

# 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

**Jennifer Ilha Vendrusculo**

**Paula Taiane Pascoal**

**Thaís Aquino dos Santos**

**Lucas Dotto Bueno**

**Rinaldo José Barbosa Pinheiro**

Universidade Federal de Santa Maria

Grupo de Estudos e Pesquisa em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV)

## RESUMO

O cenário da pavimentação asfáltica brasileira é de mudanças. Está em desenvolvimento um novo método de dimensionamento de estruturas rodoviárias, considerando uma rotina mecanística-empírica, que busca substituir o método vigente, puramente empírico. Diante disso, o presente artigo tem por objetivo apresentar uma análise comparativa entre estruturas de pavimentos flexíveis dimensionadas pelo método atual vigente do DNER (1981) e pelo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa), considerando a utilização de dois solos da cidade de Santa Maria – RS. As estruturas projetadas pelo DNER (1981) apresentaram ineficiência quanto ao trincamento por fadiga e a deformação permanente, no período de projeto. Já as estruturas projetadas pelo MeDiNa apresentaram bom comportamento, ficando dentro dos limites impostos. Constatou-se que o dimensionamento através do MeDiNa pode satisfazer de maneira mais eficiente as necessidades do setor e dos usuários dos pavimentos, se comparado ao método atual.

## ABSTRACT

The Brazilian asphalt-paving scene is changing. It is being developed a new method for pavements design, according to a mecanística-empírica procedure, in order to replace the current method, which is merely empirical. In relation to this situation, this article aims to present a comparative analysis between asphalt pavement structures designed by the current method of DNER (1981) and the new National Design Method (MeDiNa), using two different soils from Santa Maria – RS. The structures designed by DNER (1981) were inefficient towards the fatigue cracking and permanent deformation, during the lifetime project. The structures projected by MeDiNa showed a satisfactory behavior, attending the established limits. It was verified that the pavements design through the National Design Method (MeDiNa) can effectively satisfy the population demands, in comparison to the current method.

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O transporte consiste em uma atividade indispensável nas relações econômicas, sociais e políticas de um país ou região. Entre as várias modalidades de transporte, no Brasil, o modo rodoviário é o mais expressivo, responsável por 61% dos transportes de cargas e pelo deslocamento de 95% do transporte de passageiros no Brasil, segundo dados da Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2017).

Um dos principais problemas de infraestrutura do Brasil é a deficiência da malha rodoviária. Em conjunto com esse problema, surge a ineficiência do pavimento em cumprir com seu principal objetivo: proporcionar ao usuário condições de trafegabilidade confortável e com segurança. O atual Método de Dimensionamento do DNIT está vigente no Brasil desde 1966 e foi atualizado no ano de 1981 (DNER, 1981). Este utiliza uma metodologia empírica que considera a resistência de suporte do solo empregado no subleito da estrutura como a principal condicionante de projeto.

O método em vigência dimensiona a estrutura com base no tráfego, através do Número Equivalente de Eixos (N) e do Índice de Suporte Califórnia (ISC) do solo empregado no

subleito. O número N corresponde às solicitações de carga de um eixo padrão rodoviário de 8,2 tf, que o pavimento estará submetido durante a sua vida útil (DNIT, 2006). Já o ISC pode ser obtido através de ensaios de penetração e expansão para determinadas condições, tem como função avaliar a resistência do solo frente a deslocamento significativos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O método do DNER (1981) avalia o potencial de ruptura do solo por meio do ISC e relaciona seu resultado com o número N; dessa forma, através da composição estrutural do pavimento, visa proteger o subleito frente a ruptura por cisalhamento. Este método não contempla efeitos de fadiga na estrutura do pavimento flexível (FRANCO, 2007).

Entre os anos 2000 a 2010, a frota de veículos nacional cresceu em torno de 119%. Diante disso, torna-se evidente a necessidade de atualização do método vigente. Para cumprir com esta carência nas rotinas de projetos rodoviários, está em desenvolvimento um novo método nacional para dimensionamento de pavimentos flexíveis, considerando uma abordagem mecanística-empírica.

O procedimento para o dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos flexíveis consiste em reunir dados referente ao tráfego, às condições ambientais e aos materiais que compõem a estrutura do pavimento. Com isso, correlaciona-se os dados de resistência dos materiais e tráfego com o comportamento dos materiais em função do carregamento. Assim, define-se as espessuras das camadas, considerando as tensões e deformações, e relaciona-se os valores críticos de tensão e deformação com os danos causados pela repetição das cargas, por meio de modelos de previsão. Por fim, deve-se verificar se as espessuras definidas satisfazem as condições impostas no dimensionamento (FRANCO, 2007).

As demandas de segurança, desempenho e eficiência estrutural, considerando condições ambientais e de tráfego, exigem um método de dimensionamento coerente com as patologias apresentadas nos pavimentos. Por iniciativa da Rede Temática do Asfalto, a PETROBRÁS, o DNIT, centros de pesquisa e universidades espalhadas pelo Brasil vem contribuindo com estudos de novos materiais, desenvolvendo metodologias de ensaios e análises na área. Franco (2007) propôs uma ferramenta que auxilia no cálculo do estado de tensões em estruturas e análise de desempenho de materiais. O Programa desenvolvido por Franco (2007) chamava-se SisPav e passou por diversas modificações até chegar a sua versão atual. Hoje, denomina-se Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa).

O MeDiNa realiza a análise e dimensionamento de pavimentos por meio do estudo de camadas elásticas de múltiplas camadas. Este leva em consideração o módulo de resiliência e o coeficiente de *Poisson*, para interpretar a rigidez das camadas, e os coeficientes para modelagem matemática dos parâmetros de danificação: fadiga para revestimentos asfálticos e deformação permanente para as camadas granulares e solos. Em contraponto, o método do DNER (1981) era puramente empírico e considerava apenas o ISC.

O sistema do pavimento é dimensionado a partir de esforços aos quais o mesmo está sujeito, sendo submetido a tensões normais e cisalhantes repetidas que geram deformações permanentes e recuperáveis. De acordo com Santana (2002), as tensões verticais são absorvidas gradativamente pelas camadas do pavimento até atingir o subleito, com intensidades menores e suportáveis por essa camada.

A parcela de deformação elástica é devido ao deslocamento vertical que dura enquanto uma tensão estiver aplicada e, após cessar o carregamento, esse deslocamento deixa de existir (CÓRDOVA; GUIMARÃES, 2011). A deformação elástica repetida resulta em trincas ou fratura completa após um número de repetições, gerando o fenômeno de fadiga (PINTO, 1991). Já a deformação permanente consiste na parcela de deformações não recuperáveis, comum nas trilhas de roda, corredores de ônibus, estacionamentos, entre outros. O afundamento de trilha de roda (ATR) é uma deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento (DNIT, 2003).

Em laboratório, determina-se a deformação permanente de materiais que compõem o subleito de pavimentos e de materiais granulares através do ensaio triaxial de cargas repetidas, seguindo metodologia semelhante à utilizada para determinação do módulo de resiliência. Guimarães (2009) propôs um método mecanístico-empírico para previsão da deformação permanente em solos tropicais e em outros materiais que compõem a estrutura. Este método está presente no Procedimento Rede 03/2010 (PETROBRÁS, 2010) e o modelo proposto pelo autor, está inserido no MeDiNa

Para que os resultados obtidos no software sejam confiáveis, torna-se necessário inserir um conjunto amplo de informações precisas sobre os materiais e características utilizados em cada camada da estrutura do pavimento. Sobre a camada de revestimento, pode-se definir no software a utilização de concreto asfáltico convencional, modificado por polímero ou borracha, além das opções com tratamento superficial. Inserem-se informações como: teor do asfalto (NBR 12891/93), faixa granulométrica (NBR NM 248/03), volume de vazios (NBR 12891/93), abrasão Los Angeles do agregado mineral utilizado na mistura (ASTM C 131/06), massa específica (ASTM C 127/07) e coeficiente de *Poisson*. Além disso, é necessário inserir informações sobre a capacidade resiliente do revestimento e do desempenho da mistura frente as deformações permanentes, parcela acarretada unicamente pela camada asfáltica, obtida através do *Flow Number* (ABNT NBR 16505/16). Por fim, são informados os coeficientes da curva de fadiga do material, obtidos com o ensaio à compressão diametral (EN 12697-24/04).

Nas camadas compostas por materiais granulares e solos, os parâmetros que devem ser inseridos são representados pelo módulo de resiliência (DNIT ME 134/10), coeficiente de Poisson e coeficientes para modelagem matemática da deformação permanente (REDE 03/10). Para estes materiais deve-se inserir a energia de compactação, umidade ótima e a massa específica. Nos solos, é necessário adicionar a classificação MCT (DNER CLA 259/96), além do coeficiente  $c'$  e  $e'$  de classificação. Para os materiais granulares, insere-se ainda as características de abrasão Los Angeles (ATM C 131/06) e a descrição do material.

Neste artigo serão apresentadas estruturas projetadas pelo método atual de dimensionamento (DNER, 1981) e pelo MeDiNa, utilizando a versão v1.0.0 do software, considerando dois solos do município de Santa Maria – RS como subleito da estrutura do pavimento. Inicialmente, definiu-se um tráfego típico rodoviário de uma via do Rio Grande do Sul. Em posse dos valores do ISC dos solos, dimensionou-se duas estruturas seguindo a metodologia do DNER (1981), uma para cada tipo de subleito. Para verificar o comportamento dessas estruturas quanto ao rompimento do pavimento por fadiga e deformação permanente, utilizou-se o software MeDiNa. Verificou-se que houve um excesso de área trincada nessas estruturas para o período de projeto, além da deformação permanente estar acima do limite para o tipo de via. Então, foi

realizado novos dimensionamentos considerando a abordagem mecânica-empírica. Diante disso, será realizada uma análise comparativa entre essas quatro estruturas de pavimentos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa teve por objetivo dimensionar estruturas seguindo a metodologia que atualmente é utilizada no Brasil e compará-la com estruturas que levam em consideração a metodologia mecânica-empírica presente no MeDiNa, utilizando a versão teste do software (v1.0.0) de abril de 2018.

Para isso, realizou-se a análise de quatro estruturas, onde duas foram dimensionadas pelo método atual para pavimentos flexíveis e duas pela metodologia do MeDiNa, considerando a utilização de dois solos distintos coletados no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, classificados segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), Highway Research Board (HRB) e pela Miniatura Compactada Tropical (MCT).

O primeiro solo coletado na Jazida do Distrito Industrial, denominado TR, é classificado como areia argilosa de acordo com o SUCS. Segundo a HRB, o solo pertence ao grupo A-6, considerado péssimo se aplicado a subleito rodoviário. Na classificação MCT, o solo é considerado LG' (argiloso de comportamento laterítico). O segundo solo foi coletado na Jazida Canabarro e é denominado de solo RS, classificado como argila inorgânica de baixa e média plasticidade pela classificação SUCS, pertencendo ao grupo A-7-6 pela classificação HRB, caracterizado como materiais com elevada mudança de volume. Segundo a classificação MCT, o solo RS é classificado como LG'.

Obteve-se o ISC de solos em laboratório, seguindo a DNER-ME 049/94. A capacidade resiliente dos materiais foi obtida através do ensaio triaxial de cargas repetidas, normatizado pela DNIT 134/10, onde adquiriu-se os coeficientes de regressão  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  e  $k_4$ , conforme apresentado na Tabela 1 (SANTOS, 2016).

**Tabela 1:** Parâmetros do módulo de resiliência não lineares dos solos em estudo

Coefficiente de regressão	Solo TR	Solo RS
$k_1$	624,31	484,39
$k_2$	0,644	0,488
$k_3$	-0,202	0,065

O solo TR possui uma densidade máxima média de 1787 kg/m<sup>3</sup> e umidade ótima de 15,10%, ambas para energia Proctor Normal. O solo RS apresenta uma umidade ótima de 19,9% e densidade máxima média de 1647 kg/m<sup>3</sup>. A Tabela 2 exhibe os parâmetros de deformação permanente para o solo TR e o solo RS, que foram obtidos por Zago (2016) através de ensaios triaxiais de cargas repetidas e com regressão não linear, através do modelo de Guimarães (2009).

**Tabela 2:** Parâmetros de deformação permanente dos solos em estudo (MPa)

Coefficiente de regressão	Solo TR	Solo RS
$\psi_1$	0,385	0,869
$\psi_2$	-0,861	0,006
$\psi_3$	1,523	1,212
$\psi_4$	0,075	0,042

O período de projeto considerado para os dimensionamentos foi de 10 anos. O número N utilizado para o dimensionamento dessas estruturas foi determinado por Klamt (2014), onde o autor considerou a metodologia USACE, considerando valores obtidos na contagem da praça de pedágio Retiro, localizada no km 510 da BR 116/RS. Klamt (2014) considerou que 80% da frota trafega com carga máxima, 20% trafegavam vazios e os demais veículos trafegavam com carga máxima legal, acrescido de sobrecargas nas porcentagens limite para cada veículo. O número de solicitações de carga (N) considerado foi de  $2,50 \times 10^7$ .

### 2.1. Estrutura dimensionada pelo método DNER (1981)

As estruturas de pavimento flexível dimensionadas seguindo o método vigente no Brasil foram elaboradas com posse de valores de ISC obtidos em laboratório, em paralelo com o número de solicitações admissíveis (Nprojeto), citado anteriormente. As espessuras das camadas de base e o revestimento asfáltico foram determinados conforme DNER (1981).

Pelo fato de ser classificado como areia argilosa segundo o SUCS, o solo TR apresenta mais de 50% de sua composição de partículas granulares, justifica-se a capacidade de atingir altas densidades mesmo sendo compactado com grau mais baixo de energia. Em função de sua granulometria mais arenosa, os solos TR apresentou ISC com imersão de 14% e ISC sem imersão de 21%. Ao passo que o solo RS apresentou o melhor ISC, com e sem imersão de 16%.

O solo TR foi considerado na estrutura E01, da mesma forma que o solo RS foi considerado como subleito da estrutura E02. Para verificar o desempenho dessas estruturas quando submetidas à ação do tráfego, realizou-se uma análise através do MeDiNa onde considerou-se os parâmetros resilientes e de deformação permanente para cada solo, apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2, respectivamente. Para o revestimento asfáltico das estruturas, considerou-se os dados apresentados na Tabela 3 (ROSSATO, 2015).

**Tabela 3:** Parâmetros do concreto asfáltico

Revestimento asfáltico - CA	
Coefficiente de Poisson	0,30
Contato	Não aderido
Teor de asfalto (%)	5,90
Volume de Vazios (%)	4,00
Abrusão Los Angeles	10,82
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,21
Módulo de Resiliência (MPa)	4901,0
Fadiga - coef. de regressão $k_1$	4,0E-05
Fadiga - coef. de regressão $k_2$	-1,99

Em ambas as análises, considerou-se a via como sistema arterial principal, com uma taxa de crescimento média de 4,86% (KLAMT, 2014), para o mesmo período de projeto e número N, apresentados anteriormente. O coeficiente de *Poisson* considerado para o solo foi de 0,45. O nível de confiabilidade das análises realizadas pelo MeDiNa foi de 95%.

### 2.2. Estrutura dimensionada pelo MeDiNa

Dimensionou-se duas estruturas levando em conta a abordagem mecânica-empírica presente no MeDiNa. Para estes dimensionamentos considerou-se os mesmos dados de tráfego aplicados nos anteriores, bem como a mesma camada de revestimento asfáltico que tem seus parâmetros

apresentados na Tabela 3. A estrutura E03 foi dimensionada utilizando o solo TR e para a estrutura E04, considerou-se a utilização do solo RS.

Para a camada de base e sub-base das estruturas, considerou-se a utilização de brita graduada simples (BGS), com características incluídas na base de dados do MeDiNa, conforme apresentadas na Tabela 4. É corriqueira a utilização de macadame seco na sub-base de pavimentos gaúchos. Pela inexistência de dados e parâmetros que caracterizem esse material, utilizou-se um outro material presente no software do MeDiNa, que possui comportamento semelhante ao macadame seco em relação às características resilientes e a deformação permanente.

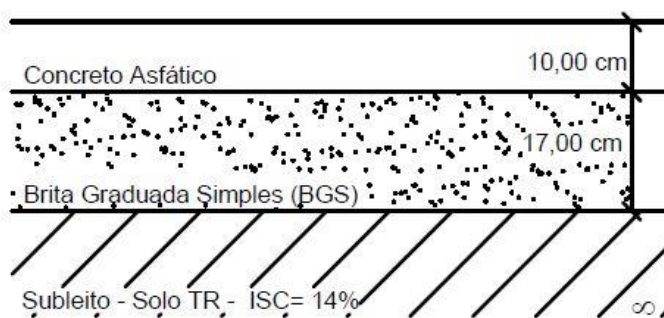
**Tabela 4:** Parâmetros da BGS utilizada na base e sub-base do pavimento

Parâmetros	Base	Sub-base
Coefficiente de Poisson	0,35	0,35
Contato	Não aderido	
Energia de compactação	Modificada	
Abrasão Los Angeles (%)	41,0	41,0
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2296,0	2268,0
Umidade ótima (%)	5,40	5,80
MR - $k_1$	1202,0	1401,0
MR - $k_2$	0,500	0,570
MR - $k_3$	-0,020	0,030
DP - $\psi_1$	0,1010	0,1608
DP - $\psi_2$	-0,1825	-0,097
DP - $\psi_3$	0,9091	0,525
DP - $\psi_4$	0,0753	0,0752

### 3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As estruturas E01 e E02 foram dimensionadas pelo método do DNER (1981), com base nos ISC com imersão e sem imersão obtidos em laboratório. Para o projeto desses pavimentos, considerou o ISC com imersão.

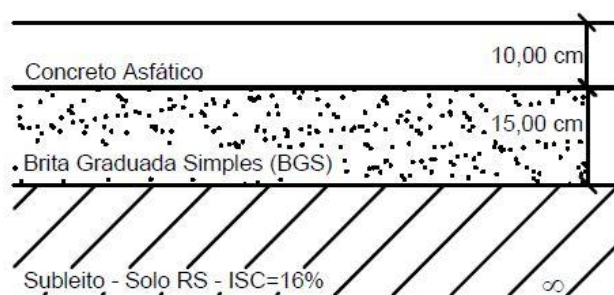
A estrutura E01 apresentada na Figura 1, foi dimensionada considerando o solo TR na composição do subleito, o qual possui um ISC de 14%. Fez-se necessário compor a estrutura com uma camada de base de brita graduada simples (BGS) com cerca de 17 cm e uma camada de concreto asfáltico (CA) de 10 cm.



**Figura 1:** Estrutura E01 - Solo TR – DNER (1981)

A estrutura E02 foi dimensionada para o solo RS, considerando que o solo que possui um ISC de 16% para emprego no subleito, conforme apresentada na Figura 2. As camadas superiores de base e revestimento asfáltico possuem 15 cm e 10 cm, respectivamente.

Ao inserir a estrutura E01 no MeDiNa, verifica-se que os resultados de desempenho da estrutura ultrapassaram o limite de deformação permanente para o tipo de via (10mm), apresentando uma deformação permanente total entre as rodas de 10,40 mm e deformação permanente total sob as rodas de 9,40 mm. Se executada essa estrutura, a área trincada estimada do pavimento ao final do período de 10 anos é de 79,0%. O subleito também exibiu deformação permanente acima do limite de 5 mm.

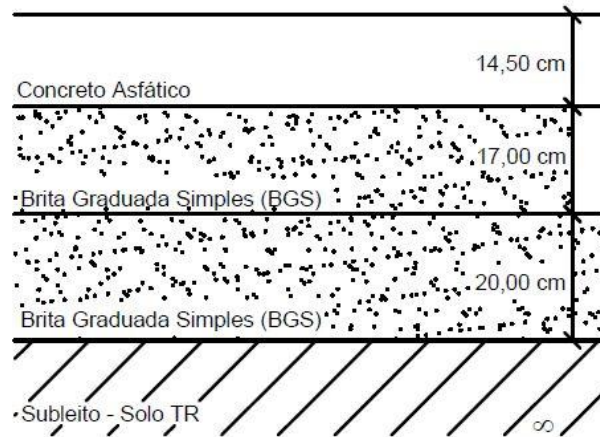


**Figura 2:** Estrutura E02 - Solo RS – DNER (1981)

Da mesma forma que a E01, a estrutura E02 não apresentou um comportamento satisfatório segundo a análise realizada no MeDiNa. Esta, apresentou uma deformação permanente total entre rodas de 4,80 mm ao final do período de projeto, e 4,40 mm sob as rodas. A área trincada prevista ao final de 10 anos é de 89,80%, ultrapassando o limite de 30,0% para o tipo de via.

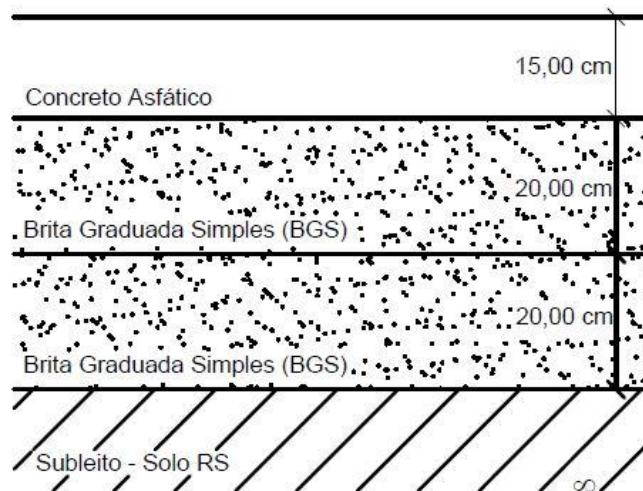
Dessa forma, as estruturas E01 e E02 não passaram nos critérios de deformação permanente e fadiga presentes no MeDiNa, que possui um nível de confiabilidade de 95%, para o tipo de via adotada. Diante das análises apresentadas dos pavimentos dimensionados pelo método atual e da verificação da ineficiência dessas estruturas, novas estruturas foram dimensionadas com o MeDiNa, visando adequar o projeto aos critérios estabelecidos pelo programa.

As estruturas E03 e E04 foram projetadas levando em conta a metodologia mecanística-empírica presente no MeDiNa. A estrutura E03, dimensionada considerando o solo TR, é composta por uma camada de concreto asfáltico convencional de 14,50 cm, seguida de uma base de BGS que possui 17,0 cm, conforme exposto na Figura 3. Acima do subleito tem-se uma sub-base de BGS de 20 cm. A área trincada estimada para esse pavimento ao fim do período é de 29,70%, dentro de limites impostos para esse tipo de via, assim como a deformação permanente também está de acordo. A deformação permanente entre rodas é 5,70 mm e sob as rodas é 5,30 mm.



**Figura 3:** Estrutura E03 - Solo TR - MeDiNa

O solo RS foi considerado na camada de subleito da estrutura E04. Utilizando os parâmetros e coeficientes desse solo, fez-se necessário dimensionar uma estrutura contendo uma camada de sub-base de 20,0 cm de BGS, além de uma camada de base de BGS com 20,0 cm. A camada de revestimento dessa estrutura possui 15,00 cm de concreto asfáltico convencional. Estima-se que, ao fim do período de projeto, a estrutura E04 apresente 29,80% de área trincada, 3,40 mm de deformação permanente entre as rodas e 3,20 mm sob as rodas.



**Figura 4:** Estrutura E04 - Solo RS - MeDiNa

Ao comparar a estrutura E01 com a E03, as quais possuem o solo TR na composição do subleito, seguindo a metodologia de dimensionamento atual, verifica-se que a estrutura, dimensionada pelo método DNER (1981), é composta por duas camadas para proteger o subleito, sendo uma camada de revestimento de 10 cm e uma camada de BGS com 17 cm. Já segundo a metodologia mecanística-empírica do MeDiNa, além da estrutura (Figura 3) necessitar de três camadas acima do subleito, todas elas possuem espessura superior a E01. A área trincada ao final da vida útil da estrutura E01 é superior a área trincada da estrutura E03 e está fora do limite imposto.

Verificando as estruturas E02 e E04 que foram dimensionadas considerando o solo RS no subleito, nota-se o acréscimo de uma camada e o aumento das espessuras de todas as camadas na estrutura E04, dimensionada através do MeDiNa. A estrutura E02, dimensionada pelo DNER (1981), apresenta uma área trincada superior ao limite e não pode ser utilizada para o tráfego



previsto, o que a difere da estrutura E04.

As estruturas E01 e E02 dimensionadas para os solos TR e RS, respectivamente, são isentas da camada de sub-base e possuem elevadas tensões no topo do subleito, o que explica o comportamento da rigidez dos materiais e as elevadas deformações. De acordo com os resultados obtidos, interpreta-se que estes pavimentos, projetados através do método de dimensionamento do DNER (1981), irão sofrer ruptura antes do final do período de projeto adotado, devido ao trincamento por fadiga.

A diferença entre os dois métodos de dimensionamento se dá em função do dimensionamento do MeDiNa considerar um maior número de propriedades e características dos materiais constituintes da estrutura, não avaliando apenas a capacidade do subleito em suportar deformações cisalhantes de ruptura, como acontece na metodologia atual.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Todas camadas do pavimento devem apresentar capacidade de suportar as solicitações repetidas do tráfego, em especial o subleito, considerado a fundação da estrutura a qual serão assentadas as outras camadas do pavimento. Essa pesquisa buscou comparar estruturas dimensionadas com os mesmos materiais, para duas metodologias de dimensionamento de pavimentos flexíveis, sendo a metodologia em vigor e a que entrará em vigor em breve.

Por meio das verificações realizadas, conclui-se que o método de dimensionamento vigente no país não dimensiona estruturas adequadamente ao trincamento por fadiga, que consiste em um dos principais mecanismos de ruptura dos pavimentos flexíveis. Fica evidente a importância de considerar o módulo de resiliência e coeficientes da deformação permanente dos materiais que compõem a estrutura de um pavimento, em especial ao solo empregado no subleito das estruturas, evidenciado nessa pesquisa.

Para o dimensionamento adequado de um pavimento é necessário o conhecimento das propriedades de engenharia e dos materiais que o compõem. Diante disso, a metodologia presente no MeDiNa, desenvolvida baseada nos danos causados por diversos tipos de eixos, considerando informações detalhadas de tráfego, condições ambientais e características dos materiais, deverá satisfazer de maneira mais eficiente as necessidades dos usuários dos pavimentos.

O método do DNER (1981), desenvolvido pelo Engenheiro Murilo Lopes de Souza, cumpriu brilhantemente o seu propósito no setor de projetos rodoviários. Todavia, devido ao crescimento do tráfego, o aumento das solicitações e da capacidade de carga dos veículos comerciais, além da introdução de novas tecnologias na concepção dos materiais que constituem as camadas, entende-se que a substituição desse método será benéfica para o setor.

#### **Agradecimentos**

REDE TEMÁTICA DO ASFALTO ANP/PETROBRAS pelo apoio às pesquisas do Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária – GEPPASV da Universidade Federal de Santa Maria.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ASTM C127 (2007) *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM C131 (2006) *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. American Society for Testing and Materials. USA.

- ABNT (2003) NBR NM 248 – *Agregados – Determinação da Composição granulométrica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2016) NBR 16505 – *Misturas asfálticas - Resistência à deformação permanente utilizando o ensaio uniaxial de carga repetida*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Bernucci, et al. (2008) *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Editora Abeda, Rio de Janeiro.
- CNT (2017) *Pesquisa CNT de rodovias 2017: relatório gerencial*. Catálogo Nacional de Transportes, Brasília, DF.
- Córdova, H.; Guimarães A. (2011) *Avaliação e controle estrutural de pavimentos asfálticos utilizando deflectometria com uso de equipamento tipo FWD*. In: 17ª Reunião de Pavimentação Urbana, Anais..., Porto Alegre, RS.
- DNER (1981) *Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
- DNER (1994) ME 049 – *Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
- DNER (1996) CLA 259 – *Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
- DNIT (2003) *Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento*. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2003) PRO 006 – *Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento*. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2006) *Manual de pavimentação*. Departamento Nacional De Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2010) ME134 – *Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio*. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Rio de Janeiro.
- EN (2004) 12697-24 – *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt: Restintance to fadigue*. Comissão Europeia de Normalização. Bruxelas, Bélgica.
- Franco (2007) *Método de dimensionamento mecânico empírico de pavimentos asfálticos - SisPav*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Guimarães, A.C.R. (2009). *Um método mecânico empírico para previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Klamt, R. A. (2014) *Influência da ação do tráfego no custo de construção e restauração de pavimentos asfálticos*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Petrobrás (2010) *Rede temática de asfalto – Manual de execução de trechos monitorados*. Petróleo Brasileiro AS. Rio de Janeiro.
- Pinto, S. (1991). *Estudo do Comportamento à fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Rossato, F. P. (2015) *Avaliação do fenômeno de fadiga e das propriedades elásticas de misturas asfálticas com diferentes ligantes e variadas temperaturas*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Santana, H. (1992) *Manual de pré-misturados a frio*. (1ª ed.). Instituto Brasileiro de Petróleo. Rio de Janeiro.
- Santos, T. A. (2016) *Avaliação da resistência e da deformabilidade de quatro solos empregados em subleitos rodoviários no estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Zago, J. P. (2016) *Estudo da deformação permanente de três solos típicos de subleitos rodoviários de Santa Maria – RS*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

---

Jennifer Ilha Vendrusculo (jennifer-ilha@hotmail.com)

Paula Taiane Pascoal (ptpascoal@hotmail.com)

Thaís Aquino dos Santos (thaiis\_as@hotmail.com)

Lucas Dotto Bueno (lucas.bueno09@gmail.com)

Rinaldo José Barbosa Pinheiro (rinaldo@ufsm.br)

Departamento de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria  
Av. Roraima, 1000 – Santa Maria, RS, Brasil