

COMPARAÇÃO DO AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA DE PAVIMENTOS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO UTILIZANDO O MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO NACIONAL

Marcos Antonio Fritzen¹, Mariluce de Oliveira Ubaldo², Laura Maria Goretti da Motta³, Filipe Augusto Cinque de Proença Franco⁴ e Alvaro Augusto Dellê Vianna⁵

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Geotecnia, Av. Pedro Calmon s/n, 21941-596, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil: email: marcosantonio_ufrj@yahoo.com.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Geotecnia, Av. Pedro Calmon s/n, 21941-596, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil

³Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Geotecnia, Av. Pedro Calmon s/n, 21941-596, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil

⁴Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Geotecnia, Av. Pedro Calmon s/n, 21941-596, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil

⁵Universidade Federal do Rio de Janeiro, Laboratório de Geotecnia, Av. Pedro Calmon s/n, 21941-596, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Brasil

Sumário

Este trabalho apresenta a comparação entre as avaliações de afundamento de trilha de roda (ATR) de segmentos experimentais construídos em uma estrada vicinal com os resultados estimados de deformação permanente pelo Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa). Após a construção, a equipe da COPPE realizou monitoramentos periódicos do trecho, sendo o último em mar/2018. Com base nos ensaios de laboratório e nas avaliações de campo, foi possível fazer uma comparação entre os dados de ATR e o resultado estimado pelo MeDiNa. Conclui-se que a previsão do programa ficou bem próxima dos dados reais de ATR medidos em campo.

Palavras-chave: Deformação permanente, Ensaios de laboratório, Desempenho de campo, Trechos experimentais e Método de Dimensionamento Mecânico

1 INTRODUÇÃO

O governo do Estado de Minas Gerais iniciou, em 2004, a execução do Programa de Melhoria de Acessibilidade a Municípios de Pequeno Porte – PROCESSO cujo objetivo foi contribuir para o desenvolvimento socioeconômico de municípios com baixo Índice de Desenvolvimento Humano – IDH. Visou a promoção da conexão com a rede viária principal, pela melhoria e pavimentação da infraestrutura viária de acesso às sedes municipais [1].

Em outubro de 2010, no programa PROCESSO, um trecho de 42 km de extensão da rodovia que liga a sede do município de Campo Azul à rodovia estadual MG-202 foi pavimentado. Neste trecho foi possível implantar um trecho experimental de 1000 m, dividido em cinco segmentos homogêneos, com soluções de materiais de base diferentes.

Cada segmento de 200m do trecho experimental foi realizado nas duas faixas de rolamento, uma faixa no sentido de Campo Azul para Brasília de Minas (CA-BM) e a outra no sentido de Brasília de Minas para Campo Azul (BM-CA). Brasília de Minas é a cidade mais próxima da localização do trecho experimental e referência na região. O trecho fica ao norte do estado de Minas Gerais a aproximadamente 120 km de Montes Claros – MG.

Desde a sua construção, o trecho experimental vem sendo monitorado periodicamente por equipe do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE) e vários dados são levantados: a identificação visual de defeitos; levantamento deflectométrico com FWD; levantamento da irregularidade e do afundamento de trilha de roda com o perfilômetro a laser; e

levantamento de atrito (microtextura) com o uso do Grip Tester. Alguns destes resultados estão apresentados em [1], [2], [3].

A diversidade de dados obtida destes levantamentos permitiu que diversos estudos fossem realizados, dentre os quais, a avaliação do comportamento dos segmentos ao afundamento de trilha de roda (ATR), objeto do presente trabalho.

Este trabalho, portanto, tem o objetivo de apresentar os resultados desta avaliação do ATR, realizada a partir das comparações entre os dados obtidos das medições de afundamento de trilha de roda realizadas no trecho experimental de Campo Azul com os resultados de deformação permanente calculadas pelo Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa quando nele são utilizados os dados dos ensaios de laboratório.

Para tanto, os dados do acompanhamento do trecho experimental utilizados nesta pesquisa foram o afundamento de trilha de roda obtidos com o perfilômetro a laser e sensores posicionados sobre as trilhas de roda externa e interna, e confirmados com a treliça metálica; os dados de ensaios de Módulo de Resiliência e de Deformação Permanente dos solos componentes das estruturas dos trechos; e os dados de contagem do tráfego.

2 BREVE DESCRIÇÃO DOS SEGMENTOS EXPERIMENTAIS

A configuração dos segmentos monitorados, composta de diferentes solos, compactados com energia do Proctor Intermediário, é a seguinte [3]:

2.1 Segmento Monitorado – 1: Solo NA com cimento (estacas 1865 a 1875)

Solo arenoso fino não laterítico (NA), proveniente da caixa de empréstimo próximo da estaca 1865, misturado com cimento Ultra Forte, da Holcim, ao teor de 2%. A imprimação original, com asfalto diluído de cura média (CM-30), foi removida com motoniveladora, devido à formação de uma “crosta frágil”, com aproximadamente 2,0 cm de espessura, quebradiça em alguns locais. Esse segmento, ao final da compactação ficou com 18 cm de espessura de base, 2,0 cm a menos em relação aos demais segmentos. Capa selante sobre base: primeiro banho (1,0 l/m²) de emulsão de cura rápida (RR-2C), diluído a 50% em água, substituiu a imprimação com CM-30 que foi suprimida, coberto com pedrisco (9,0kg/m²) e compactado com rolo de pneus. Esta camada é de proteção da superfície da base do cravamento da brita do Tratamento Superficial Duplo (TSD).

2.2 Segmento Monitorado - 2: Solo LA' (estacas 1875 a 1885)

Solo arenoso fino laterítico (LA'), proveniente da caixa de empréstimo, próximo ao km 141 da rodovia estadual MG-202, puro; imprimado com CM-30. Revestimento em TSD convencional. No solo LA' foi avaliada a possibilidade de cravamento na superfície da base, que foi considerada remota. Aplicou-se, ao final, um banho diluído (1,0 l/m²), de RR-2C a 50% de água, nas duas bordas da pista de rolamento (0,6 m de cada lado), com o objetivo de selar trincas da base que ali ficaram expostas. Após a execução da drenagem superficial foi avaliada a necessidade de nova selagem, mais localizada, das referidas trincas, com bico do regador.

2.3 Segmento Monitorado - 3: Solo NA com seixo rolado (estacas 1885 a 1895)

Solo arenoso fino não laterítico (NA), proveniente da caixa de empréstimo próximo a estaca 1865, misturado com 50% de cascalho de seixo rolado (nome regional); imprimado com CM-30. Revestimento em TSD convencional. Nesse caso, optou-se pela não execução da capa selante sobre a base, considerando o percentual de agregados (seixo rolado) presente na mistura.

2.4 Segmento Monitorado - 4: Solo NA puro (estacas 1895 à 1905)

Solo arenoso fino não laterítico (NA) puro; imprimado com CM-30. Nesse caso, não foi constatada a formação de uma crosta frágil e quebradiça, apesar de uma penetração de aproximadamente 1,5 cm do CM-30. Portanto, decidiu-se pela preservação da imprimação original. Capa selante sobre base: primeiro banho (1,0 l/m²) de RR-2C, diluído a 50% em água e coberto com pedrisco (9,0kg/m²) para proteger a superfície da base do cravamento da brita do TSD.

2.5 Segmento Monitorado - 5: Referência - cascalho de seixo rolado (estacas 1905 à 1915)

A título de comparação, foi demarcada uma seção de igual comprimento dos segmentos monitorados anteriores (cerca de 200m) da solução utilizada em todo o trecho da rodovia para servir como referência aos outros quatro. Tem a base de cascalho de seixo rolado e revestimento TSD.

2.6 Resumo dos segmentos monitorados

Na Figura 1 estão apresentados desenhos esquemáticos da composição dos cinco trechos experimentais avaliados neste estudo.

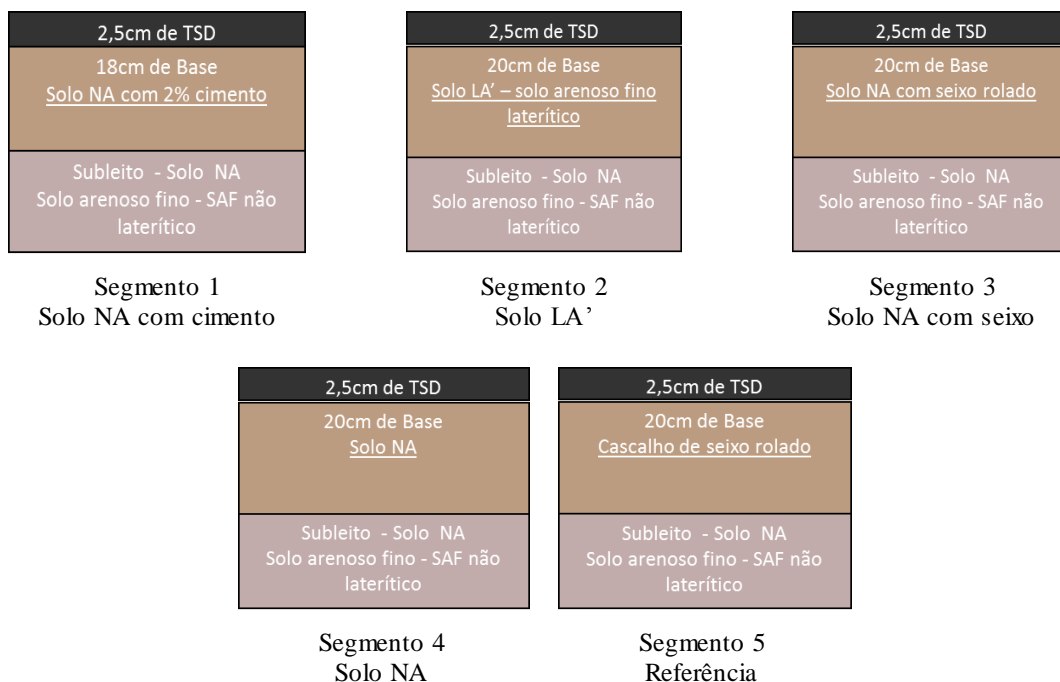


Fig. 1: Desenho esquemático dos cinco trechos experimentais.

No Quadro 1 estão apresentados os dados básicos, resumidos e representativos, dos materiais utilizados nas camadas de base dos segmentos monitorados. Apenas o solo NA, presente no subleito dos cinco segmentos e na camada de base do segmento 4, e o solo LA', usado na camada de base do segmento 2, foram ensaiados para obter o modelo de previsão da deformação permanente, que serão apresentados no próximo item, usando o modelo de deformação permanente proposto por [4], que consta do MeDiNa.

Quadro 1 - Características dos solos das bases e do subleito dos segmentos monitorados

Material	Classificação		Umidade do ensaio (%)	MEAS (g/cm ³)	Módulo de resiliência (MPa)			
	MCT	TRB			k ₁	k ₂	k ₃	R ²
(1) Solo arenoso fino com cimento	-	A-2-4	6,4	1,863	6585	0,66	0,16	0,99
(2) Solo fino laterítico	LA'	A-4	10,7	1,888	721	0,25	0,19	0,79
(3) Solo arenoso fino com cascalho	-	-	6,3	2,057	2192	0,57	0,05	0,88
(4) Solo arenoso fino	NA	A-2-4	8,9	1,830	832	0,45	-0,11	0,96
(5) Cascalho seixo rolado	-	A-1-A	6,1	2,100	1365	0,57	-0,08	0,97

Nota: MEAS = Massa específica aparente seca; MCT: Metodologia brasileira de classificação de solos tropicais

Os demais materiais, NA com cimento, NA com seixo rolado e cascalho de seixo rolado, foram ensaiados apenas para a identificação do Módulo de Resiliência, uma vez que a quantidade de material coletado em campo, à época da construção, foi insuficiente para realizar os ensaios de deformação permanente.

Vale ressaltar que, o módulo de resiliência do solo NA com 2% de cimento que consta no Quadro 1, é o resultado de um ensaio que foi realizado em corpos de prova com 7 dias de cura. Ressalta-se também que foi admitida a hipótese de que a deformação permanente deste material, que foi aplicado na base do segmento 1, não contribuiu para o afundamento de trilha de roda do pavimento.

De qualquer forma, apenas os trechos 2 e 4 reuniram todos os dados e ensaios do subleito e base necessários para uma avaliação completa de deformação permanente neste trabalho. Os trechos 1, 3 e 5 serão avaliados também, mas apenas para título de comparação.

3 ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE - LABORATÓRIO

O método do ensaio de deformação permanente utilizada neste projeto está descrito no procedimento Rede 03/2010 - Deformação Permanente em Solos e Britas do Manual de Asfalto elaborado pela Petrobras e universidades participantes da Rede Temática de Asfalto. Recentemente foi oficializada a Instrução de Ensaio (IE) 179/2018 - Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente, do Departamento Nacional de Infraestrutura terrestre (DNIT) que tem o mesmo princípio.

O ensaio de deformação permanente de solo é realizado em equipamento triaxial, da mesma forma que é realizado o ensaio de módulo de resiliência de solos e britas. Consiste em aplicar um grande número de ciclos de carga repetida para um único estado de tensões para cada corpo de prova, anotando as deformações permanentes acumuladas ao longo dos ciclos. Para definir modelos de comportamento de deformação permanente com o estado de tensões e número de ciclos é necessária a realização de ensaios em vários corpos de prova, e para cada corpo de prova é aplicado um par de tensões diferente. O ensaio define os parâmetros do modelo de Guimarães [4], Equação 1, usado no projeto de dimensionamento de pavimentos com o programa MeDiNa.

$$\varepsilon_p (\%) = \psi_1 \cdot \left(\frac{\sigma_3}{\rho_0}\right)^{\psi_2} \cdot \left(\frac{\sigma_d}{\rho_0}\right)^{\psi_3} \cdot N^{\psi_4} \quad (1)$$

Onde:

$\varepsilon_p (\%)$ = Deformação permanente específica (ε_p^i);

$\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$ = Parâmetros de regressão;

σ_d e σ_3 = Tensão desvio e Tensão confinante respectivamente;

ρ_0 = Tensão de referência (tensão atmosférica);

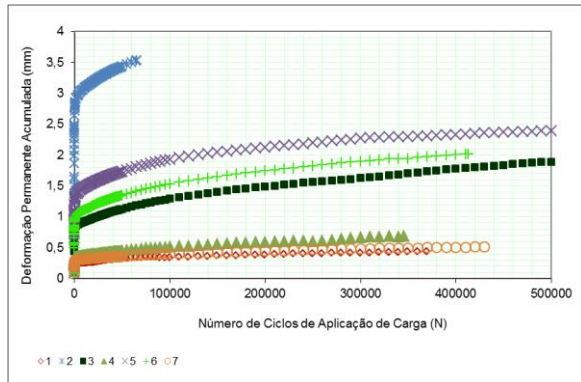
N = Número de ciclos de aplicação de carga.

O ensaio de deformação permanente foi realizado em apenas dois materiais: o solo LA' que é a camada de base do segmento 2 e o solo NA que é a camada de base do segmento 4 e o subleito de todos os cinco segmentos avaliados neste artigo. Os resultados destes ensaios estão apresentados na Figura 2 e nos Quadros 2 e 3. Para o material da camada de base do segmento 1, que é solo NA + 2% de cimento, foi admitido que a deformação permanente deste não contribuiu para o afundamento de trilha de roda.

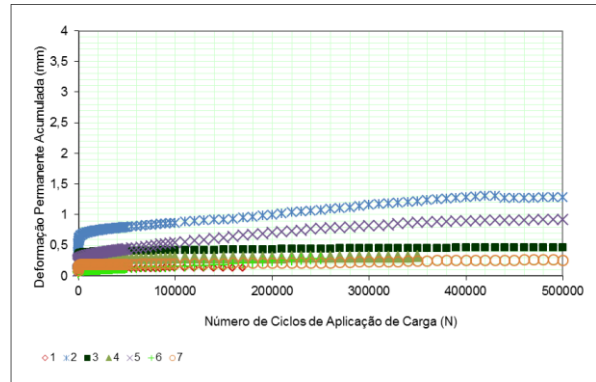
Em função da quantidade de solo disponível, os ensaios foram realizados com sete corpos de prova de cada material. Os ensaios destes materiais foram feitos em 2010 e alguns pontos foram diferentes da norma atual. O ensaio foi realizado a 1 Hz e o número de ciclos foi variável, mas em geral bastante elevado, comparável com o Número N de repetições do eixo padrão esperado para a vida útil do trecho.

Como pode ser observado na Quadro 2 e Figura 2, o solo NA teve uma deformação permanente total acumulada muito maior que o solo LA', conforme esperado por ser este laterítico. De qualquer forma, ambos apresentaram, em termos absolutos, deformação permanente total baixa. O solo LA' tendeu ao acomodamento das deformações

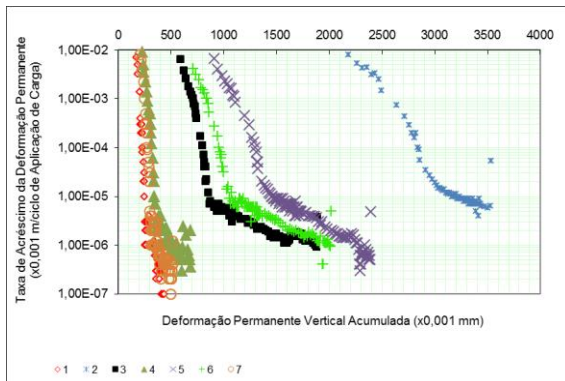
ao longo do tempo para a maioria dos estados de tensões considerados nos ensaios. O solo NA só apresentou certo acomodamento para os pares de tensões menores.



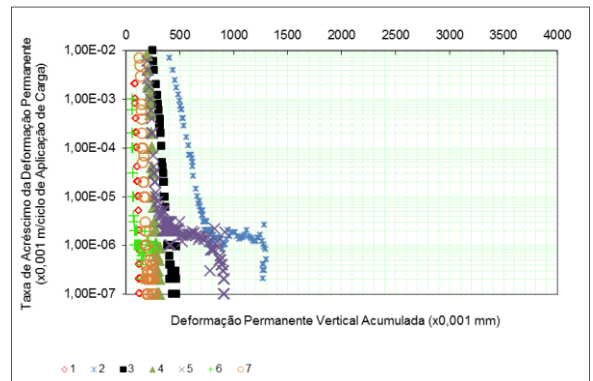
a) Solo NA - deformação elástica acumulada em função do número de ciclos



b) Solo LA' - deformação elástica acumulada em função do número de ciclos



c) Solo NA - taxa de acréscimo da deformação permanente versus deformação permanente vertical acumulada



d) Solo LA' - taxa de acréscimo da deformação permanente versus deformação permanente vertical acumulada

Fig. 2: Resultados dos ensaios de deformação permanente realizados em laboratório.

Quadro 2 – Resultados dos ensaios de deformação permanente dos dois solos, realizados em laboratório.

	Nº ensaio	σ_d (KPa)	σ_3 (KPa)	DP (mm)	DP (%)	Ciclos
Solo NA	1	70	70	0,442	0,22	370.000
	2	360	120	3,534	1,77	65.000
	3	240	120	1,890	0,94	500.000
	4	120	120	0,685	0,34	345.600
	5	240	80	2,396	1,20	500.000
	6	160	80	2,016	1,01	413.200
	7	80	80	0,519	0,26	430.000
Solo LA'	1	70	70	0,131	0,06	175.000
	2	360	120	1,285	0,64	500.000
	3	240	120	0,469	0,23	500.000
	4	120	120	0,316	0,16	350.000
	5	240	80	0,917	0,46	500.000
	6	160	80	0,281	0,14	250.000
	7	80	80	0,259	0,13	500.000

Nota: O ensaio triaxial para a determinação da deformação permanente consiste na aplicação de sete níveis de tensão, conforme a Norma Brasileira DNIT 179/2018 - IE

No Quadro 3 estão apresentados os parâmetros de previsão da Deformação Permanente (DP), obtidos por regressão do modelo de Guimarães dos dois solos, que são necessários como dados de entrada nas simulações do programa MeDiNa. Com estes dados pode-se estimar a contribuição de cada camada e subleito para o afundamento de trilha de roda. São nítidas as diferenças entre os dois materiais, sendo os Ψ_1 , Ψ_2 e Ψ_3 sempre maiores para o solo NA.

Quadro 3 - Parâmetros do modelo de deformação permanente dos solos desta pesquisa.

Material	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3	Ψ_4	R ²
Solo NA	0,084	-0,640	1,735	0,076	0,902
Solo LA'	0,019	-0,283	1,422	0,123	0,843

4 RESULTADOS DE CAMPO

4.1 Dados de Tráfego

De acordo com os estudos de tráfego, elaborados pela empresa de consultoria contratada para a elaboração do projeto do referido trecho, o número N (número de repetições do eixo padrão de 8,2 tf) para um período de projeto de 10 anos é de $N = 1,97 \times 10^5$. A composição do tráfego obtida na referida pesquisa de tráfego é apresentada no Quadro 4. Nesta mesma tabela estão apresentados os dados de uma contagem realizada em 2011, pela equipe do Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de Minas Gerais - DER/MG.

Quadro 4 - Estudo de Trafego Trecho Campo Azul – MG 202.

Data	Carro de Passeio	Ônibus	Caminhão Leve (2C)	Caminhão Médio (3C)	Semi-Reboques	VMD total	VMD comercial
Projeto (2008)	74	8	10	10	0	102	28
2011	87	8	14	10	1	120	33

Ambas as contagens volumétricas e classificatórias foram realizadas por processo manual, apurando-se todos os movimentos de tráfego permitidos nos locais pesquisados, classificando-se os volumes a cada quinze minutos, de maneira a permitir a determinação de picos horários. Pode-se constatar pequena evolução do tráfego, após a pavimentação do trecho, confirmando a expectativa do seu comportamento operacional de baixo volume de tráfego, ao longo do período de vida do projeto; este foi um dos aspectos decisivos na escolha desse trecho para implantar as soluções de base do pavimento que compõem o experimento.

O tráfego para as análises foi considerado conforme previsto na época do projeto, ou seja, para um período de projeto de 10 anos foi previsto igual a $N = 1,97 \times 10^5$.

4.2 Dados de afundamento de trilha de roda (ATR)

Um dado importante que foi coletado nos levantamentos realizados em campo foi o afundamento de trilha de roda (ATR). Foram vários levantamentos desde a época da construção, algumas vezes efetuados com a treliça padrão. Neste trabalho será utilizado o resultado somente do último levantamento realizado em março de 2018.

Este levantamento de ATR, aqui analisado, foi realizado com o uso do perfilômetro a laser. Foram posicionados os 5 (cinco) módulos de irregularidade do perfilômetro da COPPE em pontos estratégicos da barra a laser, a fim de obter o ATR nas duas trilhas de roda, simultaneamente (Trilha de Roda Interna – TRI e Trilha de Roda Externa – TRE), da mesma faixa de rolamento. As duas faixas de tráfego foram analisadas e as análises foram feitas considerando as médias das duas faixas visto que não foi identificada diferença entre os sentidos do tráfego.

Esse procedimento é bastante comum nos levantamentos rodoviários. As medidas de ATR foram realizadas continuamente, ao longo da via, e para fins de comparação com o MeDiNa foi realizado a média do ATR para cada segmento experimental, considerando cada faixa de rolamento, conforme apresentado no Quadro 5. Na referida tabela estão apresentados os resultados de ATR do levantamento de campo realizado em 2018, 8 anos após a construção do trecho.

Dois segmentos experimentais apresentaram defeitos de escorregamento do tratamento superficial em uma pequena área do segmento, o que foi desconsiderado para a análise do ATR.

Embora não tenham sido realizados os ensaios de deformação permanente dos materiais de dois dos segmentos experimentais correspondentes aos materiais granulares, vê-se no Quadro 5 que todos os segmentos apresentaram ATR muito baixos, mesmo considerando a estrutura muito esbelta devido ao tráfego leve. Mas, como o revestimento é de TSD, sabidamente permeável, e sendo os materiais empregados de certa forma “alternativos” segundo os critérios tradicionais de seleção de solos para base, poder-se-ia esperar afundamentos maiores, eventualmente.

Quadro 5 – Resultados de Afundamento de Trilha de Roda e desvio padrão por segmento, levantamento de campo em 2018.

Segmento	Material da base	ATR interna		ATR externa	
		Média (mm)	σ	Média (mm)	σ
1	NA com 2% cimento	1,12	0,24	3,69	0,89
2	LA'	0,96	0,78	3,74	1,23
3	NA com cascalho	2,05	0,91	3,30	0,68
4	NA	1,74	1,01	4,08	0,62
5	Cascalho de seixo rolado	2,19	0,62	3,47	0,47

Nota: σ – desvio padrão

Conforme indicado em [5], a região de Brasília de Minas apresenta o clima local, do tipo Aw, tropical chuvoso, quente e úmido, com inverno seco apresentando temperaturas médias do mês mais frio de 18°C e média anual de 23,8°C. O regime pluviométrico tem grande concentração de chuvas no verão e escassez no inverno, categoria climática semi-úmida pelo critério do índice de umidade.

O período seco é de quatro a cinco meses. O balanço hídrico anual indica um déficit hídrico de 316,0 mm de abril a outubro. A formação vegetal é o cerrado, comum em planaltos de regiões tropicais onde o inverno seco e o verão chuvoso são estações bem marcadas. O solo de savana tropical é deficiente em nutrientes, porém rico em Fe e Al.

Esta condição climática pode ajudar a explicar, em parte, as baixas deformações permanentes acumuladas que resultaram em ATR em todas as seções experimentais muito baixas, mesmo para os materiais não lateríticos.

5 VERIFICAÇÃO DO ATR USANDO O MEDINA

O programa MeDiNa utilizado neste estudo foi a versão V.1.0.2 – junho/2018 – versão de avaliação. Os dados de entrada no programa são referentes à estrutura do pavimento, composta de quantidade, tipo e espessura das camadas, assim como características dos materiais de cada camada e os dados de tráfego, onde é indicado o tipo de via, o número de veículos anual, taxa de crescimento e período de projeto.

Nas simulações foram usados os dados dos ensaios de laboratório dos materiais das camadas de base e subleito, coletados durante a construção do trecho. Para o tratamento superficial foi utilizado o dado de MR informado no banco de dados do programa para tratamento superficial duplo.

Como o trecho experimental foi realizado numa via de baixo volume de tráfego, o tipo de via utilizada nas simulações foi Sistema Local usando um nível de confiabilidade de resultados de 65%. Essa confiabilidade representa, em termos de deformação permanente, que o valor calculado pelo programa MeDiNa de deformação será, em teoria, superior a 65% das medidas efetuadas no campo.

Os coeficientes de Poisson adotados para todas as simulações foram 0,25 para camada de revestimento, 0,45 para a camada de solo e 0,40 para camada de solo com cimento.

Como os trechos experimentais são de tratamento superficial, o programa de dimensionamento não leva em consideração o dano relativo à fadiga, no dimensionamento é considerado apenas o critério de deformação permanente, que é exatamente o critério que se quer analisar neste estudo.

Os resultados relativos do ATR calculado utilizando o programa MeDiNa para todos os segmentos estão apresentados no Quadro 6 e ficaram coerentes com os resultados dos ensaios de deformação permanente realizados em laboratório. No segmento 2, com base de solo LA', a deformação permanente final foi menor em comparação com o segmento 4, com base de solo NA. Isto está de acordo com o que foi visto nos ensaios em laboratório: o solo LA' deformou menos que o solo NA. Nos segmentos 3 e 5, como não foram feitos os ensaios do cascalho e do cascalho com solo, foi calculada somente a contribuição do subleito.

Quadro 6 – Resultados obtidos no MeDiNa de deformação permanente por camada e por segmento para 10 anos.

Camada	Deformações Permanentes (mm)				
	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3	Segmento 4	Segmento 5
	NA + 2% cimento	LA'	NA com cascalho	NA	Cascalho de seixo rolado
Base	0,0	0,38	0,0	1,54	0,0
Subleito	2,55	2,42	2,62	2,82	2,76
Total	2,55	2,80	2,62	4,30	2,76

No gráfico da Figura 3 estão apresentados os resultados da comparação do afundamento de trilha de roda dos segmentos analisados neste estudo com a deformação permanente calculada pelo programa MeDiNa. Foram plotados separadamente os afundamentos de trilha de roda externo e interno, bem como a contribuição para a deformação permanente do subleito e da camada de base calculados pelo programa MeDiNa.

Observa-se que os resultados estão bem coerentes em termos de ordem de grandeza, mostrando que o valor apresentado no programa MeDiNa está dentro do intervalo de dispersão dos dados de campo para os trechos que haviam dados completos da base e do subleito, principalmente os segmentos 2 e 4.

O segmento 1, que é o trecho com 2% de cimento, pode ter sofrido alguma pequena variação de volume nesta camada de base, contribuindo para o afundamento de trilha de roda no campo, diferentemente do que se adotou inicialmente e que justifica o valor calculado pelo programa ficar um pouco abaixo do observado no campo na trilha externa. Deve-se considerar que o tipo de cimento utilizado foi um especial que, na época da construção, era produzido justamente para solo melhorado com cimento, visando não criar muita rigidez e evitar a retração durante a cura. A pequena porcentagem de 2%, também, pode não ter sido suficiente para evitar deformações na camada.

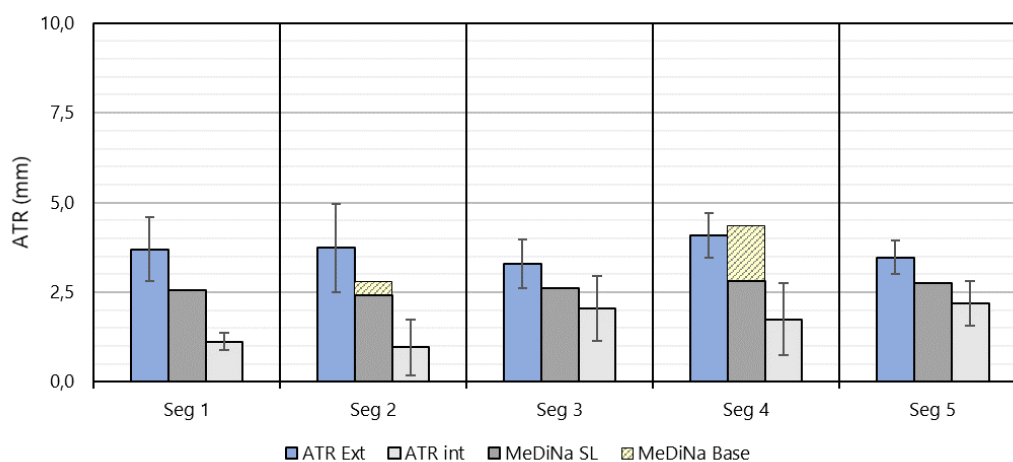


Fig. 3: Resultado de ATR de campo comparado com o simulado no programa.

Nos segmentos 3 e 5, estão apresentados apenas os resultados de deformação permanente do subleito, que indicam uma tendência bem aproximada para a ordem de grandeza da deformação permanente. Mesmo com uma

contribuição da camada de base de até 1% de sua espessura, os resultados se mostraram satisfatórios para o afundamento de trilha de roda externa.

As observações de campo indicam que o afundamento das trilhas de roda externa é maior que o afundamento da trilha interna, o que é coerente, especialmente considerando o tipo de via, com pequena largura de acostamento (ou até sem). Os resultados calculados pelo programa MeDiNa flutuaram entre estes valores, mas com tendência maior para o valor da trilha de roda externa.

Pelo programa MeDiNa, considerando o nível de tráfego, observa-se uma tendência de acomodamento das deformações permanentes do solo tipo NA do subleito dos cinco segmentos, o que também foi observado nos ensaios de [3], quando ensaiado a tensões mais baixas. O gráfico da Figura 4 ilustra a evolução da deformação permanente do subleito do segmento 1, que está sujeito ao par de tensões $\sigma_d = 97$ kPa e $\sigma_3 = 28$ kPa calculado pelo MeDiNa.

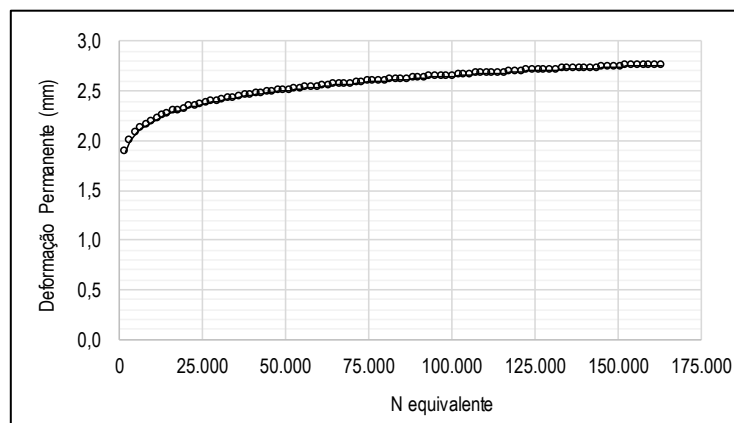


Fig. 4: Evolução da deformação permanente do subleito do segmento 1.

Sobre os valores calculados pelo programa MeDiNa de deformação permanente, nenhum fator campo laboratório foi aplicado, apenas a confiabilidade de 65% para um valor de coeficiente de variação de 50% referente à dispersão das medidas de campo. As comparações permitem refletir que é possível não ser necessário a aplicação de fatores empíricos, sendo o ensaio e o modelo de deformação permanente suficientes para estimar o afundamento de trilha de roda.

Outra constatação é que, mesmo com as pequenas diferenças entre o cálculo do MeDiNa com as medidas de campo, o valor de deformação aceitável para o tipo de rodovia selecionada é de 20mm. O MeDiNa calculou deformações permanentes médias de 2,5mm a 4mm, ou seja, afundamentos de trilha de roda de baixa severidade, o que efetivamente ocorreu no campo.

Além disso, as observações dos afundamentos de trilha de roda e o cálculo de deformações permanentes permitiram observar que é possível aplicar areias não lateríticas, de classificação MCT do tipo NA, em camadas de base de rodovias de baixo volume de tráfego. Comparando o comportamento do afundamento de trilha de roda do segmento 4 com os demais segmentos, pode-se afirmar que não existem diferenças significativas nas deformações permanentes, confirmando a previsão feita por [6].

6 CONCLUSÃO

O trecho experimental de Campo Azul, por meio do monitoramento periódico realizado ao longo de oito anos, produziu uma diversidade de dados que permitiu o desenvolvimento de diversos estudos, dentre eles este que avalia o comportamento dos segmentos ao afundamento de trilha de roda e compara com dados calculados pelo programa MeDiNa.

O afundamento de trilha de roda no campo atingiu cerca de 20% do limite de 20mm exigido no método de dimensionamento para este tipo de rodovia. O ATR na parte externa da rodovia foi maior que o da trilha interna, o que pode ser explicado pela não existência de acostamentos nos cinco segmentos.

Os resultados de ATR obtidos pelo programa MeDiNa variaram entre as medidas de campo da trilha externa e interna, mas com tendência maior para o valor da trilha de roda externa. Apesar do MeDiNa não considerar o efeito da existência ou não de acostamentos, a estimativa de ATR do MeDiNa revelou uma boa aproximação da média das medidas efetuadas no campo.

As principais constatações foram que o programa MeDiNa calculou deformações permanentes compatíveis e satisfatórias com as observadas em campo, sem requerer a aplicação de fatores de ajuste ou campo laboratório.

Também sinalizou para o acomodamento do material em relação a deformação permanente, para o nível de tensões a que está submetido, seguindo a mesma constatação de [3].

Mostrou que é possível a utilização de materiais disponíveis na região para camadas de pavimentos, mesmo que o material não seja classificado como adequado pelas normas rodoviárias vigentes.

Muito embora este primeiro estudo comparativo de deformações permanente do programa MeDiNa utilizando o modelo de Guimarães [4] demonstrou uma boa tendência da deformação permanente e para a acomodação da camada, a quantidade de pontos é muito pequena para a calibração dos resultados. Portanto, outros estudos e comparativos devem ser realizados a fim de calibrar e validar a modelagem inserida no programa MeDiNa.

Cabe ressaltar que para a comparação dos ATR foi necessário a realização dos ensaios mecânicos triaxiais em laboratório dos materiais usados no campo. Atualmente o método de dimensionamento nacional – MeDiNa exige que o projetista realize ensaios mecânicos dos materiais que serão usados em campo para sua confirmação do projeto de dimensionamento.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do DER-MG, do laboratório da Sede e da Residência de Montes Claros e Brasília de Minas que sempre deu apoio nas campanhas de levantamento de campo. Agradecimentos especiais ao Eng. Wallen Medrado do DER- MG que ajudou a viabilizar a construção deste trecho experimental. Ao Eng. Cláudio Albermaz, nossa saudade de um companheiro entusiasta da pesquisa (in memoriam).

8 REFERÊNCIAS

1. L. M. G. Motta.; W. A. Medrado; M. A. Fritzen; A. C. R. Guimarães. Avaliação de trechos monitorados em estrada vicinal em Minas Gerais. *Proc. 18ª RPU Reunião de Pavimentação Urbana*, São Luís. ABPv, 2012.
2. C. A. V. Albermaz; M. A. Fritzen; L. M. G. Motta; W. A. Medrado. Avaliação de trechos experimentais de solo fino e tratamento superficial em Minas Gerais. *Proc. 21º Encontro de Asfalto IBP*, Rio de Janeiro., 2014.
3. W. A. Medrado; A. C. R. Guimarães; L. M. G. Motta. Avaliação do comportamento mecânico de um solo arenoso fino do norte de Minas Gerais para emprego em vias de baixo volume de tráfego. *Revista Pavimentação*, v. 17, p. 09-18, 2010.
4. A. C. R. Guimarães. *Um Método Mecânico-Empírico Para a Previsão da Deformação Permanente em Solos Tropicais Constituintes de Pavimentos*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
5. W. A. Medrado. *Caracterização geotécnica de solo da região Norte de Minas Gerais para aplicação em obras rodoviárias*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.
6. W. A. Medrado; A. C. R. Guimarães; L. M. G. Motta. Estudo de um solo arenoso fino do norte de MINAS GERAIS para emprego em vias de baixo volume de tráfego utilizando metodologia MCT e resiliente. *Proc. 16ª RPU Reunião de Pavimentação Urbana*, Belo Horizonte, 2009.