

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS PARA A CIDADE DE MAPUTO

ADELINO FERREIRA

PROFESSOR AUXILIAR, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, UNIVERSIDADE DE COIMBRA, PORTUGAL

VICTOR FONSECA

ENGENHEIRO CIVIL, CONSELHO MUNICIPAL DA CIDADE DE MAPUTO, MOÇAMBIQUE

RESUMO

Neste artigo é descrita a implementação de um Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos para a cidade de Maputo, em Moçambique, com o objectivo de ajudar os engenheiros rodoviários municipais nas suas actividades de gestão da conservação dos pavimentos. A qualidade dos pavimentos é avaliada através do índice PSI (*Present Serviceability Index*), representando o estado do pavimento, determinado em função dos parâmetros irregularidade longitudinal, rodeiras, fendilhamento, pele de crocodilo, covas, peladas, e reparações. O Sistema de Apoio à Decisão utiliza um modelo de programação das acções de conservação e reabilitação baseado num modelo determinístico de previsão da evolução do estado dos pavimentos. Para produzir saídas cartográficas da informação armazenada na Base de Dados Rodoviária e da informação produzida pelo sistema é utilizado um Sistema de Informação Geográfica.

1. INTRODUÇÃO

A partir de 1992, o projecto ROCS - *Roads and Coastal Shipping Project* [1,2,3], financiado em grande parte pelo Banco Mundial, tem contribuído bastante para o desenvolvimento e reabilitação da rede rodoviária de Moçambique (Figura 1). De acordo com a Administração Nacional de Estradas (ANE), anteriormente designada por Direcção Nacional de Estradas e Pontes de Moçambique (DNEP), no âmbito do ROCS I e II foram melhorados mais de 12 mil quilómetros de estradas, aumentando a rede de estradas em condições de circulação de 3 mil para 15 mil quilómetros [4]. Em Setembro de 2002 foi iniciado o novo Programa de Estradas, designado por ROCS III. A ANE, a partir do ano 2000, deixou de se envolver directamente na execução das obras de conservação das estradas urbanas [5]. Nesta nova metodologia de gestão da conservação, a ANE responsabiliza os municípios na contratação dos empreiteiros e

fiscalização das obras nas respectivas áreas de jurisdição, passando a ANE a desempenhar apenas o papel de gestor da rede de estradas nacionais. Os trechos de estradas nacionais que atravessam os centros urbanos continuam a ser da responsabilidade da ANE. Nesta metodologia a ANE produz e apresenta ao Governo sistemas de financiamento de construção e conservação de estradas que passa por uma fórmula de distribuição de recursos financeiros do Fundo de Estradas pelas várias componentes (estradas nacionais, estradas urbanas, caminhos rurais, etc.).

Deste modo, Maputo, assim como outros municípios, necessita desenvolver e implementar eficazes Sistemas de Gestão de Infra-estruturas Rodoviárias. O Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP) desenvolvido para a cidade de Maputo, em Moçambique, tem como objectivo ajudar os engenheiros rodoviários municipais nas suas actividades de gestão da conservação dos pavimentos. A extensão total da rede de estradas da responsabilidade do Conselho Municipal da Cidade de Maputo (CMCM) é de 959 km, correspondendo a 385 km de estradas revestidas e 574 km de estradas não revestidas [6].

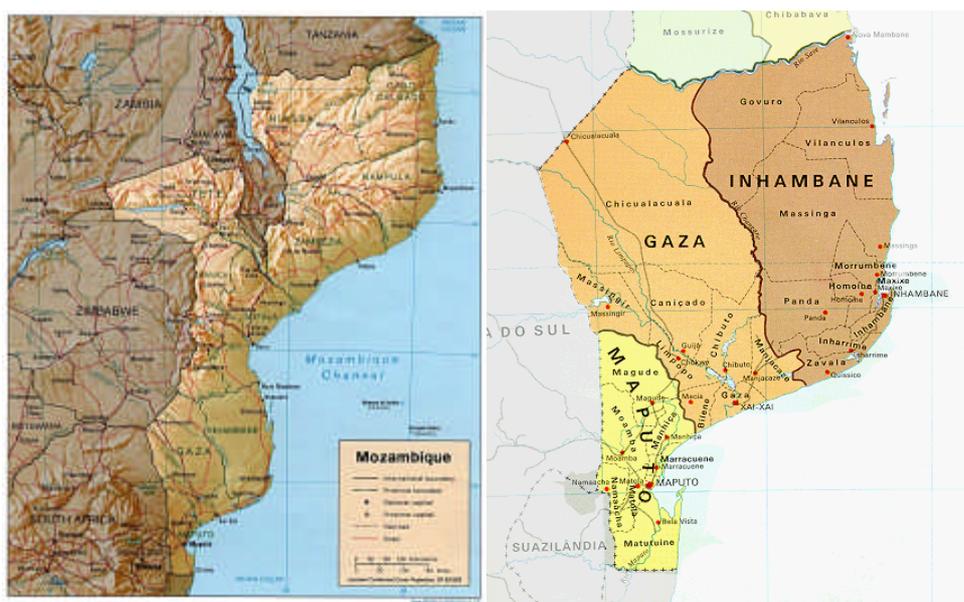


Figura 1 - Mapa de Moçambique e província de Maputo

Considera-se que os trechos duma rede rodoviária apresentam um ciclo da vida, compreendendo duas fases: uma primeira fase que termina com a construção de um determinado trecho rodoviário; uma segunda fase que corresponde à sua conservação durante um determinado período de vida. A primeira fase compreende um certo número de etapas necessárias à sua realização, nomeadamente o Planeamento, o Projecto e a Construção. A segunda fase corresponde a um processo cíclico, *ciclo de gestão da conservação* (Figura 2), o qual engloba, entre outras tarefas, a observação da qualidade dos pavimentos tendo como

referência um catálogo de patologias, a utilização de um SGP que permite definir um plano de conservação, um relatório orçamental e um relatório de qualidade, e a execução das acções de conservação em cada um dos trechos rodoviários. Neste artigo faz-se referência apenas à segunda fase do ciclo de vida dos trechos rodoviários.

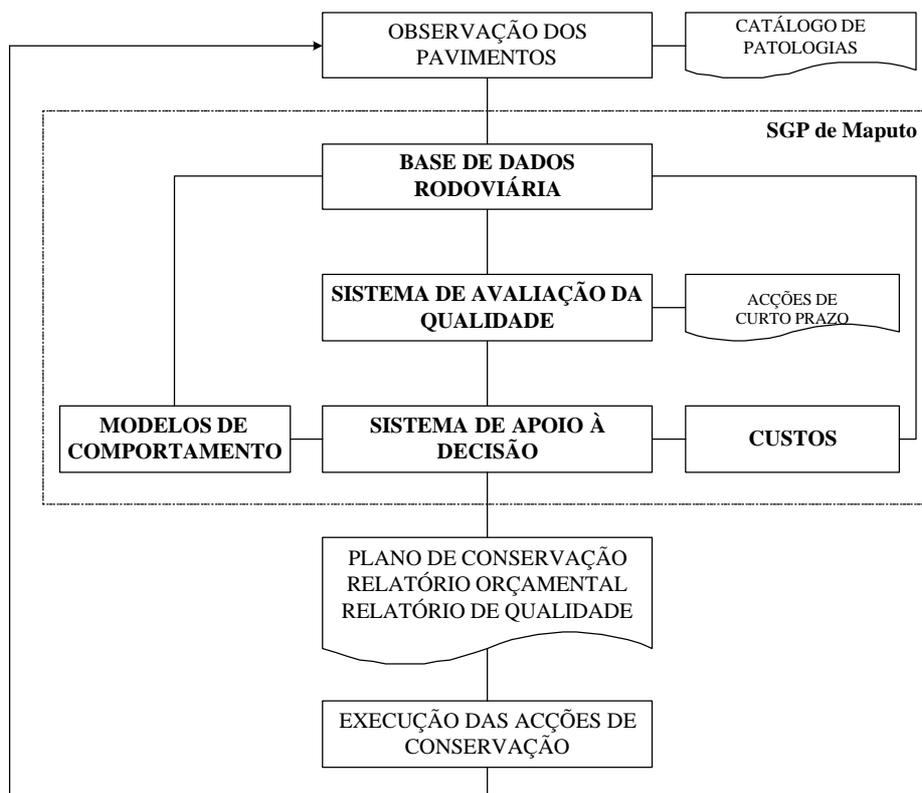


Figura 2 - Ciclo de gestão da conservação de redes rodoviárias

2. BASE DE DADOS RODOVIÁRIA

A definição dos dados a armazenar na Base de Dados Rodoviária (BDR) é uma das tarefas mais importantes, já que a informação recolhida constitui o elemento mais oneroso de qualquer SGP. Os critérios que serviram de base à definição dos grupos de dados foram: a relevância dos dados; a sua fiabilidade; e a facilidade de aquisição. A BDR é constituída pelos seguintes grupos de dados: identificação e referenciação dos trechos rodoviários; classificação das vias; história dos pavimentos; caracterização do tráfego; caracterização das condições climáticas; obras de construção e conservação; acções de conservação; avaliação da qualidade dos trechos; e dados resultantes da aplicação do sistema.

O modelo da rede rodoviária (Figura 3) utiliza um sistema de referenciação do tipo rede com nós como pontos de referência e representa os atributos dos trechos rodoviários através de distâncias à origem.

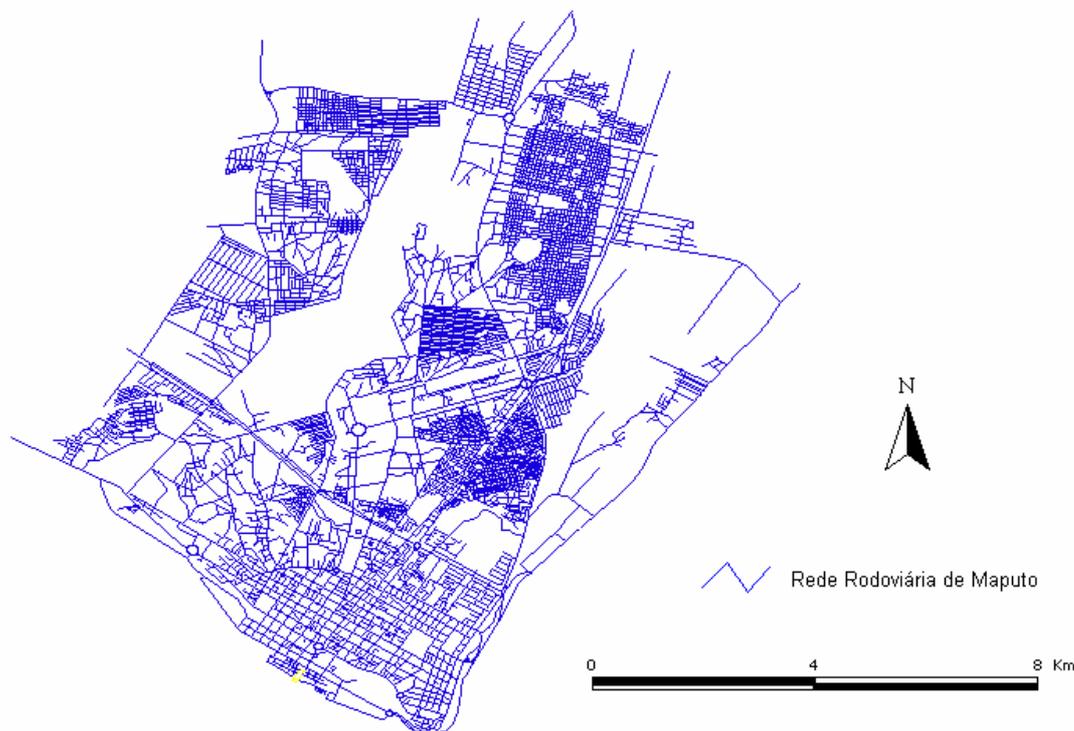


Figura 3 - Rede rodoviária de Maputo

Relativamente aos trechos da rede, como se verificou que muitas das ruas da cidade de Maputo não eram identificadas por nomes, foi recentemente implementado um sistema de identificação e referenciação das estradas de Maputo [7]. De acordo com este sistema, os trechos são definidos pelos respectivos nós extremos, e por um identificador numérico único constituído por 8 dígitos, compreendendo a seguinte informação (exemplo: 2.106.001.1): o primeiro dígito é relativo à área geográfica onde se localiza o trecho (no exemplo, 2 significa Distrito Urbano nº2); os três dígitos seguintes são relativos à estrada (no exemplo, 106 significa estrada número 106, Av. Eduardo Mondlane); os quatro últimos dígitos, apenas utilizados pelo SGP e definidos durante o seu desenvolvimento, referem-se ao número do trecho na estrada (no exemplo, 001 significa trecho n.º 001) e à classe da estrada (no exemplo, 1 significa estrada principal). O identificador único de cada trecho rodoviário torna possível tratar o conjunto da rede e identificar inequivocamente um qualquer trecho em particular.

A recolha dos dados sobre os trechos rodoviários foi efectuada pela equipa do Conselho Municipal da Cidade de Maputo, constituída por 8 pessoas, recorrendo a uma ficha de observação e utilizando o seguinte equipamento: 2 fitas de 30 metros; 2 réguas de 1,5 metros; 2 réguas de 20 centímetros; 2 réguas de 50 centímetros; 2 rodas de medição de distâncias; 8 coletes de segurança; 10 cones de sinalização; e 1 máquina fotográfica digital.

3. SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

A qualidade dos pavimentos é avaliada através do índice PSI (*Present Serviceability Index*), que representa o estado do pavimento, determinado em função dos parâmetros irregularidade longitudinal, rodeiras, fendilhamento, pele de crocodilo, covas, peladas, e reparações. O cálculo do PSI é efectuado através da equação utilizada no Sistema de Gestão de Pavimentos de Lisboa [8], e que foi obtida a partir da equação utilizada no SGP do Nevada DOT [9], a equação (1). Para cada trecho rodoviário é utilizado um programa informático que calcula os valores dos parâmetros de qualidade, incluindo o valor do índice global de qualidade PSI. Este índice global varia entre 0,0 e 5,0, com 0,0 para um pavimento em muito mau estado e 5,0 para um pavimento em muito bom estado. No Quadro 1 apresentam-se os valores dos parâmetros de qualidade, incluindo o valor do PSI, para quatro trechos da rede rodoviária de Maputo.

$$PSI_0 = 5 \cdot e^{-0.000065 \cdot IRI_0} - 0.000535 \cdot R_0^2 - 0.21 \cdot (C_0 + S_0 + Pa_0)^{0.5} \quad (1)$$

onde: IRI_0 é o valor da irregularidade longitudinal do pavimento no ano 0, ano da observação dos pavimentos (mm/km); R_0 é a profundidade média das rodeiras no ano 0 (mm); C_0 é a área com fendilhamento e pele de crocodilo no ano 0 ($m^2/100m^2$); S_0 é a área com desagregação superficial de materiais (covas e peladas) no ano 0 ($m^2/100m^2$); Pa_0 é a área com reparações no ano 0 ($m^2/100m^2$).

4. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO DE CONSERVAÇÃO

O Sistema de Apoio à Decisão (SAD) do SGP de Maputo foi desenvolvido a partir do algoritmo designado por LifeCCAS [10], utilizando um modelo de optimização da conservação e reabilitação da rede rodoviária que permite definir as acções de conservação a aplicar a cada trecho rodoviário em cada ano do período de análise [11,12], sendo constituído pelas seguintes componentes: o objectivo da análise; os dados e os modelos; as restrições; e os resultados. Antes de correr o programa informático LifeCCAS o gestor da rede tem que definir qual o objectivo que pretende utilizar para a definição das acções de conservação e reabilitação dos pavimentos da rede, carregar os dados sobre os pavimentos da rede, escolher os modelos a utilizar e definir quais as restrições que pretende que sejam verificadas.

No SGP de Maputo, o programa LifeCCAS utiliza o modelo de comportamento dos pavimentos definido pela equação (2), que é o modelo utilizado no método de dimensionamento de pavimentos flexíveis da AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials* [13]. Este método de dimensionamento de

pavimentos é o mais utilizado na América do Norte e é provavelmente uns dos mais utilizados a nível mundial [14]. O programa também utiliza as equações (3), (4), (5) e (6) para calcular o número estrutural dos pavimentos, o valor dos custos de operação dos veículos, o valor residual dos pavimentos e o número acumulado de eixos padrão de 80 kN, respectivamente.

$$\log_{10}(N_{80_t}^{Dim}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN_t + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI_t}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN_t + 1)^{5.19}}} + \quad (2)$$

$$+ 2.32 \times \log_{10}(M_{R_t}) - 8.07$$

$$SN_t = \sum_{n=1}^N H_{nt} \cdot C_n^e \cdot C_n^d \quad (3)$$

$$COV_t = 0.39904 - 0.03871 \cdot PSI_t + 0.00709 \cdot PSI_t^2 - 0.00042 \cdot PSI_t^3 \quad (4)$$

$$V_{T+1} = C_{rehab} \cdot \frac{PSI_{T+1} - 2.5}{PSI_{rehab} - 2.5} \quad (5)$$

$$N_{80_t}^{Dim} = 365 \cdot TMDA_p \cdot \frac{(1+tc)^{Y_t} - 1}{tc} \cdot \mathbf{a} \quad (6)$$

onde: $N_{80_t}^{Dim}$ é o número acumulado de eixos padrão de 80 kN no ano t e na via mais solicitada, desde a construção ou da última reabilitação; Z_R é o desvio padrão; S_0 é o erro padrão combinado relativo à previsão do tráfego e desempenho dos pavimentos; SN_t é o número estrutural do pavimento no ano t ; ΔPSI_t é a diferença entre o valor do PSI no ano da construção ou da última reabilitação e o PSI no ano t ; M_R é o módulo de deformabilidade do solo de fundação; H_{nt} é a espessura da camada n no ano t (mm); C_n^e é o coeficiente estrutural da camada n ; C_n^d é o coeficiente de drenagem da camada n ; COV_t são os custos de operação dos veículos no ano t (€/km/veículo); PSI_t é o índice de qualidade do pavimento no ano t ; V_{T+1} é o valor residual do pavimento no ano $T+1$; C_{rehab} é o custo da última acção de reabilitação aplicada ao pavimento; PSI_{T+1} é o valor do PSI do pavimento no ano $T+1$; PSI_{rehab} é o valor do PSI posterior à aplicação da última acção de reabilitação aplicada ao pavimento; $TMDA_p$ é o tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura ou no ano seguinte à última reabilitação, por sentido e na via mais solicitada; tc é a taxa média de crescimento anual do tráfego pesado; Y_t é a idade do pavimento desde a construção ou da última reabilitação (anos); \mathbf{a} é o factor de agressividade do tráfego.

5. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE PAVIMENTOS

O SGP foi aplicado no planeamento da conservação de parte da rede rodoviária de Maputo, em Moçambique, correspondente à rede principal, para um período de análise de 20 anos, de modo a não deixar baixar a qualidade de cada trecho rodoviário para valores inferiores a um determinado nível mínimo de qualidade (NMQ) definido pelo gestor da rede rodoviária.

Com o objectivo de se analisarem os resultados da aplicação do SGP foram escolhidos quatro trechos rodoviários tendo em conta quatro estados de conservação diferentes no ano inicial. No Quadro 1 apresentam-se os atributos desses quatro trechos rodoviários, nomeadamente os valores da geometria e estrutura dos pavimentos, do tráfego e dos parâmetros de qualidade.

Seguidamente apresentam-se três soluções de conservação dos pavimentos, correspondentes a três estratégias de conservação diferentes definidas pelo gestor da rede. Como NMQ foi considerado o valor 2,5 para o parâmetro designado por PSI. A primeira solução, designada por solução inicial, é definida apenas pelo NMQ em termos de PSI. Ou seja, quando determinado pavimento atinge um valor de PSI de 2,5 é activada uma determinada intervenção correctiva de conservação. Esta solução é definida com base numa política correctiva das patologias dos pavimentos e não numa política preventiva, mais adequada a médio/longo prazo.

Quadro 1 - Atributos dos trechos rodoviários

Atributos	Trechos			
	84	10	69	197
	Av. das FPLM	Av. 25 de Setembro	Av. 24 de Julho	Av. Julius Nyerere
Trecho_ID	4.004.005.2	1.028.001.2	2.002.001.2	1.023.012.2
Classe_via	Dist. principal	Dist. principal	Dist. principal	Dist. principal
Comprimento (m)	1361,00	867,00	876,00	341,00
Largura (m)	9,40	24,00	9,00	8,00
CBR_leito_pavimento	23	23	23	23
Esp._camadas_ligadas (m)	0,20	0,20	0,20	0,20
Número_estrutural	3,98	3,98	3,98	3,98
Idade (anos)	4	4	4	4
TMDA	14135	18150	15636	16913
TMDA_pesados	935	550	896	275
Taxa_crescimento	6,00	6,00	6,00	6,00
Factor_agressividade_tráfego	5,00	4,50	5,00	3,00
Perc_Fendilhamento (%)	64,70	46,38	0,00	0,00
Perc_PeleCrocodilo (%)	6,88	1,04	0,00	0,00
Perc_Covas (%)	0,41	0,02	0,01	0,00
Perc_PerdaMatSuperficial (%)	0,31	0,23	1,58	0,00
Perc_Reparações (%)	0,31	2,13	0,00	0,00
Prof_Média_Rodeiras (mm)	35,14	10,00	30,00	00,00
IRI (mm/km)	5500	3500	3500	3500
PSI	1,05	2,45	3,24	3,98

A segunda solução, designada por solução final otimizada pela minimização dos custos de conservação, é determinada pelo SAD tendo como objectivo minimizar os custos de conservação dos pavimentos de toda a rede rodoviária durante o período de análise de 20 anos. A terceira solução, designada por solução final otimizada pela minimização dos custos totais, é determinada pelo SAD considerando, além dos custos de conservação, também os custos de operação dos veículos e o valor residual dos pavimentos. Nas duas últimas soluções de conservação são definidas intervenção preventivas originando menores custos durante o período de análise.

No Quadro 2 estão representadas as intervenções de conservação a aplicar nos quatro trechos rodoviários referidos anteriormente, para cada uma das estratégias de conservação, correspondendo a definir as intervenções pelo NMQ, pela minimização dos custos de conservação e pela minimização dos custos totais, respectivamente.

Na Figura 4 está representada a evolução do índice PSI ao longo dos anos para o trecho 197, que faz parte da Av. Julius Nyerere, podendo ser feito o mesmo para cada um dos restantes trechos. Para este trecho, que se encontra em bom estado ($PSI = 3,98$), considerando a solução inicial, aparece a intervenção 2 (colocação de uma membrana anti-propagação de fendas + aplicação de 5 cm de betão betuminoso em camada de desgaste) no décimo nono ano correspondendo a uma intervenção correctiva devido ao PSI ter atingido um valor inferior a 2,5 (Quadro 2 e Figura 4).

Quadro 2 – Intervenções de conservação para o período de análise de 20 anos

Intervenções definidas apenas pelo NMQ

Trecho	PSI ₀	Ano																			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
84	1,05	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
10	2,45	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
69	3,24	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
197	3,98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

Intervenções definidas pela minimização dos custos de conservação

Trecho	PSI ₀	Ano																			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
84	1,05	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
10	2,45	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
69	3,24	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
197	3,98	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

Intervenções definidas pela minimização dos custos totais

Trecho	PSI ₀	Ano																			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
84	1,05	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
10	2,45	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
69	3,24	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1
197	3,98	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

Legenda:

1 - Conservação corrente

- 2 - Colocação de uma membrana anti-propagação de fendas + aplicação de 5 cm de betão betuminoso
- 3 - Aplicação de 10 cm de betão betuminoso

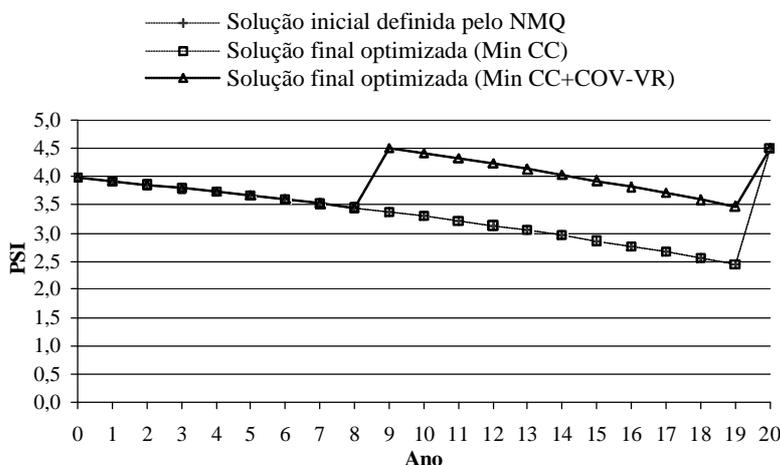


Figura 4 - Evolução do PSI para o trecho número 197

Em termos de custos, para um período de análise de 20 anos, resulta um custo de conservação de 14701,8 € um custo de operação dos veículos de 19287539,0 e um valor residual do pavimento de 35011,7 €. Verifica-se que a mesma solução foi obtida pela minimização dos custos de conservação. Considerando a solução final otimizada pela minimização dos custos totais, aparece a intervenção 2 no oitavo e décimo nono anos correspondendo a duas intervenções preventivas (Quadro 2 e Figura 4). Em termos de custos, para um período de análise de 20 anos, resulta um custo de conservação de 32243,5 €, um custo de operação dos veículos de 19106576,5 e um valor residual do pavimento de 37049,4 €. Em termos de custos totais estes passam de 19267229,1 € (solução inicial) para 19101770,6 € (solução final otimizada pela minimização dos custos totais), ou seja há uma redução de 165458,5 €. Ou seja, gasta-se mais 17541,7 € em conservação do trecho rodoviário número 197 mas poupa-se 180962,5 € em operação dos veículos que circulam neste trecho e ganha-se 2037,7 € no valor residual do pavimento no fim do período de análise.

6. CONCLUSÕES

Como se pode constatar anteriormente, a adopção de uma estratégia de conservação preventiva dos trechos rodoviários, em detrimento de uma estratégia de conservação correctiva, permite reduzir os custos totais, isto é, a soma dos custos de conservação e dos custos de operação dos veículos, subtraindo o valor residual do pavimento. Esta é a maneira mais eficaz de utilizar os escassos meios financeiros disponíveis para a conservação e reabilitação de redes rodoviárias.

O SGP de Maputo já constitui um primeiro passo na criação de uma ferramenta que permita ajudar os Engenheiros Rodoviários a tomar as decisões de conservação da rede rodoviária. O

sistema será continuamente ajustado às necessidades do Município de Maputo no que respeita a novas estratégias de conservação da rede rodoviária.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia o apoio financeiro disponibilizado através do Projecto POCTI/ECM/46461/2002 - “A Deterministic Segment-Linked Pavement Management System”, participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DNEP – “Projecto *ROCS - Roads and Coastal Shipping Project* - Relatório de Avaliação Anual”. Direcção Nacional de estradas e Pontes. Maputo, Moçambique, 1998.
- [2] DNEP – “Política e Estratégia de Estradas”. Direcção Nacional de estradas e Pontes. Maputo, Moçambique, 1998.
- [3] DNEP – “Estradas de Moçambique em 1998 - Condições das Estradas Públicas”. Relatório Interino. Direcção Nacional de estradas e Pontes. Maputo, Moçambique, 1999.
- [4] ANE - “Lançamento do Terceiro Programa de Estradas”. Administração Nacional de Estradas. Maputo, Moçambique, 2002.
- [5] Câmara de Comércio Portugal Moçambique - "Concebido novo Esquema para Manutenção das Estradas Urbanas". Boletim Informativo N.º 64, Dezembro de 2000.
- [6] JICA - “Estudo Sobre Plano Director e Estudo de Viabilidade para o Desenvolvimento de Estradas da Cidade de Maputo na República de Moçambique”. Relatório Final. Agência Japan International Cooperation Agency e Conselho Municipal de Maputo. Maputo, Moçambique, 2001.
- [7] Sivilia, G. - “Guia das Vias - Endereçamento da Cidade de Maputo”. Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle. Maputo, Moçambique, 1997.
- [8] Picado-Santos, L., Ferreira, A., Antunes, A., Carvalheira, C., Santos, B., Bicho, M. H., Quadrado, I., Silvestre, S. - "The Pavement Management System for Lisbon", *Municipal Engineer*, Institution of Civil Engineers, Vol. 157, Issue ME3. 2004. 157-165.
- [9] Sebaaly, P. E., Hand, A., Epps, J. e Bosch, C. - "Nevada's Approach to Pavement Management". *Transportation Research Record*, Vol. 1524. 1996. 109-117.
- [10] Ferreira, A. and Flintsch, G. - "Life-Cycle Cost Analysis System for Infrastructure Management", *Proceedings of the ICCES04 - International Conference on Computational and Experimental Engineering and Sciences*. Madeira, Portugal. 2004. Vol. 1, 6 páginas.
- [11] Ferreira, A., Picado-Santos, L. - "La Gestión de la Calidad de las Redes Viarias: Estado Actual de Conocimientos y Desarrollos Futuros". *Revista Carreteras*, Asociación Española de la Carretera, N.º 134. 2004. 74-92.
- [12] Ferreira, A., Picado-Santos, L. and Antunes, A. - "A Segment-Linked Optimization Model for Deterministic Pavement Management Systems". *The International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 3 (2). 2002. 95-105.
- [13] AASHTO – “Guide for Design of Pavement Structures”, American Association of State Highway and Transportation Officials. USA. 1996.
- [14] C-SHRP – “Pavement Structural Design Practices Across Canada”, C-SHRP Technical Brief #23, Canadian Strategic Highway Research Program. Canada. 2002.