

Estudo da Fadiga e da Deformação Permanente de Misturas Asfálticas Produzidas em Goiás

Fatigue and Rutting Study of Asphalt Mixtures Produced in Goiás

João Victor de Oliveira Coelho Guabiroba¹, Lilian Ribeiro de Rezende¹,
Laynara Xavier Barroso¹, João Paulo Souza Silva¹

¹Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Avenida Universitária, Quadra 86, Lote Área 1488, Setor Leste Universitário, 74605-220, Goiânia, GO, Brasil.

e-mail: jvguabiroba@gmail.com, lrezende@ufg.br, laynara.barroso@gmail.com, jpss@ufg.br

RESUMO

Este trabalho consiste na avaliação do comportamento mecânico, em especial da vida de fadiga, de algumas misturas asfálticas tradicionalmente utilizadas no estado de Goiás, Brasil. Para a preparação das amostras, a granulometria dos agregados foi definida por meio da metodologia Bailey e em seguida verificada pela Fração do Agregado Dominante (FAD). Além dos ensaios de fadiga, outros ensaios laboratoriais foram realizados para avaliação do comportamento mecânico das misturas. Os resultados obtidos nesta pesquisa indicaram que somente a seleção granulométrica a partir da metodologia Bailey não foi suficiente para que as misturas estudadas apresentassem melhorias quanto à deformação permanente, sendo necessário, portanto, a análise da porosidade FAD bem como da realização de ensaios mecânicos como o ensaio uniaxial de carga repetida para determinação do *Flow Number*. As misturas estudadas apresentaram bom comportamento quanto à fadiga se enquadrando na Classe 4 da metodologia utilizada no software brasileiro de dimensionamento de pavimentos (MeDiNA). Assim, constata-se que quanto à fadiga, as misturas estudadas podem ser consideradas satisfatórias. No entanto, em termos de deformação permanente elas não apresentaram o desempenho necessário, sendo que a adequação granulométrica baseada apenas na metodologia Bailey não foi suficiente para melhorar o *Flow Number*. A partir desses resultados, recomenda-se que a faixa indicada para o FAD seja atendida e que outros tipos de ligantes asfálticos sejam incorporados nessas misturas para obter melhor desempenho.

Palavras-chave: Pavimentação. Método Bailey. Porosidade FAD. Vida de fadiga. *Flow Number*.

ABSTRACT

This paper consists in the evaluation of asphalt mixtures regarding their mechanical behavior, especially the fatigue life of some asphalt mixtures traditionally used in the state of Goiás, Brazil. For sample preparation, the grain size distribution of the aggregates was defined using the Bailey methodology and then checked by the Dominant Aggregate Size Range (DASR). Besides the fatigue tests, other laboratory tests were performed to evaluate the mechanical behavior of the mixtures. The results obtained in this research were able to demonstrate that only the particle size selection from the Bailey methodology was not enough for a given mixture to present improvements in terms of permanent deformation. Therefore, analysis of the DASR porosity as well as mechanical tests such as the uniaxial repeated load test for determination of the Flow Number were necessary. The studied mixtures presented good fatigue behaviour and fit in Class 4 of the methodology used in the Brazilian design software (MeDiNA). Thus, this study points that for fatigue performance, the studied mixtures can be considered satisfactorily. However, in terms of permanent deformation they do not showed the necessary behavior, and the grain size adjustment based only at the Bailey method was not enough to improve the Flow Number. From these results, it is recommended that the DARS porosity range must be considered and other types of asphalt binders be incorporated into these mixtures to achieve their best performance.

Keywords: Pavement. Bailey Method. DASR Porosity. Fatigue life. Flow Number.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, os projetos de dimensionamento de pavimentos no Brasil têm sido realizados com base no empirismo sem considerar o comportamento mecânico das camadas e do pavimento como um todo. Dessa maneira, a execução de ensaios mecânicos que de fato simulem as solicitações de campo e a realização de projetos que levem em conta o dimensionamento mecanístico-empírico passam a ser de extrema importância a fim de se otimizar custos, garantir o atendimento a vida útil de projeto e aos critérios de segurança dos pavimentos.

Dentre os diversos fatores que afetam o comportamento mecânico de misturas asfálticas, pode-se dar destaque à seleção granulométrica dos materiais, sendo que, no Brasil, geralmente, são utilizadas faixas granulométricas pré-determinadas e a avaliação quanto à formação de um esqueleto pétreo que possa vir a gerar melhorias no comportamento mecânico não é realizada. Assim, é necessária a busca de procedimentos para melhoria na seleção de granulometrias que impactem positivamente no comportamento mecânico das misturas asfálticas.

Os principais danos mecânicos encontrados nos pavimentos asfálticos do Brasil são trincamento por fadiga e deformação permanente. A deformação permanente é caracterizada pela deformação plástica nas camadas do pavimento e a formação das “trilhas de roda”, enquanto que o segundo tem como fator principal as solicitações recorrentes devido ao tráfego que ocasionam a formação de trincas no revestimento.

Apesar de serem os danos mais comuns nos pavimentos brasileiros, os estudos quanto à fadiga e à deformação permanente ainda são pouco utilizados nos projetos de pavimentação no Brasil. Com a disponibilização do novo Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa), desenvolvido com base em análises mecanístico-empíricas, essas avaliações tornam-se necessárias. Assim, este trabalho apresenta como objetivo principal o estudo da fadiga e da deformação permanente de algumas misturas asfálticas utilizadas em obras de pavimentação executadas no estado de Goiás, bem como a avaliação quanto à seleção granulométrica dos agregados a serem utilizadas nas misturas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A dosagem de misturas asfálticas consiste na determinação de um teor “ótimo” de ligante para uma faixa granulométrica pré-determinada, sendo que esse valor “ótimo” pode variar com base no método de dosagem, energia de compactação, tipo de mistura e temperatura a qual o pavimento estará submetido [1]. As misturas asfálticas devem ser dosadas de modo a atenderem critérios mecânicos, de impermeabilização, segurança e durabilidade. Existem diferentes métodos de dosagem de misturas asfálticas, sendo que os mais utilizados no Brasil são a metodologia Marshall e a *Superpave*.

A metodologia Marshall de dosagem de misturas asfáltica foi desenvolvida durante a segunda guerra mundial com o intuito de ser eficaz para a construção de revestimentos asfálticos de aeroportos. Essa metodologia é baseada no empirismo e ainda é a mais utilizada no Brasil [1]. A partir da década de 1980 nos Estados Unidos, o alto tráfego e a presença de carregamentos maiores levaram a ocorrência de deformação permanente precoce nos pavimentos, e a partir desse problema, surgiu a necessidade da implantação de um novo método de dosagem que não usava mais a compactação por impacto do corpo de prova, mas sim a compactação por amassamento, que representa melhor as condições de campo [2]. A execução da compactação por amassamento pela metodologia *Superpave* se dá através de um determinado número de rotações do compactador giratório conforme disposto na norma PRO 178 [3]. Estudos comparativos entre as dosagens Marshall e *Superpave* demonstram melhor representatividade e comportamento mecânico nas misturas produzidas a partir da dosagem *Superpave* [4-8].

Além da forma de compactação das misturas asfálticas, a escolha da granulometria dos agregados também influencia no desempenho mecânico das misturas asfálticas. No Brasil, essa escolha é usualmente feita com base nas faixas granulométricas previamente definidas na norma ES 031 [9] de forma empírica. Logo, a escolha dessas faixas granulométricas não leva em consideração a granulometria que deixaria a mistura asfáltica mais estável e, conseqüente, com melhor resposta mecânica. Andrade *et al.* [10] concluíram que a composição granulométrica é uma variável fundamental para o desempenho mecânico das misturas asfálticas, principalmente com relação à resistência à ação deletéria da água, à deformação permanente e quanto à facilidade de compactação.

Atualmente, alguns procedimentos podem auxiliar na melhor definição da curva granulométrica. A metodologia Bailey visa selecionar a granulometria dos agregados de modo a promover um intertravamento entre os grãos que formarão o esqueleto do concreto asfáltico, sendo que esta metodologia é baseada nos volumes de vazios do agregado mineral, volume de ar e propriedades de compactação [11]. A metodologia Bailey tem a utilização somente na seleção dos agregados, podendo ser utilizada tanto na dosagem Marshall

quanto na *Superpave* [12].

Outra metodologia para análise da distribuição granulométrica do agregado é a metodologia da Fração do Agregado Dominante (FAD) que foi idealizada de modo que haja uma fração dominante suficientemente grosseira do agregado que forme um esqueleto pétreo capaz de resistir à deformação permanente, sendo que as partículas menores que a FAD tem a função de preencher os vazios e as partículas maiores não terão papel importante na estrutura [13]. A metodologia FAD é utilizada a fim de se verificar se a dosagem realizada atende ou não os critérios de porosidade FAD adequados indicados por Greene, Chun e Choubane [14].

Em seus estudos, Almeida Jr. *et al.* [15], avaliaram o comportamento de misturas asfálticas quanto à deformação permanente utilizando o mesmo tipo de agregado, mas variando os tipos de ligante e granulometria utilizados. Os resultados encontrados pelos autores constataram que o tipo de ligante é o maior fator de influência no comportamento quanto à deformação permanente, sendo que, a respeito da granulometria dos grãos, as misturas dosadas pela metodologia Bailey e FAD apresentaram melhor comportamento. Os piores resultados foram encontrados nas misturas com seleção granulométrica baseadas nas faixas preconizadas pelo DNIT [9].

O estudo realizado por Barros *et al.* [16] também investigou os efeitos dos agregados e da seleção granulométrica no desempenho de misturas asfálticas quanto à deformação permanente. Dentre as conclusões obtidas neste trabalho pode-se destacar o fato de que os parâmetros da metodologia Bailey e FAD não são suficientes para permitir uma análise precisa do desempenho das misturas asfálticas quanto à deformação permanente e que a mistura que apresentou resultados insatisfatórios de acordo com a metodologia FAD, apresentou bom comportamento em termos de *Flow Number* (FN). Por fim, os autores concluíram que as metodologias Bailey e FAD são ferramentas importantes para ajudar no equilíbrio volumétrico das misturas, apesar de não serem fatores determinantes para melhoria das mesmas quanto à deformação permanente.

A partir da dosagem das misturas asfálticas, é necessário que, em seguida, haja análise do comportamento mecânico dessas misturas de modo a possibilitar o dimensionamento da estrutura do pavimento e verificar seu comportamento mecânico que depende de dois aspectos: o funcional e o estrutural. O primeiro está ligado ao conforto e segurança do usuário, enquanto que o segundo implica na aptidão da estrutura responder aos esforços solicitantes prescritos em projeto.

Segundo Franco [17], o dimensionamento de pavimentos asfálticos envolve variáveis de difícil compreensão e modelagem, sendo que características do pavimento, agregados, temperatura e carregamento variam a cada projeto. Nesse sentido, quando se trata da análise mecânica de pavimentos asfálticos é necessário que haja a realização de ensaios laboratoriais para determinação de parâmetros físicos que correspondem aos esforços solicitantes, de modo a ter critérios de projeto mais confiáveis [18].

No Brasil, o dimensionamento mecânico-empírico se dá com auxílio do software MeDiNa recentemente implementado em sua versão 1.1.5 [19]. O MeDiNa considera o uso de fatores ambientais, resultados de ensaios mecânicos bem como correlações empíricas laboratório/campo para possibilitar o dimensionamento de pavimentos asfálticos. Santos *et al.* [20] avaliaram a influência da temperatura e da velocidade do tráfego na previsão da vida de fadiga de pavimentos. Para tanto, os autores realizaram simulações computacionais utilizando o software MeDiNa e comprovaram que um determinado pavimento aparentemente bem dimensionado para um local, pode não apresentar o mesmo desempenho em outro local com diferentes condições de temperatura e de velocidade de tráfego. Assim, percebe-se que além dos ensaios mecânicos, para o dimensionamento de pavimentos é necessário avaliar as condições climáticas e de tráfego, o que justifica o uso de mecânico-empíricos. Em outro estudo, Vendrusculo *et al.* [21] compararam pavimentos dimensionados pelo método do DNER (1981) e utilizando o software MeDiNa. O dimensionamento pelo método do DNER se mostrou ineficaz quanto ao trincamento por fadiga, sendo que este é um dos danos de maior ocorrência no Brasil.

Uma das patologias mais comuns que existem nos pavimentos brasileiros é a fadiga do concreto asfáltico. Para entender este fenômeno existem diversos ensaios e metodologias de análise tais como: ensaios de flexão de vigotas, tração direta uniaxial e compressão diametral. Esta pesquisa foi realizada utilizando o ensaio de fadiga por compressão diametral pelo fato de ser o ensaio normatizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, conforme ME 183 [22] e ter os parâmetros utilizados no MeDiNa. Nesse ensaio, ocorre a aplicação de carga controlada no plano diametral de modo cíclico até que o corpo de prova atinja a ruptura. Segundo Mello [23], os ensaios de vida de fadiga são muito sensíveis às condições do equipamento e do carregamento, de modo que os resultados possam vir a apresentar alta variabilidade.

De forma geral, o ensaio de fadiga por compressão diametral pode ser realizado por meio de tração controlada (TC), deformação controlada (DC), ou intermediário, sendo que no primeiro a tensão (σ_t) constante é aplicada repetidamente enquanto que no segundo há controle para que a deformação seja a mesma em cada ciclo, sendo que o critério de parada passa a ser uma determinada queda na rigidez do material e no terceiro há variações tanto na tensão quanto na deformação [24]. A vida de fadiga em uma mistura asfáltica é

definida em função do número de aplicações à qual o corpo de prova foi submetido e pode ser representada pela vida de fratura (N_f) ou vida de serviço (N_s). A vida de fratura é definida como o número de aplicações de carga para que ocorra fratura completa da amostra, enquanto que a vida de serviço é o número de aplicações de carga para o qual a rigidez se reduza até um determinado nível pré-estabelecido.

O ensaio pode ser realizado para corpos de prova a diferentes níveis de tensão e de deformação (TC ou DC) de modo a possibilitar a formação de curva tensão de tração, deformação de tração inicial ou variação da tensão (em escala logarítmica) x número de ciclos (em escala logarítmica). Essa curva atende a Equação 1, Equação 2 e Equação 3 ME-183 [22].

$$N = K_i \left(\frac{1}{\sigma_t}\right)^{n_i} \quad (1)$$

$$N = K_i \left(\frac{1}{\Delta\sigma_i}\right)^{n_i} \quad (2)$$

$$N = K_i \left(\frac{1}{\varepsilon_i}\right)^{n_i} \quad (3)$$

Onde:

N = Vida de fadiga expressa em número de solicitações de carga;

σ_t = Tensão de tração aplicada (kPa);

$\Delta\sigma_i$ = Diferença algébrica da tensão horizontal (tração) e vertical (compressão) no centro do corpo de prova (kPa);

K_i, n_i = Parâmetros de fadiga determinados a partir da regressão linear obtida no ensaio.

ε_i = Deformação de tração inicial

Fritzen *et al.* [25] realizaram uma metodologia para classificação, em quatro classes, das misturas asfálticas quanto ao desempenho de fadiga, sendo que quanto maior a classe, melhor o comportamento da mistura. Para isso, é necessário encontrar a curva de Wholer relacionando o número de ciclos (N) com a deformação de tração inicial (ε_i). De posse da regressão dessa curva, é possível encontrar o Fator de Fadiga da Mistura (FFM) de acordo com a equação 4. Em seguida, são feitas correlações entre o módulo de resiliência e o FFM de modo que seja possível verificar em qual classe determinada mistura se encontra. Tabela 1 apresenta a regressão utilizada por Fritzen *et al.* [25] na determinação das classes para um número de repetições padrão com 30% de área trincada e a Figura 1 representa as curvas encontradas desta regressão. A metodologia desenvolvida por Fritzen *et al.* [21] é utilizada no software MeDiNa.

$$FFM = 0,2 [\log(N_{100}) + \log(N_{250})] \quad (4)$$

Onde:

FFM = Fator de Fadiga da Mistura;

N_{100} = número de carga para a deformação específica de 100 μ ;

N_{250} = número de carga para a deformação específica de 250 μ .

Tabela 1: Relação FFM e módulo de resiliência para número de repetições do eixo padrão para 30% de área trincada. (adaptado de [25])

FAIXA	INTERVALO	REGRESSÃO
0	$N \leq 4.5 \cdot 10^6$	-
1	$4.5 \cdot 10^6 < N \leq 6.0 \cdot 10^6$	$FFM = 74,58 MR^{-0,526}$
2	$6.0 \cdot 10^6 < N \leq 7.5 \cdot 10^6$	$FFM = 31,31 MR^{-0,410}$
3	$7.5 \cdot 10^6 < N \leq 1.0 \cdot 10^7$	$FFM = 74,58 MR^{-0,316}$
4	$N > 1.0 \cdot 10^7$	$FFM = 74,58 MR^{-0,207}$

Obs.: N = número de passagens do eixo padrão; MR = módulo de resiliência.

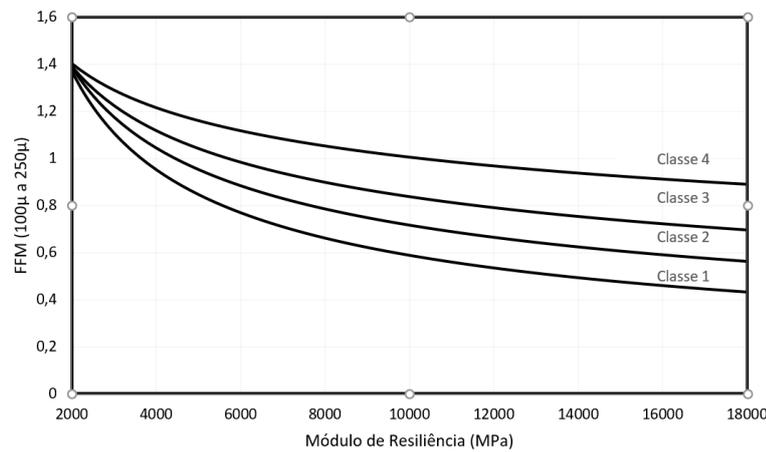


Figura 1: Classes de Fadiga das misturas asfálticas (adaptado de [21])

Já a deformação permanente em pavimentos pode ser observada tanto da camada de concreto asfáltico quando nas camadas inferiores, sendo que a densificação e ruptura ao cisalhamento da base e subleito podem ocasionar redução de volume e acarretar na formação dos trilhos de roda. O projeto da estrutura do pavimento, as condições climáticas e o nível de tráfego influenciarão o comportamento do pavimento quanto à deformação permanente. Nascimento [26] afirma que a deformação permanente em revestimentos asfálticos é um fenômeno complexo e que depende de diversos fatores como granulometria, absorção, adesividade, tamanho, textura e forma dos agregados, propriedades do filer, teor de asfalto, grau de desempenho do asfalto e a presença de finos plásticos nos agregados miúdos.

Existem ensaios para se avaliar a deformação permanente em pavimentos e dentre eles pode-se citar o Ensaio Uniaxial de Carga Repetida (*Flow Number*), que é normatizado pela especificação brasileira ME-184 [27]. Esse ensaio vem sendo amplamente utilizado para avaliação de concretos asfálticos convencionais, bem como para misturas asfálticas dosadas com uso de asfalto fresado [28] e concreto asfáltico estocável [29]. O FN ou número de fluxo é a propriedade relacionada à resistência da mistura asfáltica quanto à deformação permanente e é um dos parâmetros utilizados no MeDiNa para seleção da mistura asfáltica a ser utilizada no projeto. O ensaio de FN consiste na aplicação axial de carregamento cíclico em um sistema que pode, ou não, ser confinado e que as deformações axiais no corpo de prova passam a ser determinadas. Nesse ensaio mede-se a deformação permanente acumulada em função do número de ciclos aplicados, sendo que o valor do FN é aquele para o qual a deformação específica é mínima, ou seja, a inclinação da curva Número de Ciclos x Deformação permanente acumulada é mínima [24, 30]. Segundo Zhang *et al.* [30], a curva do Número de ciclos x Deformação permanente pode ser dividida em três partes, sendo que na primeira parte a taxa de deformação permanente diminui com o aumento do ciclo. Na segunda parte a taxa de deformação passa a ser constante, enquanto que na terceira parte a taxa de deformação passa a ser crescente, conforme apresentado na Figura 2.

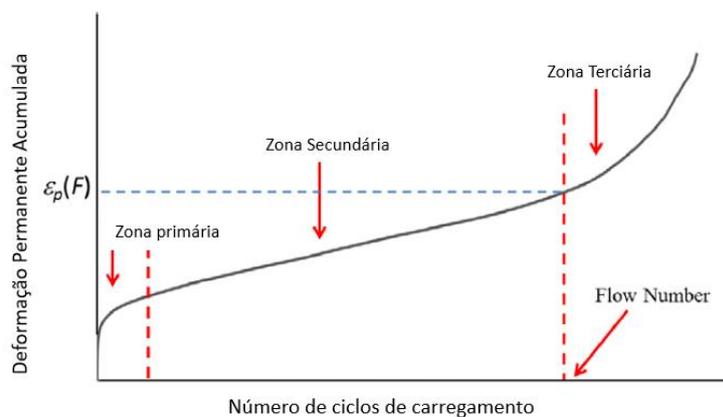


Figura 2: Formato típico da curva Número de ciclos x Deformação permanente acumulada para determinação do *Flow Number* (modificado de [30]).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Nesta pesquisa foram utilizados alguns dos agregados e ligante asfáltico tradicionalmente utilizados em misturas asfálticas no estado de Goiás e estudados por Barroso [8]. Os agregados utilizados foram o gnaíse granítico proveniente da Cidade de Goiás (GO) e o micaxisto proveniente de Aparecida de Goiânia (GO). O ligante utilizado foi um CAP 50/70 proveniente de empresa distribuidora encontrada na região metropolitana de Goiânia (GO). Os materiais de origem gnaíse granítico utilizados foram brita 1, brita 0, pó de pedra, sendo que na mistura asfáltica composta pelo gnaíse a areia foi proveniente de fundo de rio. Já na mistura contendo micaxisto foi incorporado brita 1, brita 0, pó de pedra e areia britada da mesma rocha.

3.2 Métodos

A preparação dos corpos de provas e os ensaios de caracterização foram realizados no Laboratório de Asfalto (LABASFALTO) da Universidade Federal de Goiás (UFG) e no Laboratório de Infraestrutura Rodoviária (INFRALAB) da Universidade de Brasília (UnB). Os ensaios mecânicos nas misturas asfálticas foram realizados na prensa *Universal Testing Machine* com capacidade de 30 kN (UTM-30) existente no LABASFALTO/UFG.

3.2.1 Caracterização de agregados e ligante

Os agregados e ligantes foram caracterizados conforme ensaios apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Ensaios de caracterização realizados com os agregados e ligante asfáltico

AGREGADOS	
Ensaio	Norma
Massa Específica, Densidade relativa e absorção (Agregado graúdo)	C 127 [31]
Massa Específica, Densidade relativa e absorção (Agregado fino)	C 128 [32]
Massa específica solta e compactada	T19 [33]
Adesividade	ME 078 [34]
Índice de Forma	ME 086 [35]
LIGANTE ASFÁLTICO	
Ensaio	Norma
Massa específica e densidade relativa	NBR 6296 [36]
Ponto de amolecimento	NBR 6560 [37]
Penetração	NBR 6576 [38]
Viscosidade Brookfield	NBR 15184 [39]
Perda de massa após o envelhecimento no <i>Rolling Thin Film Oven</i> (RTFOT)	ASTM D2872 [40]

3.2.2 Dosagem

Na fase de dosagem das misturas asfálticas estudadas, realizou-se a composição granulométrica dos agregados a partir do método Bailey e a dosagem *Superpave* com o uso do compactador giratório. Foram realizadas duas dosagens denominadas como Gnaíse Bailey (GB) e Micaxisto Bailey (MB), cujos comportamentos mecânicos foram comparados com as misturas estudadas por Barroso [8] e que formam definidas a partir das faixas granulométricas especificadas na ME 031 [9]. Tal comparação é válida tendo em vista que os agregados e o CAP utilizados forma os mesmos.

A escolha da seleção granulométrica Bailey foi feita seguindo a metodologia descrita nos trabalhos de Cunha [41] e Mendes [42]. As composições granulométricas inicialmente propostas tanto para o micaxisto quanto para o gnaíse não atenderam os critérios da metodologia Bailey. Assim, foi necessário ajustar a distribuição granulométrica de materiais retidos em determinadas peneiras. A seleção granulométrica do gnaíse contou com a composição de material retido na peneira com abertura de 2,00mm (13,4% em massa), enquan-

to que a mistura contendo o micaxisto necessitou de composição de material retido na peneira 4,75mm (4,0% em massa) além da adição de filer proveniente do pó de pedra (1,9% em massa).

Durante a dosagem, na etapa de compactação, o procedimento adotado foi o mesmo que o realizado por Barroso [8], considerando o nível de tráfego pesado, que corresponde a um número de projeto de 100 giros com o compactador giratório a uma taxa de giros de 30giros/minuto, tendo um ângulo de giro de 1,25° e tensão vertical constante e igual a 600,0 kPa. Inicialmente, foram selecionados quatro teores diferentes de ligantes, confeccionados três corpos de prova para cada teor de ligante. Vale ressaltar que esta dosagem não foi realizada de acordo com a norma AASHTO T312 (2019), tendo em vista que por essa normativa os corpos de prova utilizados apresentam 150 mm enquanto que os corpos de prova utilizados durante a dosagem dessa pesquisa apresentam 100 mm de diâmetro.

Após a confecção dos corpos de prova, foram determinados os parâmetros volumétricos seguindo metodologia descrita na norma ABNT 15573 [43]. em seguida foram realizados os ensaios para determinação da massa específica máxima medida (*Rice test*) de acordo com a norma NBR 15619 [44] afim de se determinar o volume de vazios dos corpos de prova. Por fim foi feita análise da regressão linear do gráfico teor de ligante *versus* volume de vazios, no qual o teor ótimo de ligante obtido é aquele para o qual se tem 4,0% de volume de vazios.

3.2.3 Ensaios mecânicos

As misturas GB e MB foram avaliadas conforme ensaios mecânicos apresentados na Tabela 3 com repetibilidade de três corpos de prova.

O ensaio de módulo dinâmico foi realizado nesta pesquisa utilizando as frequências de 25 Hz, 20 Hz, 10 Hz, 5 Hz, 1 Hz, 0,5 Hz e 0,1 Hz, bem como nas temperaturas de 4,0°C, 20,0°C, 40,0°C e 54°C. O estudo desenvolvido por Barroso [8], que foi utilizado como comparação neste trabalho, foi realizado com volume de vazios de 7,0%.

Tabela 3: Ensaios mecânicos que foram realizados nesta pesquisa

ENSAIOS	NORMAS
Resistência à tração por compressão diametral (RT)	ME 136 [45]
Módulo de resiliência (MR)	NBR 16018 [46]
<i>Flow Number</i> (FN)	ME 184 [27]
Módulo Dinâmico (MD)	ME 416 [47]
Dano por umidade induzida	ME 180 [48]
Fadiga por compressão diametral (vida de Fadiga)	ME 183 [22]

O ensaio de fadiga por compressão diametral foi realizado a tensão controlada e de acordo com a norma ME-183 [22]. Os ensaios foram realizados em corpos de prova com volume de vazios de variando em torno de 4,0%, sendo que foram estudadas as misturas GB, MB, GCS, GBS e MCS. Os níveis de tensão utilizados variaram entre 10% e 30% do valor de resistência a tração estática de cada mistura.

3.2.4 Análise mecanística

Considerando os dados obtidos neste trabalho, os resultados apresentados por Barroso [8] e as informações disponíveis no artigo de Gerging *et al.* [49], foi realizada uma análise mecanística comparativa com o MeDiNa. O objetivo dessa análise foi avaliar a influência das misturas asfálticas estudadas neste artigo no desempenho de uma estrutura de pavimento já existente. Conforme resultados apresentados por Gerging *et al.* [49], foram considerados os seguintes dados de entrada: sistema arterial principal, período de projeto igual a 10 anos, número total de passagens do eixo padrão (N) igual $6,85 \times 10^7$, estrutura de pavimento apresentada na Figura 3 e características dos materiais resumidas na Tabela 4.

Nesta etapa, o subleito, as camadas de sub-base e base foram mantidos inalterados e os materiais das camadas asfálticas foram substituídos pelas misturas avaliadas neste artigo. Na sequência, foram realizadas duas análises: a primeira determinando a espessura das camadas asfálticas (binder e camada de rolamento) obtidas para cada tipo de misturas asfáltica para atender os critérios do MeDiNa e a segunda fixando todas as

espessuras e avaliando o desempenho de cada mistura em termos de área trincada e afundamento na trilha de roda ao longo do tempo.

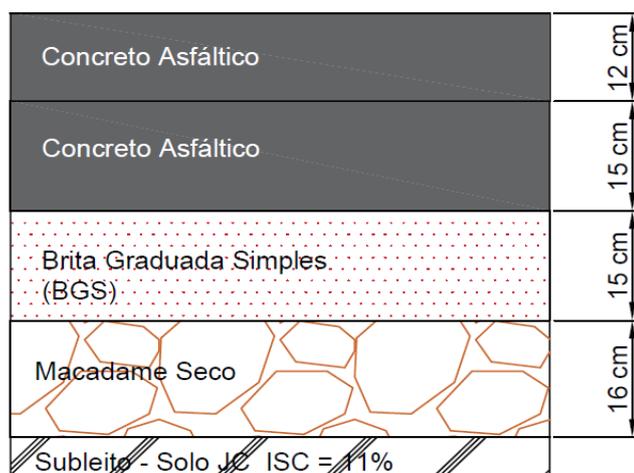


Figura 3: Estrutura do pavimento considerada (adaptado de Chiarello *et al.* [49]).

Tabela 4: Dados de entrada no MeDiNa extraídos de Chiarello *et al.* [49].

PROPRIEDADE	SUBLEITO	SUB-BASE	BASE	BINDER E REVESTIMENTO	
Tipo de material	Solo argiloso	Macadame seco	Brita graduada simples	Concreto asfáltico Classe 1 sem modificação	
Coefficiente de Poisson	0,45		0,35	0,30	
Contato	-		Não aderido	Aderido	
Energia de compactação	Normal		Modificada	-	
Abrasão Los Angeles (%)	-		43	-	
Massa Específica (g/cm ³)	1,68	2,025	2,223	2,400	
Umidade ótima (%)	19,6%	7,5	5,0	-	
MR (MPa)	k1	215,02			
	k2	0,23	278	381	5764
	k3	-0,29			
DP	ψ1	0,869	0,1294	0,0868	-
	ψ2	0,006	-0,0647	-0,2801	-
	ψ3	1,212	1,100	0,8929	-
	ψ4	0,042	0,0735	0,0961	-
Fadiga	k1	-	-	5,49E-11	
	k2	-	-	-3,25	

Obs.: MR = Módulo de Resiliência; k = coeficientes de regressão para módulo de resiliência ou fadiga; DP = Deformação Permanente; ψ = coeficiente de regressão para deformação permanente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos agregados

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização para os agregados avaliados. Em ambos agregados a adesividade do agregado foi considerada como não satisfatória, sendo, portanto, necessária a aplicação de aditivo melhorador de adesividade (DOPE). Após a aplicação do DOPE o resultado de adesividade foi satisfatório.

A partir do ensaio de índice de forma é possível avaliar se o agregado utilizado tem o formato mais

cúbico ou mais lamelar, sendo que valores de índice de forma mais próximos de 1 significam que o agregado é predominantemente cúbico. O índice de forma encontrado para o gnaiss granítico foi de 0,86, enquanto que o índice de forma encontrado para o micaxisto foi de 0,71 e de acordo DNIT 031 [9] o valor do índice de forma deve ser maior que 0,5. Logo os dois agregados atendem ao requisito quanto à forma dos agregados.

De modo geral, os valores encontrados na caracterização dos agregados tanto de origem de micaxisto quanto de gnaiss granítico foram próximos aos encontrados por Barroso [8], o que era de se esperar tendo em vista que os materiais utilizados foram originários das mesmas pedreiras.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados estudados.

TIPO DE AGREGADO	TEXTURA	MASSA ESPECÍFICA REAL (g/cm ³)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)	ABSORÇÃO (%)	MASSA ESPECÍFICA COMPACTADA (kg/m ³)	MASSA ESPECÍFICA SOLTÁ (kg/m ³)	ADESIVIDADE	ÍNDICE DE FORMA
Gnaiss Bailey (GB)	Brita 1	2,73	2,68	0,72	1551,04	1405,17	Não satisfatório	0,86
	Brita 0	2,73	2,66	0,9	1528,19	1419,92		
	Pó de pedra	2,73	2,66	0,33	1834,83	1662,88		
	Areia	2,67	2,56	1,69	1554,57	1433,66		
Micaxisto Bailey (MB)	Brita 1	2,78	2,74	0,62	1365,92	1516	Não satisfatório	0,71
	Brita 0	2,79	2,73	0,74	1488,6	1361,4		
	Pó de pedra	2,81	2,78	2,08	1808,55	1584,81		
	Areia	2,8	2,74	1,57	1699,72	1519,29		

4.2 Caracterização do ligante asfáltico

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para os ensaios de caracterização realizados com o CAP 50/70.

O ligante que foi utilizado nesta pesquisa é um CAP 50/70, após a realização do ensaio de penetração, o valor encontrado foi de 53 mm e após a realização do ensaio de ponto de amolecimento, a temperatura encontrada foi de 46,0°, o que atende as especificações do ligante utilizado

A fim de se avaliar o envelhecimento de curto prazo, que é aquele compreendido durante os processos de usinagem e compactação, foi feito o ensaio de perda de massa pelo *Rolling Thin Film Oven Test* (RTFOT). A partir desse ensaio realizado com repetibilidade de oito CPs, pode-se perceber um valor médio de perda de massa de 0,246% e desvio padrão de 0,0000322. De acordo com a norma ASTM D2872 [40] o desvio padrão da perda de massa deve ser menor que 0,020. Logo os critérios da norma foram atendidos.

A partir dos valores encontrados no ensaio de viscosidade rotacional, foi possível determinar regressão exponencial do gráfico Temperatura x Viscosidade. De posse dessa regressão, as temperaturas de usinagem e compactação foram determinadas, sendo que a temperatura de usinagem é aquela para a qual a viscosidade encontrada é de 1,7±0,2 Poise enquanto que a temperatura de compactação é aquela para a qual a viscosidade encontrada do ligante é de 2,8 ± 0,3 Poise [1]. Dessa maneira, os valores encontrados para temperatura de usinagem e compactação foram, respectivamente 150 ± 3°C e 137 ± 3°C. De acordo com DNIT 031 [9], as temperaturas de trabalho de um concreto asfáltico (CA) não devem ser superiores a 177°C e nem inferiores a 107°C, portanto as temperaturas de usinagem e compactação encontradas estão dentro dos limites preconizados por norma.

Tabela 6: Resultados dos ensaios de caracterização do ligante estudado.

CAP	MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	PONTO DE AMOLECIMENTO (°C)	PENETRAÇÃO (mm)	PERDA DE MASSA RTFOT (%)	TEMPERATURA DE USINAGEM (°C)	TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO (°C)
50/70	1,011	46	53	0,246	150 ± 3	137 ± 3

4.3 Dosagem

As duas misturas estudadas apresentaram Tamanho Nominal Máximo (TMN) igual a 19 mm e com matriz graúda. Na Figura 4 são apresentadas as curvas granulométricas obtidas após os ajustes necessários para o atendimento das metodologias Bailey, sendo elas Gnaisse Bailey (GB) e Micaxisto Bailey (MB) bem como as misturas Gnaisse Faixa C *Superpave* (GCS), Gnaisse Faixa B *Superpave* (GBS) e Micaxisto faixa C *Superpave* (MCS) realizadas por Barroso [8] e os limites das faixas B e C preconizadas por DNIT 031 [9]. Na Tabela 7 tem-se os parâmetros da metodologia Bailey obtidos para os dois agregados estudados nesta pesquisa bem como para as misturas GCS, GBS e MCS. Observa-se que as curvas granulométricas obtidas se aproximam da Faixa B especificada na norma 031 [9]. Pode-se perceber também que as misturas realizadas por Barroso [8] não atendem aos parâmetros da metodologia Bailey.

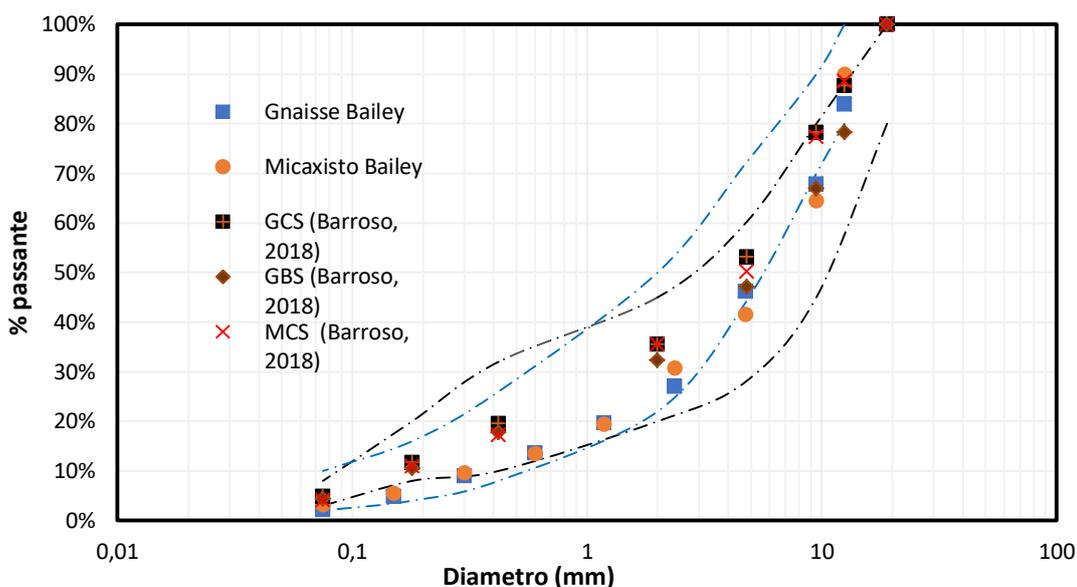


Figura 4: Curvas granulométricas obtidas para os agregados estudados.

Tabela 7: Valores dos parâmetros Bailey obtidos para os agregados estudados.

PARÂMETROS	NESTA PESQUISA		BARROSO (2008)			VALORES DE REFERÊNCIA (TMN = 19MM)
	GB	MB	GCS	GBS	MCS	
AG	0,67	0,64	0,64	0,69	1,16	0,60 - 0,75
GAF	0,43	0,47	0,58	0,58	0,57	0,35 - 0,50
FAF	0,46	0,5	0,16	0,16	0,15	0,35 - 0,50

Obs.: AG = proporção de agregado graúdo; GAF = Proporção de graúdo do agregado fino; FAF = Proporção fino do agregado fino.

A dosagem *Superpave* para a mistura GB foi feita utilizando os teores de ligante de 4,0%, 4,5%, 5,0% e 5,5%. Já a dosagem para a mistura MB foi feita com os teores de ligante 3,8%, 4,3%, 4,8%, 5,3%, 5,8% e 6,3%. A partir da regressão encontrada, o teor de ligante ótimo para a mistura GB foi de 5,3%, enquanto que para a mistura MB o teor ótimo foi de 5,9%.

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos na dosagem *Superpave*. Observa-se que ao comparar as misturas contendo o mesmo tipo de agregado, as que utilizaram seleção granulométrica pela metodologia Bailey apresentaram maior teor de ligante do que as misturas que utilizaram as faixas do DNIT. Tal fato pode ser justificado, em parte, pela fração fina do agregado fino (FAF) ser maior em ambas misturas o que acarreta em maior quantidade de material fino e consequente maior teor de ligante. Além disso, destaca-se que na

mistura GB há maior quantidade de areia que pode gerar alta absorção e que na mistura MB utilizou-se Dope no ligante enquanto que na mistura MCS não utilizou. Também é importante ressaltar que a metodologia Bailey visa aumentar o empacotamento dos grãos e obter um melhor ajuste volumétrico da mistura, sendo esperado que ocorra mais inserção de ligante como constatado neste trabalho. Os valores encontrados de volume de vazios (Vv), vazios do agregado mineral (VAM) e relação betume-vazio (RBV) se enquadram nos valores de referência. As misturas GB e MB, por apresentarem maior teor de ligante, apresentaram os menores valores de massa específica máxima medida (G_{mm}).

Tabela 8: Dosagem *Superpave* das misturas Gnaisse Bailey (GB) e Micaxisto Bailey (MB) e comparação com as misturas estudadas por Barroso [8].

PARÂMETROS	GB	GCS*	GBS*	MB	MCS*	VALOR DE REFERÊNCIA [1]
G_{mm} (g/cm ³)	2,481	2,501	2,515	2,526	2,534	-
Teor ótimo (%)	5,3	4,4	4,2	5,9	5,6	-
Vv (%)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
VAM (%)	14,3	13,5	13,1	15,5	13,5	> 13
RBV (%)	70,9	70,4	69,4	72,8	75,3	65 <RBV< 75
RPB	0,41	1,09	1,02	0,53	0,71	0,6 <RPB< 1,2
Porosidade FAD (%)	33,0	63,5	44,5	23,5	76,7	-

Obs.: *Barroso (2018); GB = Gnaisse Bailey; GCS = Gnaisse Faixa C Superpave; GBS = Gnaisse Faixa B Superpave; MB = Micaxisto Bailey; MCS = Micaxisto Faixa C Superpave; G_{mm} = massa específica máxima medida; Vv = volume de vazios; VAM = vazios do agregado mineral; RBV = Relação Betume Vazios; RPB = Relação Pó/Betume.

Tanto na mistura GB quanto na mistura MB somente a relação Pó/Betume (RPB) ficou abaixo dos valores mínimos recomendados da metodologia *Superpave*. Mesmo após várias tentativas de cálculo, não foi possível encontrar outra mistura que aumentasse essa relação e ao mesmo tempo atendesse aos parâmetros da metodologia Bailey. Geralmente, observa-se que quanto maior a relação pó/betume, maior a rigidez da mistura [50, 51]. Assim, como as misturas GB e MB não atenderam aos critérios mínimos de RPB, espera-se que as mesmas sejam menos rígidas. O RPB está principalmente relacionado à trabalhabilidade das misturas asfálticas, sendo que misturas com baixo valor de RPB apresentam falta de coesão e são de difícil compactação em campo [51].

Bardini [52] avaliou a influência do teor de filler numa mistura asfáltica de agregado granítico em relação ao teor de ligante e verificou a diminuição do teor de ligante de projeto com o aumento do teor de filler. Seguindo raciocínio análogo, as misturas GB e MB apresentaram menores valores de filler ao serem comparadas com as misturas de Barroso [8] e, conseqüentemente, maiores teores de ligante. Esse fato também pode ter influenciado nos menores valores obtidos para a relação Pó/Betume das misturas estudadas.

Após a realização da dosagem, foi feita a avaliação da mistura pela metodologia FAD, sendo que o resultado de porosidade FAD encontrado para a mistura GB foi de 33,0% e para a mistura MB foi de 23,5%. Segundo Greene, Chun e Choubane [14], uma mistura é considerada como tendo um bom esqueleto pétreo quando a porosidade FAD está localizada entre 38% e 48%. Kim [13] alerta que misturas com valores de FAD muito baixos devem ser evitadas, pois podem ser frágeis. Como as misturas GB e MB apresentaram valores mais baixos de porosidade FAD, elas podem vir a ser frágeis e não apresentarem bom comportamento mecânico. Vale ressaltar que devido à granulometria dos materiais disponíveis para esta pesquisa, mesmo após várias tentativas, não foi possível elaborar misturas que apresentassem valores satisfatórios de porosidade FAD e que, ao mesmo tempo, atendessem aos critérios de RPB e da metodologia Bailey. Esta constatação indica a necessidade de britagem e adição de materiais com outras faixas granulométricas ou até mesmo a não utilização da metodologia Bailey como critério de seleção de agregados, focando na definição de misturas que venham a apresentar bons valores de porosidade FAD.

4.4 Ensaios Mecânicos

Na Tabela 9 tem-se os resultados dos ensaios realizados nesta pesquisa para determinar a resistência à tração, o módulo de resiliência, o *Flow Number* e o dano por umidade induzida bem como as características das misturas estudadas por Barroso [8], visando avaliar se existe influência da seleção granulométrica pela metodologia Bailey em relação à escolha das faixas especificadas por DNIT [9] nesses parâmetros.

Tabela 9: Resultados dos ensaios mecânicos de RT, MR, FN e DUI.

PARÂMETROS	GB	GCS*	GBS*	MB	MCS*
RT (MPa)	1,43	1,50	1,70	0,94	1,40
MR (MPa)	6350	7951	7444	5805	7658
MR/RT	4441	5301	4379	6176	5470
FN (número de ciclos)	52	140	241	88	118
CP não condicionado (MPa)	1,11	1,42	1,29	0,90	1,07
DUI CP condicionado (MPa)	0,94	0,85	0,85	0,79	0,38
DUI (%)	84,7	60,0	66,0	87,8	35,0

Obs.: *Barroso (2018); GB = Gnaisse Bailey; GCS = Gnaisse Faixa C Superpave; GBS = Gnaisse Faixa B Superpave; MB = Micaxisto Bailey; MCS = Micaxisto Faixa C Superpave; RT = Resistência a Tração por Compressão Diametral; MR = Módulo de Resiliência; FN = *Flow Number*; DUI = Dano por Umidade Induzida.

Ao aplicar a metodologia Bailey na seleção granulométrica dos agregados deste estudo, houve redução nos valores dos parâmetros mecânico obtidos para as misturas GB e MB em termos de RT, MR e FN. Diferentemente do constatado nesta pesquisa, Mendes e Marques [53] observaram aumento nos valores de RT com a utilização da seleção granulométrica Bailey e obtiveram uma mistura com RPB igual a 0,72. Os autores concluíram que tal fato era de se esperar visto que a metodologia Bailey objetiva aumentar o intertravamento e gerar misturas mais resistentes. Além disso, o aumento no teor de ligante das misturas GB e MB pode ter contribuído com redução nos valores de RT. Tal fato também foi observado nos estudos realizados por Santos [54] em misturas compostas com o CAP 50/70. De acordo com a especificação técnica DNIT 031 [9], o valor mínimo de RT para um concreto asfáltico a ser aplicado em camada de rolamento é de 0,65 MPa. Apesar de observar que as misturas GB e MB, produzidas nesta pesquisa apresentaram os menores valores de RT entre as misturas analisadas, ambas atendem ao valor mínimo especificado em norma. Em termos de MR, os menores valores obtidos indicam que as misturas GB e MB apresentam menor rigidez que as demais, concordando com a análise preliminar realizada em função dos valores obtidos para RPB.

Como um indicativo preliminar da vida de fadiga de um pavimento, pode-se avaliar a relação entre o módulo de resiliência e a resistência a tração por compressão diametral de um corpo de prova (MR/RT), sendo que menores valores evidenciam melhor comportamento a fadiga, tanto por ser desejável uma menor rigidez quanto uma maior resistência a tração ao se pensar no comportamento a fadiga [1, 54]. É possível observar na Tabela 5 a relação MR/RT tanto para as misturas estudadas nesta pesquisa quanto aquelas avaliadas por Barroso [8]. Nota-se que as menores relações MR/RT obtidas para misturas contendo gnaisse granítico foram nas misturas GBS e GB (mais graúdas) de modo que se espera que estas misturas venham a apresentar melhor comportamento à fadiga. Nos agregados de origem Micaxisto, a mistura MCS por sua vez apresentou menor relação MR/RT, assim, estima-se que esta mistura apresente melhor comportamento quanto à fadiga se comparado com a mistura MB.

Em termos de FN, percebe-se que mesmo que as misturas GB e MB atendam os parâmetros da metodologia Bailey, os valores de FN obtidos foram baixos quando comparados com as misturas realizadas por Barroso [8]. Assim, constata-se que a seleção granulométrica de agregados apenas pelo método Bailey não garante o bom desempenho das misturas asfálticas em termos de deformação permanente, sendo que a porosidade FAD e o RPB também devem ser considerados. Neste caso, as misturas GB e MB não atenderam o critério mínimo de FN (maior que 100 ciclos) e as demais não poderiam ser utilizadas em vias com tráfego (N) superior a 1×10^7 segundo o DNIT [19].

Barros *et al.* [55] avaliaram quatro misturas asfálticas quanto à deformação permanente. A mistura M1 avaliada pelos autores é de especial interesse para comparação com as misturas avaliadas nesta pesquisa, por possuir características muito semelhantes: agregado de origem granito gnaisse, seleção granulométrica com TMN de 19 mm, atender os parâmetros da metodologia Bailey, possuindo, no entanto, porosidade FAD igual a 51,1%. Quanto ao desempenho em termos de FN, a mistura M1 obteve melhores resultados (296 ciclos) em relação às misturas GB, GCS e GBS. Dessa forma, pode-se afirmar que melhores resultados em termos de deformação permanente podem ser obtidos quando a granulometria dos agregados é definida pela metodologia Bailey e enquadrada dentro dos limites aceitáveis da metodologia FAD.

Em termos de DUI, as misturas dosadas pela metodologia Bailey apresentam os melhores resultados e, assim, são menos susceptíveis ao dano por umidade. De acordo com a norma ES 031 [9], as misturas são consideradas satisfatórias quando o valor de DUI é maior que 70%. Logo, as misturas GB e MB foram as únicas que atenderam esse critério.

Neste estudo, determinou-se, também o módulo dinâmico das misturas é considerado como sendo o

valor absoluto do módulo complexo. O módulo complexo relaciona a tensão e deformação para materiais viscoelásticos quando estes estão submetidos a carregamentos senoidais e em um determinado domínio de frequência [56]. Dentre as várias análises possíveis de serem realizadas partir dos ensaios de módulo dinâmico, optou-se por dar destaque às curvas mestras das misturas GB e MB realizadas nesta pesquisa e das misturas GCS, GBS e MCS realizadas por Barroso [8]. Vale ressaltar que os ensaios realizados nesta pesquisa seguiram a norma DNIT ES 416 [47], enquanto que os ensaios realizados por Barroso [8] seguiram a norma americana T 342 [57]. A principal diferença com relação aos procedimentos foi na temperatura de ensaio, sendo que pela norma brasileira o ensaio é realizado nas temperaturas de 4°C, 20°C, 40°C e 54°C, e a norma americana preconiza a necessidade de realização do ensaio nas temperaturas de 4,4°C, 21,1°C, 37,8°C e 54,4°C. Na Figura 5 é possível observar as curvas mestras resultantes do ensaio de módulo dinâmico de todas as misturas estudadas nesta pesquisa e na Tabela 10 é possível encontrar os parâmetros obtidos para realização da curva mestra.

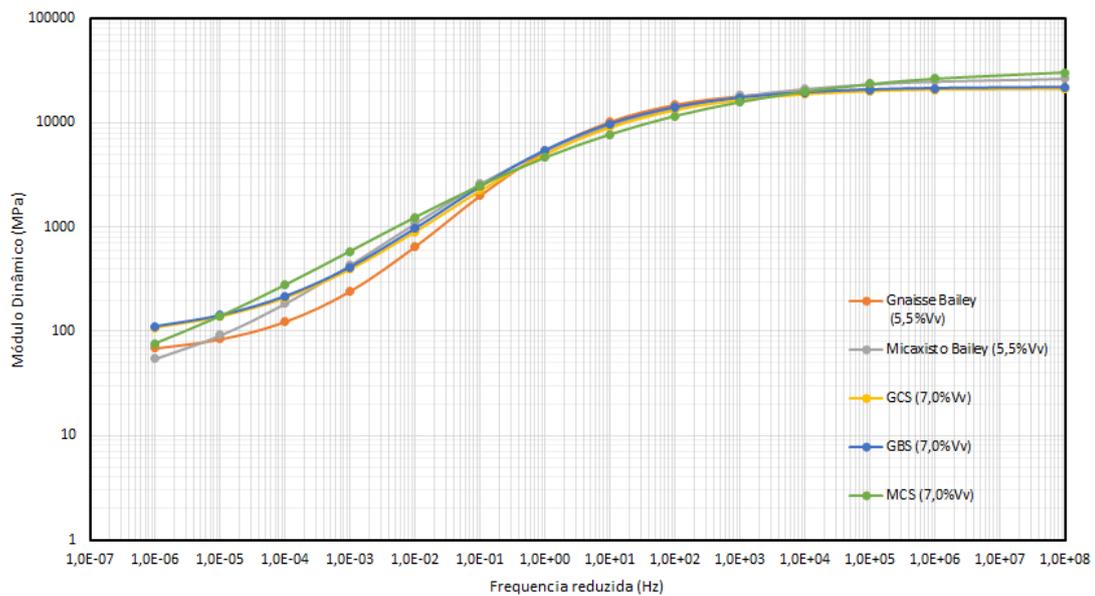


Figura 5: Curva Mestra das misturas realizadas nesta pesquisa e das misturas estudadas por Barroso [8].

Tabela 10: Parâmetros encontrados para a construção das curvas mestras.

PARÂMETROS	GNAISSE BAILEY	MICAXISTO BAILEY	GCS	GBS	MCS
	Vv (5,5%)				
delta δ	1,7602	1,3165	1,9083	1,9228	1,0400
alpha α	2,5801	3,1259	2,4283	2,4214	3,5010
beta β	-1,1725	-1,2363	-1,0315	-1,0954	-1,1016
gama γ	0,7677	0,5149	0,6526	0,6693	0,3756
a	0,0011	0,0008	0,0006	0,0006	0,0006
b	-0,1812	-0,1635	-0,1663	-0,1623	-0,1631
c	2,9440	2,9455	3,1346	3,2927	3,1641

Obs.: δ , α , β , γ = constantes do modelo sigmoidal; a, b e c = constantes do *shift factor*.

As curvas mestras são baseadas no princípio de superposição tempo/temperatura, sendo que dados coletados em diferentes temperaturas podem ser deslocados relativamente a um tempo de carregamento ou frequência, de modo a formarem uma única curva [56]. As curvas mestras foram obtidas para a temperatura de referência de 20,0°C. No entanto, as misturas estudadas por Barroso [8] foram avaliadas na temperatura de referência de 21,1°C, tendo assim uma aproximação a fim de ter condições de analisar todos os dados simultaneamente.

Segundo Boeira [56], nas curvas mestras, as baixas frequências estão relacionadas a ocorrência de de-

formação permanente (resposta predominantemente viscosa) enquanto que para médias frequências há correlação com fadiga (resposta predominantemente elástica) e a altas frequências há correlação com trincamento térmico, sendo que este é incomum no Brasil.

A partir da inclinação da curva mestra é possível obter a susceptibilidade da mistura quanto a variações na frequência e temperatura. Em todas as misturas pode-se perceber que para baixas temperaturas ou altas frequências, o módulo dinâmico é maior enquanto que à medida em que a temperatura vai aumentando e a frequência vai diminuindo, os valores do módulo vão diminuindo.

Apesar das curvas terem sido bem próximas, a mistura MCS apresentou menor inclinação da curva, o que pode representar que esta mistura apresenta menor influência de comportamento quanto a variações de frequência e temperatura se comparados as misturas realizadas com 7,0% Vv. Tal informação pode ser confirmada pelo parâmetro γ que representa a inclinação da curva. Ao comparar somente as misturas feitas nesta pesquisa (5,5% Vv), percebe-se comportamento semelhante, sendo que a mistura MB apresentou menor inclinação e, conseqüentemente, menor susceptibilidade quanto à temperatura e frequência. Logo, nota-se que as misturas contendo micaxisto se apresentam menos susceptíveis a mudanças de comportamento quanto à variação da temperatura e frequência se comparadas com as misturas contendo Gnaisse granítico.

Já em termos de fadiga, o resultado do ensaio por compressão diametral é, geralmente, representado pela curva de Wholer, sendo que a partir desta curva é possível correlacionar o número de ciclos até a ruptura com as tensões de tração, diferença de tensão de compressão e tração e com a deformação resiliente inicial. Vale ressaltar que a norma brasileira somente preconiza o ensaio de fadiga por compressão diametral a tensão controlada. Os resultados de fadiga por compressão diametral das misturas GB, MB, GCS e MCS são apresentados nas Figuras 6 e 7. As equações das regressões encontradas, os coeficientes K0 e K1 bem como o R² das misturas são apresentados na Tabela 11.

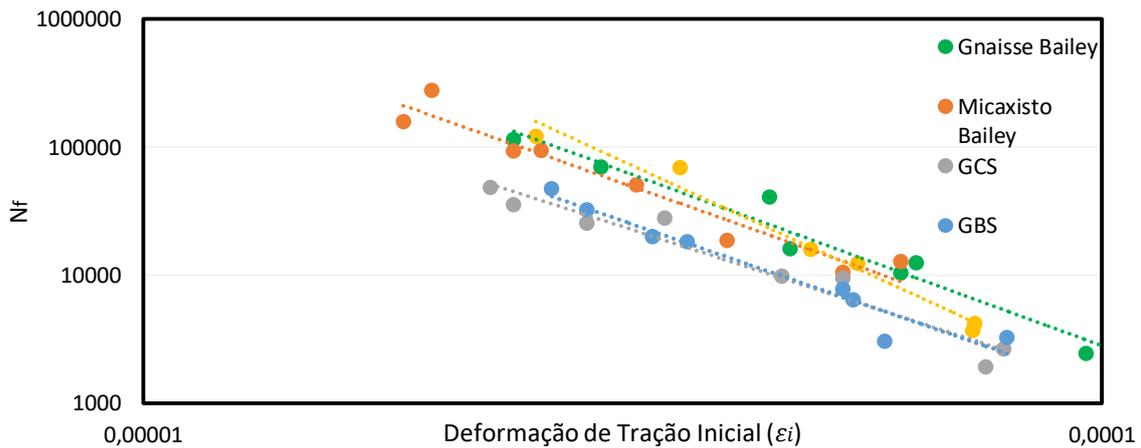


Figura 6: Curva número de ciclos x deformação de tração inicial

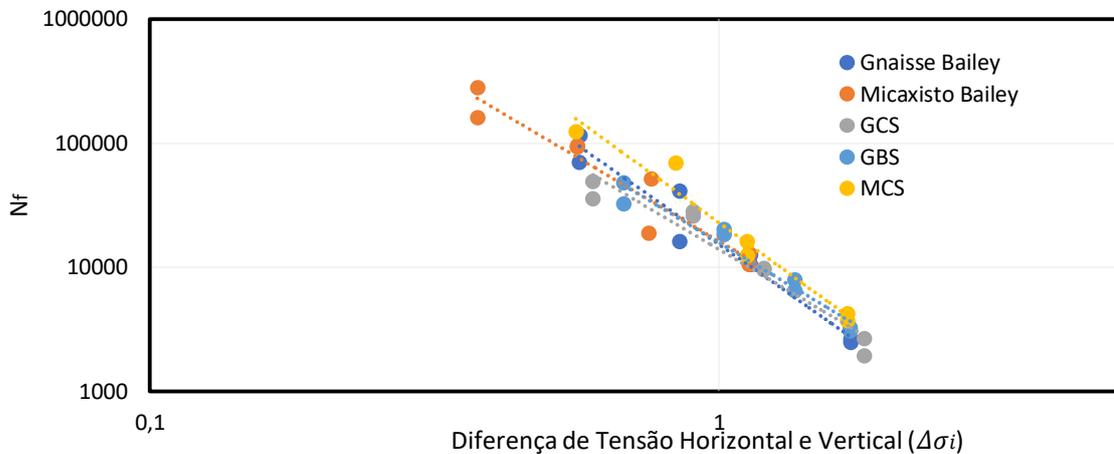


Figura 7: Curva número de ciclos x Δ tensão**Tabela 11:** Parâmetros e equações encontrados a partir do ensaio de fadiga presente na Figura 6 (em função da deformação resiliente inicial).

MISTURA	EQUAÇÃO	COEFICIENTES DE REGRESSÃO		COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
		K0	K1	R ²
GB	$Y = 3E^{-8} X^{-2,709}$	$3E^{-8}$	-2,709	0,9644
MB	$Y = 6E^{-8} X^{-2,647}$	$6E^{-8}$	-2,647	0,9393
GCS	$Y = 3E^{-7} X^{-2,418}$	$3E^{-7}$	-2,418	0,9327
GBS	$Y = 6E^{-8} X^{-2,582}$	$6E^{-8}$	-2,582	0,9432
MCS	$Y = 3E^{-11} X^{-3,426}$	$3E^{-11}$	-3,426	0,9771

Ao analisar o gráfico presente na Figura 6 pode-se perceber que as misturas GB e MB apresentaram comportamento muito semelhante quanto à fadiga. Ao comparar as misturas GCS e MCS com as misturas dosadas utilizando a seleção granulométrica Bailey, pode-se perceber comportamento ligeiramente melhor dessas misturas tendo em vista que para uma mesma deformação de tração inicial, as misturas GB e MB apresentam maior Nf. Destaca-se que a mistura GB apresentou maiores valores de VAM e RBV quando comparada com GCS, indicando um possível comportamento mais resistente à fadiga e menor desgaste do revestimento, visto que existe mais ligante preenchendo os vazios, conforme apontado por Cunha [41].

A partir dos resultados de fadiga obtidos, foi possível classificar as misturas segundo metodologia descrita por Fritzen *et al.* [25]. O FFM de cada mistura encontrada e o módulo de resiliência são apresentados na Tabela 12. Representação gráfica da classe de cada mistura é apresentada na Figura 8. Pode-se perceber que as misturas GB, MB e GCS apresentaram bom comportamento quanto à fadiga, sendo classificadas no limite inicial da classe 4, o que pode indicar que essas misturas terão em campo comportamento semelhante quanto à fadiga. As misturas GBS e MCS por sua vez foram classificadas como pertencente à classe 3, apresentando, portanto, comportamento quanto à fadiga inferior às demais misturas. Considerando a mesma faixa granulométrica, faixa C, a mistura constituída de gnaiss granítico tem melhor desempenho do que a composta por micaxisto. Ao realizar o ajuste da granulometria com o método Bailey para os dois agregados, os comportamentos quanto à fadiga foram semelhantes, sendo que em relação às misturas faixa B e faixa C os valores de MR diminuiram e de FFM aumentaram.

Tabela 12: Valores de FFM e módulo de resiliência para as misturas estudadas.

PARÂMETROS	GB	MB	GCS	GBS	MCS
FFM	1,137	1,136	1,067	1,037	1,000
MR (MPa)	6350	5805	7951	7444	7658

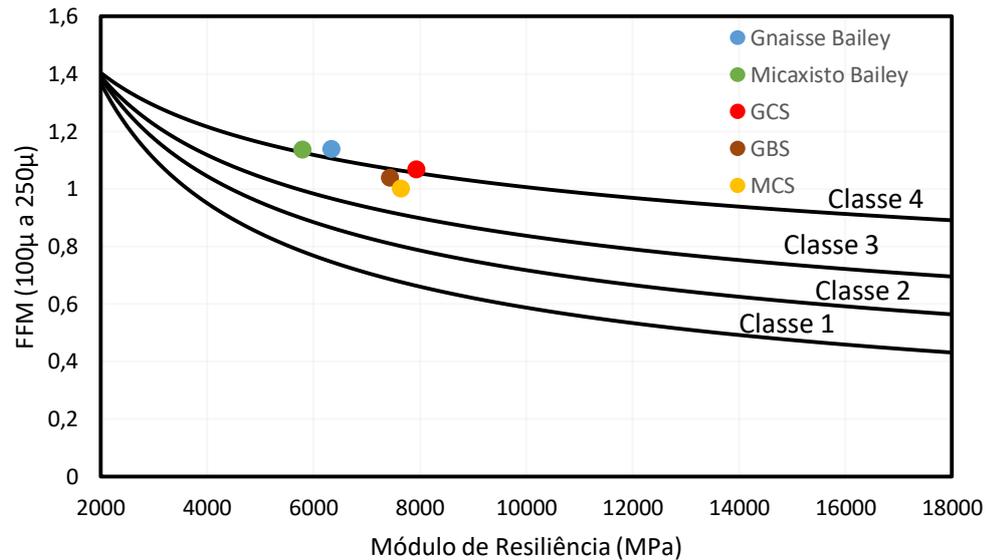


Figura 8: Representação da classe das misturas ensaiadas quanto ao desempenho a fadiga, segundo metodologia proposta por Fritzen *et al.* [25]

Ao comparar com as relações MR/RT nas misturas GB, GBS e GCS pode-se perceber que a mistura GBS apresenta menor valor de MR/RT e apresenta pior comportamento quanto à fadiga, comportamento este contrário ao esperado. Da mesma forma, ao comparar as misturas MB e MCS, que tem como origem agregado de micaxisto, pode-se perceber que a MB apresenta a maior relação MR/RT e, no entanto, apresenta comportamento mecânico muito similar ao da mistura GB e melhor que o da mistura MCS. Assim, verifica-se que, para essas misturas, a relação MR/RT não corresponde ao comportamento real de misturas asfálticas quanto à fadiga.

Em seus estudos, Mendes e Marques [53] avaliaram o comportamento quanto à fadiga de misturas dosadas da maneira tradicional e dosadas pela metodologia Bailey e constataram que as misturas dosadas pela metodologia tradicional apresentaram melhor comportamento quanto à fadiga e ainda apresentaram a menor relação entre MR/RT, indicando que a dosagem Bailey não acarretou em melhorias neste sentido. Nas misturas estudadas nesta pesquisa pode-se perceber melhora considerável da mistura GB em relação a GBS, ligeira melhora na mistura GB em comparação a GCS e considerável melhora na mistura MB em comparação com MCS, resultados esses contrários ao encontrado por Mendes e Marques [53]. Assim, os resultados obtidos neste artigo indicam que a seleção granulométrica dos agregados considerando as metodologias Bailey e FAD melhoram o comportamento das misturas em termos de fadiga. No entanto, esta melhoria não pode ser observada para a deformação permanente avaliada por meio do *Flow Number*.

4.3 Análise Mecânica

Ao inserir os dados de entrada e analisar as estruturas no software MeDiNa, observou-se que em termos de *Flow Number* as seguintes condições devem ser atendidas por todas as misturas asfálticas:

- Para uma condição de tráfego normal: FN > 655 ciclos;
- Para uma condição de tráfego severa: FN > 1691 ciclos.

O trabalho de Chiarello *et al.* [49] não traz informações sobre o valor de FN da mistura asfáltica utilizada. No caso das misturas estudadas neste artigo, observa-se que conforme apresentado na Tabela 9 nenhuma delas atende aos critérios mínimos do MeDiNa.

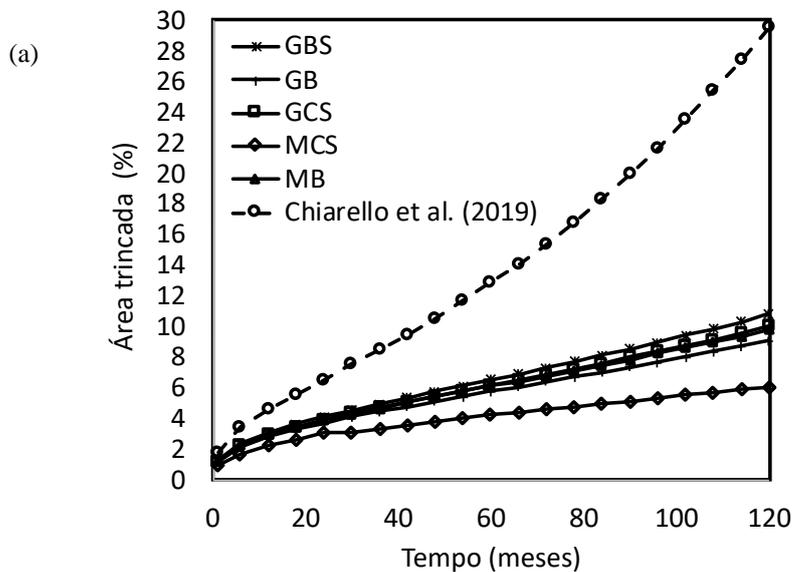
A Tabela 13 mostra a comparação obtida ao dimensionar a mesma estrutura com misturas asfálticas distintas. Para o tipo de via considerada, o MeDiNa apresenta os valores de 30% de AT e 10 mm de ATR como critérios máximos para aceitação da estrutura. No caso em questão, verifica-se que ao substituir o concreto asfáltico do estudo original pelas misturas avaliadas neste trabalho verifica-se a redução da camada de rolamento de 12 cm para 5 cm, destacando o melhor comportamento quanto à fadiga das mesmas. Em termos de AT, destaca-se o comportamento superior da mistura MCS que possibilitou a redução parâmetro em, aproximadamente, 10%. Em termos de ATR não é esperada significativa influência das camadas do revestimento, visto que na versão atual do MeDiNa esse parâmetro considera apenas o comportamento das camadas

subjacentes (base, sub-base e subleito).

Tabela 13: Estruturas dimensionadas considerando diferentes misturas asfálticas

MISTURA ASFÁLTICA	ESPESSURAS DIMENSIONADAS(CM)			AT (%)	ATR (MM)
	Binder	Camada de rolamento	Total		
GB	15,0	5,0	20,0	29,2	6,1
MB	15,0	5,4	20,4	29,2	6,2
MCS	15,0	5,0	20,0	19,7	5,6
GCS	15,0	5,0	20,0	30,0	5,5
GBS	15,0	5,0	20,0	29,6	5,6
Chiarello <i>et al.</i> (2019)	15,0	12,0	25,0	29,6	4,3

A Figura 9 apresenta os resultados das análises realizadas no MeDiNa para verificar o desempenho do pavimento ao longo do período de projeto. Para tanto, foi considerada a estrutura ilustrada na Figura 3 e variou-se apenas os materiais das camadas de binder e de rolamento. Novamente, observa-se desempenho inferior da mistura asfáltica utilizada originalmente na estrutura em termos de AT (Figura 8a). A mistura MSC apresentou o menor valor de AT ao final de 10 anos, apenas 6,1%. Já as demais misturas classificadas como Classe 3 e 4 quanto à fadiga apresentaram valores finais variando entre 9 e 11%. A mistura original do trabalho de Chiarello *et al.* [49] classifica como Classe 1 atingiu esse nível de AT com menos de 50 meses de abertura ao tráfego. Em termos de ATR (Figura 8b), o desempenho foi semelhante independente do tipo de mistura asfáltica utilizada visto que os materiais considerados nas camadas inferiores foram os mesmos.



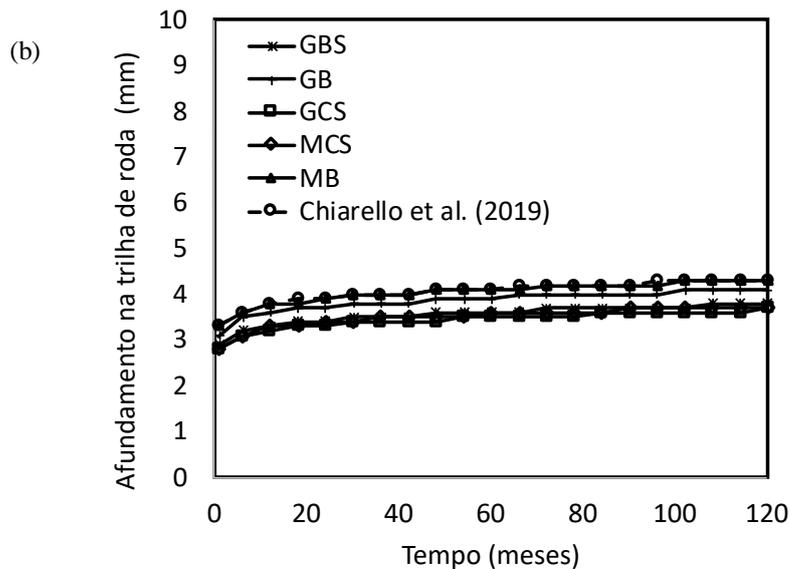


Figura 9: Avaliação de desempenho da estrutura ao longo do tempo para os diferentes materiais das camadas de binder e revestimento: (a) em termos de área trincada; (b) em termos de afundamento da trilha de roda.

5. CONCLUSÕES

Como os agregados utilizados na pesquisa não se enquadravam naturalmente nos parâmetros da metodologia Bailey, o estudo apresentado se baseou neste critério para avaliar os impactos no desempenho mecânico de misturas asfálticas em termos de fadiga e de deformação permanente.

Os resultados obtidos indicaram que a escolha da seleção granulométrica pela metodologia Bailey por si só não é capaz de garantir a melhoria do comportamento no revestimento asfáltico, principalmente em termos de deformação permanente. Tal fato pode ser justificado pelo não atendimento aos valores mínimos de RPB e da faixa de porosidade FAD. Já em termos de fadiga e dano por umidade induzida as misturas estudadas apresentaram resultados satisfatórios. A seleção granulométrica pela metodologia Bailey é responsável por formar um empacotamento dos grãos, e, dessa maneira, propiciar ajustes e modificações nos parâmetros volumétricos da mistura e não melhorias no comportamento mecânico quanto à deformação permanente, conforme apresentado por Barros *et al.* [55] e constatado nesta pesquisa. Oufa e Abdolsamed [58] destacam que o método Bailey apresenta como principal limitação a consideração apenas da graduação e tamanho dos agregados, não sendo incorporado à metodologia características importantes como textura, energia de compactação, formato e resistência dos agregados. Por outro lado, algumas pesquisas como as realizadas por Zhu Wei *et al.* [59] e Manjunath e Poornachandra [60] apresentam resultados contrários ao encontrado nesta pesquisa, onde afirmam que as misturas com granulometria selecionada pela metodologia Bailey apresentam melhor comportamento em relação à deformação permanente quando comparadas às misturas que utilizam seleção granulométrica convencional. Ghuzlan *et al.* [61], ao comparar misturas de graduação finas e grossas selecionadas pelo método Bailey e Superpave, verificou que, de maneira geral, as misturas Bailey apresentam bom empacotamento entre os grãos, expresso por meio do bom desempenho quanto à deformação permanente; porém, os autores não verificaram diferenças significativas nos valores de FN para as misturas de graduação fina. Dessa maneira, não se pode generalizar que haverá correlação direta entre o uso da metodologia Bailey e o aumento da resistência à deformação permanente, sendo importante realizar os ensaios mecânicos para conhecimento real do comportamento das misturas asfálticas.

A partir das análises mecanísticas realizadas, pode-se perceber que as misturas asfálticas avaliadas neste artigo apresentaram melhores resultados em termos de área trincada do que a misturas de Chiarello *et al.* [46] pelo fato de serem melhor classificadas quanto à fadiga. No entanto, as misturas estudadas não atenderam o critério de deformação permanente, indicando que suas dosagens devem ser melhoradas.

Por fim, recomenda-se que para melhorar o desempenho mecânicos das misturas asfálticas produzidas no estado de Goiás, em especial quanto à deformação permanente, deve-se atender integralmente a todos os parâmetros da dosagem *Superpave* e apresentarem valores de porosidade FAD entre 38% e 48% (conforme proposto por Greene, Chun e Choubane [13]). Além da seleção granulométrica adequada para os agregados, o uso de ligantes asfálticos modificados também deve ser considerado.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, da pedreira Briteng e da Construtora CCB pelo fornecimento de agregados, da distribuidora DISBRAL pelo fornecimento do ligante asfáltico e da fornecedora do DOPE Homy Química.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P. *et al.*, *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*, Rio de Janeiro, Petrobrás: ABEDA, 2006.
- [2] ROBERTS, F.L.; MOHAMMAD, L.N.; WANG, L., History of Hot Mix Asphalt Mixture Design, *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 14, n. 4, pp. 279-293, 2002.
- [3] DNIT, PRO 178: Pavimentação Asfáltica – Preparação de Corpos de Prova para Ensaio Mecânicos Usando o Compactador Giratório Superpave ou o Marshall – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.
- [4] SWAMI, B.L.; MEHTA, Y.A.; BOSE, S., A Comparison of the Marshall and Superpave Design Procedure for Materials Sourced in India, *International Journal of Pavement Engineering*, v. 5, n. 3, pp. 163-173, 2004.
- [5] AHMAD, J.; RAHMAN, M.Y.A.; HAININ, M.R.; *et al.* Comparative Evaluation of Hot Mix Asphalt Design Methods, *International Journal of Pavement Engineering*, v. 13, n. 2, pp. 89-97, 2012.
- [6] ZUMRAWI, M.M.E.; EDRESS, S.A.S., Comparison of Marshall and Superpave Asphalt Design Methods for Sudan Pavement Mixes, *International Journal of Scientific and Technical Advancements*, v. 2, pp. 29-35, 2016.
- [7] LEANDRO, R.P. *Avaliação do Comportamento Mecânico de Corpos de Prova de Misturas Asfálticas a Quente resultantes de Diferentes Métodos de Compactação*, Tese de D.Sc, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, SP, Brasil, 2016.
- [8] BARROSO, L.X. *Avaliação da Dosagem e do Comportamento Mecânico de Concretos Asfálticos Produzidos em Goiás*, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, GO, Brasil, 2018
- [9] DNIT ES 031: *Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfalto – Especificação de Serviço*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.
- [10] ANDRADE, V.D.; BARRA, B.S.; BERNUCCI, L.; MOMM, L.; *et al.* Impacto da formulação de composições granulométricas nas propriedades mecânicas e funcionais de misturas asfálticas densas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, [S.L.], v. 25, n. 4, 2020.
- [11] VAVRIK, W.R.; HUBER, G.; PINE, W. *et al.*, Bailey Method for Gradation Selection in HMA Mixture Design, *Transportation Research Board: Transportation Research Circular Number E-C044*, Washington, D. C., EUA. Outubro. 2002.
- [12] MENDES, L.O. *Utilização do Método Bailey para a Seleção de Agregados em Dosagem de Misturas Asfálticas*, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil, 2011.
- [13] KIM, S. *Identification and Assessment of the Dominant Aggregate Size Range of Asphalt Mixture*, Tese (Doctor of Philosophy) – Graduate School of the University of Florida, University of Florida, EUA, 2006.
- [14] GREENE, J.; CHUN, S.; CHOUBANE, B. Enhanced Gradation Guidelines to improve Asphalt Mixture Performance, *Transportation Research Record*, v. 2456, n1, pp. 3-10, 2014.
- [15] ALMEIDA JR, P.O.B.; BOEIRA, F.D.; SPECHT, L.P.; *et al.* Avaliação Laboratorial do Tipo e Teor de Ligante e da Granulometria na Deformação Permanente de Misturas Asfálticas, *Transportes*, v. 26, n2, 2018.
- [16] BARROS, L.M.; OTAVIANO, F.C.M.; NASCIMENTO, L.A.H.; *et al.* Avaliação dos Efeitos de Propriedade de Agregados na Resistência à Deformação Permanente de Misturas Asfálticas. *34º congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da Anpet*, 2020.
- [17] FRANCO, F.A.C.P. *Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SISPAV*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
- [18] BLAB, R., Performance-Based Asphalt Mix and Pavement Design, *Romanian Journal of Transport Infrastructure*, v. 2, n. 1, pp. 21–38, 2013.
- [19] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). *Manual de Utilização do programa MeDiNa*, 78p, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/medina/medina-1-1-4-manual-de-utilizacao.pdf>> . Acesso: 10/10/2020.
- [20] SANTOS, A.B.V.; SOARES, J.B.; BABADOPULOS, L.A.L. Influência da Temperatura e da Velocidade de Tráfego na Previsão de Área Trincada de Pavimentos Asfálticos. *Transportes*, v.28, n.4, 2020.

- [21] VENDRUSCULO, J.I.; PASCOAL, P.T.; SANTOS, T.A.; *et al.* Comparação Entre Pavimentos Dimensionados com os Métodos do DNER (1981) e Medina (2018): Estudo de Caso com Solos de Subleito da Cidade de Santa Maria/RS. 32° congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da Anpet, 2018.
- [22] DNIT ME 183: *Pavimentação Asfáltica – Ensaio de Fadiga por Compressão Diametral à Tensão Controlada – Método de ensaio*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.
- [23] MELLO, L.G.R. *A Teoria do Dano em Meio Contínuo no Estudo da Fadiga em Misturas Asfálticas*. 2008. 263p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.
- [24] MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. *Mecânica dos Pavimentos*. 3. Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2015. 620 p.
- [25] FRITZEN, M.A.; FRANCO, F.A.C.P.; NASCIMENTO, L.A.; *et al.* Classificação de Misturas Asfálticas Quanto ao Desempenho à Fadiga. 9° Congresso Rodoviário Português, Lisboa, 2019.
- [26] NASCIMENTO, L.A.H. *Nova Abordagem da Dosagem de Misturas Asfálticas Densas com o Uso do Compactador Giratório e Foco na Deformação Permanente*. 2008. 204p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- [27] DNIT ME 184. *Pavimentação – Misturas Asfálticas – Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência a deformação permanente – Método de ensaio*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.
- [28] CENTOFANTE, R.; SPECHT, L.P.; ALMEIDA JUNIOR, P.O.B.; *et al.* Avaliação do comportamento de misturas asfálticas recicladas a quente com inserção de material fresado. *Matéria (Rio de Janeiro)*, [S.L.], v. 23, n. 3, 18 out. 2018.
- [29] CARVALHO, I.S.; REZENDE, L.R.; SILVA, J.P.S.; *et al.* Estudo do Concreto Asfáltico Estocável. *Matéria (Rio de Janeiro)*, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 300-345, 2020.
- [30] ZHANG, J.; ALVAREZ, A.E.; LEE, S.I.; *et al.* Comparison of flow number, dynamic modulus, and repeated load tests for evaluation of HMA permanent deformation. *Construction and Building Materials*, v. 44, p. 391–398, 2013.
- [31] ASTM C127: *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*, American Society for Testing and Materials, EUA, 2015.
- [32] ASTM C128: *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*, American Society for Testing and Materials, EUA, 2015.
- [33] AASHTO T19: *Standard Method of Test for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*. EUA, 2014.
- [34] DNER ME 078: *Agregado graúdo – Adesividade a ligante betuminoso*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1994.
- [35] DNER ME 086: *Agregado – Determinação do Índice de Forma*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1994.
- [36] ABNT NBR 6296: *Produtos betuminosos semissólidos – Determinação da massa específica e densidade relativa*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.
- [37] ABNT NBR 6560: *Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do anel e bola*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.
- [38] ABNT NBR 6576: *Materiais asfálticos – Determinação da Penetração*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
- [39] ABNT NBR 15184: *Materiais Betuminosos - Determinação da Viscosidade em Temperaturas Elevadas Usando um Viscosímetro Rotacional*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.
- [40] ASTM D 2872: *Standard Test Method for Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures*, American Society for Testing and Materials, EUA, 2004.
- [41] CUNHA, M.B. *Avaliação do Método Bailey de seleção granulométrica de agregados para misturas asfálticas*. Dissertação (mestrado), EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2004.
- [42] MENDES, L.O. *Utilização do Método Bailey para a Seleção de Agregados em Dosagem de Misturas Asfálticas*. 2011. 130p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG. 2011.
- [43] ABNT NBR 15573: *Misturas Asfálticas - Determinação da Densidade Aparente e da Massa Específica Aparente de Corpos de Prova Compactados*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.
- [44] ABNT NBR 15619: *Misturas Asfálticas - Determinação da Densidade Máxima Teórica em Amostras não Compactadas*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.
- [45] DNIT ME 136: *Misturas Asfálticas – Determinação da resistência a tração por compressão diametral – Método de ensaio*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.
- [46] ABNT NBR 16018: *Misturas Asfálticas – Determinação da Rigidez por Compressão diametral sob Carga Repetida*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.
- [47] DNIT ME 416: *Pavimentação Asfáltica – Determinação do Módulo Dinâmico – Método de ensaio*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.
- [48] DNIT ME 180: *Pavimentação – Misturas Asfálticas – Determinação do Dano Por Umidade Induzida – Método de ensaio*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.
- [49] CHIARELLO, G.P.; PASCOAL, P.T.; SANTOS, T.A.; *et al.* Avaliação Estrutural e Financeira de Pavimento Flexível Dimensionado pelo Método DNER (1981) e Medina (2019): Estudo de Caso da Duplicação da BR 287 – Trecho Santa Cruz do Sul à Tabaí/RS. 33° Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da Anpet, Balneário Camboriú, SC, 2019.

- [50] US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION): *Superpave Mixture Design guide*. Washington, DC, USA, FHWA, 2001.
- [51] ASPHALT INSTITUTE. *Manual Series no. 02: Asphalt Mix Design Methods*, 7ªed, EUA, Asphalt Institute, 2014.
- [52] BARDINI, V.S.S. *Influência do Filler Mineral em Propriedades de Misturas Asfálticas Densas*. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2013
- [53] MENDES, L.O; MARQUES, G.L.O. Avaliação da Influência do Metodo Bailey no Processo de Dosagem e Desempenho de Misturas Asfálticas. *Transportes*, v.20, n.4, p. 35-43, 2012.
- [54] SANTOS, C.R.G. *Avaliação das Influências do Tipo de Ligante e do Volume de Vazios na Vida de Fadiga de Algumas Misturas Asfálticas*. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2005.
- [55] BARROS, L.M.; OTAVIANO, F.C.M.; NASCIMENTO, L.A.H.; *et al.* Avaliação dos Efeitos e Propriedades de Agregados na Resistência a Deformação Permanente de Misturas Asfálticas, *ANPET*, v34, 12p., Evento digital, 2020.
- [56] BOEIRA, F.D. *Estudo da Rigidez, da Deformação Permanente e da Fadiga de Misturas Asfálticas com Ligantes Convencionais e Modificados*. Tese (Doutorado), Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2018.
- [57] AASHTO T 342: *Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA)*, American Society for Testing and Materials, EUA, 2011.
- [58] OUFA, M.S.; ABDOLSAMEDB, A.A. Controlling rutting performance of hot mix asphalt, *Int. J. Sci. Eng. Res.* 6 (12), 2016.
- [59] ZHU, W.; LI, H.Z.; MA, S.R.; *et al.* Application of Bailey Method for Aggregate Grading Design of Continuous Dense Gradation Asphalt Mixture, in: *Advanced Materials Research. Trans Tech Publications*, 2012, Vol. 413, pp. 154–159.
- [60] MANJUNATH, K.R.; POORNACHANDRA, D.N.B., Design of hot mix asphalt using bailey method of gradation, *Int. J. Res. Eng. Tech.* 03 (06), 2014.
- [61] GHUZLAN, K.A.; AL-MISTAREHI, B.W.; AL-MOMANI, A.S. Rutting performance of asphalt mixtures with gradations designed using Bailey and conventional Superpave methods. *Construction and Building Materials*, [S.L.], v. 261, p. 119941, 2020.

ORCID

João Victor de Oliveira Coelho Guabiroba	https://orcid.org/0000-0002-5989-3558
Lilian Ribeiro de Rezende	https://orcid.org/0000-0002-6755-8282
Laynara Xavier Barroso	https://orcid.org/0000-0003-2894-6829
João Paulo Souza Silva	https://orcid.org/0000-0003-3297-8276