

## ANÁLISE LABORATORIAL DA INCORPORAÇÃO DE FRESADO EM MISTURAS ASFÁLTICAS APLICADAS EM CAMPO

Sara Vieira Menezes<sup>1</sup>

Jorge Barbosa Soares<sup>2</sup>

Juceline Batista dos Santos Bastos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; <sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará

### RESUMO

A geração de resíduos da pavimentação fez com que a própria área buscasse fontes alternativas e sustentáveis. Apesar de ser uma técnica que apresente uma variedade de estudos, há ausência na literatura de trabalhos que analisem as misturas asfálticas com esse resíduo de forma mais completa, além da ampliação da pesquisa para o campo. Diante disso, este trabalho tem o objetivo de comparar mecanicamente duas misturas, com e sem fresado, abrangendo os seguintes parâmetros: rigidez, deformação permanente, trincamento por fadiga e resistência à tração. A mistura com fresado mostrou-se promissora. Assim, a incorporação de 18% de fresado impactou no melhor comportamento em laboratório e em campo.

### ABSTRACT

The generation of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) motivated the search for sustainable alternatives of use of that residue. Although it is a technique that presents a variety of studies, there isn't in the literature papers that analyze asphalt mixtures composed of RAP through main damage mechanisms, besides the extension of the research to the field. Therefore, this work compares two mixtures, with and without RAP, covering the following parameters: stiffness, rutting, fatigue behavior and tensile strength. The mixture with RAP has proved promising. Thus, the incorporation of 18% of RAP impacted on the best behavior in the laboratory and in the field.

### 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2018), nos últimos 10 anos a extensão de rodovias pavimentadas no Brasil aumentou 8,4%. Diante deste crescimento, no entanto, a CNT classifica grande parte dessas rodovias como regular, ruim ou péssima. Levando estes dados em consideração, estabelece-se que o Brasil requer projetos que melhorem o resultado do fabrico de pavimentos rodoviários. Vários esforços foram exercidos para a mitigação de tais problemas. Dentro destes esforços têm-se a utilização de resíduos asfálticos na incorporação em camadas de pavimentos, a fim de promover mais conforto e segurança aos brasileiros, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Os pavimentos asfálticos são estruturas flexíveis com variadas camadas de espessuras finitas – revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço ao subleito - em que seu revestimento é constituído, sobretudo de agregados e ligantes asfálticos. (Bernucci *et al.*, 2010). A busca por incorporar materiais alternativos a esse revestimento é crescente, com a finalidade de obter melhor qualidade e para que o revestimento seja capaz de resistir com maior durabilidade aos esforços provenientes do tráfego de veículos e às intempéries.

A incorporação do material da fresagem de pavimentos (em inglês, RAP – *Reclaimed Asphalt Pavement*) destaca-se por diminuir o custo da mistura asfáltica final, além de consistir em uma alternativa sustentável. Quando esse material é descartado de forma inadequada, gera um passivo ambiental e pode provocar danos à natureza (Rocha Segundo *et al.*, 2016).

O estudo do comportamento do material fresado já foi aprofundado por diversos autores. Deste modo, reconheceu-se a necessidade da realização de um mapeamento sistemático da literatura para caracterizar, avaliar e identificar trabalhos relevantes que tenham como escopo a investigação da incorporação do fresado em misturas asfálticas. Bem como, um

levantamento quanto à implantação em campo destas misturas.

Assim, foi realizada uma varredura compreendendo o Congresso da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa (Anpet), o Congresso Íbero-Latinoamericano do Asfalto (CILA), a Reunião de Pavimentação Urbana (RPU), a Revista Transportes e a Revista Pavimentação.

Embora a avaliação do fresado quando incorporado às misturas asfálticas venha crescendo nos últimos anos, os resultados das análises, exibidos na Tabela 1, mostram que ainda há lacunas neste âmbito, como: necessidade de investigação completa quanto ao comportamento mecânico desse material e mais aplicações desses materiais em campo, com correspondentes monitoramentos do desempenho dessas aplicações.

**Tabela 1:** Resultados do Mapeamento Sistemático

Autores e Ano	Título do Trabalho	Parâmetros avaliados	Aplicação em campo
Hermes; Echeverria; Specht, 2016	Utilização de material fresado como camada de pavimento em construção de faixa adicional	MR, Vida de Fadiga e Deformação Permanente.	Realizaram
Siqueira <i>et al.</i> , 2017	Comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas mornas aplicadas em revestimentos de pavimentos	RT, MR e dano por umidade induzida.	Não Realizaram
Vestena <i>et al.</i> , 2017	Análise de misturas recicladas a frio para emprego em pavimentação	Resistência à Compressão Simples (RCS), RT e MR.	
Neto; Suárez; Matos, 2017	Estudo da deformação de ruptura de camadas estruturais de pavimentos estabilizadas mediante a incorporação de material fresado, cimento Portland e cal	RCS e RT	
Ferreira <i>et al.</i> , 2017	Avaliação da resistência de material reciclado de pavimento com adição de nata de cimento	RCS	
Centofante <i>et al.</i> , 2017	Análise de adesividade e do comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas a quente	RT, MR e dano por umidade induzida.	
Delfino <i>et al.</i> , 2017	Estudo comparativo entre os tipos de estabilizações para pavimento fresado	Compactação e RCS	
Rocha Segundo <i>et al.</i> , 2017	Misturas asfálticas recicladas a quente com incorporação de elevado percentual de fresado como alternativa para camada de módulo elevado	MR	

Diversos autores (Vestena *et al.*, 2017; Neto, Suárez e Matos, 2017; Ferreira *et al.*, 2017; Delfino *et al.*, 2017) avaliaram o comportamento mecânico do material fresado associado a algum agente estabilizante como cal, cimento, nata de cimento e emulsão asfáltica. Cujo foco estava na melhor combinação entre o fresado e o agente a ser utilizado para melhoria da resistência do material.

Centofante *et al.* (2017) analisaram as propriedades mecânicas e de adesividade de misturas com 10%, 20% e 30% de fresado em comparação a uma mistura de referência, por meio dos ensaios de MR, RT e dano por umidade induzida e demonstraram que a rigidez e a resistência à tração aumentam conforme se eleva o teor de fresado, bem como a superioridade desses resultados quando comparados à mistura de referência. No entanto, a incorporação do fresado à mistura não se mostrou favorável quanto ao dano por umidade induzida.

Rocha Segundo *et al.* (2017) avaliaram 3 misturas (100% RAP como agregado, 75% RAP +

25% agregados naturais, 75% RAP + 25% agregados do refugo de usina asfáltica) como camada de base e de ligação dos pavimentos por meio de análise computacional, de modo a dimensionar estruturas e demonstrar sua capacidade de suporte de tráfego. De acordo com os autores, a inserção de RAP elevam o MR a valores superiores a 10.000 MPa.

Hermes *et al.* (2016) avaliaram o MR de cada camada construída (reforço do subleito, sub-base, base e revestimento) por modelos de previsão, bem como a vida de fadiga e a deformação permanente das camadas asfálticas, haja vista que o material fresado só não foi utilizado para a camada de revestimento, e demonstraram que o MR das camadas aumentam conforme o aumento do grau de compactação das mesmas. Além disso, as deflexões nas camadas foram baixas.

Siqueira *et al.* (2017) conjugaram a mistura asfáltica morna com fresado. Eles avaliaram a influência da temperatura de usinagem e a inserção de 10 e 25% de fresado no comportamento das misturas. Foi constatado que misturas asfálticas mornas com 25% de fresado apresentaram resultados de MR, RT e dano por umidade induzida semelhantes à mistura de referência (mistura asfáltica quente sem fresado).

Diante da carência de uma investigação completa e da aplicação em campo, este trabalho visa, por meio da incorporação de 18% de material fresado em substituição aos agregados virgens, comparar o comportamento mecânico entre misturas com e sem fresado utilizados em trechos experimentais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As misturas asfálticas foram dosadas em laboratório, identificadas como Mistura 0% fresado e Mistura 18% fresado. O material fresado, incorporado à mistura, foi extraído de vias de Fortaleza, Ceará e posteriormente britado pela empresa Insttale Engenharia Ltda. Além disso, o ligante asfáltico utilizado também foi fornecido pela empresa Insttale, PG 64S. Para esse ligante, as temperaturas médias para compactação e usinagem são, respectivamente, 148°C e 160°C. No entanto, em campo adotou-se 155°C para a compactação. As temperaturas atendem às especificações do DNIT que estabelece um limite de 177°C. Aponta-se na Tabela 1 as características de dosagem das misturas 0% fresado e 18% fresado.

Tabela 2: Dosagem das misturas

Misturas	Dosagem	Teor de CAP (%)	TMN (mm)	Vv de projeto (%)	Gmm
0% fresado	Superpave	4,5	19	4,1	2,538
18% fresado				3,9	2,524

Os agregados das misturas asfálticas desta pesquisa foram caracterizados conforme as especificações do DNIT (faixa B), AASHTO e ASTM para a obtenção das suas propriedades físicas e mecânicas. A Figura 1 exibe os resultados da granulometria.

A curva granulométrica da Mistura 0% fresado contém 37% de brita 3/4", 23% de brita 1/2", 38% de pó de pedra e 2% de cal hidratada do tipo CH-1. Já a Mistura 18% fresado contém 35% de Brita 3/4", 23% de brita 1/2", 22% de pó de pedra, 2% de cal hidratada do tipo CH-1 e 18% de fresado.

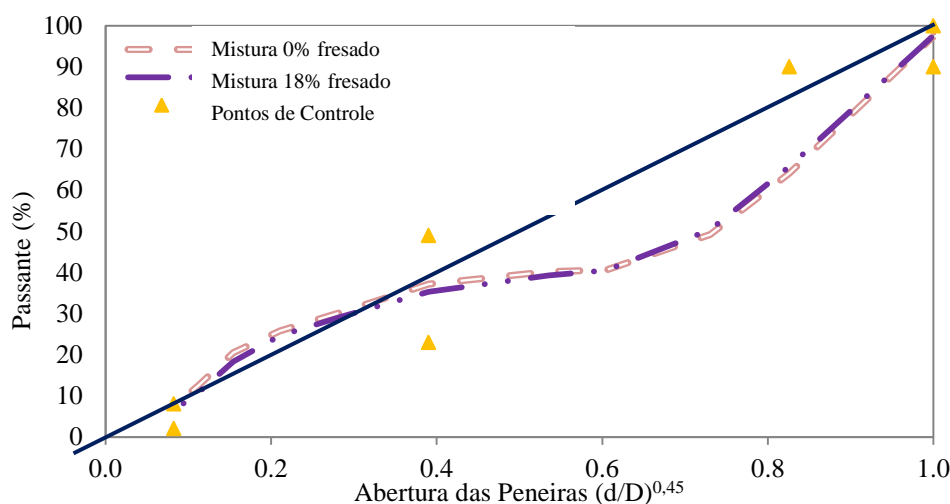


Figura 1: Curva Granulométrica

Para abranger os danos condizentes com os existentes ao longo da vida do pavimento, analisou-se a resistência das misturas por meio da Resistência à Tração, Vida de Fadiga e Deformação Permanente. A rigidez foi analisada pelos Módulos de Resiliência e Dinâmico.

## 2.1 Ensaios Laboratoriais

A fase de laboratório deste estudo foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Pavimentos (LMP) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Nesta etapa foram realizados os ensaios correspondentes às lacunas do trabalho.

### 2.1.1 Módulo de Resiliência (MR)

O ensaio de MR expõe os Corpos de Prova (CPs) a carregamentos verticais repetidos por meio de pulsos de carga com duração de 0,1 s e período de repouso de 0,9 s, frequência de 1 Hz a 25°C (DNIT 135, 2018). Nele, considera-se que o material avaliado apresenta comportamento elástico. Assim, quando o CP é sujeito a carregamentos, é avaliada a capacidade do material em armazenar a energia e voltar ao seu estado inicial quando cessadas as solicitações. O ensaio foi realizado com a utilização de uma prensa e com o auxílio de sensores LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) acoplados ao conjunto para a medição do deslocamento dos CPs (Figura 2).



Figura 2: Ensaio para a determinação do MR

### 2.1.2 Módulo Dinâmico (MD)

Sob consulta pública para normatização no Brasil, o módulo dinâmico, que avalia o comportamento viscoelástico das misturas asfálticas, ainda é realizado conforme especificações da norma norte-americana *AASHTO T 342-11*. O equipamento utilizado para esse ensaio nesta pesquisa foi a *Universal Testing Machine (UTM-25)* (Figura 3).



Figura 3: UTM-25

### 2.1.3 Resistência à Tração (RT)

As amostras utilizadas no ensaio de MR foram submetidas também ao ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral (RT), regidos pela norma do DNIT 136 (2010). A RT foi determinada para amostras condicionadas e não condicionadas. O ensaio consiste na aplicação de duas forças diametralmente opostas, através de uma prensa mecânica, com um valor de velocidade de deformação entre 0,7 e 0,9 mm/s. O ensaio cessa com a ruptura do corpo de prova e a separação das suas duas metades (Figura 4).



(a) Prensa mecânica



(b) Ruptura do corpo de prova



(c) Corpos de prova rompidos

Figura 4: Ensaio de RT

### 2.1.4 Deformação Permanente (DP)

As misturas asfálticas deste artigo foram submetidas ao ensaio Uniaxial de Carga Repetida (DNIT 184, 2018), além da classificação quanto ao nível de tráfego (Bastos *et al.*, 2017).

### 2.1.5 Vida de Fadiga (VF)

A carga repetida do ensaio de Vida de Fadiga (VF) produz falhas nos materiais para valores de tensão menores do que aqueles obtidos na ruptura em ensaios de cargas monotônicas, no entanto a mesma carga é aplicada diversas vezes (Bernucci *et al.*, 2010).

Assim sendo, os CPs foram sujeitos a esse ensaio de Vida de Fadiga (Figura 5), para a determinação do número de repetições de carga a 20, 30 e 40% da RT. Três CPs foram sujeitos a cada valor de tensão, totalizando nove CPs de cada mistura.



Figura 5: Vida de Fadiga

### 2.2 Aplicação em Campo

Foram construídos 160 m<sup>2</sup> de trechos em campo, ilustrados na Figura 6, para avaliar o desempenho das misturas. Esses trechos localizam-se na cidade de Maracanaú, Ceará, nas dependências da empresa Insttale. Eles foram submetidos à aceleração das degradações nos pavimentos a partir da passagem do Simulador de Grande Porte (SGP) da UFC (Bastos e Soares, 2019). Para a construção dos trechos realizou-se a regularização do subleito (20 cm de espessura) com solo natural existente no local. As camadas de sub-base e base foram construídas cada uma com 15 cm de espessura, sendo a primeira constituída do mesmo solo natural estabilizado com brita 3/4" (proporção de 30% de brita e 70% de solo) e na camada de base foi utilizada uma brita graduada simples.



Figura 6: Trechos experimentais (Bastos e Soares, 2019)

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 7 apresenta os resultados de MR e RT para as duas misturas asfálticas. Vale ressaltar

que os valores de MR obtidos são uma média dos valores de três CPs de cada mistura. Percebe-se que as misturas apresentaram tanto rigidezes (cerca de 6300 MPa) como resistência à tração (cerca de 1,8 MPa) idênticas. Destaca-se ainda que essas misturas apresentaram RTs quase 3 vezes ao valor mínimo (0,65 MPa) indicado pela especificação 031 do DNIT (2006).

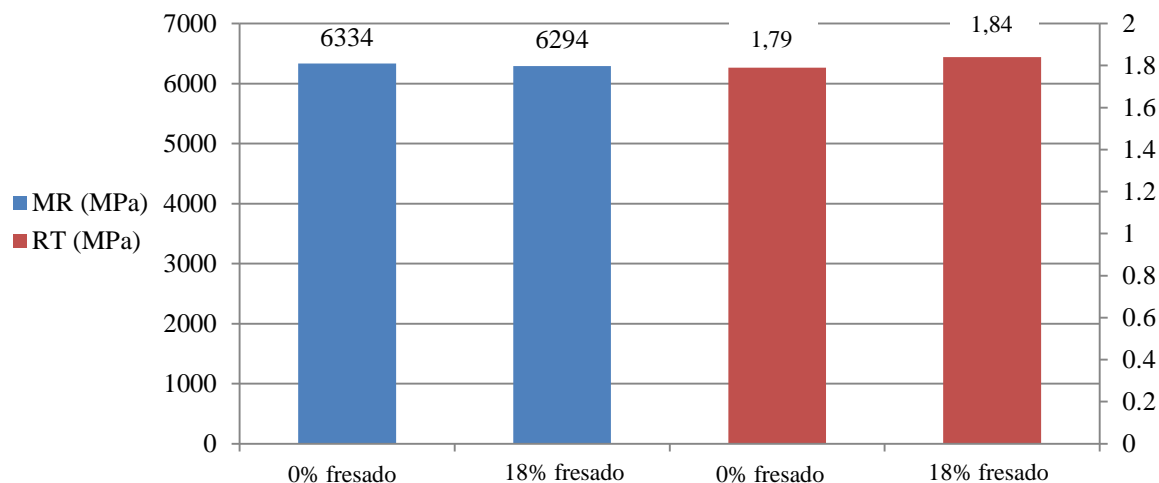


Figura 7: Resultados de MR e RT

Os resultados de MR e RT supracitados estão na mesma ordem de grandeza que os da literatura, cujos resultados encontrados variam de 6500 a 7500 MPa para MR e de 1,45 a 1,79 MPa para a RT (Centofante *et al.*, 2017).

Quanto ao Módulo Dinâmico, a Figura 8 exibe as curvas mestras de  $|E^*|$  versus frequência reduzida a uma temperatura de referência de 20°C. A Mistura 18% fresado apresentou em baixas frequências, ou seja, altas temperaturas, rigidez superior àquela apresentada pela Mistura 0% fresado, indicando superioridade quanto à deformação permanente. Com o aumento da frequência seus comportamentos apresentam paridade.

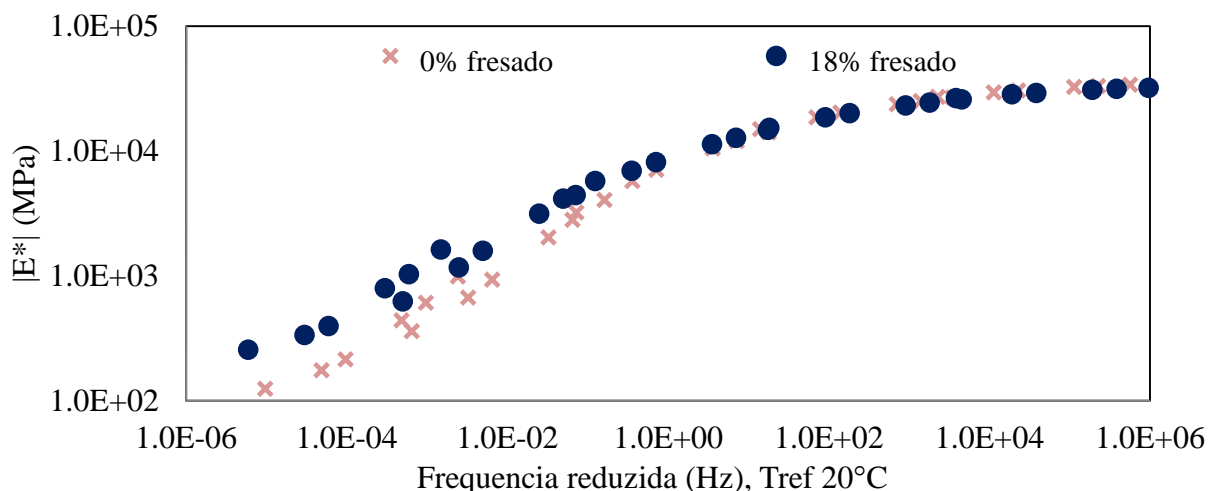


Figura 8: Módulo dinâmico versus frequência reduzida

Os resultados de Vida de Fadiga corroboram com os que foram apresentados até aqui. A Figura 9 mostra que a Mistura 18% fresado apresenta maior resistência ao trincamento por fadiga, sendo necessário um maior número de ciclos para seu rompimento.

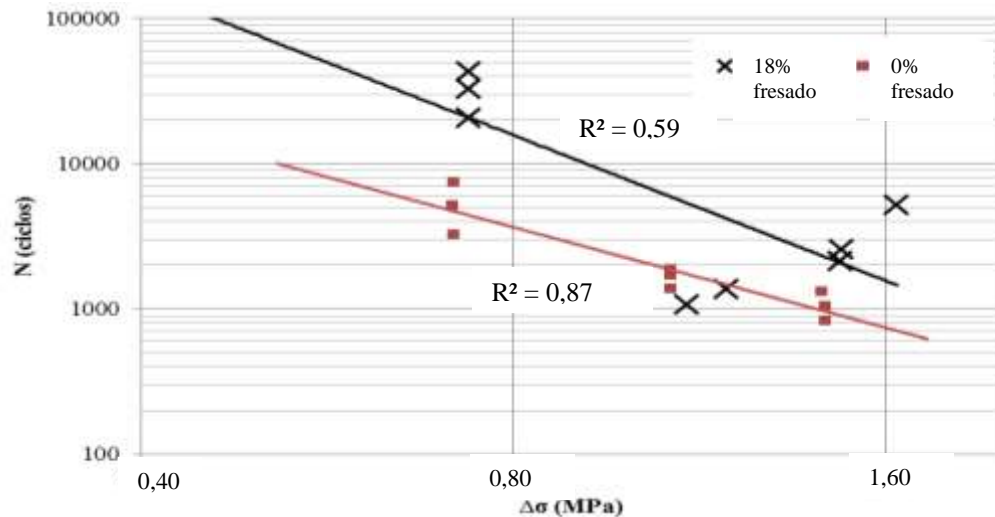


Figura 9: Vida de Fadiga

O rompimento da Mistura 0% fresado aconteceu antes do centésimo ciclo, enquanto a Mistura 18% fresado resistiu até mais de 300 ciclos. De acordo com Bastos *et al.* (2017) e a partir dos resultados obtidos, a Mistura 18% fresado classifica-se como uma mistura apropriada para revestimento asfáltico capaz de suportar um tráfego pesado, enquanto a Mistura 0% fresado atende apenas ao critério de nível de tráfego leve, sendo então considerada uma mistura mais frágil quanto à deformação permanente.

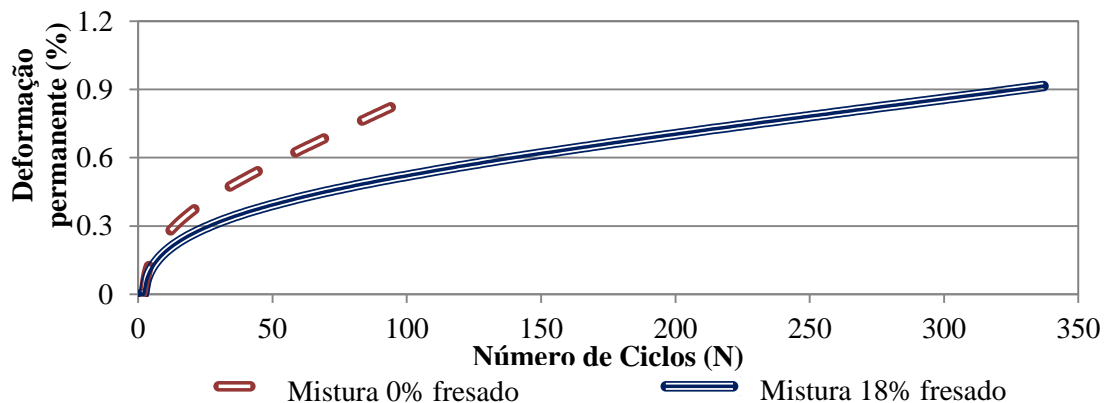


Figura 10: Resultado do ensaio de Uniaxial de Carga Repetida por Bastos *et al.* (2017)

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização de um mapeamento sistemático da literatura permitiu a identificação de lacunas quanto à incorporação de fresado às novas misturas asfálticas. Uma investigação completa quanto aos parâmetros de danos e a aplicação em campo, bem como a comparação do comportamento mecânico entre misturas asfálticas convencionais e incorporadas com material reciclado foram os objetivos deste trabalho. A incorporação de 18% de fresado conferiu à nova mistura resultados semelhantes de MR e RT quando comparados à mistura sem fresado. Com relação à análise da rigidez obtida por meio do Módulo Dinâmico, as misturas apresentam resultados com diferença considerável a altas temperaturas. Esses resultados são justificados pela presença de fresado que eleva a rigidez da mistura composta por este material, aumentando sua resistência à deformação permanente. A avaliação da resistência das misturas quanto à deformação permanente reforçou tal resultado, tendo em vista que a mistura reciclada é três vezes mais resistente que a mistura convencional. Logo, a adição de fresado



pode conceder à mistura menores possibilidades de surgimento de danos como o afundamento por trilha de roda. Além disso, a mistura com fresado apresentou maior resistência ao trincamento por fadiga. Portanto, a substituição de agregados virgens por material fresado mostra vantagens quanto ao desempenho mecânico e ambiental. Além disso, a aplicação em campo das misturas estudadas apresentaram comportamentos idênticos condizendo assim com o que foi avaliado em laboratório. No entanto, sabe-se das limitações do ensaio de fadiga, sendo objeto para pesquisas futuras a análise quanto à fadiga por meio do ensaio de Tração/Compressão que, por sua vez, ajuda a compreender melhor tal fenômeno.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFCE – *Campus* Morada Nova por apoiar a realização desta pesquisa, aos órgãos de fomento PROINFA (IFCE) e Funcap, à UFC pela disponibilidade dos laboratórios, além de CNPq pelas bolsas de graduação, pós-graduação e produtividade em pesquisa e a Petrobras pelo investimento em pesquisa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2011) AASHTO Designation T 342-11: *Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt (HMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- Bastos, J. B. S.; Soares, J. B.; Nascimento, L. A. H. (2017) Critérios para os resultados do ensaio uniaxial de carga repetida de misturas asfálticas em laboratório a partir do desempenho em campo. *Transportes* v. 25, n. 2, p.29-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v25i2.1284>.
- Bastos, J. B. S.; Soares, J. B. (2019) Construção e instrumentação de pavimentos asfálticos submetidos ao Simulador de Grande Porte (SGP). *REVISTA TECNOLOGIA (UNIFOR)*, v. 40, p. 1-19, 2019.
- Bernucci, L. L. B.; Motta, L. M. G.; Ceratti, J. A. P. e Soares, J. B. (2010) *Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA.
- C. Neto, M. E.; Suárez, D. A. A.; Matos, D. A. (2017) *Estudo da deformação de ruptura de camadas estruturais de pavimentos estabilizadas mediante a incorporação de material fresado, cimento Portland e cal*. In: Reunião de Pavimentação Urbana, 20, Florianópolis.
- Centofante, R.; Specht, L. P.; Pinheiro, G.; Almeida Junior, P. O. B. e Dresch, F. (2017) *Análise de adesividade e do comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas a quente*. In: Reunião de Pavimentação Urbana, 20, Florianópolis.
- Delfino, M. G. S.; Freitas, I. T. A.; Matos, D. A.; Suarez, D. A. A. (2017) *Estudo comparativo entre os tipos de estabilizações para pavimento fresado*. In: Reunião de Pavimentação Urbana, 20, Florianópolis.
- DNIT (2018) DNIT 136/2018: *Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro: 10 p.
- DNIT (2018) DNIT 135/2018: *Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio*. Rio de Janeiro: 13 p.
- DNIT (2018) DNIT 138/2018: *Pavimentação - Misturas asfálticas - Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente – Método de ensaio*. Rio de Janeiro: 13 p.
- DNIT (2006) DNIT 031/2006: *Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro: 14 p.
- Ferreira, M. C.; Thomé, A.; Rosa, F. D. e Posse, M. K. (2017) *Avaliação da resistência de material reciclado de pavimento com adição de nata de cimento*. In: Reunião de Pavimentação Urbana, 20, Florianópolis.
- Hermes, T. B.; Echeverria, J. A. S.; Specht, L. P. (2016) *Utilização de material fresado como camada de pavimento em construção de faixa adicional*. *Pavimentação*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 41, p.49-62.
- Pesquisa CNT de rodovias 2018: *relatório gerencial*. Brasília. CNT: SEST SENAT, 2017.
- Rocha Segundo, I. G.; Castelo Branco, V. T. F.; Vasconcelos, K. L. e Holanda, A. S. (2016) *Misturas asfálticas recicladas a quente com incorporação de elevado percentual de fresado como alternativa para camada de módulo elevado*. *Transportes*, v. 24, n. 4, p.85-94.
- Siqueira, A.; Lopes, M.; Bernucci, L. L. B.; Moura, E.; Shoji, E. e Areias, B. (2017) *Comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas mornas aplicadas em revestimentos de pavimentos*. In: CILA, 19, Medellin.
- Vestena, P. M.; Tanski, M.; Specht, L. P.; Cervo, T. C.; Dresch, F.; Camargo, R. C. e Eidt, K. G. (2017) *Análise de misturas recicladas a frio para emprego em pavimentação*. In: Reunião de Pavimentação Urbana, 20, Florianópolis.