

19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



025º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

AVALIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE EM MISTURA RECICLADA A FRIO ATRAVÉS DE ENSAIOS TRIAXIAIS DE CARGAS REPETIDAS DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Lisley Madeira Coelho¹; Lidiane Hellen dos Santos Santana¹; William Wilson dos Santos¹; Antonio Carlos Rodrigues Guimarães¹; Cláudio Rafael Cicuto Landim Alves Moreira¹; Ciro José de Azevedo Junior¹; Marco Aurélio Machado da Silva²; Felipe José da Silva².

RESUMO

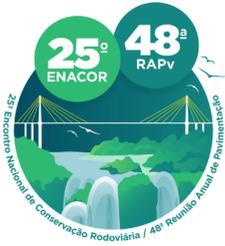
A melhoria da qualidade e durabilidade das estradas tem sido objeto de intensa pesquisa e a reciclagem a frio surge como uma técnica promissora, que aproveita materiais já presentes na pavimentação, como o asfalto, para produzir novas camadas de base. É importante ressaltar que este estudo se concentrou especificamente no material reciclado para base de pavimentos, que têm um impacto direto no afundamento de trilhas de rodas. Portanto, essa pesquisa tem o potencial futuro de proposição de uma metodologia que permita uma avaliação preditiva do comportamento da mistura reciclada para base de pavimentos e um potencial significativo para agilizar a sua caracterização. Neste artigo, apresentamos uma avaliação da deformação permanente da mistura reciclada a frio em camada de base a partir de ensaios de multiestágios. A metodologia adotada para desenvolver a avaliação baseou-se em ensaios triaxiais de cargas repetidas para diferentes proporções de emulsão (1% a 5%). Verificou-se que a granulometria do material fresado e sua composição desempenham um papel fundamental na interação com a emulsão e no comportamento da mistura e que a utilização da abordagem de multiestágios mostrou-se viável para prever o comportamento da mistura e comparar diferentes proporções de emulsão. Além disso, houve um aumento da deformação permanente ao ser incrementado material emulsificante ao traço, logo, considerou-se que a utilização de 1% do ligante já seria suficiente para compor a mistura, como também, é a melhor opção dentre as amostras ensaiadas, com deformação total entre 3mm a 3,9mm.

PALAVRAS-CHAVE: Material reciclado, emulsão, comportamento mecânico, multiestágio.

ABSTRACT

The improvement of road quality and durability has been the subject of intense research, and cold recycling emerges as a promising technique that utilizes materials already present in the pavement, such as asphalt, to produce new base layers. It is important to note that this study focused specifically on recycled material for pavement base, which has a direct impact on wheel path rutting. Therefore, this research has the future potential to propose a methodology that allows predictive evaluation of the behavior of the recycled mixture for pavement base and significant potential to expedite its characterization. In this article, we present an evaluation of the permanent deformation of the cold recycled mixture in the base layer based on multi-stage tests. The methodology adopted to develop the evaluation was based on repeated triaxial tests for different proportions of emulsion (1% to 5%). It was found that the gradation of the milled material and its composition play a fundamental role in the interaction with the emulsion and the behavior of the mixture. The use of the multi-stage approach proved to be feasible in predicting the behavior of the mixture and comparing different proportions of emulsion. Furthermore, there was an increase in permanent deformation when the emulsifying material was added to the mix. It was considered that the use of 1% of the binder would already be sufficient to compose the mixture and is also the best option among the tested samples, with a total deformation ranging from 3mm to 3.9mm.

KEY WORDS: Recycled material, emulsion, mechanical behavior, multi-stage.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



¹ Instituto Militar de Engenharia, e-mail: macedralisley@gmail.com; william_wilson94@hotmail.com; lidiane.santos@ime.eb.br; guimaraes@ime.eb.br; cirojajunior01@gmail.com; claudio.rafael@ime.eb.br

² Universidade Federal Fluminense, email: marcoareliouff@hotmail.com; felipe.silva@ifri.br

INTRODUÇÃO

Normalmente, a restauração das rodovias envolve a aplicação de novas camadas de revestimento asfáltico, com ou sem fresagem prévia, como parte do processo de manutenção. No entanto, esse método pode causar impactos ambientais significativos, devido ao aumento do consumo de recursos naturais, e nem sempre é uma solução técnica ideal devido a problemas de trincas reflexivas (ASRES 2021; ZIARI *et al.* 2020; ELLIOT *et al.* 2023; AMINI, 2005; DEMPSEY, 2002; PAIS, 2013), ou com pouco ganho estrutural para o pavimento.

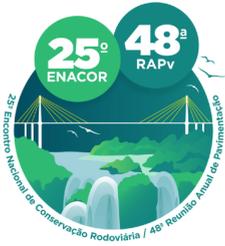
A utilização de novos agregados para reabilitação de pavimentos asfálticos pode iniciar um novo ciclo de exploração de jazidas, produção de materiais e transporte, o que pode resultar em impactos ambientais significativos e aumentar os custos gerais de construção (SANTOS, 2022; ELLIOT *et al.* 2023).

Sendo assim, a reciclagem de pavimentos tornou-se uma opção interessante devido ao seu custo, que pode ser até 50% menor do que as técnicas convencionais de reabilitação (SALOMON & NEWCOMB, 2000).

À medida que as técnicas de reciclagem de pavimentos se tornam cada vez mais comuns, há um aumento na realização de pesquisas para explorar a aplicação de materiais recicláveis em diferentes camadas de pavimentos asfálticos (MONTEPARA *et al.* 2012; GRILLI *et al.*, 2013; ISOLA *et al.*, 2013; YUAN *et al.*, 2011; ANDRADE, 2016).

O processo mais comum de reciclagem de pavimentos é o reaproveitamento das camadas asfálticas fresadas como agregado para produzir novas misturas asfálticas. No entanto, pavimentos que apresentam problemas estruturais mais graves podem precisar de uma camada reforçada ou de uma intervenção mais profunda, que alcance as camadas granulares de base e sub-base. Neste caso, entre os usos mais apropriados para esse tipo de material, está a produção de misturas asfálticas recicladas a frio constituídas de RAP misturado à emulsão asfáltica como tentativa de formar ligações flexíveis entre as partículas do agregado fresado, e resultando em uma maior coesão e em uma maior resistência à deformação permanente (KAVUSSI & MODARRES, 2010).

Apesar de todas as vantagens e de seu uso comum atualmente pelo meio técnico, para o projeto de misturas asfálticas recicladas a frio, é utilizada a metodologia Marshall, proposta por Arra (2015) e Wirtgen (2012), DNER-ME 107/94 e também utilizada em diversos estudos tais como David



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



(2006), Silva (2011), Andrade (2016), Mollenhauer *et al.* (2016), Filho *et al.* (2020), Sachet (2012); Rosa *et al.* (2015), Meneses *et al.* (2020); Lin *et al.* (2017) e Moghadam *et al.* (2017), mesmo se tratando de camadas de base ou sub-base.

Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa é avaliar a deformação permanente de misturas produzidas com fresado asfáltico e emulsão para camada de base, a partir de ensaios triaxial de cargas repetidas utilizando a metodologia multiestágios.

REVISÃO DE LITERATURA

A fresagem é uma técnica aplicada na recuperação, manutenção e reabilitação de pavimentos deteriorados. Trata-se da remoção da camada desgastada e superficial de um pavimento betuminoso. Além disso, segundo a ES 159 (DNIT, 2011) a fresagem pode ser realizada a quente ou a frio, resultando em partículas de dimensões finas que dependem da profundidade do corte, velocidade da máquina, do sentido de rotação do cilindro fresador, da quantidade de material e do teor de asfalto.

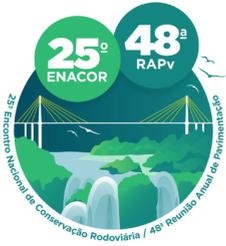
Desse processo, é obtido o “RAP”, definido como qualquer material asfáltico obtido por meio da recuperação de um pavimento existente. Como características principais do RAP estão o ligante de betume e a granulometria, além da predisposição das partículas maiores do material de se fragmentarem quando submetidas às forças da mistura da compactação. Para Wirtgen (2012), a granulometria desse material é influenciada pelas condições do asfalto existente e do modo de operação da fresagem.

Segundo Santana (1992), as misturas asfálticas a frio (pré-misturado a frio (PMF), a lama asfáltica, o microrrevestimento asfáltico e a mistura asfáltica reciclada (MEDINA; MOTTA, 2005; BALBO, 2007; BERNUCCI *et al.*, 2008)), podem proporcionar um tempo de estocagem maior do que as misturas a quente e não requerem aquecimento dos agregados para o preparo da mistura e execução do revestimento asfáltico. A mistura final é geralmente utilizada como camada de base, sendo posteriormente revestida com uma ou mais camadas de uma mistura betuminosa nova. Para a dosagem dessas misturas, normalmente, utilizam-se os critérios volumétricos da metodologia Marshall, detalhados na norma DNER-ME 107/94.

Ensaio Para Análise Da Deformação Permanente

A deformação permanente faz parte de uma série de critérios importantes para a seleção de materiais e análise do comportamento das camadas de um pavimento, e é definida como o acúmulo de parcelas irrecuperáveis resultantes da aplicação de cargas repetidas ao pavimento, sendo considerada um dos defeitos estruturais mais comuns que o pavimento asfáltico pode apresentar.

Para fins de dimensionamento no Brasil, a norma DNIT 179/2018 - IE (DNIT, 2018) estabelece as diretrizes para o ensaio de deformação permanente (DP). Essa norma define nove conjuntos de níveis de tensão para o ensaio, realizado com ciclos de 1 a 5 Hz. Recomenda-se especialmente a frequência de 2 Hz, desde que cada pulso tenha uma duração de 0,1 segundo. Para obter as



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



constantes do modelo de regressão não linear, a norma requer um mínimo de seis corpos de prova. Assumindo a frequência recomendada de 2 Hz e 150.000 ciclos de carga, cada ensaio completo levaria, em média, cerca de 20 horas e cinquenta minutos para cada par de tensão escolhido em cada corpo de prova.

Em contrapartida, no ensaio do tipo multiestágios são aplicados diferentes estados de tensões no mesmo corpo de prova para determinado número de ciclos, diferentemente do tipo estágio único, em que é necessário a utilização de diversos corpos de prova submetidos a diferentes pares de tensões cada um. Essa técnica está descrita na norma europeia EN 13826-7 (2004), que estabelece diretrizes para o ensaio e tem como propósito avaliar de maneira mais eficiente a resposta do material a diferentes solicitações. Alguns estudos na literatura que utilizaram essa técnica aplicada no dimensionamento das camadas de um pavimento incluem: Ullah et al., (2022), Maghool et al., (2022); Khasawneh, (2020); Bilodeau et al., (2013); Gidel et al., (2001).

MATERIAIS E MÉTODOS

O material fresado foi coletado na usina de asfalto da prefeitura do Rio de Janeiro, localizada no bairro Caju, e proveniente das intervenções realizadas na cidade. Na Figura 1 pode ser observado o local de depósito e beneficiamento do material reciclado, sendo que, neste beneficiamento, o fresado bruto é fracionado e dividido em três amostras: RAP 1 (material retido na peneira # $3/8$), RAP 2 (material retido na peneira #4) e RAP 3 (material passante na peneira #4). A Figura 2 e o Gráfico 1 representam a característica visual e granulométrica das amostras, respectivamente.

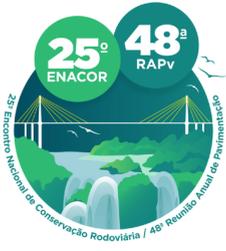


Figura 1. Local de depósito e beneficiamento do material fresado (AUTOR, 2023).



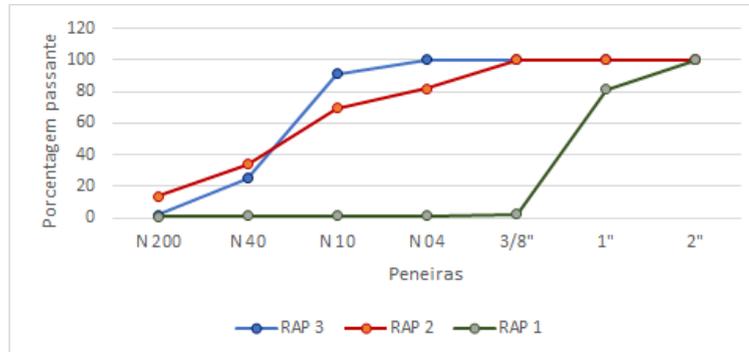
Figura 2. Material proveniente do beneficiamento (Autor, 2023).

Gráfico 1. Curva granulométrica de cada fracionamento (AUTOR, 2023).



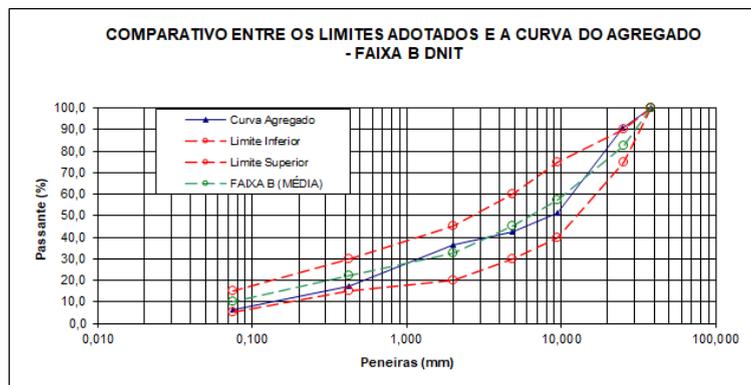
19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Pelo método das tentativas obteve-se a composição granulométrica da mistura reciclada, para um enquadramento na Faixa B da norma DNIT 141/2022 – ES, utilizando-se as peneiras 2" (50,8 mm), 1" (25,4 mm), 3/8" (9,5 mm), #4 (4,8 mm), #10 (2,0 mm), #40 (0,42mm) e #200 (0,074 mm). A composição estabelecida foi de 50% de RAP1, 45% RAP2 e 5% do RAP3. A representação da composição final adotada é apresentada no Gráfico 2.

Gráfico 2. Composição final adotada neste estudo (AUTOR, 2023).

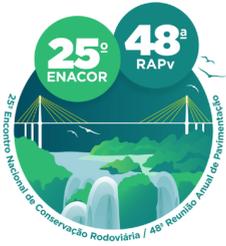


Com os materiais caracterizados iniciou-se o procedimento de dosagem das misturas recicladas, para a quantificação da emulsão a ser adicionada às misturas, para garantir o seu teor ótimo. O procedimento realizado é similar ao de compactação de solos e materiais granulares, porém, neste caso a avaliação do teor ótimo de emulsão foi verificado a partir da análise mecânica de deformação permanente pelo método multiestágios (DPM). A compactação dos corpos de prova (CPs) foi realizada na energia modificada (21 golpes), no molde tripartido de 100 x 200 mm e realizada em 10 camadas. Os teores de emulsão variaram de 1% a 5%, sendo identificados nessa pesquisa como TR01 a TR05.

A emulsão (EAP) utilizada é proveniente da CBB asfaltos, do tipo emulsão asfáltica catiônica de ruptura média (RM1C), e suas características são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Característica da emulsão utilizada (AUTOR, 2023).

Características	Unidade	Método de ensaio	Resultados	Limites	
				Mín	Máx



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Resíduo asfáltico	% (m/m)	NBR 14376	62	62,0	-
Viscosidade Saybolt Furol, 50 °C	ssf	NBR 14491	22	20	200
Peneiramento, retido na peneira 0,84mm	% (m/m)	NBR 14393	0	-	0,1
Sedimentação, 5 dias, diferença do resíduo entre topo e fundo	% (m/m)	NBR 6570	1,2	-	5
Carga da partícula	-	NBR 6567	Positiva	Positiva	
Desemulsibilidade	% (m/m)	NBR 6569	17,89	-	50
Resistência a água	%	NBR 14249	85	80	-
Solvente destilado	% v/v	NBR 6568	0	0	12

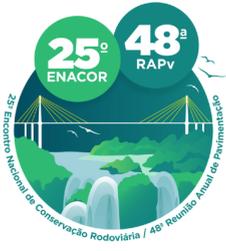
Além disso, para caracterizar as misturas, obtiveram-se as porcentagens de ligante residual em cada traço, e o procedimento foi realizado pelo ensaio de extração de ligante no Rotarex elétrico, por meio de centrifugação, seguindo a norma DNER-ME 053 (DNER, 1994). Sendo assim, os teores de ligante identificados em cada traço foram: TR01 (4,56%); TR02 (4,91); TR03 (4,64); TR04 (5,33); TR05 (4,95).

Antes de serem submetidos ao ensaio de deformação permanente, os CPs permaneceram ao ar livre por 48h. Após esse período, realizou-se o ensaio DPM na frequência de 5 Hz, o que significa a aplicação de carga de 300 ciclos por minuto. No ensaio de deformação permanente tradicional, é necessário um CP para cada par de tensão e no DPM, é utilizado apenas um CP para cada tensão confinante, e com aplicação de 5.000 ciclos por par de tensão, sem condicionamento prévio das amostras. Portanto, para a realização dos ensaios serão utilizados 3 CPs por traço, totalizando 15 Cps para a determinação dessa dosagem. A Figura 3, apresenta a sequência de homogeneização das amostras, compactação e ensaio.



Figura 3. Procedimentos para ensaio de deformação permanente. a) Fase inicial de homogeneização; b) Fase intermediária de homogeneização; c) mistura final homogeneizada; d) Corpos de prova compactados; e) Corpo de prova sendo ensaiado (AUTOR, 2023).

Vale ressaltar ainda que, durante a mistura do RAP + emulsão, houve dificuldades em homogeneizar o material, visto que, os grumos maiores não estavam sendo envolvidos por completo pelo ligante, e assim, dificultando a obtenção de uma mistura homogênea. Mesmo com a adição de maiores porcentagens de emulsão esse fato ocorria.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas de deformação permanente ao longo dos 25.000 ciclos para cada um dos três ensaios podem ser visualizadas nos Gráficos 3 a 7. A cada 5.000 ciclos de aplicação de carga foi realizada a mudança do par de tensões. Sendo utilizado três níveis de tensão confinante fixas, representadas nos gráficos por “Sequência 1; Sequência 2 e Sequência 3”, referente a 50; 70 e 100 KPa respectivamente. As razões σ_d/σ_3 , variaram de 1 a 3, com cinco variações de pares de tensão.

Gráfico 3. Comportamento da mistura com 1% de emulsão (AUTOR, 2023).

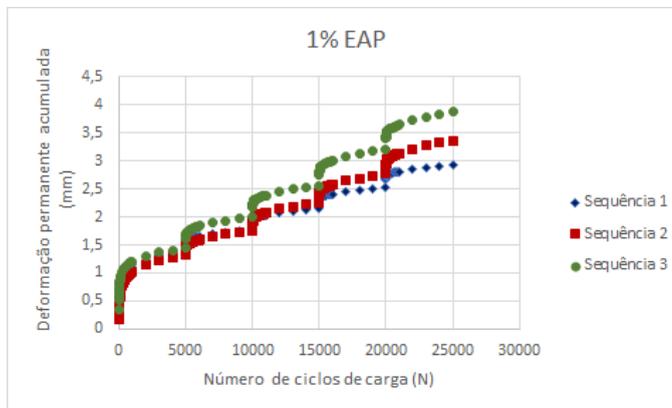


Gráfico 4. Comportamento da mistura com 2% de emulsão (AUTOR, 2023).

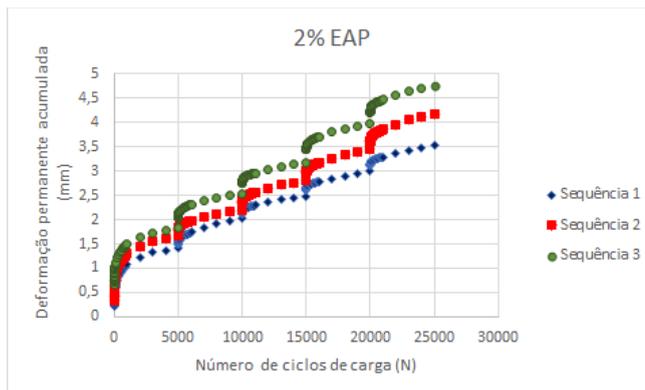
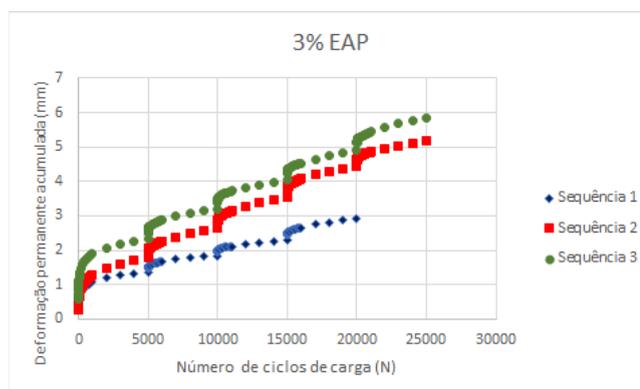
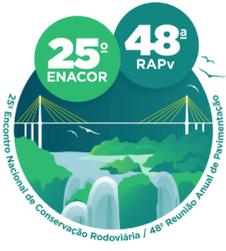


Gráfico 5. Comportamento da mistura com 3% de emulsão (AUTOR, 2023).





19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



Gráfico 6. Comportamento da mistura com 4% de emulsão (AUTOR, 2023).

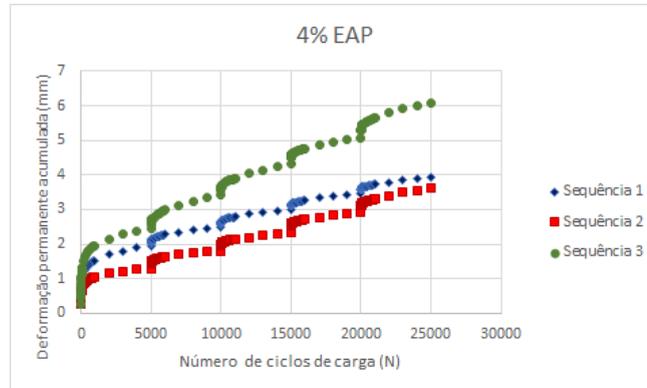
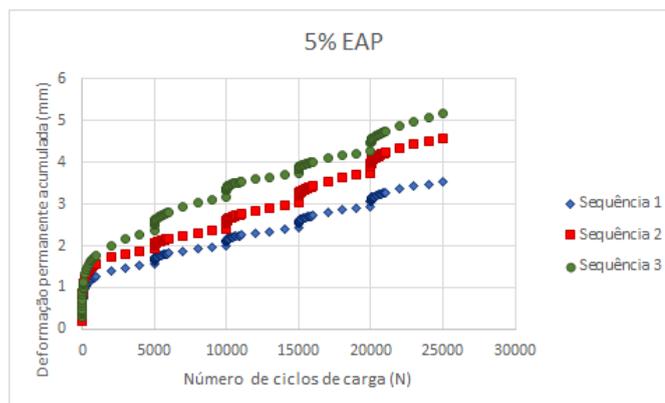


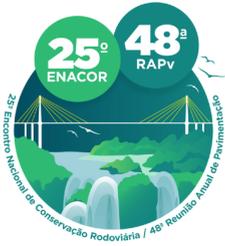
Gráfico 7. Comportamento da mistura com 5% de emulsão (AUTOR, 2023).



Nos primeiros estágios de cada nível de carga, que apresenta razão σ_d/σ_3 unitária, as deformações foram pequenas e o comportamento tendeu a uma estabilização temporária. No entanto, em seguida, ocorrem novas deformações quando exposto a uma razão de tensão superior, até alcançar um novo patamar de estabilização. Essa observação sugere que o material não alcança uma estabilização duradoura após os primeiros ciclos de carga. Em vez disso, continua a experimentar deformações significativas quando submetido a novos níveis de tensões, ou seja, deforma-se indefinidamente, de modo que não é possível observar o acomodamento.

Além disso, o equipamento utilizado não permite realizar os ensaios multiestágios de maneira automática, dessa forma, foram realizados sucessivos ensaios de deformação permanente do tipo estágio único em um mesmo corpo de prova e a configuração dos novos estágios foi feita manualmente, e era necessário inserir a nova altura de referência e o novo par de tensões. De acordo com Ullah & Tanyu (2019), a comparação da magnitude da deformação total acumulada no final do teste de DP pode ser ilusória.

Segundo Lima (2020), os materiais granulares para pavimentação são elastoplásticos e acumulam deformação permanente ao longo das solicitações de carga, havendo efeitos do histórico de tensões, sendo necessário levar isto em consideração quando se avalia materiais a partir de ensaios de



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



estágios múltiplos. Dependendo do material, este pode tender ao acomodamento ou, então, deformar ainda mais quando submetido a cargas consideráveis.

Porém, não se desejou obter a deformação permanente total, mas uma análise comparativa entre os corpos-de-prova moldados com diferentes teores de emulsão, para verificação da possibilidade de adoção deste procedimento para dosagens futuras.

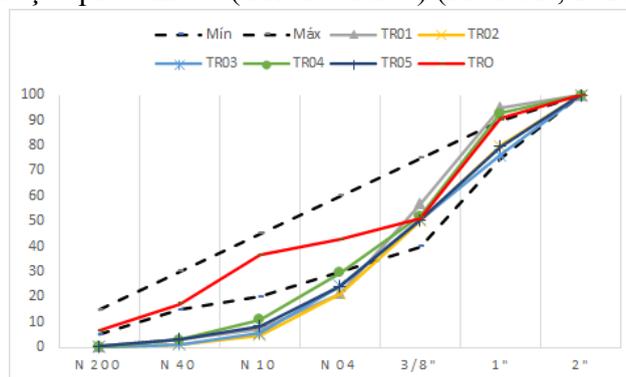
No estudo de Ullah S & Tanyu BF (2019), os autores confirmam que as propriedades do RAP (especialmente o conteúdo do ligante) influenciam o comportamento das misturas RAP-VA (RAP + Agregado Virgem) em testes triaxiais de cargas repetidas. Os testes de DP realizados nesse estudo mostraram que a adição de RAP ao VA aumenta as deformações permanentes.

Na pesquisa de Chakravarthi, S., et al. (2021) as misturas com 75% de RAP apresentaram maiores deformações permanentes quando submetidas ao ensaio dinâmico e o ligante residual combinado com o teor de asfalto emulsionado influenciaram nas características de deformação das misturas a frio

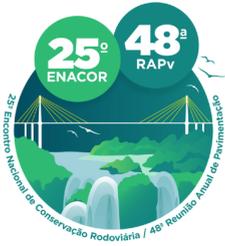
Ullah, S. & Tanyu, Chakravarthi, S., et al. (2021) demonstraram valores semelhantes a este estudo, em que misturas RAP-75% apresentaram DP de 3,55mm em 4.000 ciclos, como também, obtiveram deformações menores em teores mais baixos de asfalto emulsificado, principalmente utilizando menores quantidades de RAP. Dong et al. (2019) observaram deformação de 2 mm para 2500 ciclos em 3,5% de asfalto emulsionado e 1,5% de teor de cimento. Arimilli et al. (2016) encontraram menos de 3mm de deformação observados para misturas frias com RAP em 20.000 ciclos.

Outro fator evidenciado nas misturas produzidas no presente estudo, foi a variabilidade do material fresado e a discrepância de enquadramento granulométrico dos traços produzidos em comparação com o traço padrão enquadrado na faixa B do DNIT (Gráfico 8), como também, a dificuldade de homogeneização da mistura, observada na fase de confecção dos CPs (Figura 3).

Gráfico 8. Comparação entre o enquadramento granulométrico de referência (TRO) e os demais traços produzidos (TR01 a TR05) (AUTOR, 2023).



CONCLUSÕES



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O objetivo do estudo foi avaliar o comportamento de deformação permanente do material fresado com emulsão para camada de base por meio da metodologia multiestágios, e concluiu-se que:

- Os traços ensaiados apresentaram valores de deformação permanente iguais e até maiores que 4mm para um total de 25.000 ciclos em múltiplos estágios, sem acomodamento, o que pode ser considerado um valor alto para apenas uma camada, quando se sabe que o pavimento na totalidade dimensiona-se para um Afundamento de Trilha de Roda de 10 mm ao fim da vida útil. Porém, vale lembrar que se utilizou 100% de RAP e autores como, Ullah S & Tanyu BF (2019), Chakravarthi, S., et al. (2021) e B.F & Dawson, A. (2022) já alertaram sobre a maior deformação permanente em mistura com maior porcentagem desse material.
- Além disso, como forma de obter uma análise comparativa para verificação da possibilidade de adoção deste procedimento em dosagens futuras, foi possível concluir que, a utilização de 5.000 ciclos, em cada par de tensão, é representativa, uma vez que foi utilizado os mesmos pares de tensão em todas as amostras, variando apenas a porcentagem de emulsão. E em relação a essa variação, verificou-se um aumento da deformação permanente ao ser incrementado material emulsificante ao traço, logo, considerou-se que a utilização de 1% de EAP já seria suficiente para compor a mistura, como também, é a melhor opção dentre as amostras ensaiadas, com deformação total entre 3mm a 3,9mm.

Desse modo, pode-se considerar que a partir do ensaio de multiestágio é possível comparar padrões de deformação do material reciclado com emulsão, em camada de base, para uma avaliação preliminar, visando agilidade e conveniência na caracterização do material. Mesmo sendo notável a necessidade de outras análises comparativas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CBB asfaltos pelo apoio com o fornecimento da emulsão e a Usina de asfalto- Caju da prefeitura do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMINI, F. Potential applications of paving fabrics to reduce reflective cracking. Published Date: 2005-02-01 Report Number: FHWA/MS-DOT-RD-05-174 URL: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/24158>

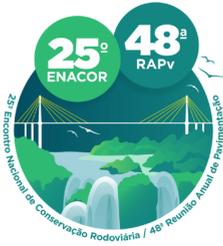
ANDRADE, L. R. Comparação do comportamento de pavimentos asfálticos com camadas de base granular, tratada com cimento e com estabilizantes asfálticos para tráfego muito pesado. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, Brasil, 2016.

ASRES, E.; GHEBRAB, T.; EKWARO-OSIRE, S. Framework for Design of Sustainable Flexible Pavement. Infrastructures 2022, 7, 6. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7010006>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16505: Misturas asfálticas - Resistência à deformação permanente utilizando o ensaio uniaxial de carga repetida. Associação Brasileira de Normas Técnicas / Organismo de Normalização Setorial de Petróleo (ABNT/ONS-034), 2016.

BALBO, J.T. Pavimentação Asfáltica – Materiais, Projeto e Restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI, L. B.; SOARES, J.B.; CERATTI, J.A.P.; MOTTA, L.M.G. Pavimentação asfáltica básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS- ABEDA, 2008. 501p.

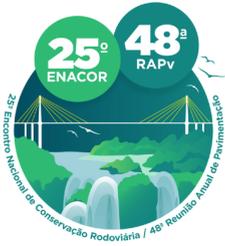


19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



- BILODEAU, J. P., DORÉ, G., E DEPATIE, J. (2013) Mitigation of permanent deformation in base layer containing recycled asphalt aggregates. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(2), 181–187. doi:10.1139/cjce-2012-0395
- DAVID, D. Misturas asfálticas recicladas a frio: estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado. Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2006.
- DE ALMEIDA, V.G et al. Diferentes Metodologias de Dosagem de Misturas Solo-RAP para Uso em Pavimentação. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 44, 2021.
- DEMPSEY, B. J. Development and Performance of Interlayer Stress-Absorbing Composite in Asphalt Concrete Overlays. *Transportation Research Record* 2002 1809:1, 175-183.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM- DNER. Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica - Ensaio Marshall. Método de Ensaio, 107/94. Rio de Janeiro: 1994a. 9p.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem ME 43 – Misturas Betuminosas a Quente – ensaio Marshall. 1995.
- ELLIOT, T., CARTER, A. GHATTUWAR, S., LEVASSEUR, A. Environmental impacts of road pavement rehabilitation, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 118, 2023, 103720, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103720>.
- FILHO W. U., KLINSKY, L. M. G., MOTTA, R., BERNUCCI, L. L. B. Cold Recycled Asphalt Mixture using 100% RAP with Emulsified Asphalt-Recycling Agent as a New Pavement Base Course. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2020, Article ID 5863458, 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2020/5863458>
- GIDEL, G., HORNYCH, P., CHAUVIN, J. J., BREYSSE, D., E DENIS, A. (2001) Nouvelle approche pour l'étude des déformations permanentes des graves non traitées à l'appareil triaxial à chargements répétés. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, (233).
- GRILLI, A., BOCCI, M., TARANTINO, A. M. Experimental investigation on fibre-reinforced cement-treated materials using reclaimed asphalt, *Construction and Building Materials*, Volume 38, Pages 491-496, 2013. ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.040>.
- ISOLA, M., BETTI, G., MARRADI, A., TEBALDI, G. Evaluation of cement treated mixtures with high percentage of reclaimed asphalt pavement, *Construction and Building Materials*, Volume 48, Pages 238-247, 2013. ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.042>.
- KAVUSSI, A., MODARRES, A. A Model for Resilient Modulus Determination of Recycled Mixes with Bitumen Emulsion and Cement from ITS Testing Results. *Construction and Building Materials*, Vol. 24, p. 2252- 2259. 2010.
- KAVUSSI, A.; MODARRES, A. A model for resilient modulus determination of recycled mixes with bitumen emulsion and cement from ITS testing results. *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 11, p. 2252-2259, 2010.
- KHASAWNEH, M. A. (2020) Permanent deformation behavior of cohesive subgrade soils classified as A-4a and A-6a. *Materials Today: Proceedings*, 33, 1762–1768. doi:10.1016/j.matpr.2020.04.875
- LIMA, Lara Batista Ferreira de; SILVA, João Paulo Souza; REZENDE, Lilian Ribeiro de. Investigation of Resilient Modulus and Permanent Deformation of Tropical Soil with Reclaimed Asphalt Pavement. Available at SSRN 4379750, 2023.
- LIN, J.; HONG, J.; XIAO, Y. Dynamic characteristics of 100% cold recycled asphalt mixture using asphalt emulsion and cement. *Journal of Cleaner Production*, v. 156, p. 337-344, 2017.
- MAGHOOL, F., ARULRAJAH, A., GHORBANI, B. & HORPIBULSUK, S. 2022, "Strength and permanent deformation properties of demolition wastes, glass, and plastics stabilized with foamed bitumen for pavement bases", *Construction and Building Materials*, vol. 320.
- MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. Mecânica dos pavimentos. 2ª.ed. Rio de Janeiro: 2005. 570 p.
- MENESES, J.P.C.; SAVASINI, K.V.; BERNUCCI, L.L.B. Efeito da distribuição de temperatura em base de pavimentos asfálticos composta de misturas recicladas a frio. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 34., 2020. 100% digital: ANPET, 2020.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



- MOGHADAM, B.B.; MOLLASHAHI, H.F. Suggesting a simple design method for cold recycled asphalt mixes with asphalt emulsion. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 23, n. 7, p. 966-976, 2017.
- MOLLENHAUER, K., SIMNOFSKE, D., VALENTIN, J., ČÍŽKOVÁ, Z., SUDA, J., BATISTA, F., MCNALLY, C. Mix designs for cold recycled pavement materials considering local weather and traffic conditions. 2016. 10.14311/EE.2016.357.
- OLIVEIRA, A. M., NASCIMENTO, M. V., LUCENA, A. E., SILVA, J. A. A., Estudo Do Comportamento Mecânico De Misturas Asfálticas Contendo Material Fresado A Partir Da Dosagem Marshall. Vii Congresso De Iniciação Científica Da Universidade Federal De Campina Grande. 2010.
- PAIS, J. The Reflective Cracking in Flexible Pavements. *Romanian Journal of Transport Infrastructure*, vol.2, no.1, 2015, pp.63-87. <https://doi.org/10.1515/rjti-2015-0012>
- RIBEIRO, R.M.C.A Reutilização de misturas betuminosas fresadas em pavimentos rodoviários. 2014. Tese de Doutorado. Universidade do Porto, Portugal, 2014.
- ROSA, F.D.; JORGE, F.S.; BRITO, L.A.T.; CERATTI, J.A.P. Análise do comportamento mecânico de um pavimento reciclado com adição de diferentes agentes estabilizadores. *Revista Transportes*, v. 23, n. 2, p. 95-104, 2015.
- SACHET, T. Estudo de propriedades mecânicas de concretos compactados com incorporação de fresados para bases de pavimentos. 2012. 186 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- SALOMON, A. NEWCOMB D. E. Cold in-place recycling literature review and preliminary mixture design procedure, Final Report, Department of Civil Engineering, University of Minnesota, Minnesota Department of Transportation Office of Research Services, MnDOT, St. Paul. 2000.
- SANTANA, H., Manual de pré-misturados a frio. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP), 1992. 298 p.
- SANTOS, G., F. Estudo da viabilidade técnica de emprego de cimento e emulsão asfáltica para estabilização de bases granulares. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. UFSM. 2022.
- SILVA, A. H. M. Avaliação do comportamento de pavimentos com camada reciclada de revestimentos asfálticos a frio com emulsão modificada por polímero. Dissertação de mestrado, USP, São Paulo, Brasil, 2011.
- SOARES, J.B.; FREITAS, F.A.C.; CASTELO BRANCO, J.V.; MOTTA, L.M.G. Método de Previsão do Teor Ótimo de Ligante em Misturas Asfálticas tipo CBUQ. 32a Reunião Anual de Pavimentação, ABPV, Brasília, v. I, p. 148- 160. 2000.
- SPECHT, L. P. Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus. Porto Alegre, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia)) — Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004
- Ullah S, Tanyu BF. Metodologia para desenvolver diretrizes de projeto para construir uma camada de base não consolidada com pavimento asfáltico recuperado (RAP). *Construir Build Mater* 2019;223: 463–76. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.196>.
- ULLAH, S., TANYU, B.F. & DAWSON, A. 2022, "Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) as an Unbound Base Course Material: A Mechanistic Design Approach Based on Multi-stage Repeated Load Triaxial Tests", *Transportation Geotechnics*, vol. 33.
- WERKMEISTER S, DAWSON AR, WELLNER F. Pavement design model for unbound granular materials. *J Transp Eng* 2004;130(5):665–74. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2004\)130:5\(665\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2004)130:5(665))
- WIRTGEN. Tecnologia de reciclagem a frio. Alemanha: Wirtgen GmbH, 2012
- YUAN, D., NAZARIAN, S., HOYOS, L., PUPPALA, A. Evaluation and Mix Design of Cement-Treated Base Materials with High Content of Reclaimed Asphalt Pavement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2212. 110-119. 10.3141/2212-12. 2011.
- ZIARI, H., ALIHA, M. R. M., SAGHAFI, Y. Crack resistance of hot mix asphalt containing different percentages of reclaimed asphalt pavement and glass fiber. *Construction and Building Materials*, Volume 230, 2020, 117015, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117015>.