

39.^a RAPv/13.^o ENACOR

Recife/PE - BRASIL - 16 a 20 de setembro 2008

EVOLUÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL E ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS COM OS MODELOS DO HDM 4 EM RODOVIAS DO ESTADO DO CEARÁ

Sérgio Armando de Sá e Benevides¹; Laura Maria Goretti. da Motta²; Carlos Roberto Cunha³; Franklin José Chaves⁴; Bruno Tiago Angelo da Silva⁵; Francisco Heber Lacerda de Oliveira⁶

RESUMO

O *software* HDM-4 permite que se faça uma avaliação técnica da previsão de evolução do índice de Irregularidade Longitudinal (IRI) em função das estratégias de manutenção adotadas para um determinado projeto ou trecho, auxiliando no planejamento destas intervenções. O programa é utilizado para agrupar dados básicos coletados e coeficientes de calibração na sua configuração, para minimizar as quantidades de dados que devem combinar para uma determinada aplicação. A composição do tráfego, as características dos veículos e os custos unitários dos veículos utilizados nesta análise são também mostrados. Entre os 72 trechos desta pesquisa situados na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) onde foram efetuados levantamentos de IRI, como exemplos ilustrativos das possibilidades deste programa, escolhemos um da CE 040, um da CE 060 e um da CE 085, para os quais foram propostas estratégias de manutenção com a finalidade de obter a previsão da evolução do IRI nos próximos 20 anos, nos respectivos trechos. Também foi analisado pelo HDM-4, em um estudo de caso, o resumo dos indicadores econômicos de um desses trechos em função das estratégias propostas, a título de exemplo ilustrativo das potencialidades desta ferramenta. O HDM 4 mostrou ser uma ferramenta de grande importância para a avaliação econômica de projetos ou trecho, por gerar relatórios com indicadores econômicos que permitem a escolha da alternativa que proporciona a aplicação mais eficaz dos recursos.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Irregularidade, manutenção, pavimentos, HDM IV.

ABSTRACT

The software HDM-4 allows you to make a technical assessment of the forecast rise in the International Roughness Index (IRI) on the basis of the strategies adopted for maintenance of a particular project or section, assisting in the planning of these operations. The program is used to group basic data collected and the calibration coefficients in its configuration to minimize the quantities of data that must combine for a particular application. The composition of traffic, the characteristics of vehicles and unit costs of vehicles used in this analysis are also shown. Among the 72 sections of this research located in the Metropolitan Region of Fortaleza (RMF) where surveys of IRI were made as examples of the possibilities of this program, it was chosen one section of the CE 040, one of the CE 060 and one of the CE 085, for which section it was proposed strategies for maintenance in order to obtain the estimates of IRI's evolution in the next 20 years. It was also examined by HDM-4, in a case study, the summary of economic indicators, according to an excerpt of the strategies proposed attempting to illustrate the potential of this tool. The HDM 4 proved to be a tool of great importance for the economic evaluation of projects or section for generating reports on economic indicators that allow the choice of the alternative that provides the most effective application of resources.

KEY WORDS: roughness, maintenance, pavement, HDM IV

¹ D.Sc. Professor DET/UFC

² D.Sc. Professora COPPE/UF RJ.

³ Eng. Engevias. Mestrando PETRAN/UFC

⁴ Geol e Eng^o DER-CE, Doutorando COPPE e Prof. CCT – UNIFOR

⁵ Aluno de Mestrado da Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia de Transportes. Bloco 703 - Campus do Pici S/N. Cep: 60455-760. Fortaleza. Ceará. E-mail: tiago@det.ufc.br

⁶ Aluno de Mestrado da Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia de Transportes. Bloco 703 - Campus do Pici S/N. Cep: 60455-760. Fortaleza. Ceará. E-mail: heber@det.ufc.br

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGPs) vêm sendo desenvolvidos desde a década de 1960 tendo como fundamentos os conceitos de serventia, de desempenho, da modelagem de irregularidade longitudinal, do conceito de carga por eixo equivalente e da análise de materiais e estruturas, estabelecidos pela AASHO *Road Test* (HRB, 1962) e os estudos no Canadá (CGRA, 1965).

De maneira geral, os Órgãos Rodoviários, não detêm autonomia para definir a aplicação dos recursos financeiros para conservação e manutenção da sua malha rodoviária. Esta decisão geralmente é tomada por gestores da área financeira, sem maiores conhecimentos técnicos. Portanto, se faz necessária à existência de uma ferramenta com embasamento técnico confiável que expresse o estado atual e futuro da malha, caso não sejam aplicados os recursos no momento adequado. A manutenção tardia desse patrimônio poderá gerar envelhecimentos precoces dos pavimentos, atingindo seu esgotamento num processo de deterioração irreversível. É nesse momento que a sociedade, através de seus usuários insatisfeitos, reclama por medidas urgentes para sanear a crise que poderia ser evitada com políticas de manutenção adequadas (BENEVIDES et al., 2004).

PATERSON (1987) destaca que a não aplicação de recursos na época devida, para a execução dos serviços de manutenção e restauração em diversas rodovias localizadas em países desenvolvidos, segundo levantamentos efetuados pelo Banco Mundial, acarretou em grandes prejuízos. A postergação na execução destes serviços ocasionou um substancial acréscimo nos custos inicialmente previstos, o que poderia ter sido evitado.

Conforme PETERSON (1987), a administração de uma rede viária deve fornecer respostas para algumas das seguintes questões:

- O que acontecerá se nenhuma atividade de manutenção for efetuada ou se a manutenção for adiada em uma parte da rodovia?
- O que fazer se houver redução no orçamento? E também se esta redução implicar em que seções de pavimentos deixem de ser submetidas a intervenções de reabilitação?
- O que fazer se houver um acréscimo no limite legal para cargas por eixo dos veículos pesados?

Complementando as características essenciais de um Sistema de Gerência, outras propriedades devem ser ainda mencionadas:

- O processo de otimização, ou seja, o processo de seleção sob restrição financeira (no tempo e no espaço), o qual deverá permitir, entre outras vantagens, produzir ordens e prioridades nas ações a realizar;
- O controle de atividade em toda a escala da Gerência; este é um ponto fundamental que se baseia na explicitação dos critérios de seleção e dos motivos de ação;
- O tempo entre o início da implementação e a operação do SGP, que pode variar entre um e dez anos. HAAS et al. (1994) estimam um período entre 24 e 35 meses para que seja alcançado o estágio operacional de um SGP.

As especificações da “*American Society for Testing and Materials*” - ASTM E-867-82A de 1982, conforme PATERSON, (1987), definem as irregularidades longitudinais como sendo “*os desvios da superfície de um pavimento em relação a uma superfície plana, com características e dimensões que afetam a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento, o carregamento dinâmico e a drenagem*”.

HAAS et al. (1994) citam que a dinâmica dos veículos é afetada pelas distorções na superfície, e que estas causam desgaste, acréscimos no tempo de viagem e na manutenção. Portanto, as distorções que originam as irregularidades têm grande influência no custo de operação dos veículos, provocando também neles, os deslocamentos verticais e laterais, originados das respectivas acelerações.

As irregularidades nas rodovias podem ser causadas por quaisquer dos seguintes fatores (KSAIBATI et al., 1998):

- Técnicas de construção que permitem algumas variações do perfil do projeto.
- Cargas repetidas, particularmente em áreas canalizadas.
- Compactação inicial não uniforme da base ou do subleito.

A previsão da evolução do IRI através de modelos permite que sejam projetadas as estratégias de M&R, utilizando como critérios os valores limites e os respectivos conceitos em função do IRI, constantes na Tabela 1, propostos nesta pesquisa, fundamentado também na opinião de técnicos especialistas da região. Os valores limites adotados para intervenção, utilizando como estratégia o recapeamento, podem ser estabelecidos a partir do IRI com o conceito mau. Os valores propostos na Tabela 1, são compatíveis com a malha rodoviária estadual do Ceará, por refletirem as condições climáticas, os volumes de tráfego e a diversidade de materiais de solos, além de outros fatores, podendo também ser aplicados em outras malhas rodoviárias que a ela se assemelhem, principalmente na região nordeste do Brasil. A utilização do IRI como parâmetro para planejamento das ações de M&R, possibilita que o tomador de decisão defina as prioridades para intervenções periódicas, bem como preestabeleça as soluções, os custos e as épocas adequadas através dos Planos Plurianuais de Investimentos (PPIs). Deve ser destacado que a definição dos investimentos em manutenção por parte de um órgão rodoviário passa por um processo decisório de elevada complexidade. O sistema deve oferecer um conjunto de cenários coerentes, saídos de diferentes séries de hipóteses, de forma a permitir que sejam testadas e comparadas as estratégias e políticas alternativas.

Tabela 1 Conceitos em função dos valores limites do IRI (BENEVIDES, 2006)

| Conceito | IRI (m/km) |
|-----------|------------|
| Excelente | Até 2,0 |
| Bom | 2,0 – 3,5 |
| Regular | 3,6 – 5,5 |
| Mau | 5,6 – 7,5 |
| Péssimo | > 7,5 |

Objetivo

Este trabalho tem como objetivo utilizar o *software* HDM 4 que permite a realização de uma avaliação técnica da previsão de evolução do IRI em função das estratégias de manutenção adotadas para um determinado projeto ou trecho, auxiliando no planejamento destas intervenções.

Evolução do IRI utilizando o HDM 4

O programa HDM 4 pode ser utilizado agrupando dados básicos coletados e coeficientes de calibração na sua configuração, para minimizar as quantidades de dados que devem combinar para uma determinada aplicação. A composição do tráfego, as características dos veículos e os custos

unitários dos veículos utilizados nesta análise são mostrados nas Tabelas 2, 3 e 4. Entre os 72 trechos desta pesquisa, como exemplos ilustrativos das possibilidades deste programa, escolhemos um da CE 040, um da CE 060 e um da CE 085, para os quais foram propostas estratégias de manutenção com a finalidade de obter a previsão da evolução do IRI nos próximos 20 anos, nos respectivos trechos. Os resultados e as análises são a seguir apresentados, destacando que *base alternative* é o *default* do programa HDM 4. MANUTEN A, MANUTEN B e MANUTEN C, são as estratégias de manutenção propostas.

Tabela 2 Composição do tráfego médio desta pesquisa utilizada para análise no HDM 4

| | |
|-------------------------|------|
| Carro de Passeio (CP) | 72 % |
| Ônibus (ON) | 8 % |
| Caminhão Leve (Cam.L) | 8 % |
| Caminhão Médio (Cam.M) | 7 % |
| Caminhão Pesado (Cam.P) | 5% |

Tabela 3 Características dos veículos usadas na análise dos três trechos desta pesquisa no HDM 4

| | CP | ON | Cam. L | Cam. M | Cam. P |
|----------------------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Nº de eixos | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| Nº de rodas | 4 | 10 | 4 | 6 | 10 |
| Tipo de Pneu | Radial | Diagonal | Diagonal | Diagonal | Diagonal |
| Peso de Operação | 1,2 | 10 | 2,0 | 7,5 | 13 |
| ESALF ⁽¹⁾ | 0 | 0,8 | 0,1 | 1,25 | 2,28 |
| PCSE ⁽²⁾ | 1 | 1,6 | 1,3 | 1,4 | 1,6 |

⁽¹⁾ *Equivalent Standard Axles Load Factor* = fator de equivalência de cargas.

⁽²⁾ *Passenger Car Space Equivalent* = espaço equivalente padrão de um carro de passageiro.

Tabela 4 Custos unitários dos veículos usados na análise dos três trechos desta pesquisa no HDM 4 em US\$

| | CP | ON | Cam. L | Cam. M | Cam. P |
|---------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Veículo novo | 9.000 | 70.000 | 30.000 | 46.000 | 75.000 |
| Troca de Pneus | 60 | 350 | 300 | 300 | 300 |
| Combustível p/ litro | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| Óleo lubrificante p/litro | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Manutenção p/hora | 4,2 | 5,6 | 5,6 | 5,1 | 5,6 |
| Tripulação p/ hora | 0 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 |
| Gastos gerais p/ano | 400 | 800 | 800 | 700 | 800 |
| Carga p/hora | 0 | 0,10 | 0,4 | 0,20 | 0,1 |

Resultados e análise da evolução do IRI no trecho escolhido na CE 040

Na Tabela 5 são indicadas as estratégias de manutenção propostas para o trecho 040ECE0070D, com revestimento em CBUQ, com 50 mm de espessura, enquanto na Figura 2 são mostradas as curvas de evolução do IRI em função das estratégias propostas para este trecho na CE 040.

| Rodovia | Base Alternative | | MANUTEN A | | MANUTEN B | | MANUTEN C | |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|
| | Serviço | Ano | Serviço | Ano | Serviço | Ano | Serviço | Ano |
| CE 040 IRI ₀ = 2,40 | R (Manut. de Rotina) | 2007-2009 | R (Manut. de Rotina) | 2007 | R (Manut. de Rotina) | 2007 | R (Manut. de Rotina) | 2007 |
| | R (Manut. de Rotina) | 2010 | R (Manut. de Rotina) | 2008-2010 | R (Manut. de Rotina) | 2008-2011 | R (Manut. de Rotina) | 2011 |
| | R (Manut. de Rotina) | 2011-2013 | R + TB (Tapa-buraco) + Reforço de 50 mm | 2011 | R + TB (Tapa-buraco) + Reforço de 50 mm | 2012 | R + TB (Tapa-buraco) + Reforço de 50 mm | 2013 |
| | R + TB (Tapa-buraco) | 2014 | R (Manut. de Rotina) | 2012-2014 | R (Manut. de Rotina) | 2013-2015 | R (Manut. de Rotina) | 2016 |
| | R (Manut. de Rotina) | 2015-2025 | R (Manut. de Rotina) | 2015-2025 | R (Manut. de Rotina) | 2016-2025 | R (Manut. de Rotina) | 2018-2025 |

Verifica-se na análise das estratégias para o trecho 040ECE0070D, Figura 1, que tanto a MANUTEN A quanto a MANUTEN B, são as melhores estratégias apesar de nesta última os serviços R + TB (Tapa-buraco) + Reforço de 50 mm, terem sido efetuados um pouco tarde. A postergação dos serviços, R + TB (Tapa-buraco) + Reforço de 50 mm, propostos na MANUTEN C para 2013, quando o valor do IRI estava próximo de 12, não surtiu efeito, apenas, manteve o valor do IRI, tornando assim inviável esta estratégia. Neste trecho foi efetuada também uma análise econômica, mostrada adiante, onde se pode observar que a MANUTEN A e a MANUTEN B, são as melhores estratégias, o que não ocorre com a MANUTEN C.

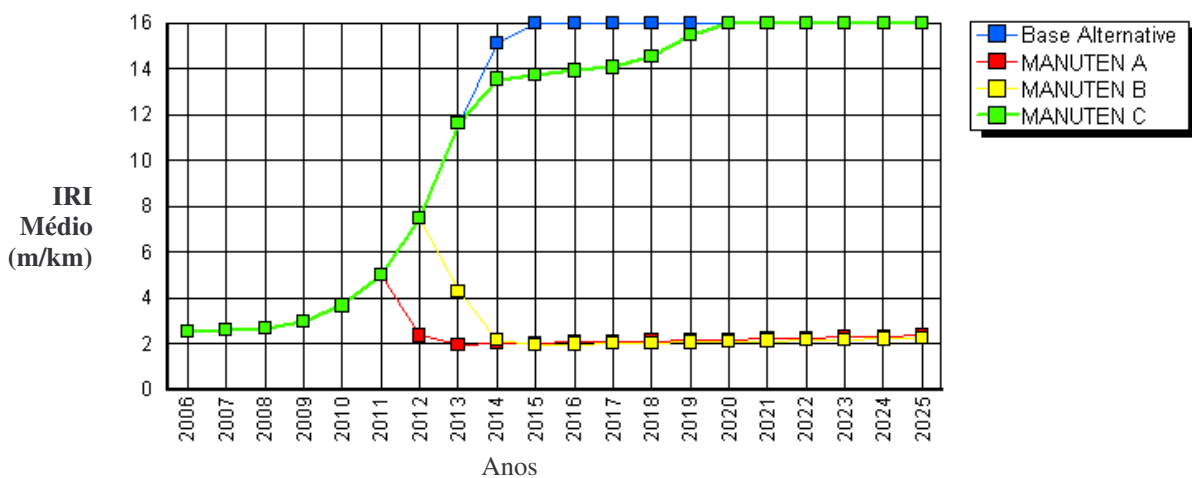


Figura 1 Curvas de evolução do IRI no trecho 040ECE0070D para as estratégias propostas na Tabela 5

Resultados e análise da evolução do IRI no trecho escolhido na CE 060

Na Tabela 6 são indicadas às estratégias de manutenção propostas para o trecho 060ECE0030D com revestimento em CBUQ, enquanto que na Figura 2 são mostradas as curvas de evolução do IRI para as estratégias propostas para este trecho escolhido na CE 060.

Tabela 6 Estratégias de manutenção propostas para os trechos da CE 060

| Rodovia | Base Alternative | | MANUTEN A | | MANUTEN B | | MANUTEN C | |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|
| | Serviço | Ano | Serviço | Ano | Serviço | Ano | Serviço | Ano |
| CE 060 IRI ₀ = 3,80 | R (Manut. de Rotina) | 2007 | R (Manut. de Rotina) | 2007 | R (Manut. de Rotina) | 2007 | R (Manut. de Rotina) | 2007-2014 |
| | R (Manut. de Rotina) | 2008-2010 | R (Manut. de Rotina) | 2008-2010 | R (Manut. de Rotina) | 2008 | R (Manut. de Rotina) | 2015 |
| | R + TB (Tapaburaco) | 2011 | R (Manut. de Rotina) | 2011 | R (Manut. de Rotina) | 2009-2013 | R + TB (Tapaburaco) + Reforço de 50mm | 2016 |
| | R (Manut. de Rotina) | 2012-2025 | R + TB (Tapaburaco) + Reforço de 50mm | 2012 | R + TB (Tapaburaco) + Reforço de 50mm | 2014 | R (Manut. de Rotina) | 2017-2025 |
| | | | R (Manut. de Rotina) | 2013-2025 | R (Manut. de Rotina) | 2015-2025 | | |

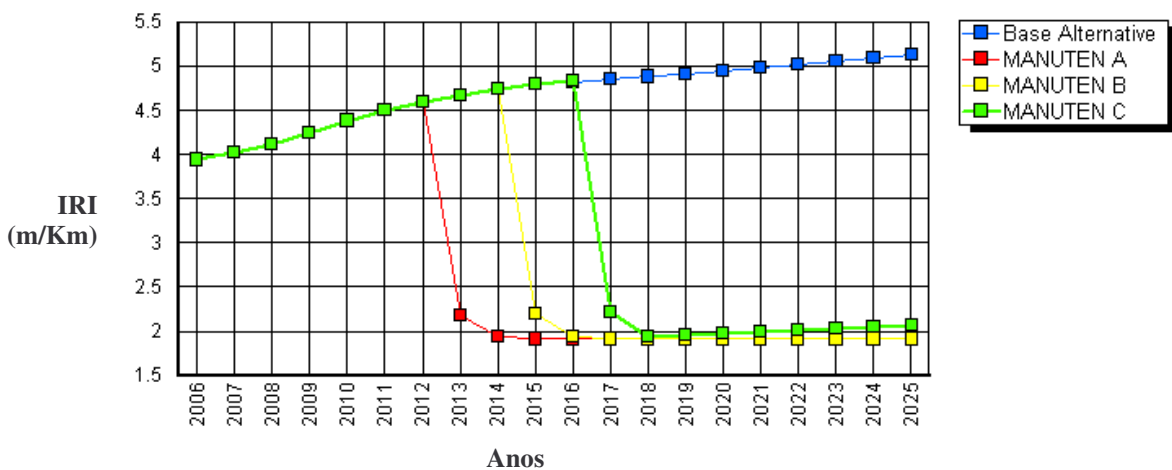


Figura 2 Curvas de evolução do IRI no trecho 060ECE0030D para as estratégias propostas na Tabela 5

Na análise das Curvas de evolução do IRI mostradas na Figura 2 para as estratégias propostas, percebe-se que, as três estratégias de manutenção são aceitáveis. Porém, adotando-se o critério instituído na Tabela 1, que estabelece que quando o IRI for maior que cinco, o trecho necessita de um recapeamento, a MANUTEN C deve ser a melhor solução, inclusive quando se trabalha com restrições orçamentárias.

6.5.3. Resultados e análise da evolução do IRI no trecho escolhido na CE 085

Na Tabela 7 são indicadas as estratégias de manutenção propostas para o trecho 085ECE0050E com revestimento em TSD, enquanto que na Figura 3 são mostradas as curvas de evolução para as estratégias propostas para o trecho.

Verifica-se, na análise das curvas de evolução do IRI, da Figura 4 que a estratégia proposta para a MANUTEN A deve ser a de melhor solução. Ao estabelecer os serviços de R + TB (Tapa-buraco) + Reforço de 50mm, para o ano de 2009, esta estratégia além de ser a que melhor atende o critério estabelecido para intervenção em função do valor do IRI, deve proporcionar maior economia para o usuário. As demais estratégias postergaram a intervenção de recapeamento, devendo acarretar em maiores custos para o usuário.

Tabela 7 Estratégias de manutenção propostas para o trecho da CE 085

| Rodovia | Base Alternative | | MANUTEN A | | MANUTEN B | | MANUTEN C | |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|--|-----------|--|-----------|--|-----------|
| | Serviço | Ano | Serviço | Ano | Serviço | Ano | Serviço | Ano |
| CE 085 IRI ₀ = 4,70 | R (Manut. de Rotina) | 2007 | R (Manut. de Rotina) | 2007 | R (Manut. de Rotina) | 2007 | R (Manut. de Rotina) | 2007 |
| | R (Manut. de Rotina) | 2008-2009 | R (Manut. de Rotina) | 2008 | R (Manut. de Rotina) | 2008-2010 | R (Manut. de Rotina) | 2008-2010 |
| | R (Manut. de Rotina) | 2010 | R + TB (Tapa-buraco) + Reforço de 50mm | 2009 | R + TB (Tapa-buraco) + Reforço de 50mm | 2011 | R (Manut. de Rotina) | 2011 |
| | R + TB (Tapa-buraco) | 2011 | R (Manut. de Rotina) | 2010 | R (Manut. de Rotina) | 2012 | R + TB (Tapa-buraco) + Reforço de 50mm | 2013 |
| | R (Manut. de Rotina) | 2012-2025 | R (Manut. de Rotina) | 2011-2025 | R (Manut. de Rotina) | 2013-2025 | R (Manut. de Rotina) | 2014-2025 |

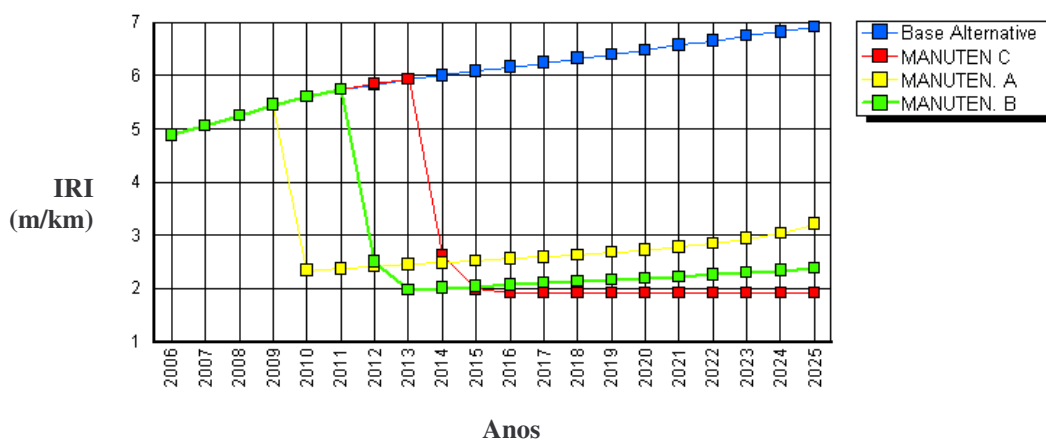


Figura 3 Curvas de evolução do IRI no trecho 085ECE0050E para as estratégias propostas na Tabela 7

Indicadores econômicos de um dos trechos deste estudo pelo HDM 4

Um SGP possibilita que se determine a forma mais eficiente de aplicação de recursos disponíveis, analisando as diversas alternativas de manutenção que respondam às necessidades dos usuários, dentro de um planejamento estratégico, garantindo o menor custo para o usuário e o maior Valor Presente Líquido (VPL). O HDM 4 é uma ferramenta de grande importância para a avaliação econômica de projetos ou trecho, por gerar relatórios com indicadores econômicos.

Nesta pesquisa, a título ilustrativo desta possibilidade de análise foi desenvolvido um estudo de caso de avaliação econômica em um dos trechos da RMF, no caso o 040ECE0070D, utilizando o HDM 4. As Tabelas 9 a 12 apresentam os relatórios com o resumo dos resultados para as mesmas estratégias de manutenção adotadas na análise de evolução do IRI, ou seja, *Base Alternative*, MANUTEN A, MANUTEN B e MANUTEN C.

Na análise destes resultados, foi utilizado o critério de decisão pelo Valor Presente Líquido (VPL). O VPL é calculado pela diferença entre os custos totais de transportes (CTT) da *base alternative*, tomada como referência, e da estratégia de manutenção analisada. Tomemos como exemplo a MANUTEN A. Neste caso, o VPL é igual a 13.417, correspondendo à diferença entre 60.155 (CTT para a base alternativa, Tabela 9) e 46.738 (CTT para a MANUTEN A, Tabela 10). Verifica-se na Tabela 8, que apresenta o resumo dos indicadores econômicos, que as estratégias MANUTEN A e MANUTEN B, apresentam os maiores valores do VPL, podendo ainda ser escolhida a MANUTEN A, como a melhor solução. Assim como na análise da evolução do IRI, neste trecho, a *base alternative* (do programa) e a MANUTEN C são as piores soluções na análise feita pelo VPL, neste caso.

Verifica-se também a assertiva acima, se analisarmos as Tabelas 9 a 12, que mostram os custos do órgão rodoviário e dos usuários para as estratégias acima citadas. A escolha da estratégia MANUTEN A ao invés da estratégia *base alternative*, proporciona uma economia de 13.574 nos custos totais dos usuários da rodovia (RUC), correspondente à diferença entre os valores 59.601 (RUC para a *base alternative*, Tabela 9) e 46.027 (RUC para a MANUTEN A, Tabela 10). A diferença dos valores do RUC para as estratégias base alternativa, Tabela 9, (59.601) e para a MANUTEN C, Tabela 12, (58.281), igual a 1.320, é bem menor que aquela outra, comprovando, também pela avaliação econômica que a MANUTEN A é a melhor estratégia dentre as analisadas.

Tabela 8 Resumo dos indicadores econômicos

| NOME DO ESTUDO (ESTRATÉGIA): | | DESEMPENHO TRECHO RMF CE040 TESE DO SÉRGIO | | | | | | | |
|------------------------------|--|---|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--|---------|---------|-------------------------|
| MOEDA: | | Milhões de Dólares | | | | | | | |
| TAXA DE DESCONTO: | | 12% | | | | | | | |
| SEÇÃO: | | ANEL RODOVIÁRIO - ENTR. CE 251 (EUSÉBIO) D040ECE0070D | | | | | | | |
| EXTENSÃO: | | 5,31 km | | | | | | | |
| Alternativa | Valor Presente do Custo Total do Órgão (RAC) | Valor Presente do Custo do Capital do Órgão (CAP) | Acréscimo do Custo do Órgão (C) | Decréscimo do Custo do Usuário (B) | Custos Externos Líquidos (E) | Valor Presente Líquido (VPL = B + E - C) | VPL/RAC | VPL/CAP | Taxa Interna de Retorno |
| <i>Base Alternative</i> | 0,554 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| MANUTEN A | 0711 | 0,599 | 0,157 | 13,573 | 0,000 | 13,417 | 18,877 | 22,404 | 139,1 |
| MANUTEN B | 0,872 | 0,760 | 0,318 | 13,053 | 0,000 | 12,735 | 14,600 | 16,759 | 141,2 |
| MANUTEN C | 0,101 | 0,000 | -0,453 | 1,319 | 0,000 | 1,772 | 17,549 | Zero | Sem solução |

Tabela 9 Custos do órgão rodoviário e dos usuários para a estratégia Base Alternativa

| SEÇÃO: ANEL RODOVIÁRIO - ENTR. CE 251 (EUSÉBIO) D | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------|---------------|--------------------------|---------------------------------|
| CÓDIGO: 040ECE0070D | | | | | | | | | | | |
| EXTENSÃO: 5,31 Km | | | | | | | | | | | |
| Ano | Custos do Órgão Rodoviário (RAC) | | | | Custos do Usuário da Rodovia (RUC) | | | | | Custos Externos Líquidos | Custo Total de Transporte (CTT) |
| | Capital | Recorr. | Especial | Total RAC | Operação de Veículos (MT) | Tempo de Viagem (MT) | Viagens e Operação (NMT) | Acidentes | Total RUC | | |
| 2006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4.410 | 0.261 | 0.000 | 0.000 | 4.671 | 0.000 | 4.671 |
| 2007 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4.038 | 0.238 | 0.000 | 0.000 | 4.276 | 0.000 | 4.276 |
| 2008 | 0.000 | 0.012 | 0.000 | 0.012 | 3.698 | 0.218 | 0.000 | 0.000 | 3.916 | 0.000 | 3.928 |
| 2009 | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 0.011 | 3.394 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 3.594 | 0.000 | 3.604 |
| 2010 | 0.000 | 0.009 | 0.000 | 0.009 | 3.171 | 0.183 | 0.000 | 0.000 | 3.354 | 0.000 | 3.364 |
| 2011 | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.008 | 3.027 | 0.171 | 0.000 | 0.000 | 3.198 | 0.000 | 3.206 |
| 2012 | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.008 | 2.971 | 0.185 | 0.000 | 0.000 | 3.156 | 0.000 | 3.164 |
| 2013 | 0.000 | 0.007 | 0.000 | 0.007 | 3.233 | 0.257 | 0.000 | 0.000 | 3.490 | 0.000 | 3.497 |
| 2014 | 0.000 | 0.464 | 0.000 | 0.464 | 3.435 | 0.305 | 0.000 | 0.000 | 3.741 | 0.000 | 4.204 |
| 2015 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.005 | 3.257 | 0.296 | 0.000 | 0.000 | 3.553 | 0.000 | 3.559 |
| 2016 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.005 | 2.985 | 0.271 | 0.000 | 0.000 | 3.256 | 0.000 | 3.260 |
| 2017 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 2.734 | 0.248 | 0.000 | 0.000 | 2.982 | 0.000 | 2.986 |
| 2018 | 4000 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 2.505 | 0.227 | 0.000 | 0.000 | 2.732 | 0.000 | 2.736 |
| 2019 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 2.294 | 0.208 | 0.000 | 0.000 | 2.503 | 0.000 | 2.506 |
| 2020 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 2.102 | 0.191 | 0.000 | 0.000 | 2.293 | 0.000 | 2.296 |
| 2021 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 1.926 | 0.175 | 0.000 | 0.000 | 2.101 | 0.000 | 2.103 |
| 2022 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.765 | 0.160 | 0.000 | 0.000 | 1.925 | 0.000 | 1.927 |
| 2023 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.617 | 0.147 | 0.000 | 0.000 | 1.764 | 0.000 | 1.766 |
| 2024 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.482 | 0.134 | 0.000 | 0.000 | 1.616 | 0.000 | 1.618 |
| 2025 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.358 | 0.123 | 0.000 | 0.000 | 1.481 | 0.000 | 1.483 |
| Total: | 0.000 | 0.554 | 0.000 | 0.554 | 55.402 | 4.198 | 0.000 | 0.000 | 59.601 | 0.000 | 60.155 |

Todos os custos são descontados de 12 %

Tabela 10 Custos do órgão rodoviário e dos usuários para a estratégia MANUTEN A

| SEÇÃO: ANEL RODOVIÁRIO - ENTR. CE 251 (EUSÉBIO) D | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------|---------------|--------------------------|---------------------------------|
| CÓDIGO: 040ECE0070D | | | | | | | | | | | |
| EXTENSÃO: 5,31 Km | | | | | | | | | | | |
| Ano | Custos do Órgão Rodoviário (RAC) | | | | Custos do Usuário da Rodovia (RUC) | | | | | Custos Externos Líquidos | Custo Total de Transporte (CTT) |
| | Capital | Recorr. | Especial | Total RAC | Operação de Veículos (MT) | Tempo de Viagem (MT) | Viagens e Operação (NMT) | Acidentes | Total RUC | | |
| 2006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4.410 | 0.261 | 0.000 | 0.000 | 4.671 | 0.000 | 4.671 |
| 2007 | 0.000 | 0.013 | 0.000 | 0.013 | 4.038 | 0.238 | 0.000 | 0.000 | 4.276 | 0.000 | 4.289 |
| 2008 | 0.000 | 0.012 | 0.000 | 0.012 | 3.698 | 0.218 | 0.000 | 0.000 | 3.916 | 0.000 | 3.928 |
| 2009 | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 0.011 | 3.394 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 3.594 | 0.000 | 3.604 |
| 2010 | 0.000 | 0.009 | 0.000 | 0.009 | 3.171 | 0.183 | 0.000 | 0.000 | 3.354 | 0.000 | 3.364 |
| 2011 | 0.316 | 0.011 | 0.000 | 0.327 | 3.027 | 0.171 | 0.000 | 0.000 | 3.198 | 0.000 | 3.525 |
| 2012 | 0.282 | 0.008 | 0.000 | 0.290 | 2.591 | 0.153 | 0.000 | 0.000 | 2.744 | 0.000 | 3.035 |
| 2013 | 0.000 | 0.007 | 0.000 | 0.007 | 2.369 | 0.140 | 0.000 | 0.000 | 2.509 | 0.000 | 2.516 |
| 2014 | 0.000 | 0.006 | 0.000 | 0.006 | 2.168 | 0.128 | 0.000 | 0.000 | 2.297 | 0.000 | 2.303 |
| 2015 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.005 | 1.985 | 0.118 | 0.000 | 0.000 | 2.103 | 0.000 | 2.108 |
| 2016 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.005 | 1.817 | 0.108 | 0.000 | 0.000 | 1.925 | 0.000 | 1.930 |
| 2017 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 1.664 | 0.099 | 0.000 | 0.000 | 1.763 | 0.000 | 1.767 |
| 2018 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 1.523 | 0.090 | 0.000 | 0.000 | 1.614 | 0.000 | 1.618 |
| 2019 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 1.395 | 0.083 | 0.000 | 0.000 | 1.478 | 0.000 | 1.481 |
| 2020 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 1.277 | 0.076 | 0.000 | 0.000 | 1.353 | 0.000 | 1.356 |
| 2021 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 1.169 | 0.069 | 0.000 | 0.000 | 1.239 | 0.000 | 1.242 |
| 2022 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.071 | 0.064 | 0.000 | 0.000 | 1.134 | 0.000 | 1.137 |
| 2023 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.980 | 0.058 | 0.000 | 0.000 | 1.039 | 0.000 | 1.041 |
| 2024 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.898 | 0.053 | 0.000 | 0.000 | 0.951 | 0.000 | 0.953 |
| 2025 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.822 | 0.049 | 0.000 | 0.000 | 0.871 | 0.000 | 0.873 |
| Total: | 0.599 | 0.112 | 0.000 | 0.711 | 43.469 | 2.559 | 0.000 | 0.000 | 46.027 | 0.000 | 46.738 |

Tabela 11 Custos do órgão rodoviário e dos usuários para a estratégia MANUTEN B

| SEÇÃO: ANEL RODOVIÁRIO - ENTR. CE 251 (EUSÉBIO) D | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------|---------------|--------------------------|---------------------------------|
| CÓDIGO: 040ECE0070D | | | | | | | | | | | |
| EXTENSÃO: 5,31 Km | | | | | | | | | | | |
| Ano | Custos do Órgão Rodoviário (RAC) | | | | Custos do Usuário da Rodovia (RUC) | | | | | Custos Externos Líquidos | Custo Total de Transporte (CTT) |
| | Capital | Recorr. | Especial | Total RAC | Operação de Veículos (MT) | Tempo de Viagem (MT) | Viagens e Operação (NMT) | Acidentes | Total RUC | | |
| 2006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4.410 | 0.261 | 0.000 | 0.000 | 4.671 | 0.000 | 4.671 |
| 2007 | 0.000 | 0.013 | 0.000 | 0.013 | 4.038 | 0.238 | 0.000 | 0.000 | 4.276 | 0.000 | 4.289 |
| 2008 | 0.000 | 0.012 | 0.000 | 0.012 | 3.698 | 0.218 | 0.000 | 0.000 | 3.916 | 0.000 | 3.928 |
| 2009 | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 0.011 | 3.394 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 3.594 | 0.000 | 3.604 |
| 2010 | 0.000 | 0.009 | 0.000 | 0.009 | 3.171 | 0.183 | 0.000 | 0.000 | 3.354 | 0.000 | 3.364 |
| 2011 | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.008 | 3.027 | 0.171 | 0.000 | 0.000 | 3.198 | 0.000 | 3.206 |
| 2012 | 0.282 | 0.010 | 0.000 | 0.293 | 2.971 | 0.185 | 0.000 | 0.000 | 3.156 | 0.000 | 3.449 |
| 2013 | 0.252 | 0.007 | 0.000 | 0.259 | 2.480 | 0.141 | 0.000 | 0.000 | 2.621 | 0.000 | 2.880 |
| 2014 | 0.225 | 0.006 | 0.000 | 0.231 | 2.170 | 0.128 | 0.000 | 0.000 | 2.298 | 0.000 | 2.529 |
| 2015 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.005 | 1.985 | 0.118 | 0.000 | 0.000 | 2.102 | 0.000 | 2.108 |
| 2016 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.005 | 1.817 | 0.108 | 0.000 | 0.000 | 1.925 | 0.000 | 1.929 |
| 2017 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 1.663 | 0.099 | 0.000 | 0.000 | 1.762 | 0.000 | 1.766 |
| 2018 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 1.523 | 0.090 | 0.000 | 0.000 | 1.613 | 0.000 | 1.617 |
| 2019 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 1.394 | 0.083 | 0.000 | 0.000 | 1.477 | 0.000 | 1.481 |
| 2020 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 1.277 | 0.076 | 0.000 | 0.000 | 1.352 | 0.000 | 1.356 |
| 2021 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 1.169 | 0.069 | 0.000 | 0.000 | 1.238 | 0.000 | 1.241 |
| 2022 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.070 | 0.064 | 0.000 | 0.000 | 1.134 | 0.000 | 1.136 |
| 2023 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.980 | 0.058 | 0.000 | 0.000 | 1.038 | 0.000 | 1.041 |
| 2024 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.897 | 0.053 | 0.000 | 0.000 | 0.951 | 0.000 | 0.953 |
| 2025 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.822 | 0.049 | 0.000 | 0.000 | 0.871 | 0.000 | 0.873 |
| Total: | 0.760 | 0.112 | 0.000 | 0.872 | 43.956 | 2.592 | 0.000 | 0.000 | 46.548 | 0.000 | 47.420 |

Tabela 12 Custos do órgão rodoviário e dos usuários para a estratégia MANUTEN C

| SEÇÃO: ANEL RODOVIÁRIO - ENTR. CE 251 (EUSÉBIO) D | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------|---------------|--------------------------|---------------------------------|
| CÓDIGO: 040ECE0070D | | | | | | | | | | | |
| EXTENSÃO: 5,31 Km | | | | | | | | | | | |
| Ano | Custos do Órgão Rodoviário (RAC) | | | | Custos do Usuário da Rodovia (RUC) | | | | | Custos Externos Líquidos | Custo Total de Transporte (CTT) |
| | Capital | Recorr. | Especial | Total RAC | Operação de Veículos (MT) | Tempo de Viagem (MT) | Viagens e Operação (NMT) | Acidentes | Total RUC | | |
| 2006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4.410 | 0.261 | 0.000 | 0.000 | 4.671 | 0.000 | 4.671 |
| 2007 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 4.038 | 0.238 | 0.000 | 0.000 | 4.276 | 0.000 | 4.276 |
| 2008 | 0.000 | 0.012 | 0.000 | 0.012 | 3.698 | 0.218 | 0.000 | 0.000 | 3.916 | 0.000 | 3.928 |
| 2009 | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 0.011 | 3.394 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 3.594 | 0.000 | 3.604 |
| 2010 | 0.000 | 0.009 | 0.000 | 0.009 | 3.171 | 0.183 | 0.000 | 0.000 | 3.354 | 0.000 | 3.364 |
| 2011 | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.008 | 3.027 | 0.171 | 0.000 | 0.000 | 3.198 | 0.000 | 3.206 |
| 2012 | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.008 | 2.971 | 0.185 | 0.000 | 0.000 | 3.156 | 0.000 | 3.164 |
| 2013 | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 0.011 | 3.233 | 0.257 | 0.000 | 0.000 | 3.490 | 0.000 | 3.502 |
| 2014 | 0.000 | 0.006 | 0.000 | 0.006 | 3.216 | 0.273 | 0.000 | 0.000 | 3.490 | 0.000 | 3.496 |
| 2015 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.005 | 2.971 | 0.254 | 0.000 | 0.000 | 3.225 | 0.000 | 3.230 |
| 2016 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.005 | 2.741 | 0.236 | 0.000 | 0.000 | 2.976 | 0.000 | 2.981 |
| 2017 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 2.526 | 0.218 | 0.000 | 0.000 | 2.744 | 0.000 | 2.749 |
| 2018 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 2.359 | 0.206 | 0.000 | 0.000 | 2.565 | 0.000 | 2.569 |
| 2019 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 2.245 | 0.201 | 0.000 | 0.000 | 2.446 | 0.000 | 2.450 |
| 2020 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 2.102 | 0.191 | 0.000 | 0.000 | 2.293 | 0.000 | 2.296 |
| 2021 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.003 | 1.926 | 0.175 | 0.000 | 0.000 | 2.101 | 0.000 | 2.103 |
| 2022 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.765 | 0.160 | 0.000 | 0.000 | 1.925 | 0.000 | 1.927 |
| 2023 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.617 | 0.147 | 0.000 | 0.000 | 1.764 | 0.000 | 1.766 |
| 2024 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.482 | 0.134 | 0.000 | 0.000 | 1.616 | 0.000 | 1.618 |
| 2025 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 1.358 | 0.123 | 0.000 | 0.000 | 1.481 | 0.000 | 1.483 |
| Total: | 0.000 | 0.101 | 0.000 | 0.101 | 54.250 | 4.031 | 0.000 | 0.000 | 58.281 | 0.000 | 58.382 |

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O software HDM 4 mostrou ser uma importante ferramenta que permite que se faça uma avaliação técnica da previsão de evolução da irregularidade longitudinal nos trechos em função das estratégias de manutenção adotadas para um determinado projeto ou trecho, auxiliando no planejamento destas intervenções.

Ao gerar relatórios com indicadores econômicos, o HDM 4 possibilita que se determine a forma mais eficiente de aplicação dos recursos disponíveis, analisando as diversas alternativas de manutenção que respondam às necessidades dos usuários, dentro de um planejamento estratégico, garantindo o menor custo para o usuário e o maior Valor Presente Líquido (VPL).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHO, 1962, "The AASHO Road Test: Report 5" – *Pavement research – Special Report 61 E*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

BENEVIDES, S.A. S., CHAVES, F. J, MOTTA, L. M. G. et al., 2004, "Análise do Comportamento da Malha Rodoviária do Estado do Ceará sob Condições de Restrição Orçamentária". In: *35ª Reunião Anual de Pavimentação*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BENEVIDES, S. A. S. (2006), "Modelos de desempenho de Pavimentos Asfálticos Para Um Sistema de Gestão de Rodovias Estaduais do Ceará". Tese de D.Sc., COPPE, Rio de Janeiro, 357 p.

CANADIAN GOOD ROAD ASSOCIATION, 1965, "A Guide to the Structural Design of Flexible and Rigid Pavement". Ottawa, Canada.

HAAS, R., HUDSON, W.R. & ZANIEWSKI, J. (1994), "Modern Pavement Management", Malabar/Florida, Krieger Publishing Company.

KSAIBATI, K., McNAMARA, R. & ARMAGHANI, J., 1998, "A Comparison of Roughness Measurement from Laser and Ultrasonic Road Profilers". In: *Research Report FL/DOT/SMO/98-425*, STATE OF FLORIDA.

MARCON, A.F. (1996) "Contribuição ao Desempenho de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina", Tese de D.Sc. ITA, São José dos Campos, SP, Brasil.

PATERSON, W.D.O. (1987), "Road Deterioration and Maintenance Effects Models for Planning and Management". The World Bank, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.

PETERSON, D.E., 1987, Pavement Management Practices. National Cooperative Research Program. *Synthesis of Highway Practice*, 135. Transportation Research Board, 139 p.