

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS PARA O MUNICÍPIO DE OLIVEIRA DO HOSPITAL

SUSANA MENESES

ASSISTENTE, ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO DE OLIVEIRA DO HOSPITAL, INSTITUTO POLITÉCNICO DE COIMBRA

ADELINO FERREIRA

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

RESUMO

Neste artigo é descrita a implementação de um Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos para a cidade de Oliveira do Hospital. 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 implementação do Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos para a cidade de Oliveira do Hospital tem como objectivo ajudar os engenheiros rodoviários municipais nas suas actividades de gestão da conservação dos pavimentos. O sistema inclui as seguintes componentes: Base de Dados Rodoviária; Sistema de Avaliação da Qualidade dos pavimentos; Sistema de Custos; Modelos de Previsão do Comportamento dos pavimentos; Sistema de Apoio à Decisão de programação das acções de conservação (Figura 1).

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 (SAD) 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.

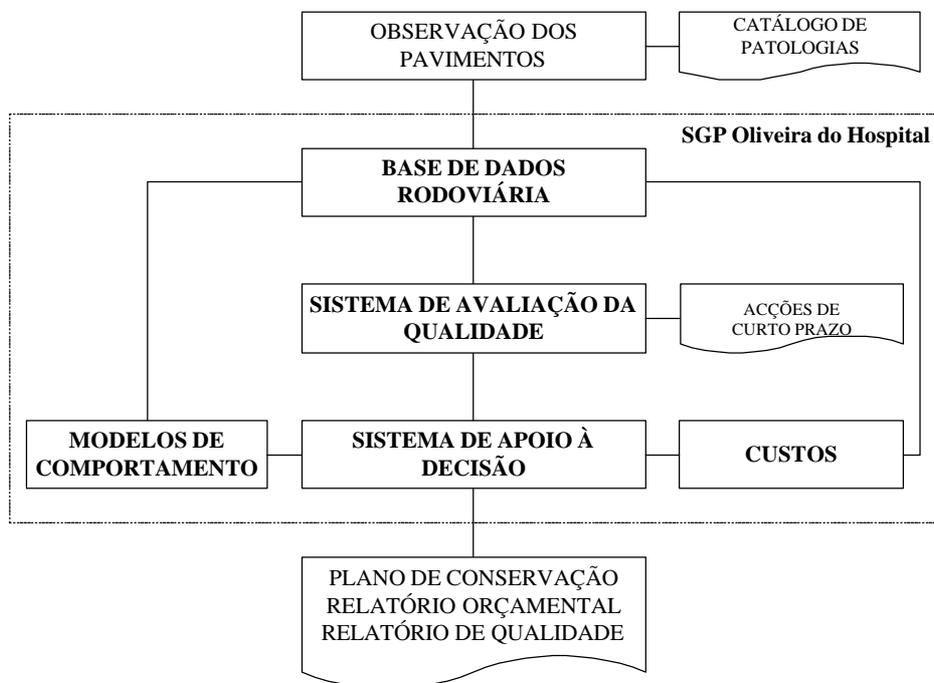


Figura 1 – Estrutura do Sistema de Gestão de Pavimentos

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 Sistema de Gestão de Pavimentos (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. A auscultação dos pavimentos foi efectuada recorrendo a uma ficha de observação (Figura 2) e utilizando o seguinte equipamento: 1 fita de 30 metros; 1 régua de 1,5 metros; 1 régua de 20 centímetros; 1 roda de medição de distâncias; e 1 máquina fotográfica digital [1].

Nome do observador:			Trecho n.º:			Data da observação:/...../.....						
Estrada:			Data de construção:/...../.....			Estrutura do pavimento:			Material		Espessura (m)	
Classe da estrada:			Data da última reabilitação:/...../.....						Desgaste			
Classe de tráfego:			TMDA:		TMDAp:				Regularização			
Comprimento médio do trecho:									Base			
Largura média do trecho:									Sub-base			
									Leito do pav.		CBR= %	

Distância (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Fendilhamento											
Pele de crocodilo											
Covas											
Peladas											
Def. localizadas											
Rodeiras											
Reparações											
Irregularidade											
Aderência											

Figura 2 - Ficha de observação dos pavimentos

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 [2,3,4], e que foi obtida a partir da equação utilizada no SGP do Nevada DOT [5], 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. De acordo com a experiência na utilização deste índice, verifica-se que um pavimento novo dificilmente ultrapassa o valor 4,6. Por outro lado, não é geralmente aceite que os pavimentos atinjam valores inferiores a 2,5 por se considerar que não apresentam qualidade suficiente para a circulação dos veículos em condições de segurança e conforto.

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

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 ($m^2/100m^2$).

Na Figura 3 pode ver-se um mapa com a avaliação da qualidade dos pavimentos da rede rodoviária do Município de Oliveira do Hospital. Em cada trecho rodoviário que foi observado é representado o valor do parâmetro de qualidade PSI. No Quadro 1 apresentam-se os valores dos parâmetros de qualidade, incluindo o valor do PSI, para quatro trechos da rede rodoviária de Oliveira do Hospital.

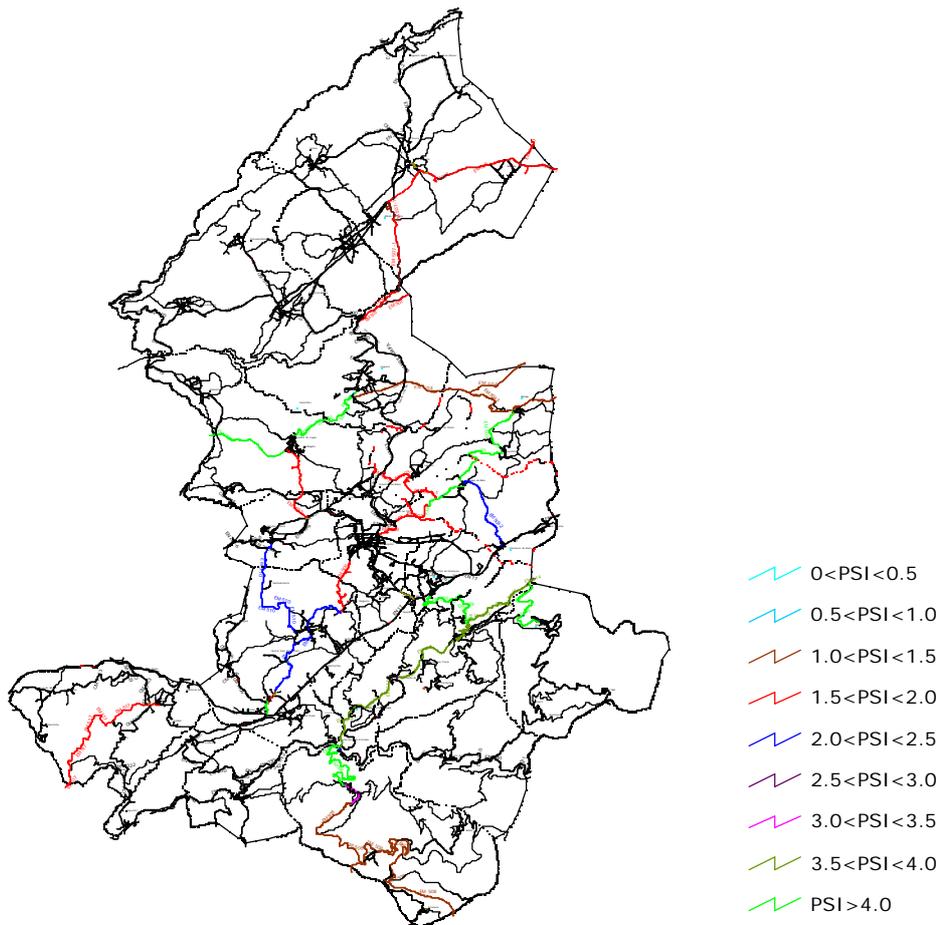


Figura 3 - Avaliação do estado superficial dos pavimentos betuminosos

4. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO DE CONSERVAÇÃO

O Sistema de Apoio à Decisão (SAD) é constituído pelas componentes apresentadas na Figura 4: o objectivo da análise; os dados e os modelos; as restrições; e os resultados. Antes de correr o programa informático correspondente ao SAD 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. Este SAD utiliza 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 [6,7,8].

O SAD 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* [9]. Este método de dimensionamento de pavimentos é o mais utilizado na América do Norte e é provavelmente uns dos mais utilizados a nível mundial [10].

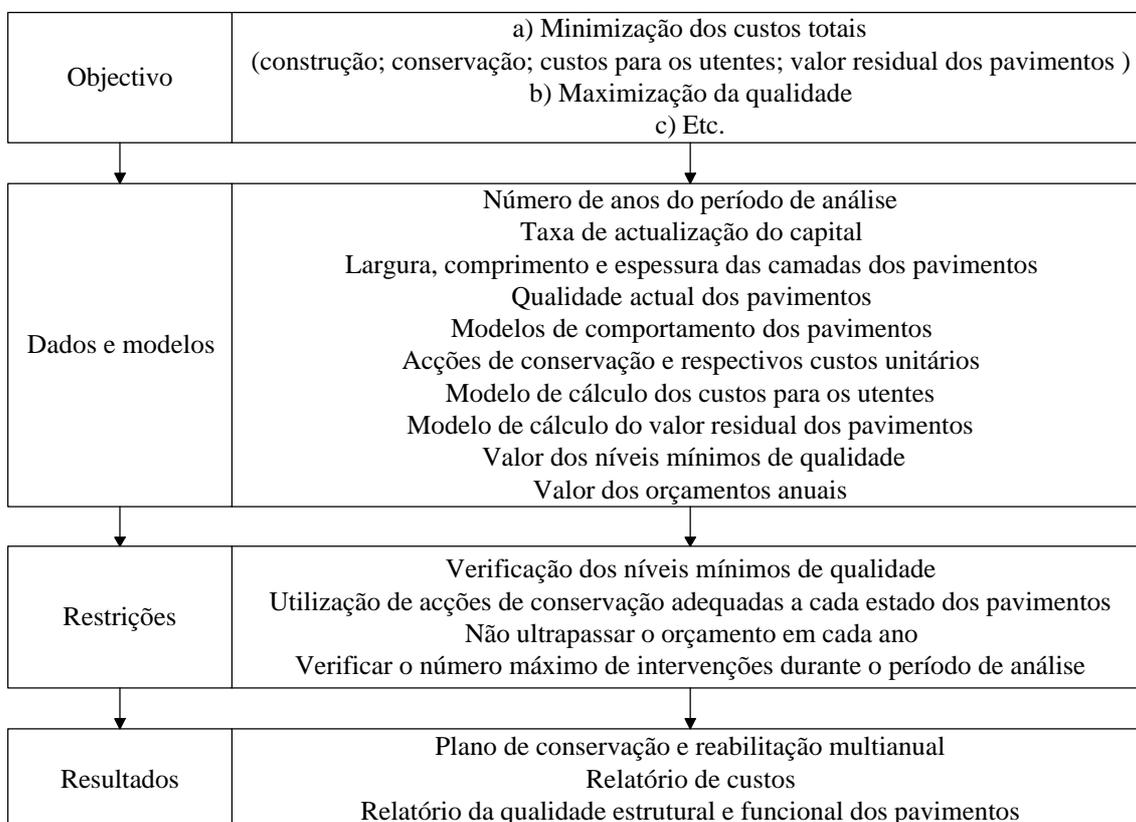


Figura 4 – Componentes do Sistema de Apoio à Decisão

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

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

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

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

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

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

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 e é obtido através da equação (3); 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 (*Present Serviceability Index*) no ano t ; V_{T+1} é o valor residual do pavimento no ano $T+1$; C_{rehab} é o custo da última ação 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 ação 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 SGP

O SGP foi aplicado no planeamento da conservação de parte da rede rodoviária de Oliveira do Hospital. A informação necessária para correr esta aplicação foi extraída da Base de Dados Rodoviária que entretanto foi constituída. Como nível mínimo de qualidade (NMQ) foi considerado o valor 2,5 para o parâmetro designado por PSI.

Nos gráficos seguintes apresentam-se três soluções de conservação dos pavimentos. A primeira solução, designada por solução inicial, é definida apenas pelo nível mínimo de qualidade 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. 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 intervenções preventivas originando menores custos durante o período de análise.

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. 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 5 está representada a evolução do índice PSI ao longo dos anos para um trecho pertencente à Estrada Municipal 504, podendo ser feito o mesmo para cada um dos restantes trechos. Para este trecho, que se encontra em mau estado ($PSI = 1,40$), 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) logo no ano 0 correspondendo a uma intervenção correctiva devido ao PSI ser inferior a 2,5 (Quadro 2 e Figura 5).

Em termos de custos, para um período de análise de 20 anos, resulta um custo de conservação de 226682,4 €, um custo de operação dos veículos de 33483753,7 e um valor residual de 110921,0 €. Verifica-se que a mesma solução foi obtida pela minimização dos custos de conservação. Isto acontece porque o tráfego é reduzido, fazendo com que a curva de evolução do PSI não volte a atingir o NMQ. Considerando a solução final otimizada pela minimização dos custos totais, aparece a intervenção 2 nos anos 0 e 19 correspondendo a primeira a uma intervenção correctiva e a segunda a uma intervenção preventiva (Quadro 2 e Figura 5).

Quadro 1 - Atributos dos trechos rodoviários

Atributos	Trechos			
	EM 506	EM 508	EM 509	EM 504
Trecho_ID	3015060016	3025080001	3055090011	3015040006
Classe_via	Dist. local	Dist. local	Dist. local	Dist. local
Comprimento (m)	400,00	3300,00	3100,00	5100,00
Largura (m)	5,00	5,00	5,00	5,00
CBR_leito_pavimento	20	20	20	20
Esp._camadas_ligadas (m)	0,26	0,26	0,28	0,28
Número_estrutural	2,14	2,14	2,54	2,54
Idade (anos)	1	2	15	8
TMDA	500	300	1500	3000
TMDA_pesados	100	50	200	300
Taxa_crescimento	0,02	0,02	0,02	0,02
Factor_agressividade_tráfego	2,00	2,00	2,00	3,00
Perc_Fendilhamento (%)	0,00	0,00	21,00	3,92
Perc_PeleCrocodilo (%)	0,00	0,00	0,00	70,59
Perc_Covas (%)	0,00	0,00	20,00	28,00
Perc_PerdaMatSuperficial (%)	0,00	0,00	22,00	71,00
Perc_Reparações (%)	0,00	0,00	0,00	50,00
Prof_Média_Rodeiras (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00
Perc_Fendilhamento (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
IRI (mm/km)	2000	5500	3500	5500
PSI	4,39	3,50	2,32	1,40

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
EM 506	4,39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EM 508	3,50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EM 509	2,32	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EM 504	1,40	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

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
EM 506	4,39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EM 508	3,50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EM 509	2,32	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EM 504	1,40	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

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
EM 506	4,39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EM 508	3,50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1

EM 509	2,32	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EM 504	1,40	2	1	1	1	1	1	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 betão betuminoso (5 cm)

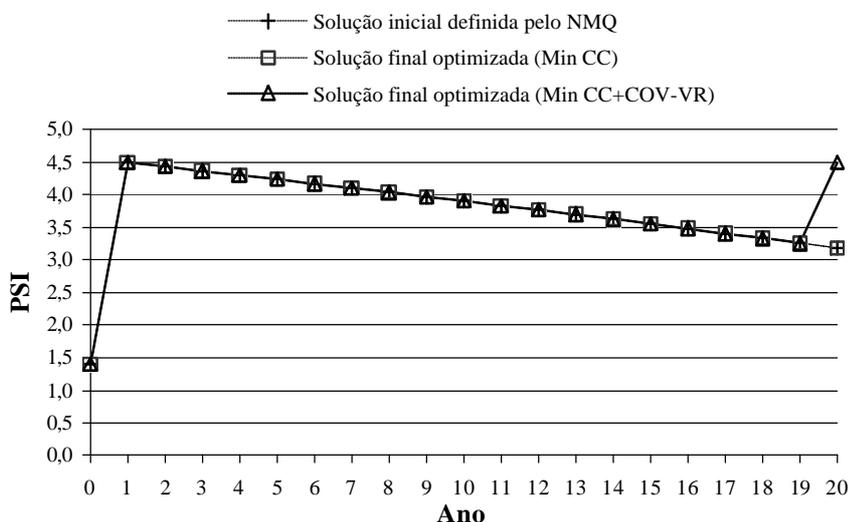


Figura 5 - Evolução do PSI para o trecho 3015040006 da EM 504

Em termos de custos, para um período de análise de 20 anos, resulta um custo de conservação de 345138,5 €, um custo de operação dos veículos de 33470661,7 e um valor residual de 346319,8 €. Em termos de custos totais estes passam de 33599515,1 € (solução inicial) para 33469480,4 € (solução final otimizada pela minimização dos custos totais), ou seja há uma redução de 130034,7 €. Ou seja, gasta-se mais 118456,1 € em conservação deste trecho mas poupa-se 13092,0 € em operação dos veículos que circulam neste trecho e ganha-se 235398,8 € no valor residual do pavimento no fim do período de análise.

6. CONCLUSÕES

Este Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos constitui uma ferramenta de ajuda aos Engenheiros Rodoviários na tomada de decisões de conservação dos pavimentos. O sistema será posteriormente aplicado a toda a rede rodoviária de Oliveira do Hospital. No futuro poderão ser efectuadas algumas modificações ao sistema de modo a corresponder melhor às necessidades da Câmara Municipal de Oliveira do Hospital.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste estudo 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] Menezes, S. - "Implementação de um Sistema de Gestão de Pavimentos Rodoviários para o Município de Oliveira do Hospital". Versão não definitiva da tese de Mestrado em Engenharia Urbana. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 2004.
- [2] 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.
- [3] Santos, B., Picado-Santos, L., Antunes, A., Ferreira, A., Carvalheira, C., Bicho, M. H., Quadrado, I., Silvestre, S. - "Desenvolvimento dum Base de Dados como Instrumento dum Sistema de Gestão dum Rede Rodoviária Urbana", *2.º Congresso Rodoviário Português*, Vol. I, LNEC, Lisboa, Portugal. 2002. 12 páginas.
- [4] Ferreira, A., Picado-Santos, L., Antunes, A. and Pereira, P. - "A Deterministic Optimization Model Proposed for Lisbon's PMS", *Proceedings of the Third International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control*, Guimarães, Portugal. 2003. 11 páginas.
- [5] Sebaaly, P. E., Hand, A., Epps, J. e Bosch, C. - "Nevada's Approach to Pavement Management". *Transportation Research Record*, Vol. 1524. 1996. 109-117.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] AASHTO – “Guide for Design of Pavement Structures”, American Association of State Highway and Transportation Officials. USA. 1996.

[10] C-SHRP – “Pavement Structural Design Practices Across Canada”, C-SHRP Technical Brief #23, Canadian Strategic Highway Research Program. Canada. 2002.