

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E FINANCEIRA DE PAVIMENTO FLEXÍVEL DIMENSIONADO PELO MÉTODO DO DNER (1981) E MEDINA (2019): ESTUDO DE CASO DA DUPLICAÇÃO DA BR 287 - TRECHO SANTA CRUZ DO SUL À TABAÍ/RS

Gabriéli Pires Chiarello
Paula Taiane Pascoal
Thaís Aquino dos Santos
Deividi da Silva Pereira
Magnos Baroni
Rafael Parmeggiani Gerging
Universidade Federal de Santa Maria
Departamento de Transportes

RESUMO

As mudanças ocorrentes no campo da pavimentação têm sido intensas, devido ao crescimento exacerbado do tráfego. Assim, surgiu a necessidade da implementação de um novo método de dimensionamento para pavimentos trazendo uma abordagem mecanística-empírica. O presente artigo tem como objetivo comparar estruturas dimensionadas pelos métodos do DNER (1981) e do Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa. Inicialmente, dimensionou-se uma estrutura seguindo os preceitos do DNER (1981) e fez-se a avaliação da mesma. Na sequência, dimensionou-se duas estruturas pela metodologia presente no MeDiNa. As avaliações foram realizadas em relação ao comportamento da estrutura quanto a área trincada e ao afundamento de trilha de roda, e em relação ao investimento necessário para construir um quilômetro da estrutura de pavimento flexível. Verificou-se que as estruturas dimensionadas pelo MeDiNa, em sentido global, custam mais que as dimensionadas pelo DNER, contudo, ao avaliar o custo em relação às solicitações suportadas, as estruturas dimensionadas pelo MeDiNa apresentam um comportamento mais eficiente e confiável, além de apresentarem um valor surpreendente.

ABSTRACT

The changes in the field of paving have been intense, due to the exacerbated growth of traffic. Thus, the need arose for the implementation of a new dimensioning method for pavements bringing a mechanistic-empirical approach. The present article aims to compare structures dimensioned by the DNER (1981) and Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa methods. Initially, a structure was designed following the precepts of DNER (1981) and the evaluation was done. In sequence, two structures were then sized by MeDiNa methodology. The evaluations were carried out in relation to the behavior of the structure in relation to the cracked area and the sinking of the wheel track, and in relation to the investment required to build one kilometer of the flexible pavement structure. It was verified that the structures dimensioned by MeDiNa, in a global sense, cost more than those dimensioned by the DNER, however, when evaluating the cost in relation to the supported requests, the structures dimensioned by MeDiNa present a more efficient and reliable behavior, besides presenting an amazing value.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A infraestrutura de transporte existente no Brasil se encontra obsoleta e com muitas discontinuidades, sendo o modal rodoviário responsável por um dos setores com maior deficiência na entrega de seu produto final. Este modo é encarregado por 61% dos transportes de cargas e 95% do deslocamento de passageiros (CNT, 2018). Ao dimensionar um pavimento rodoviário busca-se entregar uma melhoria das condições operacionais e econômicas de uma via, visando proporcionar ao usuário conforto ao rolamento e segurança (BERNUCCI *et al.*, 2010).

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), método que está em vigor no país, foi adaptado para o Brasil em 1966 e atualizado em 1981 (DNER, 1981). Este leva em consideração uma metodologia empírica, tendo como critérios de ruptura o cisalhamento das camadas granulares e solos, e a

deformação excessiva em trilha de rodas. Esse método tem como parâmetros para dimensionamento, basicamente, o Índice de Suporte Califórnia (ISC), do solo que compõe o subleito; e o tráfego, a partir do Número de Equivalência de Eixos (N) que representa o número de repetições de carga de um eixo padrão (ESRD de 8,2 tf) e Fator de Equivalência de Carga (FEC) do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE) o qual o pavimento estará sujeito ao longo de seu período de projeto. O princípio desse método está em dimensionar por meio desses parâmetros espessuras construtivas de camadas granulares para proteção do subleito.

Pelo fato do método ser empírico e da adaptação realizada para aplicação no nosso país, a metodologia não considera as particularidades do comportamento do solo tropical brasileiro, além de não contemplar os efeitos da fadiga na estrutura do pavimento flexível (FRANCO, 2007). Com o crescimento da frota de veículos, tanto em peso quanto volume, seria incipiente pensar que o método citado atenda essa expansão de forma impassível. Sendo assim, tornou-se indispensável uma reformulação das prioridades perante ao comportamento das estruturas expostas a essas solicitações. Tendo isso em vista, encontra-se em fase final de desenvolvimento o Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa) que leva em consideração a metodologia mecanística-empírica.

Segundo Carvalho (1997) é necessário compreender o comportamento das camadas e dos materiais que constituem o pavimento. Para isso, informações como as cargas do tráfego e sua composição, velocidade com que são aplicadas, tipos de materiais empregados na via, a técnica construtiva empregada na estrutura, espessura das camadas e posicionamento estrutural na composição do pavimento, as características geométricas, os dispositivos de drenagem da via e as influências climáticas, devem ser consideradas e analisadas.

O MeDiNa consiste em uma metodologia de dimensionamento de pavimentos flexíveis que leva em consideração o modelo empírico-mecanicista, modelo este que busca associar dados relacionados aos materiais utilizados na pavimentação, condições ambientais da localidade e o tráfego aplicado. Por meio de correlações e da rotina de análise elástica de múltiplas camadas (AEMC), define-se os melhores materiais e suas respectivas espessuras de camadas para calcular as tensões e deformações, relacionando os valores críticos destas com os danos que a repetição de cargas pode causar ao pavimento. Por fim, o *software* verifica as espessuras e analisa se estas satisfazem as condições impostas no dimensionamento.

No MeDiNa, o sistema do pavimento é dimensionado a partir dos esforços aos quais o pavimento estará sujeito, considerando o módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson, para interpretar a rigidez das camadas, além dos coeficientes para modelagem matemática dos parâmetros de danificação: fadiga para revestimentos asfálticos e deformação permanente para as camadas granulares e solos.

Para validar o dimensionamento estrutural pelo MeDiNa, torna-se necessário realizar ensaios laboratoriais de caracterização de materiais constituintes, além de inserir um conjunto amplo de informações no *software* (FRANCO, 2018). Essas informações são referentes a todos materiais que compõem a estrutura do pavimento flexível. No que tange ao subleito, o módulo de resiliência (DNIT 134/2018) e os parâmetros de deformação permanente (DNIT 179/2018) são parâmetros imprescindíveis, além da caracterização básica e classificação (DNER CLA 259/96) do material constituinte. Além do subleito, os materiais naturais empregados na base, sub-base e reforço de subleito também devem ser caracterizados e ter suas propriedades resilientes e plásticas detalhadas. Quanto à camada de revestimento, inserem-se informações como coeficiente de Poisson, faixa granulométrica (NBR NM 248/03), teor do asfalto (NBR 12891/93), abrasão Los

Angeles do agregado mineral utilizado na mistura (ASTM C 131/06), volume de vazios (NBR 12891/93), massa específica (ASTM C 127/07), deformação permanente obtida através do *Flow Number* (ABNT NBR 16505/16) e a curva de fadiga do material, obtida através do ensaio à compressão diametral (EN 12697-24/04).

O presente artigo tem por objetivo avaliar uma estrutura projetada pelo método de dimensionamento atual do DNER (1981) e verificar o seu comportamento quanto à deformação permanente (afundamento de trilha de roda - ATR limitado a 10 mm para o tipo da via) e ao rompimento do pavimento por fadiga (área trincada maior que 30%), utilizando a rotina de avaliação de estrutura presente no MeDiNa. Após essas verificações, serão propostas duas novas estruturas dimensionadas considerando a abordagem mecanística-empírica, onde em uma estrutura será considerado o uso de revestimento asfáltico convencional e na outra, revestimento asfáltico modificado por polímero. Diante disso, será realizada uma análise comparativa entre essas três estruturas.

As estruturas propostas foram dimensionadas considerando a duplicação da BR 287, trecho de Santa Cruz do Sul à Tabaí, Rio Grande do Sul, projetadas com número N correspondente às solicitações de carga obtidas pela praça de pedágio de Venâncio Aires. Além de comparar o comportamento estrutural das três estruturas propostas, será apresentado uma projeção do orçamento para cada uma das estruturas, de modo a avaliar os custos associados às duas metodologias.

A orçamentação de pavimentos asfálticos no Brasil utilizado em projetos e licitações de obras, tem como base as composições de custo do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO), esse sistema detém parâmetros que servem como uma ferramenta de auxílio para determinação dos insumos necessários na obra, tanto qualitativamente quanto quantitativamente. Salienta-se que para a obtenção dos custos unitários de cada serviço ou insumo, apresentados nas planilhas SICRO, são realizadas pesquisas regionais de preços médios.

Ao orçar obras dimensionadas pelo MeDiNa, é necessário considerar que este dimensiona a estrutura dos pavimentos com maior confiabilidade, se comparado com outros métodos. Devido a isso, ocasionalmente o dimensionamento resulta em maiores espessuras de revestimento, para que os limites dos parâmetros de fadiga sejam atendidos conforme o tráfego. Assim sendo, o custo global de implantação por quilômetro desse novo método se torna consideravelmente maior tendo em mente que o maior custo da estrutura é a camada asfáltica. O trabalho irá avaliar o custo global, associado ao tráfego passível de solicitação em cada uma das soluções apontadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa teve por objetivo comparar estruturas de pavimentos dimensionados pela metodologia vigente no Brasil e pela metodologia mecanística-empírica presente no MeDiNa, fazendo o uso da versão Beta 1.1.2.0 de abril/2019 do *software*, que entrará em vigor em breve. Ainda, teve como objetivo avaliar o acréscimo de investimento necessário para pavimentar novas vias considerando a metodologia do MeDiNa.

Para realizar o dimensionamento, levou-se em consideração o estudo do tráfego realizado para a Praça de Pedágio de Venâncio Aires, Rio Grande do Sul entre os anos de 2013 e 2018 (EMPRESA GAÚCHA DE RODOVIAS, 2019). Nesses anos foram analisados os volumes de tráfego mensais e as correspondentes solicitações de carga obtidas a fim de se obter um valor de número N do local utilizando o FEC da USACE. Este estudo resultou em um número N anual de $6,11 \times 10^6$. Considerando uma taxa de crescimento de 2,5%, definida através do Produto Interno

Bruto (PIB) da região, foi calculado o N de projeto, resultando em um número de solicitações de carga na ordem de $6,85 \times 10^7$, adotado para o dimensionamento. As estruturas propostas foram dimensionadas considerando a duplicação da BR 287, trecho de Santa Cruz do Sul a Tabaí, para um período de projeto de 10 anos.

A Tabela 1 apresenta os tipos de eixo, com o FV, feito pelo FEC da USACE, para cada uma das categorias, tendo em vista que levou-se em consideração a máxima carga legal para os cálculos realizados. O Volume Diário Médio (VDM) obtido foi de 2649,03. As categorias de número 1, 7, 8 e 12 não foram consideradas nesta projeção.

Tabela 1: FEC por eixo

Tipo de eixo	FV - USACE
2 - ESRS e ESRD	3,567
3 - ESRS e ETD	8,827
4 - ESRS e ETT	9,578
5 - ESRS, ESRD e ETT	12,867
6 - ESRS, ETD e ETT	18,126
9 - ESRS, ESRD, ETD e ETT	21,416
10 - ESRS, ETD, ETD e ETT	26,675
11 - ESRS, ETD, ETT e ETT	27,426

De modo a comparar a influência da espessura e/ou adição de novas camadas em uma estrutura base, dimensionada a partir do método DNER, fixou-se os materiais constituintes de cada camada. Para o subleito foi considerado um solo argiloso de comportamento laterítico (LG'), segundo a metodologia MCT, estudado por Santos (2016) e Zago (2016). Este material foi classificado como argila inorgânica de baixa e média plasticidade, segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), com baixa atividade coloidal e predominância de argila na sua composição, enquadrado no grupo A-7-6 segundo a classificação da *Transportation Research Board* (TRB), caracterizado como material com elevada mudança de volume (SANTOS, 2016). A umidade ótima, densidade máxima, o ISC, obtido através da normativa do DNER-ME 049/94, do solo que compõe o subleito estão apresentados na Tabela 2 (ZAGO, 2016).

Tabela 2: Parâmetros do subleito

Subleito de solo argiloso	
Umidade ótima - Energia normal	19,6%
Densidade máxima - Energia normal	1,676 kg/m ³
Índice de Suporte Califórnia - ISC	11,0%

A capacidade resiliente do material bem como os parâmetros de deformação permanente foram obtidas através de ensaios triaxiais de cargas repetidas, normatizados pela DNIT 134 (DNIT, 2018) e REDE 03 (PETROBRÁS, 2010), respectivamente. Para obtenção dos parâmetros resilientes e deformação permanente, foram realizadas regressões não linear através do Modelo Composto (MACÊDO, 1996) e modelo de Guimarães (2009), com parâmetros apresentados na Tabela 3 (ZAGO, 2016).

Tabela 3: Parâmetros de resiliência e deformação permanente de solos

Subleito de solo argiloso	
MR - coef. de regressão k_1	215,02
MR - coef. de regressão k_2	0,230
MR - coef. de regressão k_3	-0,290
DP - coef. de regressão ψ_1	0,869
DP - coef. de regressão ψ_2	0,006
DP - coef. de regressão ψ_3	1,212
DP - coef. de regressão ψ_4	0,042

2.1. Dimensionamento segundo o DNER (1981)

Para o dimensionamento da estrutura de pavimento flexível seguindo a metodologia em vigor no Brasil, foram considerados o ISC obtido em laboratório, conforme apresentado na Tabela 1, em conjunto ao número das solicitações já apresentadas. As espessuras das camadas de base e revestimento asfáltico foram determinadas conforme os preceitos do DNER (1981).

Esta estrutura será apresentada, posteriormente, como Estrutura 01. Para avaliar o comportamento dessa estrutura quando submetidas à ação do tráfego, verificar à fadiga e à deformação permanente, considerou-se a utilização de parâmetros e características de materiais inclusos na base de dados do MeDiNa. Como constituinte da base, utilizou-se a “Brita graduada - C5” e para o revestimento asfáltico, fez-se o uso do revestimento asfáltico “Classe 1”, ambos do default do MeDiNa, com parâmetros apresentados na Tabela 3 e 4.

2.2. Dimensionamento segundo o MeDiNa (2019)

Após o dimensionamento da estrutura pelo método atual, dimensionou-se outras duas estruturas levando em consideração a abordagem mecanística-empírica inclusa no MeDiNa, considerando o mesmo dado de tráfego e o subleito apresentado anteriormente. Na estrutura nomeada Estrutura 02, foi considerado os mesmos materiais da estrutura DNER 01, apresentados nas Tabelas 02, 03, 04 e 05.

Devido ao custo e a facilidade de se obter macadame seco, além de ser um material corriqueiro na composição de pavimentos do estado do Rio Grande do Sul, optou-se por utilizar a “Brita graduada - C6” na sub-base dos pavimentos dimensionados seguindo essa metodologia, devido a semelhança e a inexistência da caracterização de macadame seco. A “Brita graduada - C5” foi utilizada para compor a base do pavimento e tem seus parâmetros apresentados na Tabela 5. Para o revestimento, optou-se por utilizar concreto asfáltico 50/70, conforme a Tabela 4, intitulado dentro do banco de dados como “Classe 1”. Na estrutura intitulada Estrutura 01, foi considerado ainda um revestimento modificado “Classe 4” que tem suas propriedades apresentada na Tabela 5.

Tabela 4: Parâmetros dos revestimentos asfálticos

Parâmetros	Classe 1	Classe 4
Coefficiente de Poisson	0,30	0,30
Contato	Aderido	Aderido
Massa Específica (g/cm^3)	2,40	2,40
Módulo de Resiliência (MPa)	5764	10492
Fadiga - coef. de regressão k_1	5,49E-11	1,91E-5
Fadiga - coef. de regressão k_2	-3,25	-1,90

Tabela 5: Parâmetros da brita 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 (%)	43,0	43,0
Massa Específica (g/cm ³)	2,223	2,025
Umidade Ótima (%)	5,0	7,5
Módulo de Resiliência (MPa)	381,0	278,0
DP - coef. de regressão	0,0868	0,1294
DP - coef. de regressão	-0,2801	-0,0647
DP - coef. de regressão	0,8929	1,100
DP - coef. de regressão	0,0961	0,0735

Cabe ressaltar que para o tipo de via em análise, sistema arterial principal, a análise apresenta uma confiabilidade de 95%, limitando a área trincada em 30% e a deformação permanente em 10 mm (FRANCO; MOTTA, 2018). Desta forma, as análises serão realizadas com base nesses valores.

2.3. Orçamento das estruturas dimensionadas

O alto custo disponibilizado para pavimentar um quilômetro de rodovia é um fator relevante quando se refere à alocação de recursos, por isso é de suma importância que o orçamento seja realizado da melhor forma possível e dentro dos parâmetros exigidos pelo DNIT. O orçamento das três estruturas propostas foi realizado utilizando o SICRO do DNIT, de outubro de 2018.

Após o desenvolvimento de uma planilha padrão para orçamento e por meio das composições disponibilizadas pelo DNIT, criadas para satisfazer as necessidades do projeto, foram orçadas as estruturas considerando dados para um quilômetro de via, com geometria básica de 7,2 m de pista e 5,0 m de acostamento. Levou-se em consideração apenas os custos diretos de implantação da rodovia, sendo estes: as movimentações de terra, execução das bases granulares, pinturas de ligação e imprimação das camadas, revestimentos asfálticos e sinalizações a serem colocadas pelo percurso. Os Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) e o custo de canteiro, por exemplo, não foram considerados. Os principais serviços considerados, juntamente com seus custos unitários são apresentados na Tabela 6. Esses preços foram obtidos no site da Agência Nacional do Petróleo (ANP), sendo abril de 2019 o mês de referência.

Tabela 6: Custo Unitário por serviço

Serviços	Custo Unitário
Regularização do Subleito	0,73 R\$/m ³
Reforço do Subleito com Material de Jazida	25,42 R\$/m ³
Sub-base de Macadame Seco com Brita Produzida	125,59 R\$/m ³
Base de Brita Graduada com Brita Produzida	140,42 R\$/m ³
Imprimação com Asfalto Diluído	5,17 R\$/m ²
Pintura de Ligação	1,04 R\$/m ²
Concreto Asfáltico-faixa C- areia extraída, brita produzida	283,18 R\$/t
Concreto Asfáltico com Asfalto Polímero-faixa C-areia extraída, brita produzida	371,49 R\$/t
CAP Convencional	2679,33 R\$/t
CAP Modificado	3629,53 R\$/t

Após o desenvolvimento dos orçamentos, foram realizados dois tipos de análises que serão apresentadas a seguir. A primeira se refere ao custo total, por quilômetro, para cada uma das três estruturas propostas, comparando-as entre si. A segunda análise foi realizada considerando o orçamento total por quilômetro da via dividido pelo número de solicitações que o pavimento permaneceria sem sofrer excessivamente com os danos de fadiga (N_{fad}) e deformação permanente (N_{dp}), levando em consideração os limites impostos ao tipo da via.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao dimensionar a estrutura de pavimento flexível considerando o método do DNER (1981), utilizando o ISC com imersão de 11% e o número N apresentado anteriormente, fez-se necessário compor a Estrutura 01 (Est01-DNER) com subleito compactado na energia normal, uma camada de 16,0 cm de material granular seguido de uma camada de 15,0 cm de brita graduada e revestimento asfáltico convencional de 10,0 cm de espessura, conforme a Figura 1.

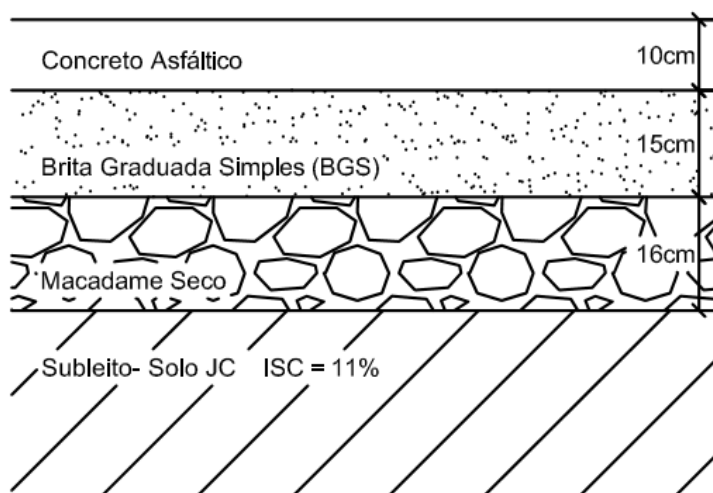


Figura 1: Estrutura 01 dimensionada segundo o DNER (1981)

Ao inserir a Est01-DNER no MeDiNa e avaliar o seu desempenho utilizando a rotina “Avaliar estrutura”, foi possível observar que antes de finalizar o primeiro ano de utilização, a mesma já estaria comprometida quanto a fadiga e a deformação permanente. A Tabela 7 apresenta o resumo das análises de área trincada e afundamento de trilha de roda (ATR) ao longo de dez anos de projeto.

Tabela 7: Desempenho da Estrutura 01

ESTRUTURA 01	Neq	ATR (mm)	Área trincada (%)
1º mês	5,03E+05	10,20	4,95
6º mês	3,03E+06	11,30	16,91
12º mês	6,11E+06	11,70	40,10
24º mês	1,24E+06	12,10	95,98
36º mês	1,88E+06	12,40	99,00
48º mês	2,54E+06	12,60	99,00
120º mês	6,85E+07	13,30	99,00

Desta forma, a Est01-DNER não passou nos critérios de fadiga e deformação permanente para o tipo de via considerado. No sexto mês de utilização a estrutura já apresentaria 11,3 mm de ATR, tendo em vista o limite de 10,0 mm para este tipo de via, a estrutura já estaria comprometida. Assim, é possível verificar que a deformação permanente é o dano mais crítico nesta estrutura.

Para satisfazer este dano, seria necessário melhorar as camadas granulares e reforçar o subleito desta estrutura, enfatizando a importância de materiais de base e sub-base. Ao finalizar o primeiro ano de utilização, a área trincada superou o limite de 30%, apresentando 40,10%. Com esta análise, é possível concluir que a estrutura projetada seguindo os preceitos do DNER (1981) é ineficiente para esta solicitação de tráfego e com estes materiais constituintes.

Em relação a custos, a Est01-DNER demandaria de um investimento de R\$ 1.583.748,74 por km, considerando as espessuras constituintes. É possível analisar que este valor é aproximadamente o que se tem como base quando se refere a custos de quilometragem de pavimentação.

A Estrutura 02 (Est02), dimensionada no MeDiNA, tem sua composição apresentada na Figura 02. Essa estrutura possui os mesmos materiais da estrutura anterior em sua composição, diferindo na espessura das camadas e no acréscimo de uma camada de revestimento.

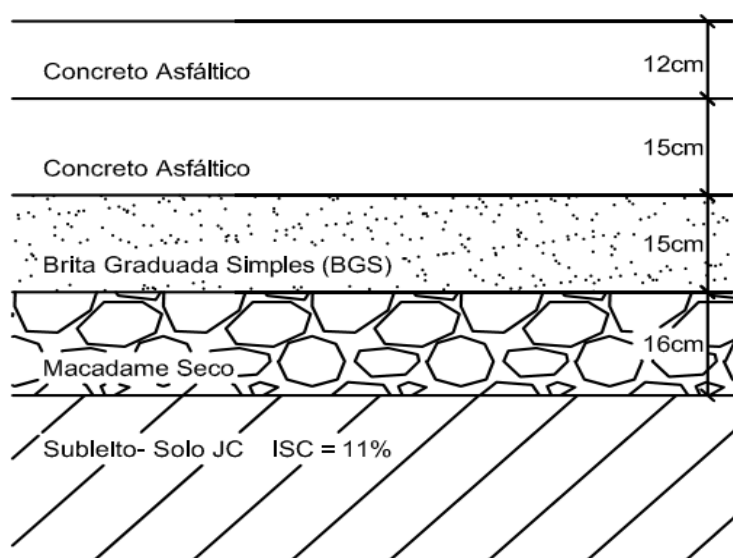


Figura 2: Estrutura 02 - MeDiNa (2019)

A Est02 é composta pelo subleito argiloso laterítico compactado na energia normal, seguido de uma camada de material granular de 16,0 cm de espessura e uma camada de brita graduada simples de 15,0 cm. Como revestimento, torna-se necessário o uso de duas camadas de concreto asfáltico, uma com 15,0 cm e a outra com 12,0 cm de espessura. Na Tabela 8 estão apresentados os valores de ATR e a porcentagem de área trincada desta estrutura. Nota-se que da maneira em que está composta essa estrutura, ao chegar no 120º mês (10 anos de projeto), a estrutura apresentará uma área trincada de 29,7% e ATR de 4,3 mm, ambos dentro dos limites impostos ao tipo da via.

Tabela 8: Desempenho da Estrutura 02

ESTRUTURA 02	Neq	ATR (mm)	Área trincada (%)
1º mês	5,03E+05	3,30	1,79
6º mês	3,03E+06	3,60	3,45
12º mês	6,11E+06	3,80	4,64
24º mês	1,24E+06	3,90	6,61
36º mês	1,88E+06	4,00	8,54
48º mês	2,54E+06	4,10	10,61
120º mês	6,85E+07	4,30	29,71

Esta estrutura resultou em um orçamento de R\$ 3.023.363,97 por quilômetro, incluindo fatores como o aumento de pinturas de ligação devido as duas camadas de revestimento. É notável o acréscimo do montante a ser utilizado para realização desta obra em relação a Est01. Desta forma, pode-se observar que com o aumento da qualidade de estrutura tem-se um acréscimo significativo de capital a ser aplicado.

Visando diminuir a espessura do revestimento asfáltico e para comparar o orçamento, dimensionou-se uma terceira estrutura considerando a utilização de asfalto modificado por polímero, com suas propriedades apresentadas na Tabela 5. A Figura 3 apresenta a Estrutura 03 (Est03) e na Tabela 9 está descrito o desempenho da estrutura.

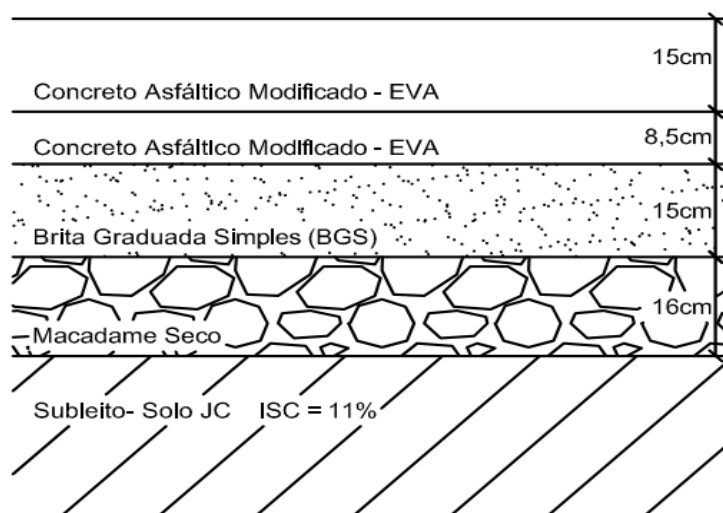


Figura 3: Estrutura 03 - MeDiNa (2019)

Tabela 9: Desempenho da Estrutura 03

ESTRUTURA 03	Neq	ATR (mm)	Área trincada (%)
1º mês	5,03E+05	2,90	1,77
6º mês	3,03E+06	3,30	3,41
12º mês	6,11E+06	3,40	4,58
24º mês	1,24E+06	3,50	6,51
36º mês	1,88E+06	3,60	8,38
48º mês	2,54E+06	3,70	10,39
120º mês	6,85E+07	3,90	28,67

A Est03 é constituída do subleito já descrito, de uma camada de 16,0 cm de macadame seco, 15,0 cm de brita graduada simples, com duas camadas de concreto asfáltico modificado “Classe 4”, uma de 8,5 cm seguido de 15,0 cm. O desempenho desta estrutura foi semelhante a Est02, considerado satisfatório ao final de 10 anos. Para viabilizar essa estrutura é necessário um investimento total de R\$ 3.093.808,25, valor este previsto considerando o uso de duas camadas de revestimento asfáltico modificado.

Analisando os valores orçamentários, é possível verificar os aumentos totais em custo diretos de implantação de uma estrutura dimensionada considerando a metodologia do DNER em relação às outras dimensionadas pela metodologia mecanística-empírica do MeDiNa. As estruturas Est02 e Est03 tiveram um aumento de R\$ 1.439.615,23 e R\$ 1.510.059,51, aproximadamente 90,90% e 95,35%, respectivamente, em relação ao dimensionamento da Est01 realizado pelo DNER. Ao comparar as duas estruturas dimensionadas pelo MeDiNa, tem-se um acréscimo de R\$ 70.444,28

(2,33%) da Est02 para a Est03.

Aparentemente, o investimento para implantação das estruturas dimensionadas pelo MeDiNa impressiona, quando comparado aos valores atuais do método do DNER. Porém, ao se detalhar esses valores por número de solicitações suportadas frente ao dano, observou-se que a Est01-DNER não resistiria nem ao primeiro mês de utilização no que se refere ao fenômeno de deformação permanente, considerando o limite de 10,0 mm de ATR. Para avaliar o custo em relação ao N, considerou-se o Neq do primeiro mês de utilização, $5,03 \times 10^5$, e o valor orçado por quilômetro desta estrutura. Desta forma, o custo dessa estrutura seria de R\$ 3,146 por Ndp. Se realizar essa mesma análise, contudo, considerando o Neq do mês que a estrutura atingiu o limite quanto a área trincada, no caso, o 9º mês de utilização, o custo pelo Neq seria de R\$ 0,312, considerando o Nfad de $5,08 \times 10^6$.

Ao realizar a mesma análise para a Est02 e Est03, tendo em vista que ambas foram dimensionadas pelo MeDiNa e suportariam as solicitações durante os 10 anos de projeto, considerando o Neq do 120º mês de solicitação, o custo em relação ao N é de R\$ 0,044 para a Est02 e R\$ 0,045 para a Est03. Nesse contexto, em um primeiro momento, pode-se questionar o alto custo global de implantação das estruturas dimensionadas pelo MeDiNa, tendo em vista serem quase 100% mais caras que a estrutura dimensionada pelo método do DNER. Entretanto, quando se expõe o custo total diluído em função do número de solicitações suportado pelo pavimento, esse investimento se mostra necessário e eficaz.

Desta forma, pode-se verificar que o dimensionamento realizado através do DNER (1981) irá sofrer ruptura antes do período de projeto considerado, ao passo que as duas estruturas dimensionadas considerando o novo método de dimensionamento, devem apresentar um excelente desempenho desde que bem executadas. Isso se dá, devido ao dimensionamento pelo MeDiNa não considerar apenas a capacidade do subleito em suportar deformações cisalhante de ruptura, mas sim, considerar as propriedades e características de todos constituintes da estrutura.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que todas as camadas que compõem uma estrutura de pavimento flexível devem suportar as solicitações de tráfego e tendo em vista o desenvolvimento de um novo método de dimensionamento brasileiro, o presente trabalho teve como objetivo apresentar uma análise comparativa entre estruturas dimensionadas pelo método de dimensionamentos atual e o futuro método, além de comparar o acréscimo de investimento de uma metodologia a outra. Para o dimensionamento, levou-se em consideração um tráfego real, de uma via que deverá ser duplicada em breve, além de considerar um subleito característico da região em estudo.

Com base nas verificações realizadas, conclui-se que a estrutura dimensionada pelo método de dimensionamento do DNER (1981) não suportaria nem ao primeiro mês quanto à deformação permanente, além de vir a sofrer com os danos causados pelo fenômeno da fadiga, apresentando uma área trincada superior aos limites impostos para o tipo da via. Quanto às estruturas dimensionadas pelo método mecanístico-empírico do MeDiNa, verifica-se um comportamento excelente durante os 10 anos de projeto. Qualquer uma das estruturas dimensionadas por esse método, poderiam ser executadas e proporcionariam aos seus usuários conforto e economia ao rolamento, além de segurança, atendendo aos princípios básicos.

O aumento da espessura do revestimento, a aplicação de um revestimento de melhor qualidade, ou até a necessidade de aplicação de maiores camadas granulares torna a estrutura mais onerosa. Ao analisar o custo da estrutura dimensionada pelo método do DNER (1981) considerando que a

mesma não suportaria o primeiro mês de utilização, o custo se torna muito elevado se comparado às estruturas dimensionadas pelo MeDiNa. Num primeiro momento, o valor global por quilômetro das estruturas do MeDiNa surpreende, mas ao analisar as solicitações e a qualidade da mesma, este valor torna-se aceitável.

Diante disso, conclui-se que o método do DNER (1981) cumpriu o seu propósito no setor rodoviário. Contudo, devido ao aumento das solicitações, a capacidade de carga, ao crescimento do tráfego e as novas tecnologias na área, torna-se necessário a introdução do MeDiNa, que considera as propriedades de todos seus constituintes, baseado nos danos causados no pavimento, projetando adequadamente

Agradecimentos

À REDE DE TECNOLOGIA EM ASFALTOS 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 (1993) NBR 12891 – Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- 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. (2010) Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Editora Abeda, Rio de Janeiro.
- CNT (2018) Pesquisa CNT de rodovias 2018: relatório gerencial. Catálogo Nacional de Transportes, Brasília, DF.
- Carvalho, C. A. B. (1997) Estudo da Contribuição das Deformações Permanentes das Camadas de Solo na Formação das Trilhas de Roda num Pavimento Flexível. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos -Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 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 (2018) ME134 – Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2018) IE179 – Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio. Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Rio de Janeiro.
- EGR (2019) Volume de Tráfego Praça de Pedágio Venâncio Aires. <<https://www.egr.rs.gov.br/conteudo/1716/volume-de-trafego>>, Acesso em junho 2019.
- EN (2004) 12697-24 – Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt: Restintance to fadigue. Comissão Europeia de Normalização. Bruxelas, Bélgica.
- Franco, F. A. C. P. (2007) Método de dimensionamento mecânico empírico de pavimentos asfálticos - SisPav. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Franco, F. A. C. P. e Motta, L. G. (2018) MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional. Manual de utilização. Versão 1.0.0. 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.
- Macedo, J. A. G. (1996) Interpretação de ensaios deflectométricos para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis – A Experiência com FWD no Brasil. Tese de Doutorado. PEC. COPPE/UFRJ. Rio de

Janeiro/RJ.

- Petrobrás (2010) Rede temática de asfalto – Manual de execução de trechos monitorados. Petróleo Brasileiro AS. 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.

Gabriéli Pires Chiarello (gabrieli.chiarello@gmail.com)
Paula Taiane Pascoal (ptpascoal@hotmail.com)
Thaís Aquino dos Santos (thaiis_as@hotmail.com)
Deividi da Silva Pereira (dsp@ufsm.br)
Magnos Baroni (magnos.baroni@gmail.com)
Rafael Parmeggiani Gering (rafaelgering@hotmail.com)
Departamento de Transportes, Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima, 1000, Prédio 10 – Santa Maria, RS, Brasil