



**PBPC**  
ISSN 2674-9432



**Qualis A3**  
CAPES 2021-2024



DOI - Crossref

Latindex

Indexado no  
Google Acadêmico

## VIABILIDADE ECONÔMICA E DESEMPENHO ESTRUTURAL EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: UMA ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA

*Ana Kerma Araújo Gomes de Sousa<sup>1</sup>; Bernardo Gomes de Freitas<sup>1</sup>; Gabriel Carvalho Gomes<sup>1</sup>; José Edenilson Souza Moreira<sup>1</sup>; Pedro Henrique Sousa Lira<sup>1</sup> Albaniza Maria da Silva Lopes<sup>2</sup>*



<https://doi.org/10.36557/2674-9432.2026v5n1p2509-2519>

Artigo recebido em 11 de Janeiro e publicado em 11 de Março de 2026

### **ARTIGO ORIGINAL**

#### **RESUMO**

A pavimentação asfáltica constitui um dos principais elementos da infraestrutura de transportes, exercendo papel fundamental no desenvolvimento econômico e social. No entanto, a limitação orçamentária e a elevada demanda por durabilidade impõem desafios à tomada de decisão na escolha de materiais e métodos construtivos. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a viabilidade econômica de pavimentos asfálticos a partir de uma abordagem quali-quantitativa, considerando a caracterização dos materiais, os métodos de dosagem e o desempenho esperado ao longo do ciclo de vida do pavimento. A metodologia baseia-se na análise comparativa entre os métodos de dosagem Marshall e Superpave, bem como na avaliação de diferentes tipos de misturas e ligantes asfálticos, incluindo tecnologias como SMA (Stone Matrix Asphalt), misturas mornas (WMA) e o uso de ligantes modificados. Os resultados esperados indicam que a adoção de métodos mais precisos de dosagem e materiais de maior desempenho, embora exijam maior investimento inicial, proporcionam maior durabilidade, segurança viária e redução de custos de manutenção ao longo do tempo. Conclui-se que a eficiência econômica na pavimentação asfáltica está diretamente associada à integração entre desempenho estrutural, sustentabilidade e planejamento baseado no custo do ciclo de vida.

**Palavras-chave:** Pavimentação asfáltica; Viabilidade Econômica; Desempenho de pavimentos.



## ABSTRACT

Asphalt pavement is one of the main components of transportation infrastructure, playing a fundamental role in economic and social development. However, budget constraints and the growing demand for durability pose significant challenges in decision-making regarding material selection and design methods. In this context, this study aims to analyze the economic feasibility of asphalt pavements through a qualitative and quantitative approach, considering material characterization, mix design methods, and expected performance throughout the pavement life cycle. The methodology is based on a comparative analysis between the Marshall and Superpave mix design methods, as well as the evaluation of different asphalt mixtures and binders, including technologies such as Stone Matrix Asphalt (SMA), warm mix asphalt (WMA), and modified binders. The expected results indicate that the adoption of more accurate mix design methods and high-performance materials, although requiring higher initial investment, leads to greater durability, improved road safety, and reduced maintenance costs over time. It is concluded that economic efficiency in asphalt pavement design is directly related to the integration of structural performance, sustainability, and life-cycle cost analysis.

**Keywords:** Asphalt pavement; Economic feasibility; Pavement performance.

**Instituição afiliada** – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Patos.

**Autor correspondente:** *Ana Kerma Araújo Gomes de Sousa.*

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





## 1 INTRODUÇÃO

A pavimentação asfáltica representa um dos pilares da infraestrutura rodoviária, sendo responsável por garantir mobilidade, segurança e eficiência logística. Em países de dimensões continentais como o Brasil, onde o transporte rodoviário predomina, a qualidade dos pavimentos exerce influência direta sobre os custos operacionais, o consumo de combustível, o tempo de viagem e o desgaste dos veículos. Apesar de sua relevância estratégica, grande parte da malha viária brasileira apresenta condições estruturais e funcionais insatisfatórias, resultando em prejuízos econômicos estimados em bilhões de reais anualmente.

Do ponto de vista técnico, o desempenho dos pavimentos asfálticos está diretamente associado às propriedades dos materiais utilizados, especialmente dos ligantes betuminosos, que apresentam comportamento viscoelástico dependente da temperatura e do tempo de carregamento. Em temperaturas elevadas, o ligante tende a perder rigidez, favorecendo deformações permanentes, enquanto em temperaturas mais baixas pode tornar-se excessivamente rígido, aumentando a suscetibilidade à fissuração. Essa variabilidade impõe à engenharia de pavimentos o desafio de projetar estruturas capazes de suportar diferentes condições climáticas e níveis de tráfego ao longo de sua vida útil.

Além dos aspectos técnicos, a pavimentação moderna exige uma abordagem econômica mais abrangente. Tradicionalmente, decisões de projeto basearam-se no menor custo inicial, o que frequentemente resulta em soluções de curta durabilidade e necessidade de intervenções frequentes. Em contrapartida, o conceito de custo do ciclo de vida (Life Cycle Cost Analysis – LCCA) tem se consolidado como ferramenta essencial para a tomada de decisão, permitindo avaliar não apenas os custos de implantação, mas também os gastos com manutenção, reabilitação e impactos indiretos ao longo do tempo. Nesse cenário, investimentos iniciais mais elevados, como o uso de ligantes modificados ou misturas de alto desempenho, podem representar economia significativa a médio e longo prazo.

Paralelamente, o avanço tecnológico na área de pavimentação tem proporcionado o desenvolvimento de métodos de dosagem mais precisos e de



misturas com melhor desempenho mecânico e ambiental. Métodos tradicionais, como o Marshall, ainda amplamente utilizados no Brasil devido à sua simplicidade e baixo custo, coexistem com metodologias mais avançadas, como o Superpave, que buscam representar de forma mais fiel as condições reais de carregamento e compactação em campo. A escolha inadequada do método de dosagem pode comprometer o desempenho estrutural do pavimento, antecipando falhas como trilhas de roda, fissuração por fadiga e danos por umidade.

Diante desse contexto, torna-se fundamental avaliar a eficiência das tecnologias atualmente disponíveis, considerando tanto os aspectos técnicos quanto econômicos. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade econômica de pavimentos asfálticos por meio de uma abordagem quali-quantitativa, comparando métodos de dosagem, tipos de ligantes e revestimentos asfálticos, com foco na durabilidade, segurança viária e otimização dos recursos públicos. A pesquisa busca contribuir para a adoção de soluções mais eficientes e sustentáveis no projeto e na execução de pavimentos rodoviários.

## **2 METODOLOGIA**

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza quali-quantitativa, fundamentada nos princípios da pavimentação moderna, que considera não apenas a seleção dos materiais, mas também os métodos de caracterização, dosagem e aplicação mais adequados para cada cenário de tráfego e clima. A metodologia adotada baseia-se na análise técnica de ligantes e agregados, aliada à avaliação comparativa de métodos de dosagem amplamente utilizados na engenharia de pavimentos.

## 2.1 Caracterização Avançada de Materiais

A metodologia adotada na construção de estudo, se baseia nos princípios da pavimentação moderna, onde não se leva em consideração apenas na escolha do material, mas na forma como ele é testado e dosado. A abordagem divide-se em caracterização dos insumos e método de dosagem da mistura, se intitulando como uma pesquisa quali-quantitativa, pois, trata a qualidade real dos materiais utilizados na pavimentação, e sua dosagem recomendada para cada uso.

Para os ligantes, a metodologia inicia-se com a classificação. Enquanto métodos tradicionais avaliam penetração e viscosidade, a análise de durabilidade exige a simulação de envelhecimento. Utilizam-se os ensaios RTFOT (curto prazo) e PAV (longo prazo) para prever o endurecimento oxidativo do ligante durante a usinagem e vida útil,. A segurança operacional é verificada pelo Ponto de Fulgor, e a capacidade de suportar deformações sem ruptura é medida pela Ductilidade. Para os agregados, determina-se a Massa Específica e o Índice de Vazios (VASC) para garantir a compactidade, além da Sanidade para evitar desintegração por intempéries.

**Figura 1:** Aplicação de misturas asfálticas mornas (WMA), esse material propõe a diminuição do consumo energético e a redução da emissão de gases poluentes.



**Fonte:** Google, 2026.

## 2.2 Economia e precisão: Marshall *versus* Superpave

A escolha do método de dosagem define a eficiência financeira do projeto. O que se economiza em equipamentos de laboratório pode resultar em gastos exponenciais com restaurações prematuras na pista.

Criado na década de 1930, este método ainda é soberano no Brasil devido ao baixo custo de implantação e simplicidade. Baseia-se na compactação por impacto de um soquete (geralmente 50 ou 75 golpes) focando em parâmetros volumétricos e de estabilidade. Contudo, sua simplicidade cobra um preço alto: o método falha em reproduzir a densificação real causada pelos pneus dos caminhões modernos e a ação dos rolos compactadores. Isso frequentemente resulta em misturas com excesso de ligante ou esqueleto mineral frágil, levando ao colapso precoce por deformação permanente (trilhas de roda) em rodovias de alto tráfego, exigindo intervenções corretivas muito antes do fim da vida útil projetada.

**Figura 2:** Equipamento utilizado no método de dosagem Marshall.



**Fonte:** AMC Equipamentos, 2020.

O método Superpave, é fruto de um investimento maciço do programa SHRP (EUA), este método muda a lógica de custo-benefício. Ele utiliza o Compactador Giratório (CGS), que amassa a mistura (pressão de 600 kPa e ângulo de 1,25°), simulando fielmente o arranjo estrutural dos agregados em campo. Ao buscar um teor de projeto com 4% de vazios (ou até 5% em revisões recentes para melhorar a compactabilidade), ele foca na performance real,. Embora exija laboratórios mais equipados, o Superpave é a espinha dorsal de métodos mecanísticos como o MeDiNa, permitindo prever a fadiga e otimizar a espessura das camadas, garantindo

que cada centavo investido no asfalto retorne em durabilidade efetiva.

**Figura 3:** Equipamento Compactador Giratório(CGS), utilizado no método Superpave.



**Fonte:** OWNTEC, 2026.

### 2.3. Análise de Materiais e Eficiência

A eficiência econômica e técnica depende da correta seleção do ligante e da mistura para cada cenário de aplicação.

Como a utilização do CAP convencional (30/45 ou 50/70), pois é um sistema coloidal de asfaltenos e maltenos adequado para tráfego usual, utilizado em situações de alta demanda, a incorporação de polímeros (LMP) ou borracha moída é necessária para aumentar a resistência à deformação e fadiga.

A eficiência energética é obtida com Misturas Mornas (WMA), que reduzem a temperatura de produção através de aditivos ou espumação, diminuindo emissões. Já para manutenção de baixo custo, utilizam-se Emulsões Asfálticas em misturas a frio (PMF) ou tratamentos superficiais, eliminando o aquecimento.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação das metodologias descritas acima resulta em desempenhos distintos, que devem ser alinhados à função da rodovia.

### 3.1 Resistência à Deformação e Durabilidade

A utilização de misturas como o SMA (Stone Matrix Asphalt), com seu esqueleto pétreo e ligantes modificados, resulta em elevada resistência à deformação permanente (trilhas de roda), sendo a solução ideal para rodovias de tráfego pesado. Espera-se, com o uso do método Superpave, uma previsão mais assertiva da vida útil, evitando falhas prematuras comuns em projetos puramente empíricos.

**Figura 4:** Detalhe da textura do SMA.



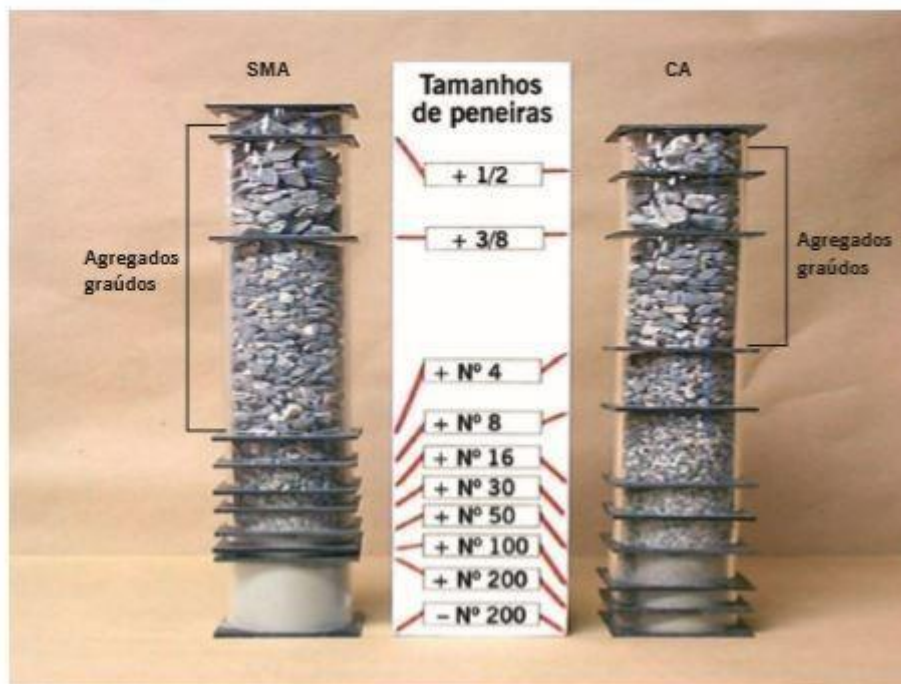
**Fonte:** BERNUCCI, MOTTA, CERATTI e SOARES, 2008.

### 3.2 Segurança e Resistência à Umidade

A implementação de Camadas de Atrito Porosas (CPA) entrega resultados diretos na segurança: a alta taxa de vazios drena a água superficial, reduzindo drasticamente a aquaplanagem e o ruído do tráfego (efeito spray). No entanto, o resultado estrutural é menor, exigindo bases robustas.

Um resultado crítico esperado é a durabilidade frente à ação da água. O ensaio de Dano por Umidade Induzida (Lottman) deve apresentar uma Relação de Resistência à Tração (TSR) satisfatória, garantindo que o ligante não se descole do agregado sob chuva, um dos principais fatores de buracos em vias tropicais.

**Figura 5:** Comparação entre CBUQ e SMA.



**Fonte:** BERNUCCI, MOTTA, CERATTI e SOARES, 2008.

#### 4 CONCLUSÃO

A análise desenvolvida demonstra que a eficiência econômica na pavimentação asfáltica não deve ser avaliada de forma isolada ou baseada exclusivamente no custo inicial. O desempenho do pavimento resulta da integração entre caracterização adequada dos materiais, escolha criteriosa do método de dosagem e seleção do revestimento compatível com as condições de tráfego e clima.

A adoção de metodologias mais precisas, como o Superpave, aliada ao uso de tecnologias de alto desempenho, como SMA e misturas mornas, apresenta-se



como alternativa tecnicamente viável e economicamente vantajosa ao longo do ciclo de vida do pavimento. Embora essas soluções demandem maior investimento inicial, os ganhos em durabilidade, segurança viária e sustentabilidade justificam sua aplicação, especialmente em rodovias estratégicas.

Conclui-se, portanto, que o planejamento baseado no custo do ciclo de vida constitui ferramenta indispensável para a tomada de decisão em projetos de pavimentação, contribuindo para a otimização dos recursos públicos e para a melhoria da infraestrutura rodoviária.

## 5 REFERÊNCIAS

ALÉM DA INÉRCIA. **Conheça as características do Stone Matrix Asphalt – SMA**. 2017. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2017/11/13/conheca-as-caracteristicas-do-stone-matrix-asphalt-sma/>. Acesso em: 26 jan. 2026.

ALÉM DA INÉRCIA. **Conheça as características e variações de misturas asfálticas mornas e semimornas**. 2020. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2020/04/13/conheca-as-caracteristicas-e-variacoes-de-misturas-asfalticas-mornas-e-semimornas/>. Acesso em: 30 jan. 2026.

AMC EQUIPAMENTOS. **Soquete Marshall elétrico**. Disponível em: <https://www.amcequipamentos.com.br/product-page/soquete-marshall-eletrico>. Acesso em: 30 jan. 2026.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobras; ABEDA, 2022.

CENTRO DE SOLUÇÕES EM ENGENHARIA (CSE). **Misturas asfálticas mornas: uso de RAP**. Boletim Técnico n. 15, ano 2, dez. 2020.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira. **Manual de dosagem de concreto asfáltico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

OWNTEC. **Compactador giratório Superpave MA-01**. Disponível em: <https://www.owntec.com.br/produto/ma-01-compactador-giratorio-superpave/>. Acesso em: 30 jan. 2026.