

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Desempenho estrutural de pavimento sustentável com aproveitamento de material fresado

Lara Cordeiro Pitangui

Aluna, Universidade de Brasília, Brasília/DF, Brasil, laracordeirop@gmail.com

Rafael Cerqueira Silva

Professor, Universidade de Brasília, Brasília/DF, Brasil, rafael.silva@unb.br

Luiz Guilherme Rodrigues de Mello

Professor, Universidade de Brasília, Brasília/DF, Brasil, luizguilherme@unb.br

Alexandre Boaretto da Silva

Gerente de Engenharia, CART, Bauru/SP, Brasil, alexandre.silva@cartsp.com.br

Gerson Alves Bastos

Engenheiro Civil, Pesquisador Independente, Feira de Santana/BA, Brasil, gabastos@hotmail.com

RESUMO: Tendo em vista questões ambientais, a redução da exploração de jazidas para produção de materiais de pavimentação, por meio da reutilização de material fresado do revestimento asfáltico nas diferentes camadas do pavimento, apresenta-se como uma solução sustentável, podendo também gerar economia. Para compreensão do comportamento de uma solução de pavimentação composta por uma camada de base com material fresado (RAP) e espuma de asfalto, foi implantado Trecho Experimental (TE) em uma rodovia de elevado volume de tráfego, visando o monitoramento do seu desempenho frente às ações do tráfego e do clima. Neste TE, foram construídos três subtrechos experimentais, com diferentes soluções de pavimentação, havendo em comum a base reciclada e o subleito. Com os resultados obtidos, ainda que por um curto período de avaliação, foi possível identificar a melhoria na condição estrutural, por meio do monitoramento deflectométrico, do afundamento de trilha de roda (ATR) e do trincamento. Em razão da consolidação do material espumado, verifica-se a diminuição da deflexão do pavimento com o tempo, sem que ocorra ATR e trincas. Isto indica um aumento do módulo de resiliência (MR) em campo, que pode ser verificado pelas bacias de deflexão. Assim, tem-se observado um bom desempenho do pavimento sustentável, com uso de fresado com espuma de asfalto na base.

PALAVRAS-CHAVE: Espuma de asfalto, Reciclagem, Trechos Experimentais, BSM, RAP, Sustentabilidade.

ABSTRACT: Keeping in mind environmental issues, the reduction of the exploration of deposits to produce paving materials, through the reuse of milled material from the asphalt coating in the different pavement layers, presents itself as a sustainable solution, which can also generate savings. To understand the behavior of a paving solution composed of a base layer with milled material (RAP) and foamed bitumen, an Experimental Section (TE) was implemented on a high-traffic highway, in order to monitor its performance against traffic and climatic actions. In this TE, three experimental subsections were built, with different pavement solutions, having in common the recycled base and the subgrade. With the results obtained, even for a short period of evaluation, it was possible to identify the improvement in the structural condition, through deflectometric monitoring, surface deformation (rutting) and cracking. Due to the consolidation of the foamed material, there is a decrease in pavement deflection over time, without the occurrence of ATR and cracks. This indicates an increase in the modulus of resilience (MR) in the field, which can be verified by the deflection basins. Thus, a good performance of the sustainable pavement has been observed, with the use of milling with foam asphalt in the base.

KEYWORDS: Asphalt foamed, Recycling, Experimental Test Sections, BSM, RAP, Sustainability.



1 Introdução

A crescente demanda por investimentos em infraestrutura, bem como o interesse pela preservação dos recursos naturais, tem colocado em voga, cada vez mais, o estudo de soluções que possam alinhar o bom desempenho dos pavimentos à sustentabilidade. Os resíduos de obras de pavimentação, principalmente quando da execução da conservação e restauração de pavimentos, são capazes de gerar um passivo ambiental significativo. Contudo, ao invés de serem descartados, estes resíduos podem ser empregados nas diversas camadas do pavimento, principalmente nas camadas de base e revestimento asfáltico.

Além da importância ambiental, soma-se a isso a resolução nº14/2021 do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que diz respeito ao uso do RAP nos projetos de engenharia de restauração, adequação de capacidade e ampliação de obras viárias do órgão. Atualmente, o RAP deve ser reaproveitado com aplicação nas camadas do pavimento a serem construídas, sendo considerado nas composições de custos dos serviços. Com isso, o aproveitamento do fresado apenas no revestimento, como é mais comum no Brasil, pode não ser suficiente para o aproveitamento do material, sendo importante o estudo de novas técnicas de incorporação do fresado nas demais camadas estruturais do pavimento (base e sub-base).

Quanto à camada de base, uma opção que tem se apresentado como uma alternativa no Brasil, destacando o estado de São Paulo, é o material estabilizado com espuma de asfalto junto ao *Reclaimed Asphalt Pavement* – RAP, cuja mistura é conhecida na literatura internacional como *Bitumen Stabilised Materials* (BSM). Ela é composta pelo ligante aquecido e expandido, agregados, o que pode incluir elevadas proporções de RAP, e filler. A solução resulta em um considerável aproveitamento do passivo ambiental gerado pelo descarte de material oriundo do processo de fresagem do revestimento asfáltico.

A concessionária CART, objetivando a redução do impacto ambiental resultante da restauração de pavimentos e melhoria do desempenho destes, gerando conhecimento e, se possível, economia, vem implantando trechos de pavimentos sustentáveis utilizando materiais recicláveis nas principais camadas do pavimento. O material asfáltico removido do pavimento por fresagem vem sendo utilizado no revestimento e na base. Para melhor compreensão do comportamento da estrutura do pavimento, foi construído trecho experimental (TE) na rodovia SP-270 com soluções que incorporam a utilização de material fresado e espuma de asfalto na camada de base.

Visando acelerar o processo de deterioração dos pavimentos, nos subtrechos experimentais do TE, as espessuras das camadas de base e revestimento foram reduzidas. Foi concebido um programa de monitoramento, contemplando campanhas de levantamentos de campo das avaliações funcional e estrutural, bem como a realização de ensaios laboratoriais, para analisar o desempenho dos pavimentos frente às ações climáticas e do tráfego, bem como as relações entre resultados dos ensaios laboratoriais e dos observados em campo. Destaca-se que além da preservação dos recursos naturais, o pavimento sustentável analisado conta com uma tecnologia pouco difundida no Brasil, o que permitirá contribuições ao meio ambiente, ciência e indústria.

2 Espuma de asfalto

No Brasil, a utilização de material reciclado nas camadas do pavimento tem se tornado cada vez mais comum. Além de poder ser aproveitado no revestimento como agregado reciclado, o RAP também pode ser utilizado em camadas de base, por meio da *Bitumen Stabilized Mixtures* (BSM). Essa mistura diz respeito a um material estabilizado com ligante (betume), cujos agentes estabilizantes mais empregados são a emulsão asfáltica e a espuma de asfalto. Ambas as tecnologias constituem métodos que objetivam a redução da viscosidade do betume, permitindo que os agentes possam ser misturados com um material mais úmido e frio (TG2, 2020).

Como aponta Bonfim (2021), a espuma de asfalto consiste em um estado temporário do CAP, o qual é aquecido a temperaturas superiores a 160°C, e se expande quando em contato com água e ar, em câmaras de expansão específicas. Torna-se, dessa forma, um material menos viscoso, transformando-se, por um curto período, na espuma de asfalto. Uma vez em seu estado de espuma, o ligante pode ser misturado ao RAP e demais componentes da mistura, em geral o filler (usualmente cal ou cimento), e pó de pedra (ou outro material adequado) para correção da granulometria. Quando misturados em usina específica, as bolhas de betume formadas estouram, produzindo pequenos estilhaços de betume que se dispersam pelo agregado, aderindo-se



às partículas mais finas, o que gera um material ligado de forma não contínua (Bonfim, 2021), como mostrado na Figura 1.



Figura 1. Mistura estabilizada com betume.

Com o passar do tempo, a camada exibe um aumento significativo de coesão quando comparada a de um material não tratado, adquirindo resistência à flexão e rigidez como resultado das propriedades viscoelásticas do betume disperso (Guatimosim, 2015). Esse tipo de mistura apresenta dois principais mecanismos de falha: a deformação permanente e a suscetibilidade à umidade. A deformação permanente que, em geral, ocorre nos afundamentos de trilha de roda, evolui até que o material se acomode (Guatimosim, 2019).

O nível de formação desse afundamento está intimamente relacionado ao teor de umidade e ao grau de compactação do material, em que quanto mais baixo o teor de umidade, maior é a resistência da camada à deformação permanente. Já a suscetibilidade à umidade, como aponta Wirtgen (2012), corresponde ao dano causado pela exposição da espuma aos altos teores de umidade e às pressões dos poros induzidas pelo tráfego.

3 Metodologia

A metodologia deste trabalho consiste no monitoramento das condições funcional e estrutural de um Trecho Experimental (TE), no qual foram implantados três subtrechos que contam com diferentes soluções, utilizando como camada de base uma mistura de material fresado com espuma de asfalto. Também foram coletados materiais das camadas para realização de ensaios laboratoriais. Os três subtrechos foram projetados na rodovia SP-270, sob administração da CART. O TE se localiza entre o km 407+880 e o km 407+730, pista leste, Faixa 2. Sua escolha se deu em virtude da necessidade de um trecho cujo projeto de restauração contemplasse a fresagem do pavimento até atingir a base ou subleito e permitisse executar as estruturas concebidas para os subtrechos.

3.1 Características do Trecho Experimental

A partir da solução original de projeto, as espessuras das camadas foram reduzidas, a fim de acelerar a evolução dos danos do pavimento resultantes dos agentes externos, do tráfego e do clima. Dessa forma, foi definido um subtrecho com a solução original de projeto e outros dois com os mesmos materiais, mas com espessuras reduzidas, conforme apresentado na Figura 2. Os subtrechos T1 e T2, na nova formulação, contam com revestimento asfáltico de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) mais polímero (CAP 60/85 Stylink), enquanto o subtrecho T3 apresenta um revestimento de gap-graded, com o mesmo ligante asfáltico polimérico do CBUQ.

Todos os trechos foram construídos com a camada de base com RAP espumado, utilizando ligante convencional CAP 50/70 e o fresado retirado de trechos próximos sob concessão da CART. Os subtrechos são contíguos possuindo, cada um, 50 m de extensão. Além disso, o tráfego utilizado para o dimensionamento da solução é de $8,47 \times 10^7$, considerando um período de projeto de 10 anos.

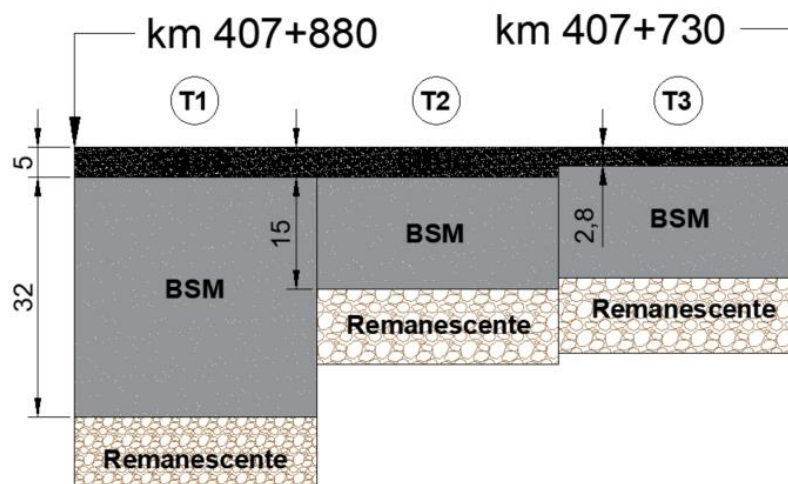


Figura 2. Soluções do trecho experimental.

3.2 Sondagem e coleta de materiais

Além da avaliação dos novos materiais que irão compor as camadas, neste caso o fresado espumado e o CBUQ como revestimento, foi analisado o material remanescente após a fresagem. Por meio dessa análise e da caracterização adequada dos materiais, é possível obter sua previsão de danos em programas de dimensionamento mecânico-empíricos, tal como o MeDiNa, e compará-la ao observado em campo. Nesse sentido, antes mesmo à construção do TE, foram abertos poços de sondagem para identificação das camadas existentes e para a coleta do material. Os novos materiais das camadas foram coletados no momento da construção, de forma que pudessem ser levados ao laboratório para análise. O material remanescente do subleito, identificado como uma argila arenosa vermelha, foi avaliado de acordo com a classificação MCT, granulometria, limites de Atterberg, curva de compactação, ensaios de expansão, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Módulo de Resiliência (MR).

3.3 Avaliações funcional e estrutural

As avaliações funcional e estrutural do TE têm sido realizadas por meio do levantamento em campo dos defeitos de superfície, no particular início e progressão do trincamento e afundamento em trilha de roda (ATR), e bacias de deflexão. O monitoramento deflectométrico para obtenção das bacias de deflexão tem sido realizado com uso de Viga Benkelman (VB) e FWD.

No dia 02 de julho de 2021 foram medidas as deflexões do trecho compreendido entre o km 407+880 e 407+631, de 20 em 20 metros, com os equipamentos FWD e VB. Mais do que fornecer os parâmetros para posterior retroanálise e obtenção do módulo de resiliência das camadas em campo, foi possível verificar correlação entre FWD e Viga, específicos para o TE. Ambas as leituras foram realizadas no mesmo dia e hora e exatamente nos mesmos pontos, o que permitiu uma correlação mais adequada e específica para o trecho.

No programa de monitoramento do TE, foram estabelecidas as datas das leituras com base nos resultados encontrados na literatura, que indicam rápida redução da deflexão nos primeiros meses, diminuindo a velocidade, tendendo à estabilização. Martínez *et al.* (2013) verificaram uma redução da deflexão de 130 para 50 em 30 dias, atingindo o valor de 30 com 180 dias, estabilizando-se no valor de 20 após 270 dias. Apesar de cada mistura e cada procedimento de execução terem suas particularidades, adotou-se esse estudo como referência para o planejamento inicial do monitoramento. Nessa lógica, a fim de observar o comportamento da base de espuma de asfalto, no que diz respeito à consolidação do material com o passar do tempo e seu consequente aumento de rigidez, definiu-se um planejamento de leituras para o monitoramento do TE, apresentado na Tabela 1.

Com a redução das espessuras dos subtrechos, espera-se que o processo de deterioração ocorra de forma mais acelerada, o que justifica intervalos curtos de avaliação para compreensão do comportamento. Após esse período, os levantamentos serão feitos mensalmente e, depois, trimestralmente. No artigo, os resultados apresentados correspondem a 1 mês de levantamentos. Nesse período as leituras de deflexão foram feitas com Viga Benkelman. Posteriormente será utilizado o FWD.



Tabela 1. Cronograma de avaliação SP-270.

Avaliação/Data	21/10/21	04/11/21	11/11/21	23/11/21
Deflexões	x	x	x	x
Área trincada	-	x	x	x
ATR	-	x	x	x

Somando-se às avaliações das condições funcional e estrutural do pavimento, também foram realizadas leituras com o equipamento Geogauge, que é capaz de controlar, em campo, parâmetros de deformabilidade utilizados para o dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos (Silva, 2019). As leituras foram realizadas na camada do material remanescente após a fresagem do pavimento e na base de RAP com espuma de asfalto. De acordo com o Projeto NCHRP 10-65 (2009), recomenda-se o uso de Geogauge para o controle de qualidade das camadas granulares do pavimento, pois apresenta benefícios, tal como fornecer uma medida imediata do módulo de resiliência do material *in situ*.

4 Resultados e Análises

4.1 Construção dos trechos experimentais

A construção dos subtrechos experimentais ocorreu no dia 20 de outubro de 2021, onde foi realizada a fresagem do pavimento existente e a reciclagem com uma usina móvel. O processo de produção na usina foi iniciado após a entrada dos materiais, como o RAP e a cal. Em outro ponto, foi permitida a entrada de ligante, neste caso o CAP 50/70. Após o processo de espumação deste, por meio da injeção de água e ar, o ligante espumado foi misturado ao material fresado e à cal, nas quantidades do projeto de dosagem, obtendo-se a mistura final. A composição da mistura espumada foi de 2,4% de CAP 50/70 espumado, 1% de cal, 17% de pó de pedra e 83% de RAP. Uma vez produzida a espuma, esta foi levada a campo e aplicada no pavimento depois de fresado. Em seguida, foi realizada a compactação por meio de rolos pé de carneiro, liso e pneumático, respectivamente.

4.2 Geogauge

Foram realizadas medições com o Geogauge tanto na camada mais profunda após a fresagem de 37 cm, que corresponde à espessura total para construção do subtrecho T1, bem como no trecho onde foram fresados apenas 19 cm, que corresponde a espessura total de fresagem necessária para construção do subtrecho T2. Para o material da sub-base remanescente, foram encontrados valores da ordem de 266 MPa, enquanto para o subleito, valores da ordem de 205 MPa.

Conforme observado no poço de sondagem, a camada de sub-base em solo tem presença de cimento, mas em quantidades não conhecidas. Entretanto, não se verifica uma diferença significativa de sua propriedade elástica em relação à camada do subleito. Como o material da sub-base é o mesmo do subleito, talvez a adição de cimento seja de baixa proporção, produzindo um solo melhorado com cimento, mas de comportamento próximo ao de um material granular.

A obtenção do módulo de resiliência desta camada por meio de ensaios de campo, tendo também como exemplo a retroanálise da bacia de deflexão, pode ser mais razoável que a realização de ensaios laboratoriais, tendo em vista a dificuldade em reproduzir o solo melhorado com cimento em laboratório. Devido a proximidade dos valores dos módulos das camadas de subleito e sub-base e a pouca espessura remanescente da sub-base, a utilização de valores entre 200 e 260 MPa é uma ordem de grandeza para elaboração de análises.

4.3 Condição Estrutural

Como mencionado, as deflexões foram avaliadas antes mesmo à reciclagem e construção dos trechos. Por meio dessa avaliação, foi possível analisar a correlação entre as deflexões obtidas pelo FWD e VB, para aquela situação, buscando compará-la às leituras posteriores. Na Figura 3 apresentam-se as relações entre as deflexões máximas (D_o) medidas com os equipamentos Viga Benkelman (D_{VB}) e FWD (D_{FWD}). O modelo adotado para definir a correlação foi obtido por uma linha de tendência de regressão linear ($D_{VB} = a + b.D_{FWD}$), conforme elaborado por Pinto (1991). Ainda que a correlação obtida seja representativa do pavimento antigo, fornece dados preliminares próximos do módulo de resiliência do subleito.

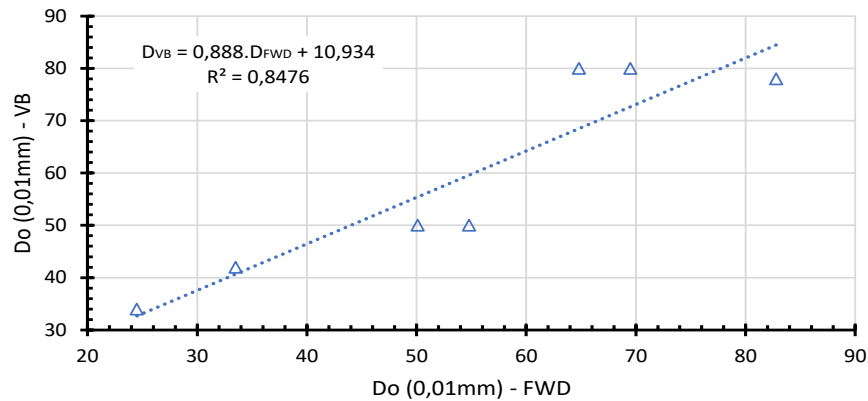


Figura 3. Correlação entre deflexões do FWD e VB.

Observa-se boa correspondência entre ambos os parâmetros ($R^2 > 0,8$), o que permite, em análises posteriores, a realização da conversão dos dados de VB em FWD para definição do MR por meio de retroanálises das bacias de deflexão. No ano de 2022, será feita nova campanha de FWD em conjunto com a VB, mas no pavimento com a estrutura diferente da obtida na correlação ora apresentada, ou seja, na nova estrutura construída, podendo se verificar outra correlação. Por isso, estudos de retroanálise para avaliar o aumento do MR ao longo do tempo, em função da redução da deflexão, ainda estão sendo avaliados. Na Figura 4 são apresentadas as bacias deflectométricas medidas nos Trechos T1, T2 e T3, respectivamente.

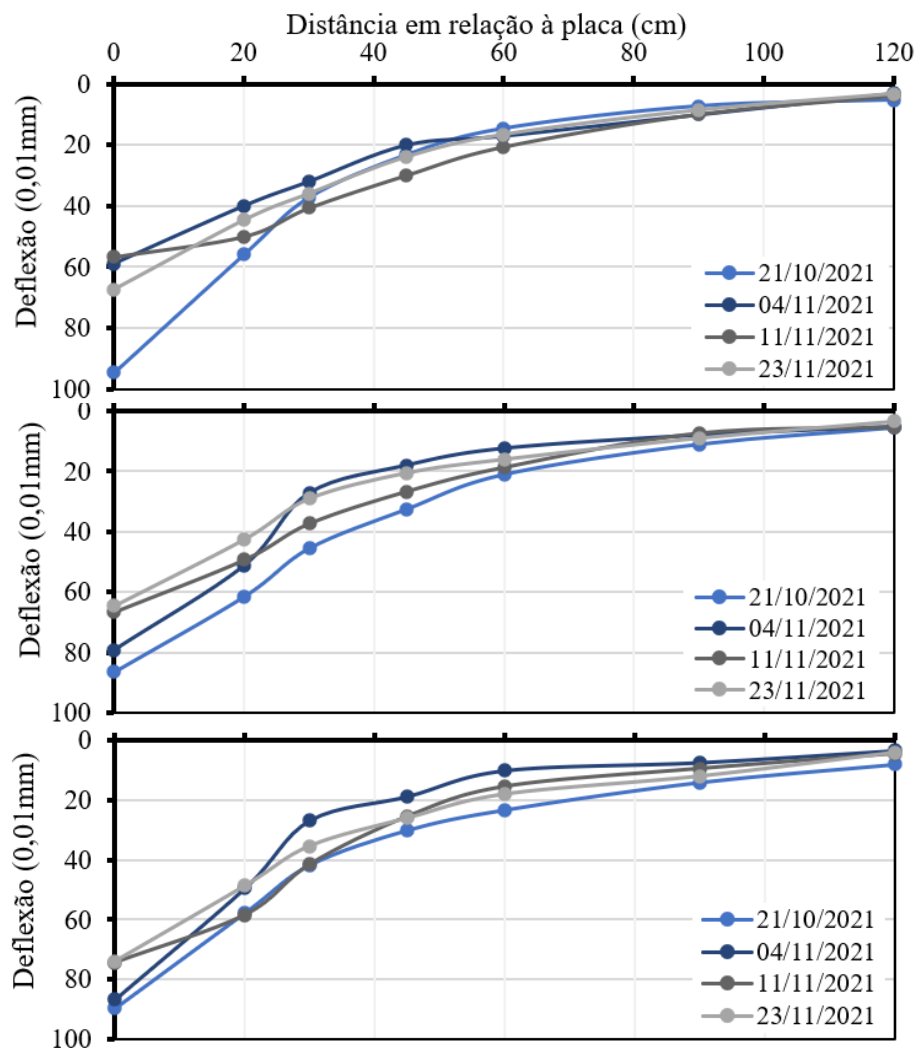


Figura 4. Bacias deflectométricas dos subtrechos T1, T2 e T3.



Ainda que preliminarmente, tendo em vista que os resultados apresentados datam de apenas um mês, é possível perceber a redução das deflexões do trecho, o que corrobora com a expectativa observada nas bibliografias, do ganho de coesão e de resistência devido à consolidação da espuma de asfalto. No subtrecho T1, quando analisada a deflexão máxima (Do) isoladamente, conforme Figura 5, percebe-se um comportamento distinto dos demais trechos. Contudo, analisando globalmente, verifica-se a tendência de redução da deflexão, tal como os demais trechos, principalmente ao comparar a primeira e última leituras. Para o período de monitoramento não foram observados trincamento na superfície do revestimento e afundamento em trilha de roda.

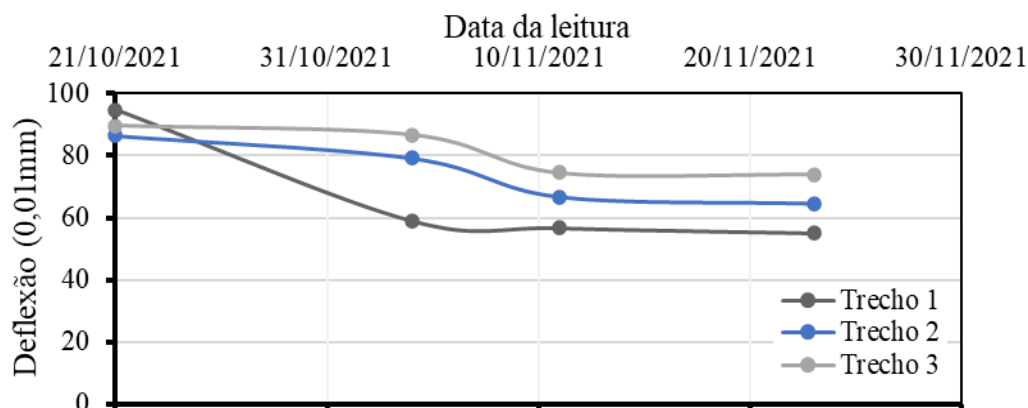


Figura 5. Deflexões Máximas (Do): T1, T2 e T3.

O baixo decréscimo das deflexões pode ser justificado pelo processo de compactação e cura da espuma, bem como pela temperatura do pavimento nas datas das medições. Como a região encontra-se em uma estação muito quente e com presença de chuvas periódicas, as deflexões podem ser influenciadas enquanto o decréscimo ainda não é expressivo. A continuidade do monitoramento permitirá uma melhor avaliação. Além disso, nos trechos construídos, foi utilizada a cal como filler, o que implica em um processo de cura mais lento, quando comparado ao cimento, que foi o aglomerante hidráulico utilizado na pesquisa de Martínez *et al.* (2013).

5 Conclusões

O ciclo de vida dos pavimentos rodoviários envolve ensaios, projetos, produção de materiais, construção, operação, manutenção, restauração e disposição final de resíduos ao final da vida útil. Nas obras de restauração, recuperação ou reconstrução dos pavimentos, normalmente são realizadas remoções das camadas, por meio de fresagem, gerando um material que pode ser aproveitado ou descartado. A opção de aproveitamento do fresado tem importância ambiental, pois gera um ciclo de reutilização de materiais, evitando descartes inapropriados e reduzindo o uso de recursos naturais e do consumo de energia.

Buscando avaliar o desempenho de soluções sustentáveis de pavimentos, nas quais o fresado é utilizado na camada de base com espuma de asfalto, foi implantado um Trecho Experimental composto por 3 subtrechos com diferentes estruturas de pavimento, tendo em comum a base mencionada. Para compreender o comportamento, foi estabelecido um programa de monitoramento das condições funcional e estrutural, cujas informações serão confrontadas com a ação dos agentes externos (clima e tráfego) e com resultados de ensaios laboratoriais. Tendo em vista métodos de dimensionamento mecânico-empíricos, destacam-se os ensaios para obtenção de parâmetros que levam em consideração as tensões e deformações resultantes de carregamento cíclico, tais como módulo de resiliência e deformação permanente.

No artigo são apresentados os métodos empregados para a avaliação do desempenho do trecho experimental e os primeiros resultados das campanhas de monitoramento das bacias de deflexão, afundamento em trilha de roda e início e progressão do trincamento. Observa-se uma tendência da redução da deflexão e, como consequência, um aumento do módulo de resiliência da base *in situ*. Também será possível verificar o momento de estabilização da condição estrutural. O decréscimo da deflexão não tem sido igual à velocidade da redução observada na literatura. Dentre as possibilidades, isto pode ser resultante do processo executivo de

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

compactação da camada de base e o uso de cal como filler, cujo tempo de cura é maior que o do cimento. Para o curto período de monitoramento, não foi observado trincamento na superfície do revestimento. Apesar da redução da deflexão, normalmente associada à consolidação do material da base, não há ATR nas medições realizadas. Aspecto interessante, visto que se esperava a evolução de ATR, condição não desejável com a redução da deflexão. Os resultados preliminares vêm indicando a potencialidade do pavimento sustentável com incorporação de material fresado, em rodovias de tráfegos elevados, como do trecho de rodovia avaliado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Concessionária Auto Raposo Tavares (CART), o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR/DNIT), o Laboratório de Infraestrutura (InfraLab) da Universidade de Brasília (UnB) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASPHALT ACADEMY (2020), *Technical Guideline: Bitumn Stabilised Materials, A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Stabilised Materials*, TG2, South Africa.
- BONFIM, Valmir. Pavimento Sustentável, 1 ed., São Paulo: Exceção Editorial e Eventos, 2021.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Resolução nº 14, de 08 de julho de 2021.
- Guatimosim, F. V. (2015). *Mechanical behaviour and structural performance of recycled foamed bitumen stabilized materials*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo / USP, São Paulo, 2015.
- Guatimosim, F. V., Vasconcelos, K., Kuchiishi, A. K., & Bernucci, L. L. B. (2019). *Field evaluation of high level roads with foamed bitumen stabilized base layers. In Airfield and Highway Pavements 2019: Testing and Characterization of Pavement Materials*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- MARTINEZ, R. M., BONFIM, V., PAIVA, C. E. L de., Retroanálisis para Estimar los Módulos de las capas de un Pavimento Reciclado con Espuma de Asfalto, 01/2013, XVII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Vol. único, pp.205-215, Guatemala, Guatemala, 2013.
- Pinto, S. (1991). Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos. Rio de Janeiro.
- Silva, C. A. U., Barroso, S. H., Maia, C. L., (2019) Avaliação do equipamento Geogauge para ser utilizado no controle de qualidade de camadas granulares de pavimentos flexíveis, 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, Balneário Camboriú, Santa Catarina.
- Transportation Research Board NCHRP National Cooperative Highway Research Program. NCHRP REPORT 626: NDT Technology for Quality Assurance of HMA Pavement Construction. Project 10-65, Washington, D.C., 2009. ISSN 0077-5614. ISBN: 978-0-309-11777-7.
- WIRTGEN (2012). *Manual de Tecnologia de Reciclagem a frio Wirtgen*. 1 ed. Alemanha.