

ACADEMIA MILITAR DAS AGULHAS NEGRAS

ACADEMIA REAL MILITAR (1811)

CURSO DE CIÊNCIAS MILITARES

Yuji Fujita Hiramatsu

**PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS DA
AMÉRICA**

**Resende
2020**

Yuji Fujita Hiramatsu

**PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS DA
AMÉRICA**

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Militares, da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN, RJ), como requisito parcial para obtenção do título de **Bacharel em Ciências Militares**.

Orientador(a): Capitão Kelson Leal Duarte Filho.

Resende
2020

Yuji Fujita Hiramatsu

**PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS DA
AMÉRICA**

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Militares, da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN, RJ), como requisito parcial para obtenção do título de **Bacharel em Ciências Militares**.

Aprovado em ____ de _____ de 2020:

Banca examinadora:

Kelson Leal Duarte Filho, Cap
(Presidente/Orientador)

Resende
2020

RESUMO

PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

AUTOR: Yuji Fujita Hiramatsu

ORIENTADOR(A): Capitão Kelson Leal Duarte Filho

A constante evolução e atualização da metodologia empregada nas obras é de grande importância para assegurar projetos capazes de suprir as demandas do setor de transporte rodoviário, o qual é o principal responsável pelo fluxo logístico do Brasil. Este trabalho apresenta uma avaliação das condições das estradas de pavimentação asfáltica no Brasil para estabelecer uma comparação entre os prós e contras do método empírico de dimensionamento de pavimentos nacional com método mecanístico-empírico usado nos projetos das obras dos Estados Unidos. A pesquisa é baseada por análise sobre os trabalhos de especialistas na área de pavimentação asfáltica. Verificou-se que a manutenção de uma estrada mal construída reflete diretamente nos cofres públicos, que terão elevados gastos com manutenção, na economia, cuja logística será comprometida, e na segurança dos cidadãos, que terão que dirigir em estradas defasadas e desconfortáveis. A partir desses resultados podemos concluir que, tendo em vista o cenário atual da malha rodoviária nacional, cresce a demanda de revisões nos métodos empíricos empregados pelo DNIT por algo mais tecnológico e amplo.

Palavras-chave: Método de Dimensionamento utilizado no Brasil. Método de Dimensionamento utilizado nos EUA. Revestimentos Asfálticos.

ABSTRACT

ASPHALT PAVING IN BRAZIL AND THE UNITED STATES OF AMERICA

AUTHOR: Yuji Fujita Hiramatsu

ADVISOR: Captain Kelson Leal Duarte Filho

The constant evolution and updating of the methodology used in the works is of great importance to ensure projects capable of meeting the demands of the road transport sector, which is the main responsible for the logistics flow in Brazil. This work presents an evaluation of the conditions of asphalt paving roads in Brazil to establish a comparison between the pros and cons of the empirical method of dimensioning national pavements with the mechanistic-empirical method used in the projects of the works of the United States. The research is based on analysis of the work of specialists in the field of asphalt paving. It was found that the maintenance of a poorly constructed road directly reflects on public coffers, which will have high maintenance costs, on the economy, whose logistics will be compromised, and on the safety of citizens, who will have to drive on outdated and uncomfortable roads. From these results we can conclude that, in view of the current scenario of the national road network, the demand for revisions in the empirical methods employed by DNIT for something more technological and broader grows.

Keywords: Pavement Design used in Brazil. Pavement Design used in US. Asphalt Layer.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Faixas Granulométricas de Materiais para base granular.....	15
Tabela 2- Faixas granulométricas e requisitos de dosagem da camada porosa de atrito.....	24- 25.
Tabela 3- Faixas granulométricas norte-americanas segundo AASHTO MP 8-02.....	26
Tabela 4- Características das misturas.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Estrutura de pavimento.....	12
Figura 2-Ciclo de vida de uma estrutura de pavimento.....	13
Figura 3- Cálculo de operação do eixo padrão de 8,2 tf;	15
Figura 4- Ábaco para dimensionamento das espessuras do pavimento.....	16
Figura 5- Espessuras das camadas do pavimento com base no CBR.....	16
Figura 6- Equações das camadas do pavimento.....	17
Figura 7- Fluxograma da Aplicação dos Estágios do Método da AASHTO.....	20
Figura 8- Composições granulométricas comparativas entre um SMA e um CA.....	25
Figura 9- Comparativo de curvas granulométricas.....	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Condição do pavimento em função do ICPF e tipo de intervenção necessária.....	10
Quadro 2- Condições e restrições gerais para o dimensionamento do pavimento.....	15
Quadro 3- Coeficientes de equivalência estrutural para os diferentes materiais do pavimento.	17
Quadro 4- Faixas granulométricas e requisitos de SMA pela especificação alemã ZTV Asphalt –StB 94, 2001.....	26- 27
Quadro 5- Resumo das características dos métodos e dimensionamento apresentados.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1	Objetivo geral	10
1.1.2	Objetivos específicos	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS	11
2.2	DEFORMAÇÕES	12
2.3	PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL ATUALMENTE	12
2.4	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO	13
2.4.1	Método Empírico	14
2.4.2	Método de Dimensionamento utilizado no Brasil	14
2.4.3	Método Mecanístico-empírico	18
2.4.4	Método de Dimensionamento utilizado nos EUA	18
2.5	REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS	22
2.5.1	Concreto Asfáltico Denso	22
2.5.1	Camada Porosa de Atrito	24
2.5.2	SMA	25
2.6	COMPARAÇÃO	28
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1 INTRODUÇÃO

“ A adequação funcional é quantificada pela suavidade do pavimento para pavimentos flexíveis e rígidos. As estradas irregulares levam não apenas ao desconforto do usuário, mas também a custos operacionais mais altos do veículo” (MEPDG, 2008, p. 31).

“ Mais de 60% do transporte de cargas e mais de 90% dos descolamentos de passageiros do Brasil são feitos por rodovias” (CNT, 2018, p. 7). Realizar fortes investimentos em infraestrutura de transporte é fundamental para oferecer segurança a motoristas, passageiros e pedestres além de favorecer o desenvolvimento do setor e o crescimento econômico.

As rodovias possuem uma grande importância para o Brasil, pois a maior parte do transporte de cargas e passageiros ocorre nelas, de modo que elas exercem um significativo papel na economia e sociedade do país.

Com a evolução dos veículos automotivos, como o aumento da capacidade de carga dos caminhões, cresce cada vez mais a importância que o Brasil tenha uma infraestrutura adequada para que consiga aumentar sua competitividade econômica e reduzir prejuízos com acidentes, desperdício de cargas e manutenção, de modo a proporcionar aos cidadãos mais segurança e conforto.

Vale ressaltar que uma estrada em más condições pode causar danos aos veículos e aumentam o consumo de combustível, elevando o custo operacional dessas jornadas e refletindo nos produtos que chegam aos consumidores.

De acordo com a Pesquisa CNT de Rodovias 2016, 48,3% da extensão total das rodovias avaliadas apresentavam algum tipo de problema no pavimento, tendo sido avaliado como Regular, Ruim ou Péssimo. Essa condição aumentou o custo operacional do transporte rodoviário de cargas em 24,9%, em média, devido à redução da durabilidade dos componentes veiculares e ao aumento do tempo de viagem e do consumo desnecessário de combustível. Esse uso excedente de combustível, em 2016, somente em razão da má condição do pavimento, foi estimado em quase 775 milhões de litros de diesel, gerando para o transportador um dispêndio adicional de R\$ 2,34 bilhões. Nessas condições, os veículos eram obrigados a trafegar em velocidade mais baixa, facilitando ações de roubos de cargas e assaltos a passageiros. A mesma pesquisa foi realizada em 2018 e a porcentagem permaneceu praticamente a mesma (48,4%) e, conforme o ranking de competitividade global feita pelo Fórum Econômico Mundial nesse mesmo ano, o Brasil encontra-se na posição 112º no quesito qualidade da infraestrutura rodoviária, dos 140 países avaliados.

Quadro 1- Condição do pavimento em função do ICPF e tipo de intervenção necessária

Conceito	Descrição	ICPF
Ótimo	Necessita de apenas conservação rotineira	5 – 4
Bom	Aplicação de lama asfáltica – desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 – 3
Regular	Correção de pontos localizados ou recapeamento – pavimento trincado, com “painelas” e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal	3 – 2
Ruim	Recapeamento com correções prévias – defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas – remendos superficiais ou profundos	2 – 1
Péssimo	Reconstrução – defeitos generalizados com correções prévias em toda a Extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas – infiltração de água e descompactação da base	1 – 0

Fonte: Elaborada pelo autor Fujita com base em dados do CNT e DNIT (2020)

Dada a importância da malha rodoviária para o desenvolvimento nacional, o foco deste trabalho está em analisar os métodos empregados pelo Brasil na construção das estradas e compará-los com os métodos utilizados no exterior.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Compreender atuais condições dos pavimentos do Brasil.

1.1.2 Objetivos específicos

Levantar procedimentos de pavimentação asfáltica adotados no exterior;
 Comparar os métodos nacionais e estrangeiros de pavimentação asfáltica;
 Encontrar oportunidades de melhoria para os métodos nacionais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS

A estrutura dos pavimentos consiste em múltiplas camadas, cada qual com espessuras específicas, que são construídas após a execução de um trabalho de terraplanagem. Possui o objetivo de proporcionar aos usuários mais conforto, economia e segurança durante seus deslocamentos. Para tanto, é necessário que os pavimentos sejam aptos a suportar os esforços provenientes dos veículos e resistir às intempéries climáticas da região.

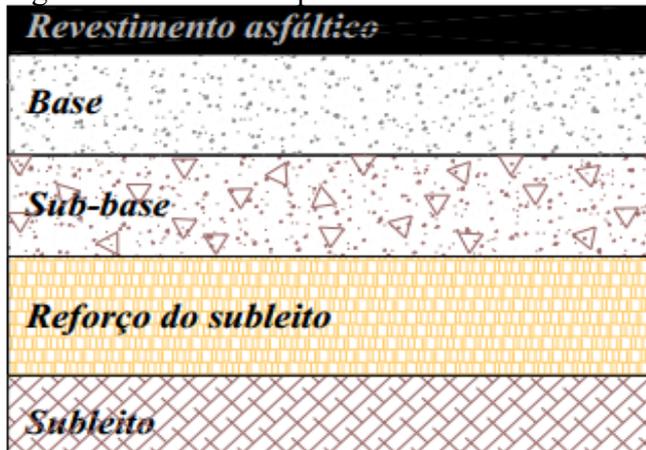
Podem apresentar uma superfície de concreto, caracterizando uma estrutura rígida ou possuindo um revestimento asfáltico, classificando-se como flexível

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base, e reforço do subleito [...]. Dependendo do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se ter ausência de algumas camadas. As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros. (BERNUCCI et al., 2008, p. 9).

As camadas que constituem o pavimento, segundo a CNT (2017) possuem as seguintes definições:

- 1.Subleito: é o terreno de fundação em que é apoiado o pavimento. É a camada responsável por absorver definitivamente os esforços verticais causados pelo tráfego e é constituída de material natural consolidado e compactado.
- 2.Reforço do Subleito: é uma camada de espessura transversalmente constante, que, quando se faz necessária, é construída acima do subleito regularizado. Sua espessura longitudinal é variável de acordo com o dimensionamento do pavimento.
- 3.Sub-base: é a camada complementar à base e executada por circunstâncias técnico-econômicas, quando a camada de base exigida for muito espessa;
- 4.Base: é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego. É sobre a base que é construído o revestimento;
- 5.Revestimento: é a camada que recebe diretamente a ação do tráfego. Tem o objetivo de melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e a segurança e deve ter capacidade de resistir aos desgastes, a fim de aumentar a durabilidade do pavimento. Também deve ser, tanto quanto possível, impermeável.

Figura 1- Estrutura de pavimento



Fonte: BERNUCCI et al. (2008, p. 338)

2.2 DEFORMAÇÕES

As estruturas de pavimento são projetadas para resistirem a numerosas solicitações de carga, dentro do período de projeto, sem que ocorram danos estruturais fora do aceitável e previsto. Os principais danos considerados são a deformação permanente e a fadiga. Para se dimensionar adequadamente uma estrutura de pavimento, deve-se conhecer bem as propriedades dos materiais que a compõem, sua resistência à ruptura, permeabilidade e deformabilidade, frente à repetição de carga e ao efeito do clima (BERNUCCI et al., 2008, p. 339).

2.3 PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL ATUALMENTE

Levantamentos recorrentes da Confederação Nacional de Transporte – CNT têm considerado a grande maioria dos pavimentos do Brasil de baixo conforto ao rolamento, incluindo muitos trechos concessionados da malha federal. [...] Observa-se que os bens produzidos no país podem ser mais competitivos na fase de produção, mas perdem competitividade notadamente, no quesito infraestrutura de transportes, devido a uma matriz modal deficiente, onde as estradas (principal meio de escoamento da produção nacional) encontram-se em estado tal que não são capazes de atender as necessidades de transporte de cargas nacionais. Essa realidade nos torna pouco competitivos no mercado exterior e cria uma situação econômica nacional insustentável. (BERNUCCI et al., 2008, p. 20).

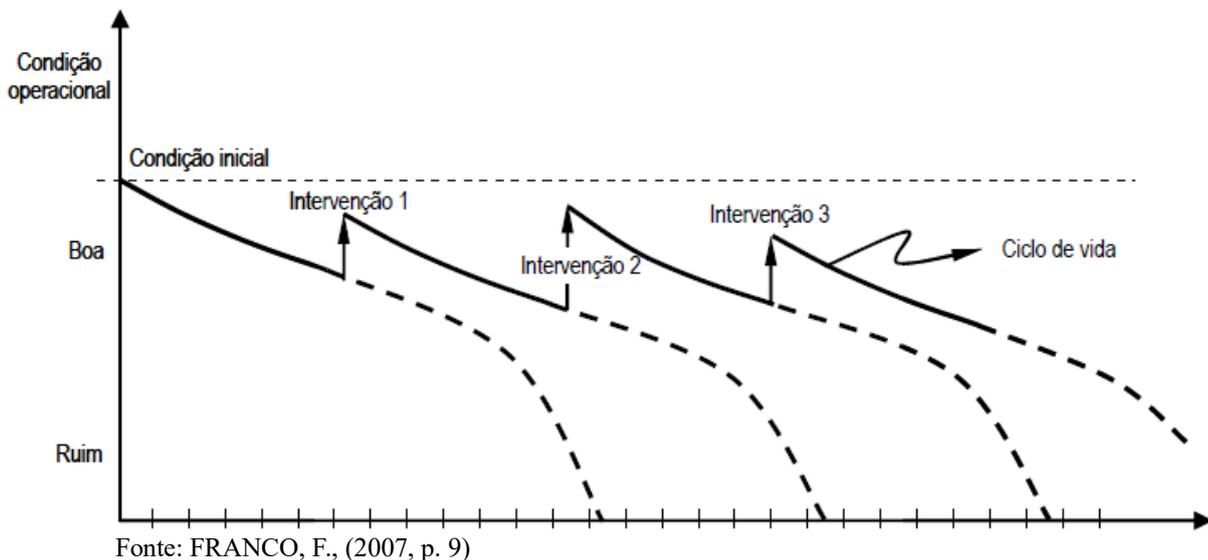
As rodovias englobam 75,9% do escoamento de produção do país (Fundação Dom Cabral, 2017). De modo que a economia nacional pode ser bastante afetada pelo que acontecer nas estradas.

Contudo, o cenário atual dos pavimentos brasileiros apresenta um estado geral de qualidade abaixo de um padrão satisfatório para a demanda nacional. Isso ocorre em decorrência de um emprego de metodologias atrasadas e falta de manutenção.

2.4 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento de estruturas de pavimentos asfálticos é um processo que envolve o conhecimento de variáveis de difícil previsão e modelagem, tais como as características dos materiais de pavimentação, o comportamento deles em relação à aplicação das cargas, o próprio carregamento e o tipo de resposta da estrutura para suportar as cargas sob todas as variações das condições climáticas durante o período de análise. [...] Uma estrutura de pavimento é projetada para que possua uma condição operacional adequada ao longo de um período de projeto determinado. Essa condição operacional vai sendo degradada ao longo do tempo devido aos problemas construtivos, à passagem das cargas e às ações climáticas. Quando o pavimento sofre qualquer intervenção de manutenção, conservação ou reabilitação, a sua condição operacional se mantém satisfatória por mais tempo. (FRANCO, F.,2007, p. 7- 9).

Figura 2-Ciclo de vida de uma estrutura de pavimento



Portanto, o dimensionamento o principal determinante da longevidade da vida útil de uma estrutura de pavimento, assim como a frequência com que intervenções serão necessárias.

“Tal processo irá determinar as camadas que irão compor o pavimento de modo que elas sejam aptas a ‘resistir, transmitir e distribuir as pressões resultantes do tráfego ao subleito, sem que haja deformações, rupturas ou desgastes superficiais consideráveis.”(CNT, 2017, p. 37).

Para tanto, é necessário estimar a espessura e os materiais de cada camada, assim como considerar as condições climáticas e a qualidade do solo.

Como existe uma imensa variedade de ambientes possíveis no mundo, foram e continuam sendo desenvolvidos diversos métodos de dimensionamento para que o pavimento se torne mais adequado para cada região. Apesar dessa diversidade, os métodos podem ser classificados entre empíricos e mecanístico-empírico.

2.4.1 Método Empírico

O método empírico se baseia na análise do acúmulo de experiências que, posteriormente, são correlacionados ao desempenho e qualidade da estrada com os materiais utilizados para sua construção.

Possuem a vantagem de serem facilmente empregados, pois os ensaios de caracterização exigidos são simples e não requerem aparelhagem sofisticada. Entretanto, são bastante limitados pelas condições de contorno (materiais de construção, clima da região, condições de tráfego, etc.) não permitindo uma generalização adequada para outras regiões, novos materiais e diferentes cargas de tráfego. (BEZERRA, R., 2014, p. 36).

2.4.2 Método de Dimensionamento utilizado no Brasil

O Manual de Pavimentação desenvolvido pelo DNER teve a sua primeira edição no ano de 1960. Impulsionado pelo aparecimento de novos materiais, técnicas e equipamentos, uma segunda edição foi lançada em 1996. Atualmente, esse manual encontra-se em sua terceira edição, de 2006, agora sob a coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), do DNIT. Nessa última edição, foram feitos ajustes para a adequação quanto ao chamado padrão DNIT17. De forma geral, observa-se um aprimoramento da forma e apresentação, entretanto ela não apresenta modificações significativas quanto ao seu conteúdo técnico, que continua sendo essencialmente empírico. (CNT, 2017, p. 38).

O método de dimensionamento nacionalmente utilizado foi baseado no trabalho “Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume”, cuja autoria é de Turnbull et al. (1962), do Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos. O trabalho foi trazido e adaptado pelo Eng^o Murillo Lopes, em 1966, que incluiu alguns resultados da pista experimental da AASHO.

Trata-se de uma variante do Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – CBR.

[...] o ensaio de CBR é determinado através da relação entre a pressão necessária para penetrar um pistão cilíndrico padronizado em um corpo de prova de um determinado solo, e a pressão necessária para penetrar o mesmo pistão em uma brita graduada padrão. Ou seja, ao se deparar com um resultado de CBR=10%, entende-se que aquele solo representa 10% da resistência a penetração da brita padronizada.

O ensaio também permite a obtenção de outro parâmetro importante relacionado com a durabilidade, que é o índice de expansibilidade do solo, pois em uma etapa do ensaio, o solo é imerso em água por no mínimo 4 dias, possibilitando a análise da expansão da amostra ensaiada. (DONISETE, I.; 2016).

Quadro 2-Condições e restrições gerais para o dimensionamento do pavimento

Camada	Condições e Restrições
Materiais do subleito	Devem apresentar uma expansão máxima, medida no ensaio CBR, de 2%, e um CBR maior ou igual a 2%.
Materiais para reforço do subleito	Devem apresentar CBR maior que o do subleito e expansão menor ou igual a 1%.
Materiais para sub-base	Devem apresentar CBR maior ou igual a 20%, Índice de Grupo (IG) = 0 e expansão menor ou igual a 1%.
Materiais para base	Devem apresentar CBR maior ou igual a 80% e expansão 0,5%, Limite de Liquidez (LL) menor ou igual a 25% e Índice de Plasticidade (IP) menor ou igual a 6%.

Fonte: Adaptado pelo autor Fujita com base em dados do CNT e DNIT (2020)

Os materiais de base ainda devem ser enquadrados numa das seguintes faixas granulométricas:

Tabela 1-Faixas Granulométricas de Materiais para Base Granular

Peneiras	Porcentagem em peso passando			
	A	B	C	D
2"	100	100	-	-
1"	-	75 – 90	-	-
2/8'	35—65	40—75	50--85	60--100
Nº 4	25—55	30—60	35--65	50--85
Nº 10	15—40	20—45	25--50	40--70
Nº 40	8—20	15—30	15--30	25--45
Nº 200	2—8	5—15	5--15	5--20

Fonte: SOUZA (1981, p. 9)

O tráfego é considerado no dimensionamento do pavimento por meio do número equivalente N, que expressa o volume do tráfego real da rodovia, durante o período de projeto escolhido P, em termos do volume de veículos com eixo-padrão de 8,2 toneladas, ou seja, ele converte o volume total do tráfego, que na prática é composto por veículos diversos, em um volume equivalente de tráfego, como se esse fosse composto unicamente por eixos padrões. (CNT, 2017, p. 38).

O cálculo do número N é feito empregando-se a seguinte equação:

Figura 3- Cálculo de operação do eixo padrão de 8,2 tf;

$$N = 365 \times P \times V_m \times FV \times FR$$

Fonte: NETO, R. S. B., (2004, p. 38)

Onde:

N = Número de operações do eixo padrão de 8,2 tf;

P = Período do projeto em anos;

V_m = Volume médio diário de tráfego durante a vida do projeto;

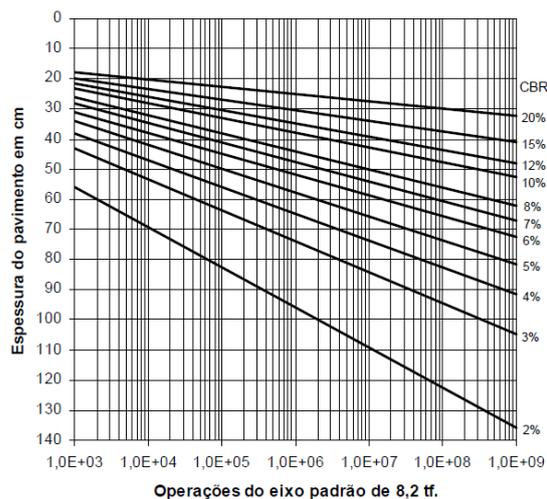
FV = Fator de veículo da frota;

FR = Fator climático regional (adota-se $FR = 1,0$)

“No Brasil, tem-se adotado $FR = 1,0$ para todo o país, valor que foi calculado a partir de pesquisas desenvolvidas pelo IPR/DNER.” (CNT, 2017, p. 42).

Assim que o N e o CBR forem definidos, consulta-se o ábaco do DNER para se encontrar a espessura total (H_m):

Figura 4- Ábaco para dimensionamento das espessuras do pavimento



Fonte: SOUZA, M. L., (1981, p. 18)

Figura 5-Espessuras das camadas do pavimento com base no CBR.



Fonte: CNT, BRASIL, (2017, p. 43)

Para cálculo da espessura das camadas, aplica-se uma hierarquia entre os materiais que irão compô-las. Para isso, adota-se a base granular como material padrão e compara-a com os outros materiais em termos de comportamento estrutural. O Coeficiente de Equivalência Estrutural (K) é um número que relaciona a espessura necessária da camada constituída de material padrão com a espessura equivalente da camada constituída com o material que a irá compor de fato. (CNT, BRASIL, 2017, p. 43).

Quadro 3- Coeficientes de equivalência estrutural para os diferentes materiais do pavimento

Componentes do Pavimento	Coeficiente estrutural (K)
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,4
Camadas granulares	1,2
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias superior a 45 Kg/cm ²	1
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias entre 45 Kg/cm ² e 28 Kg/cm ²	1,7
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias entre 45 Kg/cm ² e 21 Kg/cm ²	1,4
Base de solo-cal	1,2

Fonte: Adaptado de SOUZA, M. L., (1981, p. 15)

A espessura das demais camadas são calculadas pelas seguintes equações:

Figura 6- Equações das camadas do pavimento

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) \geq H_{20}$$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) \geq H_n$$

$$(R \times K_R) + (B \times K_B) + (h_{20} \times K_S) + (h_n \times K_n) \geq H_m$$

Fonte: CNT, BRASIL, (2017, p. 44).

O método estabelece que, mesmo que o CBR da sub-base seja superior a 20, a espessura do pavimento necessário para protegê-la é determinada como se esse valor fosse 20. Por esse motivo, adotam-se as nomenclaturas H20 e h20 para designar as espessuras de pavimento sobre a sub-base e a espessura da sub-base, respectivamente. (CNT, BRASIL, 2017, p. 45).

2.4.3 Método Mecanístico-empírico

Os modelos de previsão de desempenho do tipo mecanístico-empírico consistem, essencialmente da associação de três componentes fundamentais:

1. Um modelo mecânico para o cálculo das respostas da estrutura do pavimento à passagem das cargas do tráfego, respostas estas na forma de tensões, deformações e deflexões em toda estrutura;
2. Uma teoria que associe as respostas calculadas à geração e progressão de defeitos, tais como trincas de fadiga nas camadas asfálticas e cimentadas e deformações plásticas por acúmulo de deformações permanentes em todas as camadas;
3. Uma calibração experimental, para incluir os efeitos de fatores que não puderam ser tratados de forma adequada ou explícita pelo modelo teórico, onde se incluem principalmente as variáveis ambientais (clima, drenagem) e características específicas do tráfego, especialmente aquelas que afetam as solicitações dinâmicas efetivamente aplicadas ao pavimento.

(GONÇALVES, F., 1999, p. 50 – 51).

2.4.4 Método de Dimensionamento utilizado nos EUA

A metodologia empregada nos EUA até o início dos anos 2000 era de caráter empírico e se chamava *Guide for Design of Pavement Structures* – GDPS (Guia para Projeto de Estruturas de Pavimentos, em tradução livre), da AASHTO. Seus procedimentos surgiram com base nas equações empíricas de performance que foram desenvolvidas a partir das experiências executadas na pista experimental da AASHO, na década de 50.

Desse modo, até o início dos anos 2000, a grande maioria das estradas que os norte-americanos possuíam era construída aos moldes do GDPS. Contudo, apesar de atender adequadamente às necessidades do país naquela época, a evolução tecnológica no setor rodoviário foi tornando essa metodologia ultrapassada uma vez que surgiram novos materiais para as camadas do pavimento os quais não estão contemplados no GDPS, além do método não incorporar o carregamento do tráfego atual. Outro ponto a se considerar é que, como os testes foram realizados apenas em uma região específica (pista experimental da AASHO, em Ottawa, Illinois), os cálculos não oferecem previsões coerentes com as variadas condições climáticas e subleitos das diferentes regiões dos EUA. Consequentemente, não há como antecipar defeitos decorrentes de fatores que não são relacionados à espessura dos pavimentos, algo que impossibilita uma previsão detalhada do comportamento do pavimento em todo seu ciclo de vida. Também existe uma “inadequação quanto às formas de manutenção previstas, o que leva geralmente a camadas excessivamente grossas do pavimento.” (CNT, 2017, p. 46).

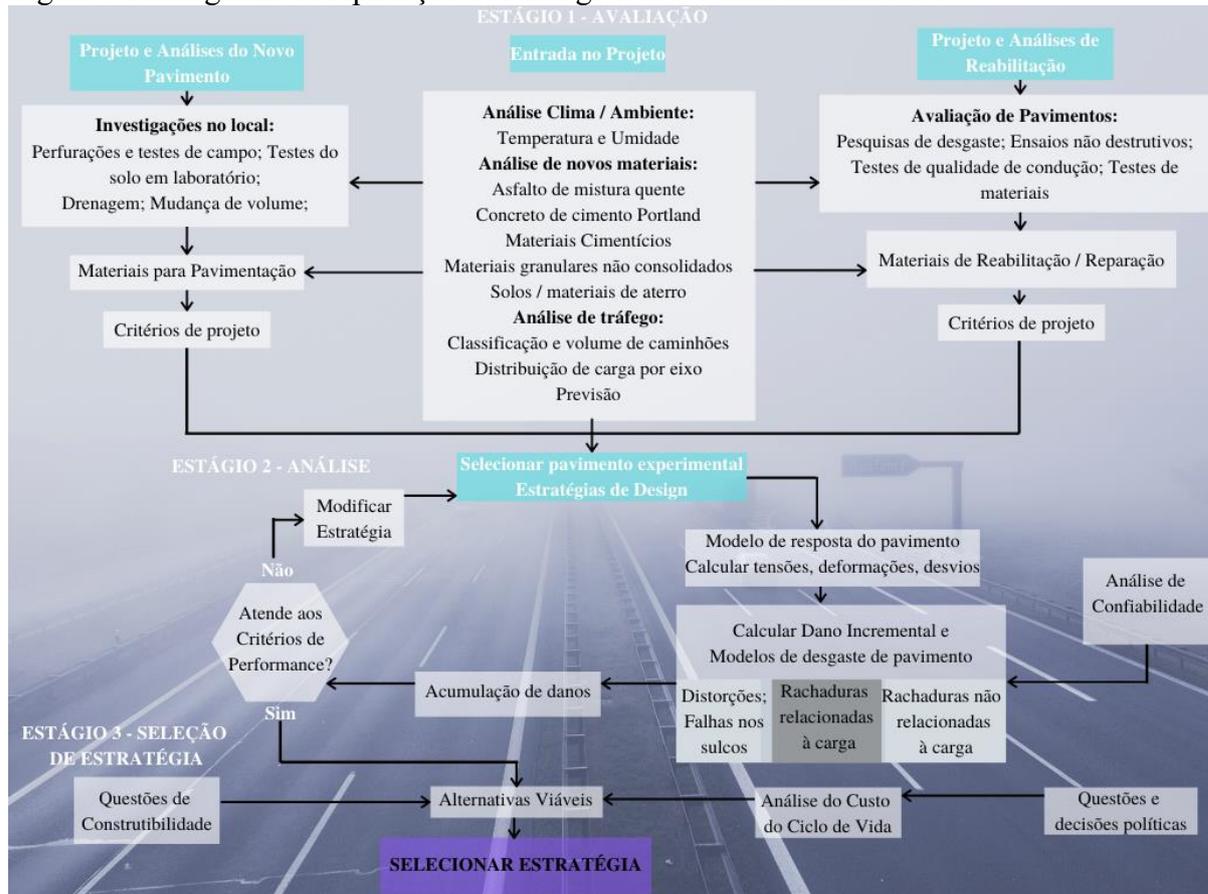
Reconhecendo as limitações da metodologia empírica adotada até então, a Força-Tarefa Conjunta para Pavimentação da AASHTO (Joint Task Force on Pavements – JTFFP), equipe responsável pelo desenvolvimento e pela implementação de novas tecnologias de pavimentação, estabeleceu uma meta para que fosse definida uma nova forma para projeto de pavimentos baseada, o máximo possível, em princípios mecanísticos. Assim, em 2004, a AASHTO JTFFP, em cooperação com a FHWA e o Programa Nacional Cooperativo de Pesquisa de Rodovias (Nation Cooperative Highway Research Program - NCHRP), lançou o *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* – MEPDG (Guia de Dimensionamento Mecanístico-Empírico de Pavimentos, em tradução livre). (CNT, 2017, p. 45).

O método possui três macro estágios: Avaliação, Análise e Seleção Estratégica. A Avaliação ocorre através da realização de um levantamento e identificação de quais valores deverão ser considerados na análise, valendo-se destacar da importância da análise da fundação. Também se deve caracterizar a composição do tráfego e os materiais do asfalto. É importante ressaltar o emprego de um software que possui uma vasta base de dados relacionada às localidades dos EUA. Posteriormente, “ Com o dimensionamento prévio das camadas, é definido o sistema de drenagem e, por fim, feita uma avaliação quanto à efetividade do projeto do ponto de vista da engenharia e dos custos” (CNT, 2017, p. 46).

Em seguida, dá-se início ao segundo estágio, que é a Análise, a qual se realiza uma simulação computadorizada do projeto, onde ocorre a aplicação de todos os dados relativos “ das espessuras das camadas, características geométricas da pista, tráfego projetado, o coeficiente de Poisson, a elasticidade das camadas e a interação entre elas, entre outras especificidades” (CNT, 2017, p. 46). De modo que, por meio da análise das interações entre as camadas, se preveja a aparição dos defeitos no decorrer do tempo. Caso os critérios de performance exigidos não sejam atingidos, uma nova análise é feita, com suas devidas modificações até que se atinja a previsão de um desempenho satisfatório.

O terceiro estágio se chama Seleção Estratégica, que “consiste na avaliação da alternativa estruturalmente viável, identificada no segundo estágio, tanto do ponto de vista da engenharia quanto dos custos do ciclo de vida do projeto” (CNT, 2017, p. 46). Eventualmente são identificadas mais de uma possibilidade estruturalmente acessível, culminando na necessidade de selecionar o projeto mais adequado. A finalidade da Seleção Estratégica é determinar o projeto final do pavimento que será aplicado.

Figura 7-Fluxograma da Aplicação dos Estágios do Método da AASHTO



Fonte: AASHTO (2008, p. 2, tradução nossa)

O desenvolvimento do projeto da estrutura também é mais flexibilizado a partir da hierarquização dos dados necessários na análise, “buscando compatibilizar o nível de esforço e complexidade para levantamento das informações com a relevância do pavimento projetado” (CNT, 2017, p. 47).

Essa hierarquização ocorre por meio da divisão de 3 níveis de análise, sendo cada um específico para uma determinada situação.

As informações em Nível 1 apresentam o maior grau de acurácia 20. São recomendadas para projetos de pavimentos com tráfego pesado ou em que é exigido alto grau de segurança ou, ainda, em que há consequências econômicas em caso de falhas precoces do pavimento. Para levantamento dos dados necessários nesse nível, devem ser realizados testes laboratoriais e de campo, exigindo maiores recursos financeiros e de tempo. (CNT, 2017, p. 47).

Segundo o MEPDG, o nível 2, o valor de entrada é calculado a partir de outros dados ou parâmetros específicos do local que são menos onerosos para a medida. Também podendo representar valores regionais medidos que não são específicos do projeto. “Em Nível 2, as informações fornecem acurácia intermediária e se assemelham aos processos definidos pelas

edições anteriores do Guia da AASHTO. Geralmente, é adotado quando os recursos ou equipamentos para testes em Nível 1 não estão disponíveis” (CNT, 2017, p. 47).

Já o nível 3, conforme o MEPDG, trabalha com valores “melhor estimados” ou dentro de padrões globais ou regionais (valores medianos de grupos de dados com características semelhantes), oferecendo um conhecimento menos aprofundado em relação às informações para o projeto, mas também oferece um custo mais baixo de testes e coleta de dados. Desse modo, “[...] as informações em Nível 3 são as que proporcionam menor grau de acurácia, podendo ser aplicadas nos casos em que uma falha prematura do pavimento causaria um impacto econômico mínimo” (CNT, 2017, p. 47).

Apesar das distinções, os níveis das informações no requeridas podem ser mistos, dependendo diretamente das peculiaridades do projeto. Tais peculiaridades são principalmente influenciadas pelos seguintes fatores: a sensibilidade da performance do pavimento à determinada informação, a criticidade do projeto, a disponibilidade de informação no momento e os recursos e tempo disponíveis ao projetista.

“As principais informações consideradas no dimensionamento do pavimento são: identificação do local e do projeto, parâmetros para análise, tráfego, clima, propriedades de drenagem e superfície e estrutura do pavimento” (CNT, 2017, p. 48).

O MEPDG utiliza o IRI (Índice de Irregularidade Longitudinal) como critério para definir o nível da suavidade do pavimento. O teste do IRI é definido como o índice entre o somatório dos deslocamentos ocorridos na suspensão de um veículo dividido pela distância percorrida pelo veículo durante o teste. “O IRI é previsto empiricamente em função das deformações do pavimento, fatores do local que representam capacidades de encolhimento/ondulação, congelamento da fundação e uma estimativa do IRI no momento da construção (IRI inicial)” (MEPDG, 2008, p. 30). Os dados levantados são empregados para prever rupturas por fadiga ou afundamentos no pavimento.

Uma característica da proposta mecanística-empírica do MEPDG é a necessidade do uso de um software específico para sua aplicação em decorrência da quantidade de cálculos mais complexos do que o método empírico, exigindo uma maior sofisticação tecnológica.

Alguns dos benefícios da adoção dos procedimentos propostos são: redução das falhas precoces por meio da incorporação de propriedades significativas dos materiais do pavimento, tecnologia que considera o envelhecimento dos materiais, mês a mês, permitindo uma maior acurácia quanto ao tempo de vida do pavimento, o que era inviável anteriormente pelo fato de os dados serem baseados em apenas dois anos de performance (pista experimental AASHTO), redução do custo do ciclo de vida do pavimento devido à melhor previsão do envelhecimento e do ciclo de vida dos pavimentos, aumento da longevidade do pavimento devido à melhoria da tecnologia

para o projeto de pavimento e incorporação do método para sua reabilitação no próprio guia e possibilidade de prever o impacto de novas condições de tráfego. (CNT, 2017, p. 48).

Vale ressaltar que os Estados dos EUA possuem a opção de adotar ou não o modelo proposto pelo MEPDG, como também têm liberdade de optar pela elaboração de seus próprios métodos, bem como combiná-los. Essa flexibilidade é plenamente condizente com os procedimentos do MEPDG, uma vez que o próprio guia enfatiza bastante a importância de avaliar as peculiaridades de cada área onde se irá executar um projeto de pavimentação, de maneira a se desenvolver as melhores adaptações para o plano em relação ao local, com a finalidade de se obter o máximo de eficiência possível. Destaca-se que é importante que seja definido claramente a base de dados a ser utilizada, bem como a forma como eles serão coletados, os “[...] critérios de performance e confiabilidade do projeto a serem adotados, a calibração e validação dos modelos de desgaste e, ainda, a preparação de treinamentos de pessoal necessários para realizar o projeto de pavimento naquele Estado” (CNT, 2017, p. 49)

2.5 REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

2.5.1 Concreto Asfáltico Denso

Tanto no Brasil como nos EUA, a mistura mais predominantemente empregada é a de Concreto Asfáltico Denso (CA), que, segundo Bernucci (2008), se destaca por sua resistência, desde que os materiais sejam dosados e selecionados convenientemente.

Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garante ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local. (BERNUCCI et al., 2008, p. 157).

De mesmo modo, o método do MEPDG também prevê uma seleção de materiais baseada nas condições do local:

O Nível 1 de entrada envolve testes laboratoriais abrangentes. Por outro lado, o Nível 3 exige que o projetista calcule o valor de entrada de projeto mais apropriada da propriedade do material com base na experiência com pouco ou nenhum teste [...]. As entradas do nível 2 são estimadas através de correlações com outros materiais propriedades que são comumente medidas no laboratório ou no campo. Independentemente do nível de entrada selecionado, o programa executa a mesma análise. (AASHTO, 2008, p. 109, tradução nossa).

O CA caracteriza-se por não utilizar uma quantidade elevada de ligante asfáltico em decorrência da necessidade da presença de um determinado valor de espaços vazios em sua estrutura após a compactação.

Graças ao arranjo de partículas com graduação bem-graduada, a quantidade de ligante asfáltico requerida para cobrir as partículas e ajudar a preencher os vazios não pode ser muito elevada, pois a mistura necessita contar ainda com vazios com ar após a compactação em torno de 3 a 5%, no caso de camada de rolamento (camada em contato direto com os pneus dos veículos) e de 4 a 6% para camadas intermediárias ou de ligação (camada subjacente à de rolamento). Caso não seja deixado certo volume de vazios com ar, as misturas asfálticas deixam de ser estáveis ao tráfego e, por fluência, deformam-se significativamente. A faixa de teor de asfalto em peso está normalmente entre 4,5 a 6,0%, dependendo da forma dos agregados, massa específica dos mesmos, da viscosidade e do tipo do ligante, podendo sofrer variações em torno desses valores. Para o teor de projeto, a relação betume-vazios está na faixa de 75 a 82% para camada de rolamento e 65 a 72% para camada de ligação. (BERNUCCI et al., 2008, p. 162).

Também é de grande importância que, durante a confecção do CA, haja um controle rigoroso da quantidade de ligante aplicado em sua composição tendo em vista às alterações que a menor variação de quantidade pode causar.

Uma variação positiva, às vezes dentro do admissível em usinas, pode gerar problemas de deformação permanente por fluência e/ou exsudação, com fechamento da macrotextura superficial. De outro lado, a falta de ligante gera um enfraquecimento da mistura e de sua resistência à formação de trincas, uma vez que a resistência à tração é bastante afetada e sua vida de fadiga fica muito reduzida. (BERNUCCI et al., 2008, p. 164 -165).

Contudo, apesar da resistência, esse tipo de pavimento apresenta uma superfície lisa, não oferecendo uma boa aderência ao pneu, algo que deve ser considerado no planejamento de um projeto.

O uso de asfaltos duros em concretos asfálticos é muito difundido na França e, atualmente, também nos Estados Unidos. Esses concretos asfálticos recebem o nome de misturas de módulo elevado (EME) por apresentarem módulo de resiliência elevado e também elevada resistência à deformação permanente [...]. Possuem curvas granulométricas próximas à de máxima densidade, maximizando a resistência ao cisalhamento e minimizando os vazios. Não são empregadas como camada de rolamento devido à textura superficial muito lisa resultante, dificultando a aderência pneu-pavimento em dias de chuva. Sobre essas camadas de EME, como camada de rolamento são empregados em geral revestimentos delgados com a finalidade exclusivamente funcional. (BERNUCCI et al., 2008, p. 165).

2.5.1 Camada Porosa de Atrito

Segundo Oliveira (2016), a CPA (Camada Porosa de Atrito) é uma mistura de graduação aberta que tem sido amplamente utilizada no Brasil como superfície de rolamento quando se busca aumentar a aderência pneu-pavimento sob a chuva.

A CPA é empregada como camada de rolamento com a finalidade funcional de aumento de aderência pneu-pavimento em dias de chuva. Esse revestimento é responsável pela coleta da água de chuva para o seu interior e é capaz de promover uma rápida percolação da mesma devido à sua elevada permeabilidade, até a água alcançar as sarjetas. A característica importante dessa mistura asfáltica é que ela causa: redução da espessura da lâmina d'água na superfície de rolamento e consequentemente das distâncias de frenagem; redução do spray proveniente do borrião de água pelos pneus dos veículos, aumentando assim a distância de visibilidade; e redução da reflexão da luz dos faróis noturnos. Todos esses aspectos conjuntos são responsáveis pela redução do número de acidentes em dias de chuva. Outro fator importante é a redução de ruído ao rolamento, amenizando esse desconforto ambiental em áreas nas proximidades de vias com revestimentos drenantes. Esta camada drenante é executada sobre uma camada de mistura densa e estrutural. (BERNUCCI et al., 2008, p. 165).

Também segundo Bernucci (2008), A especificação brasileira do DNER-ES 386/99 recomenda para CPA cinco faixas granulométricas e teor de ligante asfáltico entre 4,0 e 6,0%. Porém, devido à particularidade granulométrica, a quantidade de ligante é geralmente reduzida, ficando em média em torno de 3,5 a 4,5%, dependendo do tipo de agregado, forma, natureza, viscosidade e tipo de ligante. O ligante utilizado deverá ter baixa suscetibilidade térmica e alta resistência ao envelhecimento. Vale ressaltar que a camada inferior à CPA deve ser necessariamente impermeável para evitar a entrada de água no interior da estrutura do pavimento.

Tabela 2-Faixas granulométricas e requisitos de dosagem da camada porosa de atrito

Peneira de malha quadrada		Faixas					Tolerância
		Porcentagem em massa, passando					
ABNT	Abertura mm	I	II	III	IV	V	
3/4"	19	-	-	-	-	100	-
1/2"	12,5	100	100	100	100	70 a 100	+ - 7
3/8"	9,5	80-100	70-100	80-90	70-90	50-80	+ - 7
Nº 4	4,8	20-40	20-40	40-50	15-30	18-30	+ - 5
Nº 10	2	12-20	5-20	10-18	10-22	10-22	+ - 5
Nº 40	0,42	8-14	-	6 -12	6-13	6-13	+ - 5
Nº 80	0,18	-	2-8	-	-	-	+ - 3
Nº 200	0,075	3 a 5	0-4	3-6	3-6	3-6	+ - 2

Tabela 2-Faixas granulométricas e requisitos de dosagem da camada

Ligante modificado por Polímero, %		0,4-6	+ - 0,3
Espessura da camada acabada, cm	3	Menor ou igual a 4	
Volume de vazios, %		18-25	
Ensaio Cântabro, % máx.		25	
Resistência à tração por compressão diametral, a 25°, Mpa, mín		0,55	

Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 167)

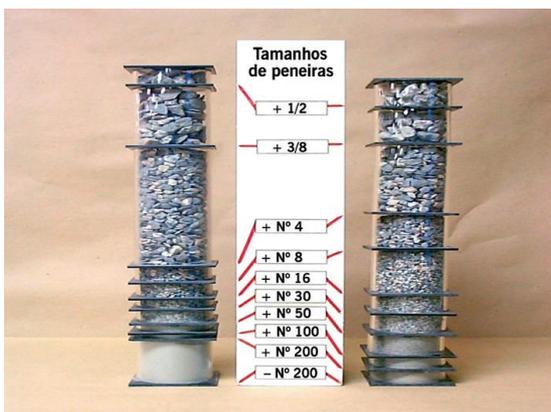
2.5.2 SMA

O significado original da sigla SMA era *Splitmastixasphalt*, palavra oriunda do idioma alemão. Contudo, foi posteriormente traduzido para o inglês *Stone Matrix Asphalt*, sendo essa terminologia adotada tanto nos EUA, como também no Brasil. Sua tradução significa “matriz pétreo asfáltica”. Seu emprego foi adotado em 1991 nos EUA e atualmente tem ganhado aplicação na Ásia e América Latina.

Bernucci (2008) diz que as misturas asfálticas densas convencionais em geral resistem pouco à reflexão de trincas e à deformação permanente, o que é retardado na solução de SMA

Os revestimentos desse tipo têm maior quantidade de grãos de grandes dimensões em relação aos grãos de dimensões intermediárias, completados por certa quantidade de finos. O resultado é um material mais resistente à deformação permanente com o maior número de contatos entre os agregados graúdos. Enquadra-se nessa categoria o Stone Matrix Asphalt (SMA), geralmente aplicado em espessuras variando entre 1 cm, 5 cm e 7 cm e caracterizado pela macrotextura superficialmente rugosa e pela eficiente drenagem superfície. (OLIVEIRA, C., 2016).

Figura 8-Composições granulométricas comparativas entre um SMA e um CA



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 169)

Devido à graduação e alta concentração de agregados graúdos, tem-se macrotextura superficialmente rugosa, formando pequenos “canais” entre os agregados graúdos, responsáveis por uma eficiente drenabilidade superficial e aumento de aderência pneu-pavimento em dias de chuva. (BERNUCCI et al., 2008, p. 169 -170).

Tabela 3- Faixas granulométricas norte-americanas segundo AASHTO MP 8-02

Abertura (mm)	Faixas					
	Porcentagem em massa, passando					
	19,0 mm		12,5 mm		9,5 mm	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
25	-	100	-	-	-	-
19	90	100	-	100	-	-
12,5	50	88	90	99	-	-
9,5	25	60	50	85	100	100
4,75	20	28	20	40	70	95
2,36	16	24	16	28	30	50
1,18	-	-	-	-	20	30
0,6	-	-	-	-	-	21
0,3	-	-	-	-	-	18
0,075	8	11	8	11	12	15

Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 171)

Segundo Bernucci (2008), as faixas com diâmetro nominal máximo de 19mm e 12,5mm são até o momento as mais empregadas nos Estados Unidos. Não há consenso na especificação dos ligantes asfálticos. As especificações são em geral não-restritivas, empregando tanto os asfaltos modificados por polímeros como asfaltos convencionais.

No Brasil não existe uma padronização específica sobre a aplicação da SMA, de modo que alguns trechos que executam o ela emprega a graduação norte americana e outros usam a alemã.

Quadro 4- Faixas granulométricas e requisitos de SMA pela especificação alemã (ZTV Asphalt – StB 94, 2001)

Peneira	Faixas			
	Porcentagem em massa			
	SMA 0/11S	SMA 0/8S	SMA 0/8	SMA 0/5
< 0,09mm	9–13	10–13	8–13	8–13
> 2mm	73–80	73–80	70–80	60–70
> 5mm	60–70	55–70	45–70	< 10
> 8mm	> 40	< 10	< 10	-
> 11,2mm	< 10	-	-	-

Quadro 4- Faixas granulométricas e requisitos de SMA pela especificação alemã (ZTV Asphalt – StB 94, 2001)

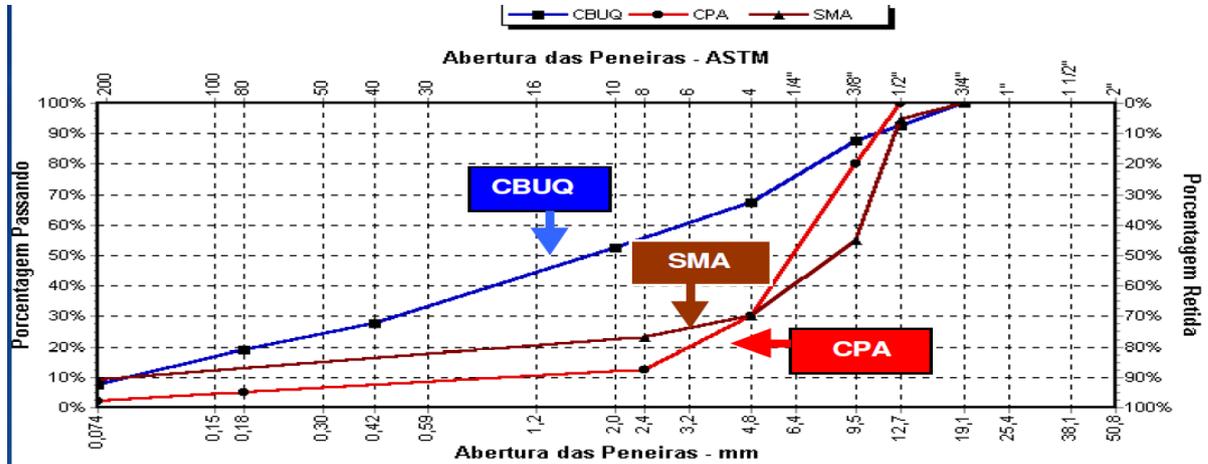
Características e requisitos				
Tipo de asfalto Teor de asfalto na mistura, % em peso	B65 ou PmB45 > 6,5	B65 ou PmB45 > 7,0	B 80 > 7,0	B80 ou B200 > 7,2
Fibras na mistura, % em peso	0,3 a 1,5			
Dosagem	Marshall (50 golpes por face)			
Temperatura de compactação, °C	135oC ± 5oC (para PmB deve ser 145oC ± 5oC)			
Volume de vazios, %	3,0–4,0	3,0–4,0	2,0–4,0	2,0–4,0
Camada de rolamento Espessura, mm Ou consumo, kg/m ²	35–40 85–100	30–40 70–100	20–40 45–100	15–30 35–75
Camada de nivelamento Espessura, mm Ou consumo, kg/m ²	25–50 60–125	20–40 45–100	-	
Grau de compactação	> 97%			
Volume de vazios da camada compactada	< 6%			

Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 170)

A especificação alemã foi a primeira a ser publicada como norma, em 1984, e engloba quatro tipos de SMA, denominados de 0/11S; 0/8S; 0/8 e 0/5, sendo o último algarismo referente ao diâmetro nominal máximo do agregado (onde até 10% no máximo ficam retidos em peneira desse tamanho) – Tabela 4.5 (ZTV Asphalt – StB, 2001). Para tráfego pesado ou solicitações especiais, as especificações restringem-se às faixas 0/11S e 0/8S. (BERNUCCI et al., 2008, p. 170).

De acordo com Bernucci (2008), o SMA pode ser aplicado em vias com alta frequência de caminhões, interseções, áreas de carregamento e descarregamento de cargas, rampas, pontes, paradas de ônibus, faixa de ônibus, pistas de aeroporto, estacionamentos, portos. Suas principais características são: boa estabilidade a elevadas temperaturas, boa flexibilidade a baixas temperaturas, elevada resistência ao desgaste, boa resistência à derrapagem devido à macrotextura da superfície de rolamento, redução do spray ou cortina de água durante a chuva, redução do nível de ruído ao rolamento.

Figura 9- Comparativo de curvas granulométricas



Fonte: BETUNEL (2008)

Tabela 4- Características das misturas

Tipos de Misturas	CBUQ	CPA	SMA
Agregado Graúdo %	40-60	70-80	75-80
Agregado Miúdo %	40-60	20-30	20-25
Filler %	5-10	3-5	9-13
Ligante %	5-6	4-5	6-7
Fibras %	-	-	0,3-0,5
Tipos de Ligantes	CAP	AMP	AMP
Vazios %	3-5	18-25	3-5
Macrotextura Hs	0,3-0,5	> 1	0,8-1,5

Fonte: BETUNEL (2008)

2.6 COMPARAÇÃO

A primeira diferença a ser percebida é os tipos de métodos que cada país emprega: a proposta do DNER é empírica ao passo que o MEPDG possui uma abordagem mecanística-empírica. Também se destaca a diferença de épocas em que cada método foi desenvolvido, uma vez que os pavimentos brasileiros são orientados por um guia de 1960, enquanto que o MEPDG teve sua última atualização em 2015.

Outro fator que estabelece um grande contraste entra o Brasil e os EUA é seu nível de sofisticação técnica e tecnológica. Essa disparidade ocorre porque no Brasil, além de usar um método ultrapassado, existe uma priorização por meios que ofereçam um custo de produção mais econômico, de modo a optarem por técnicas mais simples de construção. Nos EUA, por

outro lado, destaca-se um emprego de softwares no planejamento das estradas, possibilitando a realização de cálculos mais complexos, proporcionando dados mais detalhados, possibilitando que os engenheiros americanos obtenham dados não somente sobre o tráfego, como também sobre o clima, capacidade de suporte da fundação e propriedades mecânicas dos materiais.

Verifica-se então, que no método do DNIT o fator de maior relevância no dimensionamento é o CBR do subleito e, que os demais fatores têm atuações coadjuvantes, porque se acredita que as estruturas obtiveram resultados parecidos pelo fato de serem todas dimensionadas com CBR do subleito igual a 5%, podendo ser alterado, já que os valores dos CBR's da sub-base e base são fixados por normas para todos os dimensionamentos.
(MORAIS, V., 2014, p. 88).

Quadro 5-Resumo das características dos métodos e dimensionamento apresentados

País	Brasil	EUA
Método	Método DNER	MEPDG
Ano da última revisão da técnica	1960	2015
Tipo de Método	Empírico	Mecanístico-Empírico
Fatores Considerados	<ul style="list-style-type: none"> · Tráfego · Clima (é considerado um fator único para o país inteiro, que tem características climáticas diferentes) · Capacidade de suporte CBR 	<ul style="list-style-type: none"> · Tráfego · Clima · Capacidade de suporte da fundação · Propriedades mecânicas dos materiais · Nível de confiabilidade do projeto
Permite adaptação para o clima específico de cada localidade?	Não (FR=1 para todo o país)	Sim
Utiliza apoio de software?	Não	Sim
Período de Dimensionamento	10 anos	25 anos
Eixo Padrão Considerado	8,2 t (aproximadamente 80,4 kN)	Não trabalha com eixo padrão, mas adota um espectro de carregamento por eixo para diferentes tipos de veículos

Fonte: Elaborado pelo autor Fujita com base em dados do CNT (2020)

Em relação ao revestimento asfáltico utilizado, em ambos países o mais popular é o Concreto Asfáltico Denso. Porém, nos EUA existe uma integração maior do SMA em suas estradas enquanto que no Brasil o CPA é empregado para aumentar a aderência nos casos de chuva.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar os dados levantados, é possível identificar uma série de deficiências no Brasil, as quais ficam mais definidas quando são comparadas com um modelo estrangeiro reconhecido por sua eficiência.

O método de dimensionamento empregado nacionalmente, é antigo e precisa de uma atualização que seja condizente com os padrões de tráfego atual, incorporando princípios mecânicos, os quais contemplam as teorias sobre o comportamento elástico das camadas, que tornam possível a previsão de rupturas por fadiga no pavimento. Também é de grande importância que os efeitos das variadas condições climáticas do Brasil no comportamento dos materiais do pavimento sejam melhor consideradas.

Além dos fatores técnicos, há nas estradas brasileiras uma priorização dos custos de produção em relação às técnicas empregadas, restringindo a execução ideal do pavimento e tornando sua manutenção mais complicada. Para tanto, é interessante que nos próximos planejamentos seja a ``Realização da análise do custo do ciclo de vida do pavimento para a seleção da melhor alternativa tecnológica para se empregar na obra`` (CNT, 2017, p. 132).

Confirmam-se, assim, as evidências de estudos anteriores, inclusive os que levaram à adoção, por parte da AASHTO (1986), de espessura mínima de 12,5 cm para o revestimento asfáltico de rodovias com tráfego médio, correspondente a um número de aplicações do eixo-padrão relativamente baixo (maior que 5 x 10⁶). No Brasil, todas as evidências relacionadas à importância da espessura da camada de revestimento asfáltico têm sido ignoradas, com adoção de valores que, se representam alguma economia no custo de construção, resultam em custos altíssimos de manutenção e reabilitação e, mais ainda, de operação de veículos ao longo da vida em serviço. (PELISSON et al., 2015, p. 24).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO, **Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide - A Manual of Practice**, 2008. Disponível em: <https://tecnico.ulisboa.pt/pt/?s=Mechanistic-Empirical+Pavement+Design+Guide&t=q>. Acesso em: 28 jan. 2020.

ANDRADE, C. (dir.). **Pesquisa CNT de rodovias**. 2018. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 16 set. 2019.

BASTOS, J. B.; HOLANDA, A. S.; BARROSO, S. H. **Influência da variação da umidade de compactação no dimensionamento de pavimentos asfálticos**. [200-?]. Dissertação (Pós graduação em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará. Disponível em: https://www.academia.edu/4480237/INFLUENCIA_DA_VARIACAO_DA_UMIDADE_DE_COMPACTACAO_NO_DIMENSIONAMENTO_DE_PAVIMENTOS_ASFALTICOS. Acesso em: 17 set. 2019.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

BETUNEL, **Revestimentos Asfálticos SMA**, 2008. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/EncontrosTecnicos/6encontroTecnico/SMADERPR.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2020.

CNT, **Transporte rodoviário: impactos da qualidade do asfalto sobre o transporte rodoviário**. 2019. Disponível em: <https://cnt.org.br/impactos-qualidade-asfalto-transporte-rodoviario>. Acesso em: 16 set. 2019.

CNT, **Transporte rodoviário: por que os pavimentos do Brasil não duram?**, 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/por-que-pavimentos-rodovias-nao-duram>. Acesso em: 20 jul. 2019.

CORREIA, O. **Aplicação CBUQ**. 2016. Disponível em: http://www.oliveiracorrea.com.br/site/servicos/aplicacao_cbuq/. Acesso em: 07 abr. 2020.

DONISETE, I. **Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – CBR**, 2016. Disponível em: <http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/ensaio-de-indice-de-suporte-california-cbr/>. Acesso em: 02 out. 2019.

FRANCO, F. A. C. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV**. 2007. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=82285. Acesso em: 17 set. 2019.

FUNDAÇÃO DOM CABRAL, **Custos logísticos no Brasil**. 2017. Disponível em: <https://www.fdc.org.br/conhecimento/publicacoes/relatorio-de-pesquisa-33324>. Acesso em: 16 set. 2019.

MORAIS, V. **Análise comparativa dos métodos de dimensionamento empírico e empírico-mecânico de pavimentos flexíveis**. 2014. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

NETO, R. S. B. **Análise comparativa de pavimentos dimensionadas através dos métodos empíricos do DNER e mecânico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Universidade de São Paulo. Disponível em:
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-03052004-153504/pt-br.php>. Acesso em: 16 set. 2019.

PELISSON, N. D. et al. **Avaliação de desempenho pelo MEPDG: o efeito da variação de espessuras de pavimentos flexíveis**. 2015. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-10312015000100020. Acesso em: 22 mar. 2020.

SOUZA, M. L. **Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis**, 1981. Disponível em:
<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/publicacoes>. Acesso em: 02 out 2019.