

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE DOSAGEM DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

LUÍS FELIPE BOTELHO DA SILVA¹, LUIZ SOARES CORREIA², PAULO ALVES DE AGUIAR SOUSA³.

¹Graduando em Engenharia Civil, UNIP, Asa Sul - DF, luis.felipe.botelho.silva@gmail.com;

²MSc, em Engenharia Eletrônica, Prof. UNIP–Universidade Paulista, Asa Sul - DF, luiz.correia@docente.unip.br;

³Graduando em Engenharia Civil, UNIP, Asa Sul - DF, pauloeng1510@gmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Este trabalho objetivou-se na análise dos métodos de dosagem de pavimentação asfáltica diversos, dando enfoque em parâmetros como condições de ensaios de energia de compactação, temperatura a qual o pavimento estará sujeito, tipo de mistura e a combinação do método de dosagem com a estrutura que será aplicado, observando o comportamento do pavimento trabalhando à flexão ou apenas compressão, além de identificar possíveis correlações entre os métodos, no processo de alcance do teor de projeto de ligante asfáltico. O ponto focal é voltado para à detalhar os parâmetros dos métodos de dosagem e verificar possíveis combinações e padronizações da determinação do teor de projeto, visto que alguns métodos não possuem esta padronização.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto asfáltico, teor de projeto, ligante asfáltico, CBUQ.

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN ASPHALT PAVEMENT DOSAGE METHODS

ABSTRACT: This work aimed to analyze the different asphalt pavement dosing methods, focusing on parameters such as compaction energy test conditions, temperature to which the pavement will be subjected, type of mixture and the combination of the dosing method with the structure. which will be applied, observing the behavior of the pavement working in flexion or just compression, in addition to identifying possible correlations between the methods, in the process of reaching the design content of asphalt binder. The focal point is aimed at detailing the parameters of the dosage methods and verifying possible combinations and standardizations for determining the design content, since some methods do not have this standardization.

KEYWORDS: Asphalt concrete, design content, asphalt binder, CBUQ.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o método de dosagem de pavimentação asfáltica mais utilizado mundialmente foi desenvolvido durante a segunda guerra mundial, em meados de 1940, por Bruce Marshall, no qual possui o objetivo de encontrar um teor de projeto, dito como “ótimo” de ligante asfáltico. Inicialmente voltado para dimensionamento de pavimentos em aeroportos, com o objetivo de se obter um equilíbrio ideal de agregado e ligante asfáltico que fosse capaz de resistir ao esforço resultante do impacto das rodas das aeronaves. Levado para a pavimentação rodoviária, começou a se observar deformidades permanentes prematuras em rodovias de tráfego pesado, motivada pelo excesso de ligante que a dosagem Marshall apontava como sendo o teor de projeto ideal. Outro fator apontado em estudos de 1980 foi que a energia de compactação indicada no método produzia corpos de prova com massas específicas não condizentes com o pavimento em campo.

Evidencia-se o estudo de dosagem de ligantes asfálticos baseando-se na análise de que 99% da malha rodoviária é composta de pavimento flexível (CNT, 2016), e que o período em que esse pavimento começa a apresentar patologias é precoce, cerca de 7 meses após a entrega do projeto. O

Brasil possui a quarta maior malha rodoviária do mundo, e essa desempenhando o importante papel de ser o principal meio utilizado no transporte de pessoas e mercadorias.

É notado um período de defasagem de pelo menos 40 anos do método mais empregado, em vista disso, a importância da análise de diversos métodos de dosagem desenvolvidos com o avanço de estudos e pesquisas presentes se faz necessária. O presente trabalho abordará os vários métodos de dosagem, dando enfoque aos parâmetros utilizados por eles, assim como suas características, procedimentos laboratoriais e resultados apresentados, checando a possibilidade de combinação entre métodos diversos, objetivando maior desempenhos do pavimento.

MATERIAL E MÉTODOS

As análises necessárias para verificar se existe possibilidade de combinação entre os métodos foram feitas em consulta aos procedimentos recomendados por eles.

Foram analisados os métodos de dosagem de pavimentos Marshall, Superpave, método Frances do LCPC e métodos Ramcodes, todos com o objetivo de elaborar um teor de projeto de pavimentos que reflete, ainda em laboratório, a solicitação quando empregado em campo.

A metodologia Marshall, é a mais popular e que utiliza ensaios de caráter empírico. É um método que utiliza corpos de prova cilíndricos e compactação com soquete Proctor de aproximadamente 4,54 kg que cai livremente de uma altura de 457,2 mm seguido da aplicação de 5000 libras de carga estática com a finalidade de nivelar o corpo de prova.

Deve ser respeitado certos limites como vazios de ar (VA), volume de vazios no agregado mineral (VAM) e em alguns casos o volume de vazios preenchido com ligante (VFA), e algumas agências também definem limites quanto a fluência e estabilidade. As análises dos corpos de provas produzidos neste tipo de dosagem são feitas baseada na relação do volume de vazios e densidade, atrelados também a testes de estabilidade, em alguns casos.

Fixando sua distribuição granulométrica, método varia sua porcentagem de betume (entre 3% a 7% em relação a massa dos agregados). Além disso o método consiste na aferição de algumas propriedades de corpos moldados em laboratório ou em campo, conforme citado acima. O limite de tamanho dos agregados está na faixa de 25,4 mm. Os agregados e o asfalto são aquecidos a temperatura de 175° e posteriormente, com o auxílio de um misturador mecânico, são misturados. No Brasil é o único método normalizado pelo DNIT, ao qual cita as faixas granulométricas de tolerância conforme quadro abaixo:

Quadro 1 – Quadro de tolerância de granulometria

Peneira malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
1/2"	12,7	-	-	80 – 100	± 7%
3/8"	9,5	35 – 65	45 – 80	70 – 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 – 50	28 – 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 – 40	20 – 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 – 30	10 – 32	8 – 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 – 20	8 – 20	4 – 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2 (+) (%)		4,0 - 7,0 Camada De ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

Fonte: DNIT (2006)

A metodologia Superpave utiliza como fator preponderante o tamanho dos corpos de prova moldados. O mesmo cita como sendo de 150mm, porém, o compactador giratório Superpave comporta moldes de 100mm.

Todo o processo de combinação entre os componentes, conforme padrão do método, é feito pelo Compactador Giratório Superpave. Um equipamento compacto e de fácil manuseio no qual segue uma boa padronização das etapas na busca do teor de projeto. Necessita de calibrações periódicas a fim de manter a amostra gerada dentro das regularidades exigidas.

No Superpave-SHRP, são delimitados níveis de projeto nos quais são dependentes da dimensão que a rodovia possui, assim como o volume de tráfego recebido pela mesma, conforme tabela 3 abaixo.

Tabela 1 - Hierarquia do método

Nível	1	2	3
Critério	Volumétrico	Volumétrico e ensaios de desempenha a uma temperatura	Volumétrico e ensaios de desempenha a três temperaturas.
N (AASHTO)	$<10^6$	$10^6 \text{ a } 10^7$	$\geq 10^7$

Fonte: BERNUCCI, MOTTA, CERATTI e SOARES (p. 221)

Inicialmente, o procedimento do método se baseia na adoção de 3 granulometrias dos agregados disponíveis. São especificados 2 corpos de prova por mistura, nos quais são definidos teores de teste baseados na massa específica dos agregados. Dessas misturas é retirado os parâmetros Vv, VAM e RBV. Após este procedimento a mistura é colocada no CGS, no qual a energia de compactação é atrelada a função do tráfego. O teor de ligante inicial é voltado no ponto em que os vazios dos agregados não absorvem mais ligante.

O método francês de definição de misturas asfálticas, determinado pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), possui uma abordagem que se baseia no desempenho das misturas. Mais voltada para obtenção de desempenhos estrutural, no qual uma análise ainda mais apurada é recomendada pelo método. Além da análise de desempenho, o método de formulação francês analisa volumetricamente os ensaios que utilizam a prensa giratória de cisalhamento (PCG), como instrumentação, o mesmo vale para as diversas misturas asfálticas a quente.

O teor de ligante apresentado pelo método é separado em dois tipos, o interno e o externo. O externo é o mais utilizado em procedimentos no país de origem, França, enquanto no Brasil o mais utilizado é o interno. A principal diferença entre os dois tipos de teor de ligante está na composição junto aos demais componentes, os agregados secos. Enquanto o externo considera uma quantidade a ser incorporada além dos 100% da composição da mistura, o interno já compõe uma parte a se integrar para gerar os 100%. Abaixo segue as formulações para a obtenção dos teores de ligante internos e externos.

Segundo o LCPC (2007), a evolução da compactação durante o ensaio na PCG, ou seja, a redução do volume de vazios em função do número de giros, foi estudada em paralelo com a compactação em escala reduzida. O equipamento em escala reduzida era composto por um eixo carregado com até 50 kN e um pneumático com pressão variando entre 0,3 e 0,9 Mpa.

Os resultados mostraram que as curvas de porcentagem de vazios em função do número de giros e aquelas baseadas no número de passagens do pneumático eram semelhantes, ou seja, seria uma melhor visão do que seria reproduzido em campo (LCPC, 2007).

A metodologia Rational Methodology for Compacted (RAMCODES) começou a ser adiantada por volta de 1998 por F.J. Sánchez-Leal e se baseia em uma metodologia racional baseada em experimentos fatoriais desenvolvida em sete partes. Trata-se de uma metodologia para a análise de densificação e resistência de geomateriais compactados.

Desde o investimento financeiro que deu origem ao desenvolvimento do método Superpave, a atenção das agências rodoviárias e dos pesquisadores do mundo inteiro se voltaram para os

pavimentos flexíveis, assim como o tipo de ligante, os agregados e a mistura de ambos. Porém, apesar dos avanços citados, o controle e o tipo de execução são os mesmos, sem mudanças, no qual o processo de adoção de uma dosagem mínima em campo, visando uma previamente desenvolvida em laboratório, dentro dos parâmetros do método de dosagem escolhido.

Dentre os critérios de qualidade de controle de compactação, dois podem ser citados de maneira mais explícita, o nível de densidade mínimo permitido, o qual gira em torno de 97%, e o nível máximo de densidade máxima teórica, girando em torno de 92%. São organizados de tal forma que se garanta um volume de vazios de 8% na mistura asfáltica.

Sánchez-Leal (2002), afirmava veementemente, que os processos de dimensionamento e controle de campo não estavam em uma sintonia no que visa a melhor reprodução entre ambos, e que essa incoerência poderia diminuir a vida do pavimento, e além disso, acarretar em sua falha, uma vez que o dimensionamento não cumpriria os requisitos mínimos de durabilidade.

Conforme citado nas etapas dos procedimentos acima, a avaliação de desempenhos das misturas asfáltica nas propriedades mecânicas dos componentes presentes na mistura, além de que, em alguns métodos, são utilizadas uma única temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimentos laboratoriais já realizados e consultados na literatura para análise e elaboração deste artigo citam que para um mesmo tipo de ligante, os métodos Marshall e Superpave apresentaram os mesmos teores de projeto para um molde de 100mm, porém foi observado que em moldes de 150mm levou a teores de projeto menores para o mesmo volume de vazios.

Observa-se também que, independentemente do tipo de compactação, misturas de menos viscosidade apresentam o teor de projeto menores em relação àqueles obtidos para as misturas com CAP modificado. A mistura com o CAP 50/70, possui maior trabalhabilidade, assim consome menos ligante e isso explica este fator.

Independente do método adotado para a determinação do teor de projeto, o requisito do método francês quanto a fadiga e deformação permanente seriam atendidos.

CONCLUSÃO

Não existe combinação possível, diferentes métodos de dosagem, com diferentes métodos de compactação, produzem teores de asfalto de projeto distintos. Não existe melhor ou pior e sim entender o que cada um deles se propõe em combinação com a estrutura do pavimento. O importante em si é, independentemente do método de dosagem escolhido, combinar com a estrutura em que será aplicado e a verificação de solicitação do pavimento, se trabalhará à flexão ou apenas compressão.

REFERÊNCIAS

- ASPHALT INSTITUTE. **Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types**. MS-2. 6th ed. 1997. P. 141
- BERNUCCI, L. L. B. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PTROBRAS: ABEDA, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO. **Manual básico de emulsões asfálticas**. 2003.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projeto e Restauração**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT ES-031/2006: **pavimentos flexíveis – concreto asfáltico**. Rio de Janeiro, 2006.
- SALOMÃO, P.; EDUARDO, P.I. **Pavimentação Asfáltica - Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos**. São Paulo: Grupo GEN, 2015. 978-85-216-2916-0. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2916-0/>. Acesso em: 03 May 2021

LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES. **Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés**. Paris, France: 2007.

LEANDRO, R. P. **Avaliação do comportamento mecânico de corpos de prova de misturas asfálticas a quente resultantes de diferentes métodos de compactação**. 2016. 33 p.. Dissertação (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo São Paulo, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ME-117/94: **mistura betuminosa – determinação da densidade aparente**. Rio de Janeiro, 1994. 4 p.

ASPHALT INSTITUTE. Superpave Mix design. SP-2. 3thed. 2001. p. 97. ASI, I. **Performance Evaluation of Superpave and Marshall Asphalt Mix Designs to Suite Jordan Climatic and Traffic Conditions**. *Construction and Building Materials*, No. 21, p. 1732 – 1740, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Métodos e instruções de ensaio – especificações gerais para obras rodoviárias**. Rio de Janeiro, 1997.

ALMEIDA, Adosindro Joaquim de. **Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas com Aplicação dos Aditivos pr plast s e pr flex 20 no Módulo Complexo e na Fadiga** - Florianópolis, SC, 2013. 261 p. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação. Diretora de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006. 93 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação. Diretora de Planejamento e Pesquisa**. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006. 98 p.

CORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. **Ramcodes: Metodología racional para el análisis de densificación y resistencia de geomateriales compactados**. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Ciudad del México, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 7460 - 10. **Standard Test Method for Standard Test Method for Subjected to Repeated Flexural Bending**. [S.l.]. 2008.

ASPHALT INSTITUTE. **Superpave mix design: Superpave series SP-2**. 3. ed. [S.l.]: [s.n.], 2001.

TRICHÊS, Glicério. **Pavimentação de Estradas – ECV 5154**. 2014-a, semestre 1. Departamento de Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, disciplina ministrada em 2014. (Apostila).