

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: AASHTO, DNIT E MEDINA

Yago Duarte da Silva

Universidade Luterana do Brasil
Curso de Engenharia Civil

Luíza Carburnck Godoi

Universidade Luterana do Brasil
Curso de Engenharia Civil

GPTrans - Grupo de Pesquisa em Trânsito e Transportes

Raquel da Fonseca Holz

Universidade Federal de Pelotas
Curso Superior de Tecnologia em Transportes Terrestres
GPTrans - Grupo de Pesquisa em Trânsito e Transportes

RESUMO

A infraestrutura viária destaca-se como um dos protagonistas quando se almeja o desenvolvimento econômico de um país. Através do modal rodoviário brasileiro, é escoado diariamente toneladas de produtos de diferentes setores comerciais impactando em todas as classes do território nacional. O presente artigo se propõe a comparar, em torno de uma análise de custos, estruturas de pavimentos flexíveis dimensionadas pelo Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa) e outros dois processos empíricos, amplamente utilizados e validados. O primeiro deles consiste no método vigente especificado pelo DNIT e o segundo no guia produzido pela AASHTO (1993), que deu origem a muitos outros métodos. É evidente no estudo que não existe um comportamento uniforme para todos os cenários analisados. O novo custo que será praticado pelo dimensionamento através do MeDiNa pode ser mais econômico ou mais oneroso, a depender das variáveis empregadas na situação imposta.

ABSTRACT

Road infrastructure stands out as one of the protagonists when it comes to the economic development of a country. Through the Brazilian highway modal, tons of products from different commercial sectors are sold daily, impacting all classes of the national territory. This paper proposes to compare, around a cost analysis, flexible pavement structures dimensioned by the National Pavement Dimensioning Method (MeDiNa) and two other widely used and validated empirical processes. The first consists of the current method specified by DNIT and the second in the guide produced by AASHTO (1993), which gave rise to many other methods. It is evident in the study that there is no uniform behavior for all scenarios analyzed. The new cost that will be practiced by sizing through MeDiNa may be more economical or more expensive, depending on the variables employed in the imposed situation.

1. INTRODUÇÃO

Com o anseio de buscar recursos naturais e com o desejo de expandir sua área ou território de influência, surgiu a criação das estradas, inventadas pelos chineses e bem mais tarde aperfeiçoadas pelos romanos, com a instalação de pavimentos e sistemas de drenagem para que se tornassem estruturas duradouras (Balbo, 2007). As estradas até hoje possuem papel fundamental para o desenvolvimento humano e socioeconômico, sendo a infraestrutura rodoviária o principal modal de transporte de cargas e pessoas. Segundo estudos da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017a), cerca de 61% da movimentação de cargas passa pelas rodovias, assim como 95% do transporte de passageiros, contudo apenas 12,3% da extensão rodoviária brasileira é pavimentada. O Brasil ocupou, em 2018, a 112ª posição no *ranking* de qualidade rodoviária, ficando atrás de países como Chile, Equador, Uruguai e Argentina (CNT, 2018).

Com o aumento da frota de veículos, aliado ao excesso de carga nas rodovias e os fretamentos

realizados em longas distâncias, acarretam no encurtamento da vida útil dos pavimentos asfálticos, com isso o número de acidentes rodoviários vem crescendo substancialmente ao longo dos anos (CNT, 2017). A ausência de condições adequadas de segurança e qualidade nas rodovias brasileiras tem elevado os custos de operação dos serviços de transporte, uma vez que seu inadequado estado de conservação implica frequentes ocorrências de avarias em pneus, rodas, suspensões e a maior necessidade de manutenção dos veículos e no aumento do consumo de combustível, entre outros.

O método de dimensionamento rodoviário brasileiro, perante a CNT (2017) não é mais adequado aos dias de hoje, tendo em vista a tendência natural que os processos de dimensionamento internacionais tomaram e o aumento da frota de veículos, aliado ao excesso de carga imposto às rodovias. Um dos principais problemas do método empírico desenvolvido por Souza (1981), que vem sendo amplamente empregado há anos para construção de rodovias no Brasil, consiste na ausência de consideração do comportamento elástico das camadas de suporte do pavimento. A implementação dessa teoria é fundamental para análise do rompimento por fadiga e deformação permanente, que se apresentam como as principais patologias encontradas em pavimentos asfálticos.

Além disso, a falta de revisão do modelo matemático implica na não consideração de novos materiais e técnicas que surgiram ao longo dos anos. Existem ainda outras duas divergências claras nas diretrizes de projetos internacionais que não são consideradas. A primeira delas seria um coeficiente de confiabilidade, que se trata de uma margem de aceitação dos parâmetros estimados. Já a segunda distinção refere-se a quanto a questão climática interfere na estrutura dos pavimentos, sendo esta de grande relevância para a ótica nacional devido à grande extensão territorial (CNT,2017).

Neste contexto, o Instituto de Pesquisa Rodoviária (IPR), em parceria com a COPPE/UFRJ, DNIT e outras universidades referência no Brasil, está em fase final de desenvolvimento de um novo modelo de dimensionamento para pavimentos flexíveis. Denominado “MeDiNa”, o Método de Dimensionamento Nacional, atuará com o auxílio de um *software* engajado na análise empírica-mecânica da estrutura, que busca amenizar as problemáticas já citadas do método do DNIT, agregando aprimoramento a métodos como o SISPAV, de Franco (2007). Juntamente com o método da AASHTO (1993), que agrega uma visão de procedimentos utilizados no exterior, esta pesquisa busca mapear custos de estruturas de pavimentos dimensionadas pelas metodologias supracitadas, quando submetidas as mesmas condições de subleito e número N.

Para isso, a seção um deste artigo apresenta uma breve introdução com a importância e origem do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos, bem como a relevância de uma infraestrutura adequada para o país. A seção dois mostra os modelos de cálculo utilizados. Já a terceira seção traz a metodologia de pesquisa empregada no presente estudo. Por fim, na quarta seção são reportados os resultados e discussões. Na seção cinco contempla as considerações finais a respeito do tema, bem como uma abordagem do novo *software* de dimensionamento.

2. MÉTODOS UTILIZADOS

Foram empregados três métodos de dimensionamento de pavimentos, atentando-se às variáveis específicas consideradas por cada um deles. O *software* MeDiNa utilizado ainda não

corresponde a versão definitiva do método em elaboração pelo DNIT, entretanto, consta em processo de conclusão.

2.1. Método AASHTO (1993)

Segundo o *Guide for Design of Pavement Structures* (AASHTO, 1993), o método para dimensionamento de pavimentos flexíveis, fundamenta-se principalmente na análise estatística dos resultados obtidos da Pista Experimental da AASHTO *Road Test*, planejada a partir de 1951, construída entre agosto de 1956 e setembro de 1958, e monitorada sob tráfego entre de 1958 e novembro de 1960, em Ottawa, no Estado de Illinois (EUA). A equação para dimensionamento da literatura AASHTO está baseada no binômio serventia-desempenho. Entende-se serventia como uma medida da habilidade de um pavimento cumprir suas funções em um momento particular do tempo, enquanto o desempenho é a medida da história de serventia no decorrer deste determinado tempo (Balbo, 2007).

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), o método de dimensionamento de pavimentos norte-americano substitui o Índice de Suporte Califórnia (CBR) pelo Módulo de Resiliência (MR) do subleito como parâmetro de dimensionamento. Os mesmos autores exaltam a substituição do CBR e outros valores de resistência pelo MR tendo como argumentos, as seguintes objeções: (i) o MR indica uma propriedade básica do material que pode ser utilizado na análise mecânica de sistemas de múltiplas camadas; (ii) o método de ensaio e caracterização do material é difundido e aceito internacionalmente para projetos de pavimentos e para sua avaliação de desempenho; e (iii) a presença de técnica disponível para testes rápidos e não destrutivos, facilitando a uniformização entre os procedimentos de dimensionamento de pavimentos novos e de reforços a pavimentos antigos.

A equação de desempenho para dimensionamento pelo método da AASHTO (1993) tem a função de descrever o desempenho de dado pavimento no tempo. Dentre as variáveis envolvidas nesta metodologia, a equação 1 apresenta o número de eixos equivalentes no período de projeto representando o tráfego estimado para a estrutura a ser projetada. Ressalta-se que o procedimento americano considera um eixo padrão igual ao método brasileiro. Na sequência, o Z_R corresponde a um número estatístico que considera o erro na elaboração e coletada de dados para o dimensionamento do pavimento em questão.

De maneira análoga ao desvio padrão Z_R , o S_0 trata de um valor estatístico com base no tipo de revestimento. Para o presente estudo considera-se o recobrimento como sendo asfáltico sendo esta variável igual a 0,40. Por fim, o ΔPSI está relacionado à variação da serventia ao longo do período de projeto desejado.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10} MR - 8,07 \quad (1)$$

em que:

- W_{18} : Número de eixos equivalentes no período de projeto;
- Z_R : Fator de desvio padrão para um nível de confiança R;
- S_0 : Desvio padrão para tipologia de pavimento;

SN : Número estrutural;
 ΔPSI : Perda de serventia ($p_t - p_0$);
 MR : Módulo resiliente [PSI]

Balbo (2007) descreve o número estrutural (SN) do pavimento como um valor abstrato, que expressa a capacidade estrutural de dado pavimento, necessário para combinação de suporte do subleito. O número estrutural é calculado através da equação 2.

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \quad (2)$$

em que: a_i : Coeficiente estrutural da camada;
 D_i : Espessura da camada [polegadas];
 m_i : Coeficiente de drenagem da camada.

Através da equação 2, já é possível determinar as espessuras das camadas, desde que sejam escolhidos os coeficientes de drenagem e estrutural dos materiais. Os mesmos encontram-se detalhados no Guia de 1993.

2.2. Método DNIT

O método de dimensionamento do DNIT, desenvolvido pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza, foi baseado no “*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*” do Corpo de Engenheiros do Exército Americano e nas conclusões obtidas a partir da Pista Experimental da AASHO (DNIT, 2006). Souza (1981) arbitrou em seu método o mesmo carregamento de eixo padrão adotado nos EUA, que resulta numa carga de 18.000lbs ou 8,2tf.

Nesta metodologia, o dimensionamento das camadas se dá através da determinação da altura equivalente para proteção da camada subjacente, que é obtida em virtude do CBR do material a ser resguardado. Nota-se a similaridade do procedimento com o método da AASHTO (1993), porém com um número reduzido de variáveis a serem consideradas.

Ao encontro da metodologia da AASHTO (1993), Souza (1981) também adotou em seu procedimento a atribuição de espessuras mínimas às camadas, sendo a determinação do material e espessura do revestimento a peça inicial do dimensionamento. A espessura da capa de rolamento é baseada no número de repetições equivalentes ao eixo padrão (número N), catalogados na tabela 01, cuja relação foi criada mediante observações empíricas da época (SOUZA, 1981).

Tabela 01: Espessura mínima de revestimento

N	Espessura de revestimento betuminoso
$N \leq 1,0 \times 10^6$	Tratamento superficial betuminoso
$1,0 \times 10^6 < N \leq 5,0 \times 10^6$	Revestimento betuminoso com 5,0 cm
$5,0 \times 10^6 < N \leq 1,0 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm
$1,0 \times 10^7 < N \leq 5,0 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm
$N > 5,0 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm

Fonte: DNER (1981)

2.3. Software MeDiNa

O MeDiNa é um programa de computador que realiza a verificação e o dimensionamento de estruturas de pavimentos através de uma análise empírica-mecânica, por meio da rotina de

Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), desenvolvida por Franco (2007). O programa é oriundo do Termo de Execução Descentralizada TED/682-2014, celebrado de 2015 a 2018 entre o DNIT e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – (COPPE), bem como da colaboração do Centro de Pesquisas da Petrobrás – (CENPES) e de diversas Universidades do Brasil (Franco e Motta, 2018).

O programa elaborado possui forte relação de seus parâmetros com o atual método do DNIT (2006), entretanto, o *software* analisa parâmetros de deformabilidade através de elementos finitos. As variáveis são as mesmas para os métodos, porém descarta-se o Fator Regional (FR), que já era considerado como unitário, por recomendação do autor, não causando efeito propriamente dito no dimensionamento. É importante ressaltar que a análise de uma estrutura de pavimento ou mesmo o seu cálculo requer um conjunto amplo de informações para que os resultados obtidos sejam confiáveis. Sem essa gama de informações, completa e precisa, os resultados do programa não devem ser utilizados para elaboração de projeto.

Franco e Motta (2018) relatam no guia do programa que o mesmo é sensível a pequenas variações do número N e, portanto, uma estimativa apurada é de grande importância para o sucesso do projeto, a precisão do dimensionamento está relacionada diretamente com a precisão dos dados inseridos no mesmo. Os mesmos destacam também que não é aconselhável a escolha de materiais a partir de bibliografias sem a utilização de ensaios laboratoriais precisos.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Foram elaborados dezoito cenários a serem avaliados, sendo as variáveis comuns a todos os métodos, a resistência do subleito e o volume de tráfego, conforme apresentado na Figura 1. A capacidade de suporte do subleito foi considerada de ruim (CBR=8%) a ótima (CBR=14%) e o número N, por sua vez, como leve ($1,5 \cdot 10^5$), médio ($1,5 \cdot 10^6$) e alto ($1,5 \cdot 10^7$), com valores estipulados conforme recomendações técnicas dos métodos de estudo. Além do revestimento em concreto asfáltico e do material da sub-base com CBR mínimo de 20%, para camada de base empregou-se materiais tipicamente utilizados em pavimentação rodoviária, tais como Brita Graduada Simples (BGS), Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), Solo Brita (SB) e Solo Cimento (SC), selecionados com base no banco de dados do programa MeDiNa. Considerou-se um período de projeto de 20 anos, tendo em vista que é comum outros países projetarem em um horizonte mais extenso que o nosso.

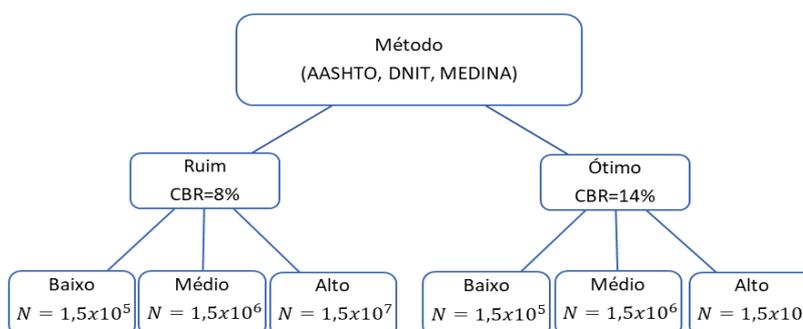


Figura 1: Ramificação dos Cenários

De forma a correlacionar as capacidades de suporte do subleito selecionadas para análise, e necessárias ao dimensionamento pelo método do DNIT, com o módulo de resiliência - requerido pelas metodologias do MeDiNa e AASHTO - capturou-se cinco modelos disponíveis na literatura que correlacionassem tais variáveis. Na figura 2 são reproduzidos os modelos de Heukerlom Klomp *apud* AASHTO 1993, Preussler 1983 *apud* Balbo 2007, Powell *et al.* 1984 *apud* Gomes, Helal e Filho (2015), Bernucci 1995 e Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) 2004.

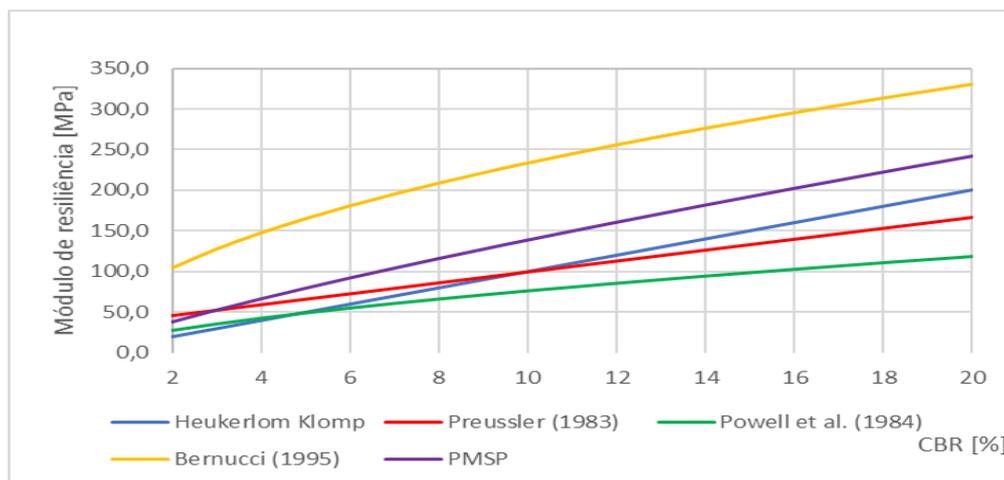


Figura 2: Equações de correlação entre MR e CBR

Nota-se visualmente que a equação de Bernucci (1995) apresenta valores superiores aos demais. Ao desprezar estes resultados foi calculada a dispersão entre os dados. Através do coeficiente de variância obteve-se como resultado para um universo compreendido entre CBR 2% e 20%, o resultado de 22,8%. Tendo em vista que as equações de correlação abrangem materiais de diferentes propriedades, entende-se que tal valor atesta a baixa dispersão. Para determinação resultante do valor do módulo de resiliência, optou-se por adotar a equação de Powell *et al.* (1984 *apud* Gomes, Helal e Filho, 2015), pois seus resultados são os menores entre os outros modelos, preservando uma certa segurança no valor de resistência.

Considerando o alto volume de tráfego adotado na simulação de alguns cenários deste trabalho, optou-se por adotar a classificação da via como sistema “Arterial Primário”, que corresponde a um nível de confiança de 85%. Já para os demais volumes de tráfego será empregado o mesmo tipo de via, logo, o mesmo fator estatístico.

No quesito serventia foi estipulado para AASHTO, os valores típicos conforme a pesquisa bibliográfica de 4,2 para vida inicial e 2,0 para fim da serventia. No MeDiNa, a serventia ou qualidade é desenvolvida através da análise das deformações e área de trincamento dentro de certos limites aceitáveis para determinado tipo de via. Tendo em vista que foi escolhido o tipo de via “Arterial Primário”, o programa calculou espessuras suficientes para que no fim da vida de projeto não se ultrapassem os limites estabelecidos.

Por fim, a respeito do orçamento utilizou-se a base de dados do Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO, de julho de 2018, utilizado no Estado do Rio Grande do Sul (RS) para estimativa de custo das composições. Adotou-se que os insumos seriam todos de origem comercial, visto que nem sempre existe a possibilidade de produção *in loco*, ao passo

que não se englobou os custos das distâncias médias de transporte, nem serviços especializados fora das composições. Ou seja, apenas as camadas de pavimento dimensionadas conforme a tipologia do material empregado, que mais se assemelha com a tabela de composições orçamentária elaborada pelo DNIT.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido ao número elevado de resultados tratados, optou-se por agrupar as análises em virtude da camada de base utilizada, de modo que se consiga observar a alteração de custos da seção tipo em cada cenário.

4.1. Cenários com brita graduada simples

A figura 3 reporta graficamente a diferença entre os custos (em R\$/km) para os três métodos analisados, nas três situações do tráfego. O resultado do custo base para o MeDiNa sofre de maneira divergente dos demais métodos, apresentando resultados constantes para valor de N entre $1,5 \times 10^5$ e $1,5 \times 10^6$. Contudo, se eleva rapidamente a um percentual de 56,3% quando comparado com o resultado do DNIT para o mais alto volume de tráfego.

Os custos analisados são baseados em uma média aritmética entre todos os cenários de uma mesma tipologia, avaliando apenas o valor de referência, no estudo também foi possível avaliar a redução de custo com a melhoria do solo de fundação. Nota-se nos resultados gerados com o *software* MeDiNa, uma economia quando analisado tráfego de $1,5 \times 10^6$, que significou 6,50% comparando com o DNIT. Já quando se analisa com a referência americana essa discrepância passa a 21,10%.

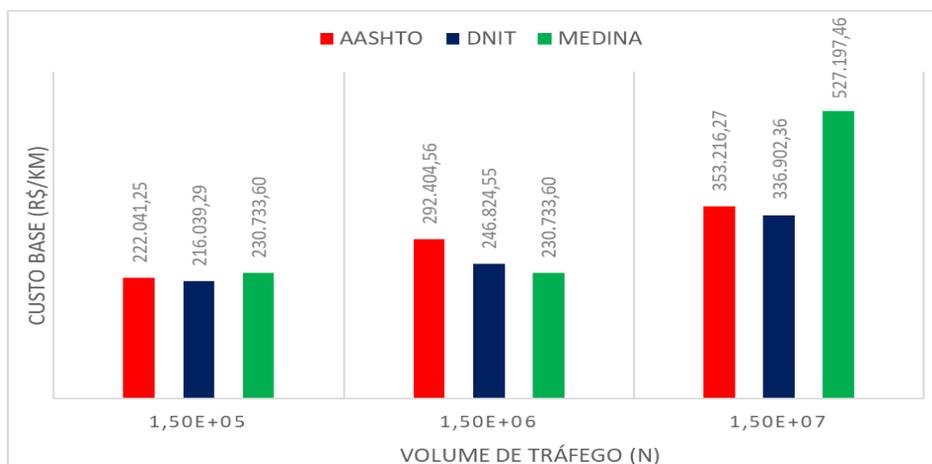


Figura 3: Custo médio com emprego de BGS

4.2. Cenários com brita graduada tratada com cimento

De acordo com a figura 4, o custo base para o MeDiNa quando analisados os grupos com base de BGTC sofre de maneira similar aos demais métodos, tornando-se mais oneroso conforme o pavimento fica mais robusto em função do tráfego. Porém, os resultados partem de um custo superior aos demais métodos quando N é igual a $1,5 \times 10^5$, torna-se intermediário para um N de $1,5 \times 10^6$ e, por fim, gera uma economia de 9,94% para o N de $1,5 \times 10^7$, quando comparado ao método desenvolvido pelo engenheiro Souza (1981). A metodologia da AASHTO resulta em orçamento mais elevado que os demais procedimentos quando se tem uma elevação no número N para $1,5 \times 10^7$.

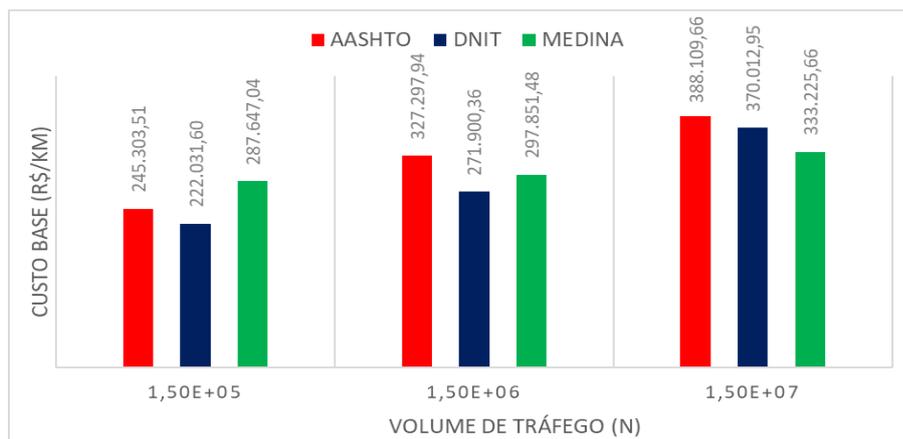


Figura 4: Custo médio com emprego de BGTC

A economia para o alto volume de tráfego se dá em virtude da baixa espessura do revestimento atribuído pelo MeDiNa quando comparado aos demais métodos. Para os valores de N igual a $1,5 \times 10^5$, o novo custo de pavimentação partiria de um acréscimo de 29,5% para o atual método e 17,2% para o procedimento americano. Comportamento totalmente distinto de forma global ao grupo com BGS.

4.3. Cenários com solo brita

No cenário com solo brita percebe-se, por meio da figura 5, o quanto o procedimento do MeDiNa diverge dos demais em relação ao custo, fator predominante no estudo de viabilidade de uma rodovia, quando analisado o mais alto volume de tráfego. Isso se deve a um acréscimo exigido pelo revestimento da ordem de 85,5%, resultado esse com comportamento próximo ao encontrado nos cenários com emprego de BGS.

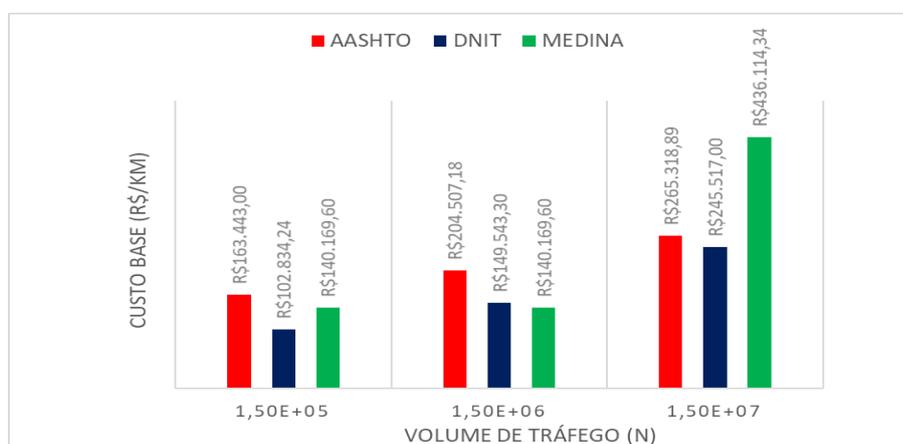


Figura 5: Custo médio com emprego de SB

Analiticamente, o custo para pavimentar uma rodovia semelhante à do estudo para um volume de $1,5 \times 10^5$ é 36,3% mais cara que o procedimento do DNIT, ao dimensionar através do método em desenvolvimento. Entretanto, tal resultado é ainda 16,6% mais vantajoso que o procedimento da AASHTO (1993) que supera o custo brasileiro em 58,9%.

Todavia, o comportamento de que os custos provenientes do dimensionamento do MeDiNa, sempre superam a realidade atual é uma fantasia. Para o caso de número N igual a $1,5 \times 10^6$

existe uma redução de custos da ordem de 6,2%, quando comparado os resultados do método vigente com aquele a ser implementado, enquanto que em relação ao procedimento americano a economia é ainda maior, correspondente a 31,4%.

4.4. Cenários com solo cimento

Para os cenários com SC um N de $1,5 \times 10^5$, o MeDiNa acarreta em um aumento de custos da ordem de 66,2% quando comparado com o procedimento do DNIT e 24,5% quando comparado ao americano. Para este mesmo tráfego, a estrutura dimensionada pelo DNIT gera uma economia de 33,4% em relação ao método da AASHTO (1993).

Como nota-se na figura 6, sempre há uma diferença significativa entre o custo brasileiro e o custo americano, entretanto, essa margem tende a diminuir com o aumento do volume de tráfego. Todavia, o custo brasileiro, para os cenários explorados nesta pesquisa, não supera em momento algum o custo americano.

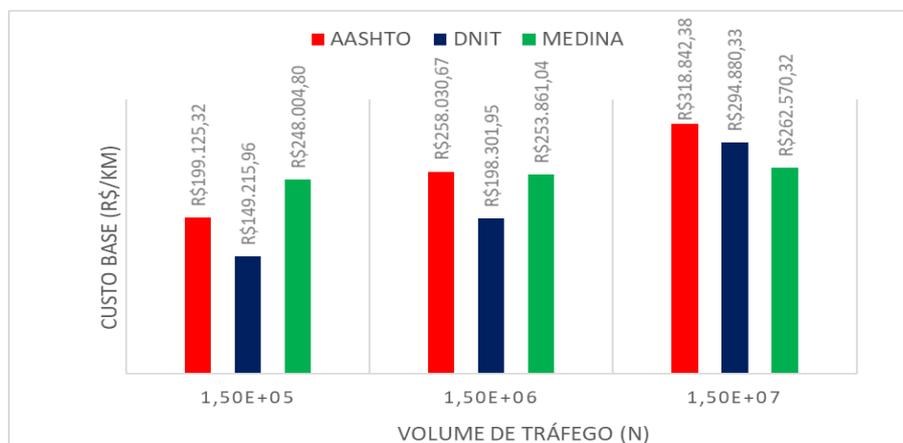


Figura 6: Custo médio com emprego de SC

Atenta-se para a redução de recursos a serem investidos no pavimento dimensionado pelo MeDiNa quando N é igual a $1,5 \times 10^7$. Embora o tráfego seja elevado, possivelmente em função do emprego de BGTC na camada de base, se percebeu uma redução significativa da espessura do revestimento, camada mais nobre e de maior impacto no custo de pavimentação. Neste cenário específico, a redução de R\$/km foi de 10,9% quando comparado ao DNIT e 17,6% para a AASHTO.

O acréscimo de custo do MeDiNa em função da variação do volume de tráfego mostrou-se pequeno, sendo de 2,6% entre $1,5 \times 10^5$ e $1,5 \times 10^6$, e 3,4% entre os valores de $1,5 \times 10^6$ e $1,5 \times 10^7$. Quando se avalia tal acréscimo para os demais métodos os valores superam 30% entre os intervalos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa se propôs a comparar, sob a perspectiva de custos, estruturas de pavimentos flexíveis dimensionadas por três metodologias: Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos, DNIT e AASHTO. Para tanto, foram elaborados cenários em condições diversas de tráfego, CBR do subleito e material de camada de base.

De maneira geral, em 66,6% dos resultados obtidos, o novo modelo de dimensionamento

apresenta um custo maior quando comparado as estruturas dimensionadas pelo método do DNIT. Já quando se analisa a metodologia americana, restringindo-se as estruturas avaliadas neste estudo, percebe-se que em 100% dos casos, pavimentar fora do Brasil apresentou-se mais oneroso quando comparado as estruturas dimensionadas pelo método vigente.

Para o grupo de materiais onde há cimentação foi possível obter uma economia de recursos no mais alto volume de tráfego, enquanto que para as demais demandas as camadas granulares se mostram mais atrativas economicamente. Para o volume de tráfego de $1,5 \times 10^5$ os custos dos pavimentos MeDiNa foram elevados em 16,3% quando confrontado com o DNIT para cenários com o emprego de base granulares e a 44,2% com o emprego de bases cimentadas. Comparando de maneira análoga o custo expresso pelo MeDiNa ao procedimento da AASHTO, gerou-se uma economia média de 3,7% para materiais granulares e mais caro 20,5% para materiais cimentados.

Por outro lado, para N igual a $1,5 \times 10^6$, o programa MeDiNa é mais econômico em 6,4% quando comparado com o atual método nacional ao se empregar material granular na base, e 17,3% mais oneroso com a utilização de insumos cimentados. Os cenários dimensionados pelo guia da AASTHO mostraram-se mais econômicos que os valores do método em desenvolvimento, sendo 25,3% para o grupo granular e 5,7% para os cimentados.

Por fim, no mais alto volume de tráfego do estudo, representado pelo N de $1,5 \times 10^7$, as bases com materiais granulares apresentaram um acréscimo de custo da ordem de 65,4%. No entanto, com a substituição por uma base cimentada identificou-se uma economia de 10,3% analisando o MeDiNa em relação ao DNIT, pois a cimentação auxilia na vida de fadiga da estrutura. Quando se contrapõe o MeDiNa com o procedimento americano contemplado neste estudo o comportamento do custo é similar sendo de 55,7% para mais com material de base granular e 15,7% para menos com emprego de material cimentado.

Identifica-se neste estudo a importância quando na escolha dos materiais a serem empregados nas camadas dos pavimentos, a estimativa da demanda de tráfego para o período de projeto estipulado, assim como o levantamento geotécnico onde será implementada uma nova via. Desta forma, o projetista deve avaliar cautelosamente qual conjunto atinge o ponto mais econômico para o dimensionamento, de maneira que se satisfaça a necessidade real da rodovia, garantindo desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Guide for the design of pavement structures. Washington, D.C., EUA, 1993.
- BALBO, José Tadeu. Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração. Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2007.
- BERNUCCI, L. B.; Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego. São Paulo. Tese (Doutorado). Escola Politécnica. USP, 1995.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro Petrobrás, RJ, Abeda, 2008.
- CNT -CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram? Brasília, DF, 2017.
- _____-CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. Pesquisa CNT Rodovias 2017a. Relatório Gerencial. Brasília. DF. SEST SENAT. 2017 Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>.
- CNT -CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. Pesquisa CNT Rodovias 2018. Relatório Gerencial. Brasília. DF. SEST SENAT. 2018 Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>.
- DNIT-DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de

- Pavimentação. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- FRANCO, F.A.C.P., Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos – SisPav. Tese de D.Sc. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- FRANCO, F.A.C.P.; MOTTA, L.M.G., Programas MeDiNa, AEMC e BackMedina – Manual de Utilização. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- GOMES, M. S.; HELAL, A. M. P.; FILHO, J. C. Análise do comportamento mecânico de um pavimento ferroviário através de um estudo comparativo entre os ensaios de CBR e módulo de resiliência. Periódico do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB. N. 3. Volume 1. 2015.
- PMSP – PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO – Dimensionamento de pavimentos Flexíveis para tráfego leve e médio. IP-04/2004. São Paulo SP, 2004.
- SOUZA, M. L. Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. IPR. Rio de Janeiro, RJ, 1981.

Yago Duarte da Silva (duarte29yago@gmail.com)
Luíza Carbunck Godoi (luizacgodoi@gmail.com)
Universidade Luterana do Brasil
Curso de Engenharia Civil

Raquel da Fonseca Holz (raqfh74@gmail.com)
Universidade Federal de Pelotas
Curso Superior de Tecnologia em Transportes Terrestres