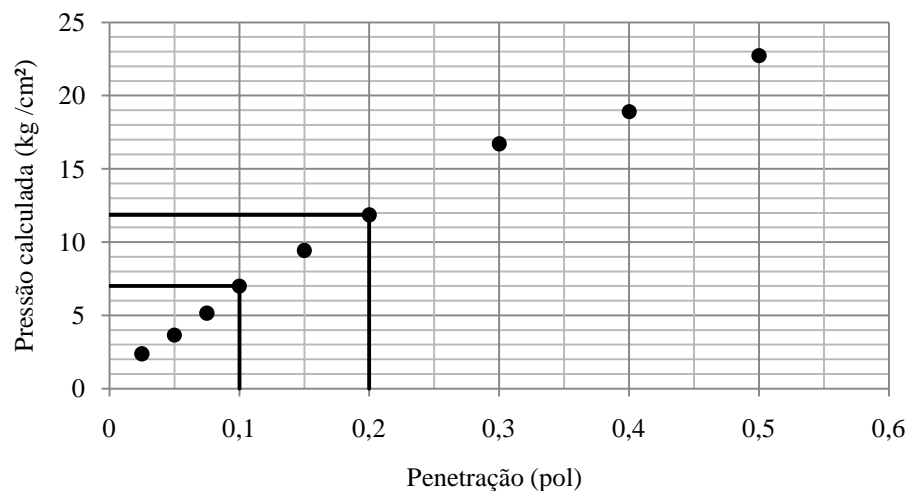


Figura 4: Relação gráfica – pressão calculada x penetração

4.1.5 Ensaio triaxial de cargas repetidas

Para determinação do módulo de resiliência realizaram-se 3 ensaios com corpos de prova moldados na energia intermediária. No ensaio 1 a umidade de compactação foi de 2,6% e o corpo de prova rompeu apresentando deformações plásticas excessivas no 9º estado de tensão ($\sigma_3=69\text{kPa}$; $\sigma_d=186\text{kPa}$). Da mesma forma, no ensaio 3 a umidade de compactação foi de 3,82% e o corpo de prova rompeu apresentando deformações plásticas excessivas no 6º estado de tensão ($\sigma_3=35\text{kPa}$; $\sigma_d=93\text{kPa}$). No ensaio 2 a umidade de compactação foi de 5,09% e o corpo de prova suportou todos os estados de tensões aplicados. A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros de regressão e os coeficientes de determinação (R^2) obtidos a partir da modelagem dos resultados do ensaio. A figura 5 ilustra a relação $M_R \times \theta/P_{atm}$.

Tabela 3: Parâmetros de regressão e coeficientes de determinação obtidos no ensaio triaxial para o material fresado

	Modelo	k_1	k_2	R^2
1	$M_R=k_1*(\theta/P_{atm})^{k_2}$	105,39	0,0718	0,46
2	$M_R=k_1*(\sigma_3)^{k_2}$	140,76	0,0765	0,55

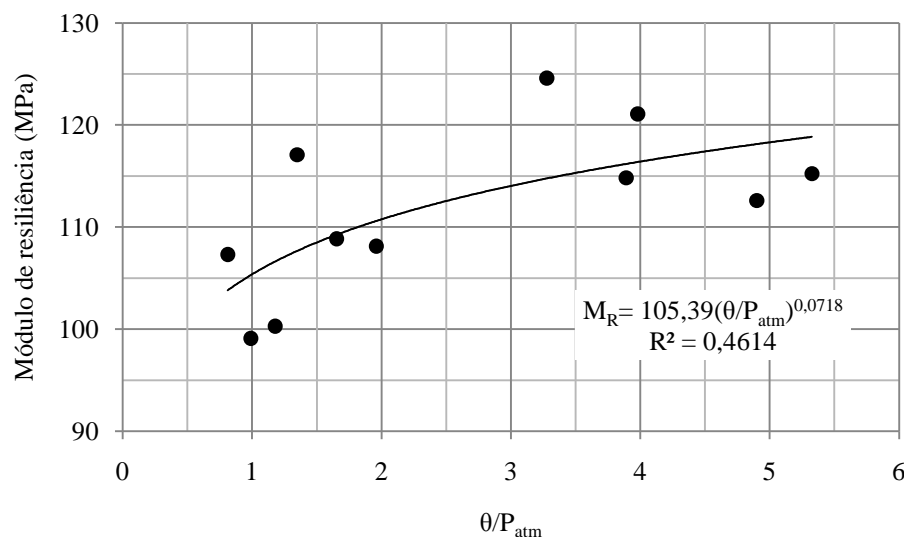


Figura 5: Relação – módulo de resiliência x θ/P_{atm}

O *software Everstress 5.0* permite a utilização do modelo 1 para representação do comportamento de camadas granulares. Assim, como o termo θ/P_{atm} apresenta pouca influência no valor do módulo de resiliência do material fresado (devido ao baixo valor de k_2) foi considerado o MR da camada de material asfáltico fresado, nas análises mecânicas, constante e igual a 105 MPa.

4.2 Areia

4.2.1 Ensaio de compactação

O peso específico aparente seco máximo obtido foi de $16,58 \text{ kN/m}^3$ associado à 13,86% de umidade. Durante o ensaio pode-se perceber que o solo não absorvia completamente a energia aplicada pela queda do soquete de compactação. Exatamente sob o ponto de queda do soquete a areia aumentava a compacidade, ligeiramente ao lado desse ponto o material tornava-se

menos compacto. A figura 6 apresenta os resultados do ensaio de compactação, pode-se perceber que não houve definição do ramo seco e do ramo úmido.

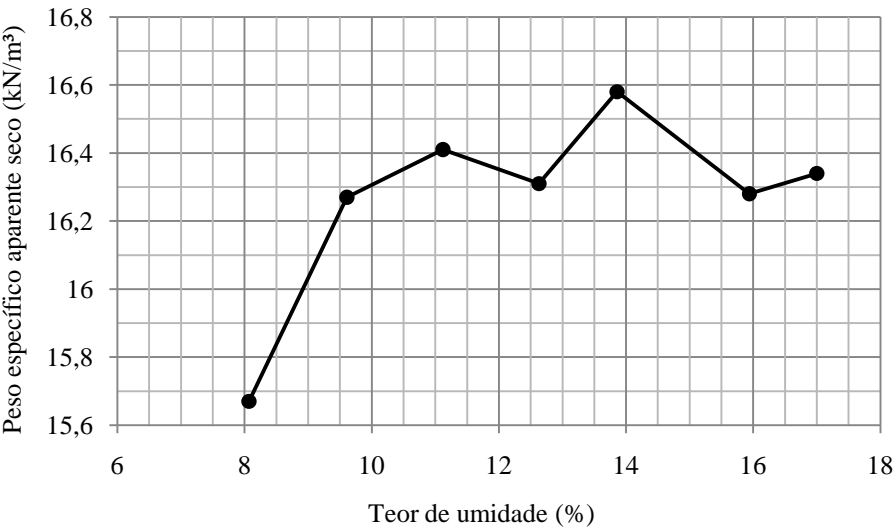


Figura 6: Ensaio de compactação

4.2.2 Ensaio triaxial de cargas repetidas

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros de regressão e os coeficientes de determinação (R^2) dos dois modelos adotados. A umidade de compactação do corpo de prova ensaiado foi de 10,05%.

Tabela 4: Parâmetros de regressão e coeficientes de determinação obtidos no ensaio triaxial para a areia

Expressão	Modelo	k_1	k_2	R^2
1	$M_R=k_1*(\theta/P_{atm})^{k_2}$	71,457	0,7142	0,959
2	$M_R=k_1*(\sigma_3)^{k_2}$	981,77	0,6842	0,996

Pode-se perceber que o módulo de resiliência desse solo variou em função do estado de tensões aplicado, conforme se ilustra na figura 7. Percebe-se que os modelos adotados apresentam boa capacidade de representação do comportamento conferido pela areia no ensaio triaxial. Sendo assim, adotou-se o modelo 1 como dado de entrada nas análises mecánísticas.

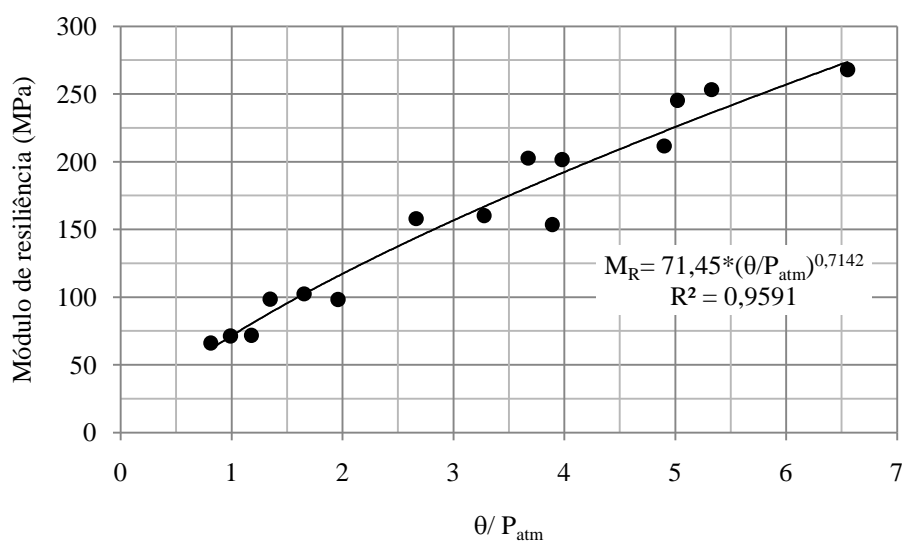


Figura 7: Relação – módulo de resiliência x θ/P_{atm}

4.3 Análises mecánísticas com programa computacional *Everstress 5.0*

A tabela 5 apresenta os valores obtidos para as solicitações avaliadas em cada estrutura. As análises mecánísticas mostram que o comportamento das duas estruturas é similar. As deflexões no pavimento com a camada de reforço de subleito em material fresado foram inferiores em comparação à estrutura com a areia na mesma camada. As tensões verticais atuantes na camada de reforço de subleito foram superiores quando se utilizou o material fresado. Isso indica que o subleito estará mais “protegido” com a utilização de areia naquela camada, no entanto, em ambas as análises não se verificaram solicitações atuando no subleito. A tensão de tração na fibra inferior do revestimento foi inferior quando se utilizou o material fresado.

Tabela 5: Solicitações analisadas nas duas estruturas

Posição	Tensão vertical (MPa)		Tensão de tração (MPa)		Deflexão (10 ⁻² mm)	
	estrutura original	estrutura alternativa	estr. original	estr. alternativa	estr. original	estr. alternativa
Superfície do pavimento	-	-	-	-	47,6	39,77
Fibra inferior do revestimento	-	-	1,41	1,37	47,66	39,8
Reforço de subleito	Topo	0,022 0,031	-	-	32,16	24,45
	Meio	0,011 0,015	-	-	20,8	17,61
Topo do subleito	0	0	-	-	0	0

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O material fresado estudado nessa pesquisa pode ser utilizado na camada de reforço de subleito de pavimentos, assim, pode-se reduzir a exploração de agregados naturais. As estruturas analisadas através do *software Everstress 5.0* apresentaram comportamento similar.

A análise granulométrica mostrou que o fresado asfáltico apresenta boa distribuição, mas há ausência de material fino. A curva granulométrica do material, após extração do ligante asfáltico, localiza-se dentro da faixa C (faixa de projeto do revestimento asfáltico fresado). O teor de ligante determinado para a amostra (4,69%) é coerente. O peso específico aparente

seco máximo, obtido no ensaio de compactação, foi de 18,26 kN/m³ com teor de umidade 4,82%. A curva de compactação não apresentou ramo seco e ramo úmido definidos. Verificou-se dificuldade em absorção da umidade, o fato deve-se a pequena quantidade de material fino e à impermeabilização provocada pelo ligante, verificou-se baixo intertravamento do material fresado após a compactação dos corpos de prova. O ISC obtido (11%) é aceitável para a finalidade sugerida ao material (camada de reforço de subleito). De acordo com o ensaio triaxial, o módulo de resiliência é pouco influenciado pelo estado de tensões aplicado à amostra. Para as análises mecânicas, foi considerado o módulo de resiliência da camada de material fresado com valor constante (105 MPa).

A areia utilizada para comparação com material fresado apresentou módulo de resiliência crescente com o aumento do estado de tensões aplicado à amostra. A modelagem dos resultados desse ensaio foi satisfatória e utilizada como dado de entrada nas análises mecânicas. O peso específico aparente seco máximo, obtido no ensaio de compactação, foi de 16,58 kN/m³ com teor de umidade 13,86%. Nesse ensaio o solo não foi capaz de absorver toda a energia de compactação aplicada e não houve definição do ramo seco e do ramo úmido.

Agradecimentos

Os autores agradecem as sugestões recebidas da professora Laura Maria Goretti da Motta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of Highway and Transportation Officials (1999) *AASHTO Designation T307-99 – Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials*. Washington, DC.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 7207 (1982). *Terminologia e Classificação de Pavimentos*. Rio de Janeiro.
- Barra, B. S. (2009) *Avaliação da Ação da Água no Módulo Complexo e na Fadiga de Misturas Asfálticas Densas*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – PPGEC/UFSC. Florianópolis, 184 f.
- Bonfim, V. (2007) *Fresagem de Pavimentos Asfálticos*. 3ª ed. São Paulo, Exceção, 127 p.
- Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT 031 (2006). *Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico. Especificação de Serviço*. Rio de Janeiro.
- David, D. (2006) *Misturas Asfálticas Recicladas a Frio: Estudo em Laboratório Utilizando Emulsão e Agente de Reciclagem Emulsionado*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGEC/UFRGS. Porto Alegre, 117 f.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER ME 049 (1994). *Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras Não Trabalhadas. Método de Ensaio*. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER ME 129 (1994). *Solos – Compactação Utilizando Amostras Não Trabalhadas. Método de Ensaio*. Rio de Janeiro.
- Franco, M. L. O. (2004) *Estudo do Efeito de Intervenções Sobre o Comportamento de Pavimentos em um Grupo de Rodovias do Estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – PPGEC/UFSC. Florianópolis, 184 f.
- Malysz, R. (2004) *Comportamento Mecânico de Britas Empregadas em Pavimentação*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGEC/UFRGS. Porto Alegre, 166 p.
- Medina, J. e Motta, L. M. G. (2005) *Mecânica dos Pavimentos*. 2ª ed. Rio de Janeiro, 570 p.
- Takeda, M. C. (2006) *A Influência da Variação da Umidade Pós-Compactação no Comportamento Mecânico de Solos de Rodovias do Interior Paulista*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – (EESC-USP). São Carlos, 241f.
- Viana, H. M. F. (2007) *Estudo do Comportamento Resiliente dos Solos Tropicais Grosso do Interior do Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – (EESC-USP). São Carlos, 320f.
- Victorino, D. R. (2008) *Análise de Desempenho de um Pavimento Flexível da Rodovia BR-290/RS Solicitado por um Simulador de Tráfego Móvel*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGEC/UFRGS. Porto Alegre, 176 f.