

## **ANÁLISE DE MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DE PAVIMENTOS DO PROGRAMA DE GERÊNCIA HDM-4**

**Deise Menezes Nascimento**  
**José Leomar Fernandes Júnior**

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Transportes

### **RESUMO**

A dissertação em andamento tem como objetivo analisar os modelos de previsão de desempenho de pavimentos presentes no programa computacional de gerência de pavimentos HDM-4 (*Highway Development and Management*), desenvolvido pelo Banco Mundial, por meio da comparação dos resultados fornecidos pelo programa com o desempenho real de seções de pavimentos rodoviários, obtidos a partir da base de dados dos experimentos LTPP (*Long-Term Pavement Performance*) do FHWA (*Federal Highway Administration*). O programa HDM-4, utilizado por organismos rodoviários brasileiros e internacionais, é uma importante ferramenta para os sistemas de gerência, permitindo avaliar técnica e economicamente projetos de rodovias e preparar programas de investimentos rodoviários. Mediante a comparação das respostas do programa com o desempenho real das seções, pode-se analisar a confiabilidade dos modelos de previsão de desempenho e, desta forma, contribuir para o aperfeiçoamento dos sistemas de gerência de pavimentos no Brasil.

### **ABSTRACT**

The main purpose of the master thesis under development is to analyze the pavement deterioration prediction models of the HDM-4 (Highway Development and Management) computer program, developed by the World Bank. This work is based on the comparison of prediction results and the performance observed using LTPP (Long-Term Pavement Performance), which is obtained from the experiment data base of the FHWA (Federal Highway Administration). The HDM-4, used by road agencies worldwide, is an essential tool for pavement management systems that allows the evaluation of highway design projects, preparation budgets and analysis of several rehabilitation and maintenance alternatives. By the comparison of the results obtained using the HDM-4 with actual road sections performance, the reliability of the prediction models can be analyzed and contribute to the improvement of pavement management systems in Brazil.

### **1. INTRODUÇÃO**

Uma importância considerável de dinheiro público é gasto anualmente com a conservação dos pavimentos rodoviários. Para se utilizar com eficiência esse recurso é necessário estimar as condições ou o nível de serventia futuro de diferentes trechos do pavimento de uma rede viária específica. Essa estimativa só é possível se o responsável pelo sistema de gerência contar com modelos de previsão confiáveis.

Os modelos de previsão de desempenho de pavimentos são importantes ferramentas utilizadas nos sistemas de gerência, essenciais para o planejamento das atividades de manutenção e reabilitação, assim como para a estimativa dos recursos necessários na preservação das rodovias.

A pesquisa de modelos de previsão de desempenho tem sido realizada por pesquisadores e instituições brasileiras e internacionais, buscando desenvolver equações que possibilitem previsões mais confiáveis sobre o comportamento dos pavimentos. Como exemplo desse esforço no Brasil pode-se citar a Pesquisa do Inter-relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias (PICR), iniciada em 1975 pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte - GEIPOT.

No início da década de 80, a *Transportation Research Board* (TRB) da *Federal Highway Administration* (FHWA) e com a cooperação da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) iniciou um estudo (*Strategic Transportation Research Study - STRS*) sobre a deterioração do sistema de infra-estrutura de rodovias e pontes nos Estados Unidos. Esse estudo foi publicado em 1984 e recomendava pesquisas em seis áreas estratégicas, destacando-se como uma dessas áreas o programa *Long-Term Pavement Performance* (LTPP).

Esse programa foi iniciado em 1987, como parte do *Strategic Highway Research Program* (SHRP), sendo que a responsabilidade pela gerência do programa foi transferida para o FHWA em 1992. Esse estudo compreende a monitorização de seções de pavimentos em serviço por 20 anos, com a avaliação de mais de 2.400 seções de pavimentos flexíveis e rígidos, localizadas nos Estados Unidos e Canadá.

O programa LTPP-FHWA visa suprir a necessidade de informações sobre o comportamento dos pavimentos rodoviários, por meio da monitorização de seções de pavimentos em serviço. As análises realizadas pelo LTPP-FHWA têm como objetivos principais: determinar modelos de previsão de desempenho para utilização nos projetos e na gerência de pavimentos; analisar os efeitos específicos sobre os pavimentos das ações do tráfego, do meio ambiente, dos tipos de materiais, da qualidade da construção e das práticas de manutenção; desenvolver novas técnicas de projeto, construção e reabilitação de pavimentos.

As seções de teste do LTPP-FHWA são classificadas como *General Pavement Studies* (GPS) e *Specific Pavement Studies* (SPS), sendo que a diferença fundamental entre essas duas classificações provém do início do programa LTPP, no qual as seções de teste GPS utilizaram pavimentos existentes como construídos ou após um recapeamento. Com relação as seções SPS, cujo objetivo é complementar as pesquisas que não puderam ser realizadas pelo primeiro grupo, foi necessário, em muitos casos, construir novos pavimentos para a análise detalhada do desempenho de fatores específicos.

Os sistemas de gerência de pavimentos contam com ferramentas computacionais capazes de fazer análises econômicas, dentre os quais pode-se citar o programa HDM-4 (*Highway Development and Management*), desenvolvido pelo Banco Mundial e utilizado por diversos organismos rodoviários brasileiros e internacionais. O HDM-4 avalia técnica e economicamente projetos de rodovias, preparando programas de investimentos rodoviários e analisando diversas alternativas de manutenção e reabilitação. Sendo utilizado pelo Banco Mundial para a análise de concessão de financiamentos a organismos rodoviários.

Os modelos de deterioração utilizados pelo HDM-4 apresentam uma grande flexibilidade, podendo trabalhar com diversos tipos de revestimentos e de bases, isto é, com estruturas de pavimentos distintas. No HDM-4 podem ser modelados os seguintes defeitos: trincas por fadiga, desgaste, panelas, trincas nos bordos, deformação permanente nas trilhas de roda e irregularidade longitudinal, sendo que o programa apresenta equações que prevêm o surgimento e a progressão para cada um desses defeitos. Pode-se analisar, também, os meios de transportes motorizados (motocicletas, carros, ônibus, caminhões etc.) e os não motorizados (bicicletas, veículos de tração animal etc.).

A unidade básica de análise do HDM-4 é um segmento homogêneo de rodovia, sendo que várias opções de investimento podem ser propostas para este segmento. Além disso, devem ser definidos os tipos de veículos que usam a rodovia e seu volume de tráfego (VDM - Volume Diário Médio). A estrutura analítica é baseada no conceito de ciclo de vida do pavimento, geralmente de 15 a 40 anos, que é utilizado para a previsão da deterioração das rodovias, para a análise dos efeitos das intervenções nas rodovias e para estimativa dos custos dos usuários e dos efeitos ambientais e socioeconômicos.

O HDM-4 simula o desempenho dos pavimentos e os custos correspondentes durante o período de análise especificado pelo usuário. Realiza análises econômicas de diferentes opções de investimentos, estima os custos para um grande número de alternativas, descontando os custos futuros. Simula, para cada seção, a condição da via e os recursos usados em cada alternativa de manutenção, assim como, os recursos físicos consumidos pela operação dos veículos.

## **2. OBJETIVO**

Os objetivos principais da pesquisa são comparar o desempenho real de algumas seções de pavimentos rodoviários do banco de dados do LTPP-FHWA com o comportamento previsto pelos modelos de deterioração contidos no programa de gerência de pavimentos HDM-4.

Nesse contexto, a pesquisa em desenvolvimento tem por finalidade avaliar a confiabilidade dos modelos de previsão de desempenho utilizados pelo programa (HDM-4) e, desta forma, contribuir para o aperfeiçoamento dos sistemas de gerência de pavimentos no Brasil.

## **3. MÉTODO DE PESQUISA PROPOSTO**

A pesquisa está baseada em simulações realizadas no programa HDM-4, utilizando séries de dados históricas obtidas no banco de dados LTPP-FHWA. Será realizada uma comparação entre o desempenho real das seções LTPP-FHWA e as respostas dos modelos de deterioração fornecidas pelo programa HDM-4.

O Brasil, mesmo apresentando milhares de quilômetros de rodovias pavimentadas e importantes pesquisas no assunto, ainda não possui um banco de dados que possa servir como base para um estudo do desempenho dos pavimentos a longo prazo. Como as equações de deterioração estão vinculadas a diversas variáveis como clima, tráfego, idade do pavimento, geometria da rodovia, características estruturais e propriedades dos materiais de pavimentação, torna-se indispensável que esses modelos sejam calibrados para as condições locais antes de serem empregados pelos sistemas de gerência de pavimentos. Dessa forma, para utilização do banco de dados da pesquisa LTPP foi necessário à seleção de seções que estivessem localizadas em regiões de clima semelhante ao brasileiro, com subleito não sujeito ao congelamento, tendo sido considerado também os seguintes parâmetros: precipitação anual, tráfego diário médio de caminhões e espessura do revestimento.

As seções de teste inicialmente selecionadas para as simulações são classificadas como GPS-1 e caracterizam-se por apresentar revestimento asfáltico sobre base granular. Para as simulações no HDM-4 serão informadas as características da rede viária (geometria, classe, velocidade limite, tipo de pavimento, número estrutural etc.) e da frota (tipo de veículos, classe, volume diário médio etc.).

Os modelos de previsão de desempenho que inicialmente serão estudados são os que se referem aos principais defeitos encontrados nos pavimentos: modelos de previsão para o surgimento e progressão das trincas por fadiga do revestimento, deformação permanente nas trilhas de roda e irregularidade longitudinal.

Dessa forma, contribui-se para o aperfeiçoamento dos sistemas de gerência de pavimentos e também para a compreensão do comportamento dos pavimentos quando solicitados pelo tráfego e pelo meio ambiente. Entender como o pavimento se deteriora significa conhecer a melhor maneira de construí-lo e preservá-lo, definindo o intervalo de tempo ótimo para realização das ações de manutenção e reabilitação.

#### **Agradecimento**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa.

#### **BIBLIOGRAFIA PRELIMINAR**

- Elkins, G. E.; P. Schmalzer; T. Thompson e A. Simpson (2003) *Long-Term Pavement Performance. Information Management System Pavement Performance Database User Guide*. Federal Highway Administration.
- Haas, R.; W. R. Hudson e J. Zaniewski (1994) *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Co, Malamar, Florida.
- Kerali, H.G.R. (2000) *Applications Guide HDM-4, Volume 1- Overview of HDM-4*. The Highway Development and Management Series.
- Marcon, A. F. (1996) *Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina*. Tese (Doutorado). São José dos Campos. Instituto de Aeronáutica.
- Odoki, J.B. e H. G. R. Kerali (2000) *Applications Guide HDM-4, Volume 4 - Analytical Framework and Model Descriptions*. The Highway Development and Management Series.
- Paterson, W. D. O. (1987) *Road Deterioration and Maintenance Effects – Models for Planning and Management*. The World Bank. Baltimore. The Johns Hopkins University Press.
- Queiroz, C. A. V. (1984) *Modelos de Previsão do Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil*. Brasília/ DF – GEIPOT.
- Watanatada, T.; C.G. Harral; W. D. O. Paterson; A. M. Dhareshwar; A. Bhandari e K. Tsunokawa (1987) *The Highway Design and Maintenance Standards Model*. Volume 1. Description of the HDM – III Model. Baltimore. The World Bank. The Johns Hopkins University Press.
- Yshiba, J. K. (2003) *Modelo de Desempenho de Pavimentos: Estudo de Rodovias do Estado do Paraná*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

---

#### **Endereço dos Autores:**

Deise Menezes Nascimento (deise@sc.usp.br)

José Leomar Fernandes Júnior (leomar@sc.usp.br)

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Av. Trabalhador São-carlense, 400 - CEP 13566-590 - São Carlos, SP, Brasil

Fone: (16) 3373-9598; Fax: (16) 3373-9602.