

## SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS DO CONSÓRCIO UNIVIAS

Luis Eduardo Paiva Severo<sup>1</sup>  
Paulo Ruwer<sup>1</sup>  
Fernando Pugliero Gonçalves<sup>2</sup>  
Régis Martins Rodrigues<sup>3</sup>  
Jorge Augusto Ceratti<sup>4</sup>

### Resumo

Este trabalho apresenta as características principais que constituem a base técnica do Sistema de Gerência de Pavimentos do Consórcio Univias. A estrutura da base de dados adotada é mostrada junto com os procedimentos que foram definidos para o monitoramento da rede pavimentada. São discutidas as principais aplicações práticas que vêm sendo dadas e que se pretende dar no futuro aos diversos recursos do sistema. É enfatizada a diferenciação que foi estabelecida entre a alocação de recursos em nível de rede e as decisões de projeto. Estas últimas fazem uso de modelos mecanístico-empíricos mais adequados ao dimensionamento estrutural que os modelos de previsão de desempenho em nível de rede, os quais foram calibrados experimentalmente para as próprias condições existentes nas diversas rodovias que compõem a rede.

<sup>1</sup> – **Consórcio Univias**: Av. Amazonas, 576 CEP 90240-541 – Porto Alegre/RS, Fone: 51 3326 2626 – [paulo.eng@univias.com.br](mailto:paulo.eng@univias.com.br)

<sup>2</sup> – **Pavesys Engenharia Ltda**: Av. João Pessoa 1375/603 – Porto Alegre/RS, Fone: 51 3212 5927 – [pugliero@pavesys.com.br](mailto:pugliero@pavesys.com.br)

<sup>3</sup> – **Instituto Tecnológico de Aeronáutica**: Praça Mal. Eduardo Gomes, Vila das Acácias – São José dos Campos/SP, Fone: 12 3947 6804 – [regis@infra.ita.br](mailto:regis@infra.ita.br)

<sup>4</sup> – **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**: Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º Andar – CEP 90035-190 – Porto Alegre/RS, Fone: 51 3316 3590.

## 1. Introdução

O Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) do Consórcio Univias possui a característica básica de ser uma ferramenta multi-usuário. O SGP permite aos diferentes níveis da administração das empresas concessionárias (Sulvias, Convias e Metrovias) a obtenção de sínteses da condição e das necessidades atuais de manutenção da rede ou de uma sub-rede (Pólo ou Trecho) em um dado momento, ou efetuar previsões acerca do futuro (análises de conseqüências), além de elaborar todo um Plano Plurianual de Investimentos, abrangendo até o final do período de análise ou parte dele. O SGP fornece informações úteis para projetistas, engenheiros de materiais e pessoal ligado aos serviços de conservação.

O objetivo central do SGP Univias é o de manter e até elevar o nível de serviço dos pavimentos para o usuário, dentro do que é requerido pelo contrato da concessão e de modo a minimizar os custos de manutenção para a concessionária. Isto significa a busca por uma alocação de recursos eficaz, além de se evitar custos de manutenção extraordinários, os problemas associados com equipes de conservação trabalhando constantemente com soluções tipo "band-aid", e os problemas trazidos para o usuário por interrupções e atrasos. Para tanto, o SGP persegue a implementação das soluções de maior custo-eficácia cuja aplicação seja possível, tomando por base conceitos e ferramentas da Engenharia de Pavimentos, tais como:

- Diagnóstico baseado nos tipos, extensão e severidade dos defeitos, idade e estrutura do pavimento, e tráfego atuante;
- Modelos de previsão de desempenho para pavimentos e para técnicas de conservação e de restauração;
- Coerência completa entre o que é requerido pelos modelos aplicáveis em nível de projeto e os modelos utilizados em nível de rede.

## 2. Etapas da Implementação do SGP

O SGP Univias foi estruturado em dois grandes níveis: (a) SGP em nível de rede e; (b) SGP em nível de projeto. Os programas utilizados possuem sua utilização facilitada pelo fato de utilizarem a plataforma Microsoft Windows. As seguintes etapas foram definidas na fase de implementação do SGP:

- Concepção e especificação do sistema para as características da rede;
- Organização dos dados iniciais que serão inseridos no sistema;
- Programação computacional;
- Depuração e inserção dos dados no sistema;
- Execução de aplicações-teste com o sistema e análise crítica dos seus resultados;
- Implantação do sistema no Consórcio Univias, incluindo treinamento dos usuários.

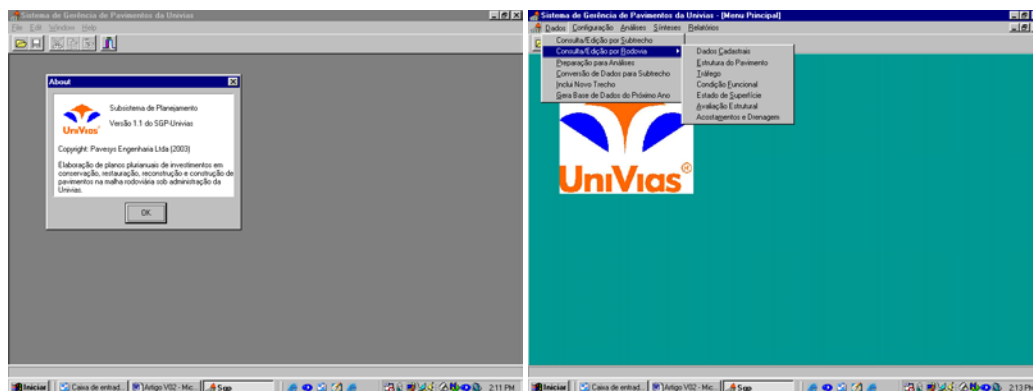
## 3. Organização dos Dados

Quanto à sua natureza, são os seguintes os dados que integram o Banco de Dados do SGP Univias:

- Cadastro da rodovia: número e largura das faixas de tráfego, largura dos acostamentos e faixas de segurança, geometria vertical (plana, ondulada ou montanhosa) e geometria horizontal (em tangente, sinuosa ou em curvas fechadas), existência ou não de pontos negros quanto à frequência de acidentes, velocidade média operacional dos veículos de carga (ou velocidade máxima permitida) e localização dos principais entroncamentos e acessos;

- Estrutura do Pavimento Existente: natureza, espessura e ano de construção de cada uma das camadas da estrutura, junto com informações de projeto disponíveis (caracterização geotécnica de solos, resistência de misturas asfálticas e de materiais cimentados, etc);
- Condições Ambientais: informações quanto a possíveis problemas associados a drenagem superficial ou profunda inadequada, presença de cortes ou aterros, temperaturas médias mensais do ar ao longo de um ano típico;
- Tráfego: contagem classificatória e volumétrica dos veículos, com pesagens (se houver) ao longo dos últimos anos;
- Histórico de Manutenção: data e natureza das intervenções de conservação e de restauração aplicadas aos pavimentos (se possível, com quantitativos e custos);
- Avaliação Estrutural: resultados de levantamentos deflectométricos (FWD ou viga Benkelman) e ensaios de laboratório nos materiais das camadas;
- Avaliação Funcional: irregularidade longitudinal (QI ou IRI), atrito (resistência à derrapagem em pista molhada), conceito qualitativo (PSR);
- Estado de Superfície: natureza, extensão e severidade dos principais defeitos de superfície (trincas, afundamentos em trilha de roda, ondulações, remendos, panelas, exsudação, bombeamento de finos, desgaste, etc);
- Custos Unitários: de materiais e de serviços para conservação ou restauração de pavimentos, conforme vêm sendo praticados pela Concessionária com seus fornecedores.

As informações iniciais foram utilizadas para segmentação da rede em subtrechos homogêneos. Tais segmentos são as Unidades de Análise que podem ser acessadas individualmente pelo Banco de Dados. Ao longo do tempo, as fronteiras das Unidades de Análise poderão mudar, poderão vir a ser acrescentados novos segmentos ou até excluídos segmentos existentes.



a) Subsistema de planejamento.

b) Consulta e edição de dados.

**Figura 1:** Tela principal do SGP Univas

#### 4. Avaliação do Estado de Superfície dos Pavimentos

A cada ano, o estado de superfície e o conforto ao rolamento de cada faixa de tráfego serão avaliados. A condição dos acostamentos e faixas de segurança é também registrada, de forma mais simplificada que a adotada para as faixas de tráfego. Todos os dados são levantados e armazenados no Banco de Dados por Unidade de Análise, e não por estaca ou km. Uma Unidade de Análise consiste de uma faixa de tráfego pertencente a um determinado Subtrecho Homogêneo, com a homogeneidade sendo definida na direção longitudinal.

Dentro de um Subtrecho Homogêneo, as diversas faixas de tráfego podem apresentar características diferentes com relação a:

- Tráfego atuante;
- Histórico de manutenção;
- Estado de superfície.

As intervenções de manutenção geradas pelo SGP apresentam compatibilidade geométrica dentro de um Subtrecho Homogêneo com relação às intervenções propostas para as suas faixas de tráfego. A fim de permitir maior flexibilidade para o planejamento das alocações orçamentárias, a extensão máxima dos Subtrechos Homogêneos foi limitada a 1 km, admitindo-se algumas poucas exceções constituídas por subtrechos de no máximo 2 km de extensão devido a imposições relativas à geometria em planta da rodovia (número de faixas de tráfego, principalmente).

O Banco de Dados imprime as fichas de campo a serem utilizadas para o registro dos defeitos de superfície, incluindo campos previamente preenchidos pelo próprio sistema, tais como:

- Início e fim dos Subtrechos Homogêneos (com marcos de referência para facilitar sua localização no campo);
- Número de faixas de tráfego;
- Existência ou não de acostamentos ou de faixas de segurança.

O procedimento aqui adotado para registro dos defeitos de superfície foi desenvolvido como uma síntese dos procedimentos utilizados por:

- PMS da CALTRANS;
- VIZIR do LCPC;
- DNER-PRO 08/78;
- PCI do USACE.

Em adição ao registro dos defeitos existentes, o avaliador atribuirá um conceito à condição geral do pavimento, utilizando a escala do PSR (Present Serviceability Rating) da AASHTO.

Na atribuição desta nota, o avaliador deverá ponderar o conforto ao rolamento nas velocidades operacionais da via (segmentos onde a curvatura horizontal ou a geometria vertical são mais acentuadas levam a velocidades operacionais menores) com o grau de deterioração de superfície observado. Não se trata, portanto, apenas de um conceito do ponto de vista do usuário da rodovia, devendo incluir também uma avaliação de engenharia quanto ao grau de deterioração do pavimento, de acordo com a escala mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1: Avaliação de Serventia Atual**

| PSR   | Conceito  | Condição Geral   |
|-------|-----------|--|
| 4 - 5 | Excelente | Praticamente isento de defeitos e sem irregularidade   |
| 3 - 4 | Bom       | Poucos defeitos e irregularidade baixa   |
| 2 - 3 | Regular   | Pavimento pode requerer restauração  |
| 1 - 2 | Mau       | Pavimento requer intervenção imediata  |
| 0 - 1 | Péssimo   | Tráfego é prejudicado, tendo que reduzir velocidade devido à deterioração do pavimento. Riscos de segurança para os usuários |

Cada tipo de defeito a ser registrado, selecionado por sua relevância em condicionar o desempenho (funcional ou estrutural) futuro do pavimento, é categorizado em três níveis de severidade, definidos em termos do grau de comprometimento da condição estrutural e ou funcional introduzido pelo defeito no pavimento devido a sua presença. A cada registro de presença de um determinado tipo de defeito em uma dada severidade deverá ser anotada a extensão com que este se manifesta.

As definições exatas de severidade e de extensão são específicas para cada tipo de defeito estão apresentadas no Manual Técnico do SGP Univias. Na fase de implementação do SGP foi realizado um programa de treinamento das equipes pelo levantamento visual contínuo da rede, a fim de assegurar uniformidade de linguagem entre todos os avaliadores.

Ainda, na fase inicial de implementação, foram obtidas as seguintes informações:

- Parâmetros relativos à avaliação dos pavimentos (estrutural, funcional e de estado de superfície) que devem ser controlados pela Concessionária em vista do Contrato de Concessão. Isto pode ser obtido diretamente do contrato assinado;
- Definições que possam existir no Univias com relação a procedimentos e equipamentos para avaliação de pavimentos que se deseja adotar durante a concessão, incluindo sua periodicidade. O Contrato de Concessão pode ter fixado alguns itens.
- Tipos de estrutura de pavimento existentes na rede a ser gerenciada;
- Mapa da rede, apontando os códigos das rodovias componentes;
- Procedimentos que o Univias pretende adotar como referência para as intervenções nos pavimentos (ex: recapeamento em CBUQ, com ou sem fresagem prévia; reconstrução, utilizando ou não reciclagem a frio in situ; Lama Asfáltica, fina, média ou grossa, polimerizada ou não; selagem de trincas; reparos em áreas localizadas; etc);
- Planos existentes quanto a aumento da capacidade de tráfego das rodovias (duplicações, faixas de tráfego adicionais) e quanto à implantação de novos acessos.

## 5. Tráfego

A Tabela 2 mostra as categorias de veículos, conforme são registrados nos pedágios, e que são utilizadas no SGP para efeito de quantificação do tráfego atuante na rede. Cada Subtrecho Homogêneo foi associado a uma Praça de Pedágio, estipulando-se, após contagens de tráfego amostrais, o percentual do tráfego daquela Praça que será adotado como atuando no Subtrecho Homogêneo. Dessa forma, toda a quantificação de tráfego utilizada pelo SGP é proveniente das Praças de Pedágios, tornando as análises mais confiáveis do que se fossem dependentes de contagens classificatórias e volumétricas ao longo de toda a malha. Uma tela ilustrativa do SGP relativa ao item tráfego está mostrada na Figura 2.

**Tabela 2** – Categorias de veículos

| Código | Categoria      |
|--------|----------------|
| 01     | Automóvel      |
| 02     | Carga 2 eixos  |
| 03     | Carga 3 eixos  |
| 04     | Carga 4 eixos  |
| 05     | Carga 5 eixos  |
| 06     | Carga 6 eixos  |
| 07     | Automóvel      |
| 08     | Automóvel      |
| 09     | Carga 7 eixos  |
| 10     | Carga 8 eixos  |
| 11     | Carga 9 eixos  |
| 12     | Ônibus 2 eixos |
| 13     | Ônibus 3 eixos |
| 14     | Ônibus 4 eixos |
| 15     | Motos          |

The screenshot displays the 'Sistema de Gestão de Pavimentos da Concepa - [Tráfego]' application. It features several input sections:

- Incidência dos Veículos Comerciais (%):**
  - Pista Simples:**
    - 2 Faixas: Faixa 1: 100, Faixa 2: 100
    - 3 Faixas: Faixa 1: 100, Faixa 2: 30, Faixa 3: 70
    - 4 Faixas: Faixa 1: 100, Faixa 2: 5, Faixa 3: 25, Faixa 4: 70
  - Pista Dupla:**
    - 2 Faixas: Faixa 1: 25, Faixa 2: 75
    - 3 Faixas: Faixa 1: 5, Faixa 2: 35, Faixa 3: 60
    - 4 Faixas: Faixa 1: 5, Faixa 2: 15, Faixa 3: 35, Faixa 4: 45
- Fatores de Veículo (AASHTO):**
  - 2 eixos: 0,46503
  - 3 eixos: 1,72275
  - 4 eixos: 0,82291
  - 5 eixos: 4,24286
  - 6 ou mais eixos: 3,2553115
- Taxa de crescimento (% ao ano):**
  - Automóveis: 3
  - Cominões: 3
  - Ônibus: 3

Buttons for 'Dados Atuais', 'Cancelar', and 'Save' are visible. A note at the bottom states: 'Obs: Para reavaliar os Fatores de Veículo, deve-se atualizar o arquivo BALANCA.TXT em ...SGP2\Dados\Cargas\'. The taskbar at the bottom shows the system tray with the time 9:35 AM.

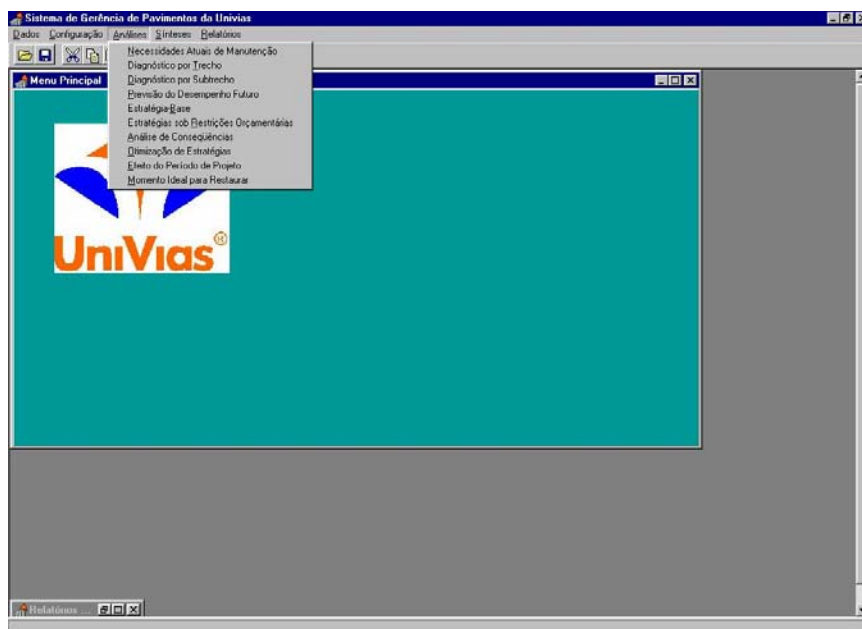
**Figura 2:** Determinação dos fatores de veículo da rede Univias

## 6. Recursos de Análise do SGP Univias

As seguintes aplicações práticas de análise vêm sendo realizadas pelo SGP nas esferas de planejamento e decisões do Consórcio Univias:

- Determinação das necessidades atuais de manutenção, definidas como sendo as intervenções que, se aplicadas hoje, garantiriam um desempenho adequado para toda a rede dentro de um período de análise especificado, sem a necessidade de intervenções importantes ao longo desse período;
- Previsão da evolução da condição da rede no caso de não haver intervenções;
- Geração da "Estratégia-Base" (definida como aquela onde as árvores de decisão do SGP são aplicadas a cada ano e todas as medidas de conservação e restauração ali detectadas são efetivamente implementadas, sem qualquer consideração acerca de restrições orçamentárias);
- Geração de estratégias sob restrições orçamentárias (alteração da Estratégia-Base impondo o atendimento a um limite máximo de investimentos a cada ano ao longo do Período de Análise);
- Análise das conseqüências (econômicas e funcionais) dos cenários gerados para auxílio à tomada de decisões;
- Otimização de estratégias, ou seja, investigação do nível de investimento mais atrativo tanto em termos econômicos quanto de desempenho dos pavimentos.
- Avaliação do Efeito do período de projeto a ser adotado para as restaurações alocadas em nível de rede;
- Avaliação do momento ideal para se restaurar o pavimento em termos do índice de serventia terminal ( $PSI_t$ ).

As possibilidades de análise do SGP estão ilustradas na Figura 3.



**Figura 3:** Possibilidades de análises realizadas pelo SGP Univias

## 7. Determinação das necessidades atuais de manutenção

O objetivo central da formulação estabelecida nas árvores de decisão configuradas é o de obter, a partir das avaliações em nível de rede, uma aproximação o mais perfeita possível das decisões que seriam tomadas em nível de projeto. Para tanto, um pós-processamento dos resultados é feito a partir do cruzamento com outras informações que podem ser relevantes e que estão inseridas no Banco de Dados, tais como:

- Condições de drenagem;
- Geometria da via;
- Observações qualitativas referentes a problemas construtivos experimentados no passado.

Na Figura 4 a seguir, apresenta-se a tela que define, em função do período de projeto para as restaurações previamente definidas, as necessidades atuais de manutenção para toda a rede.

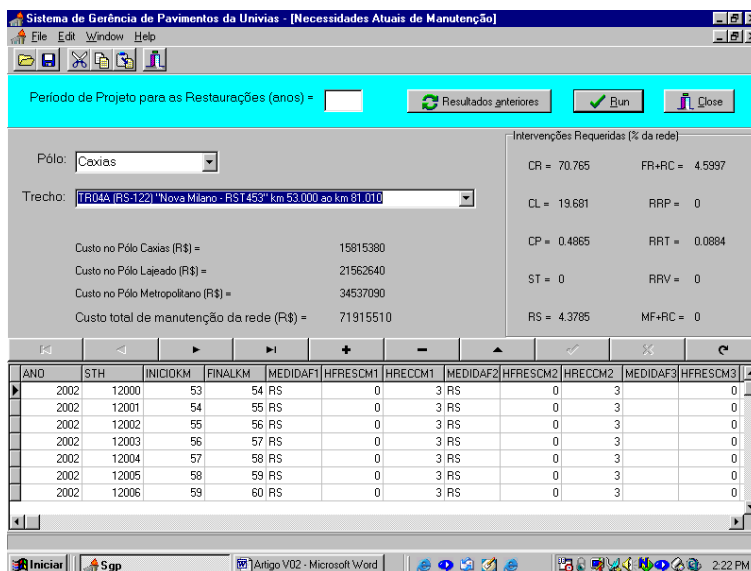
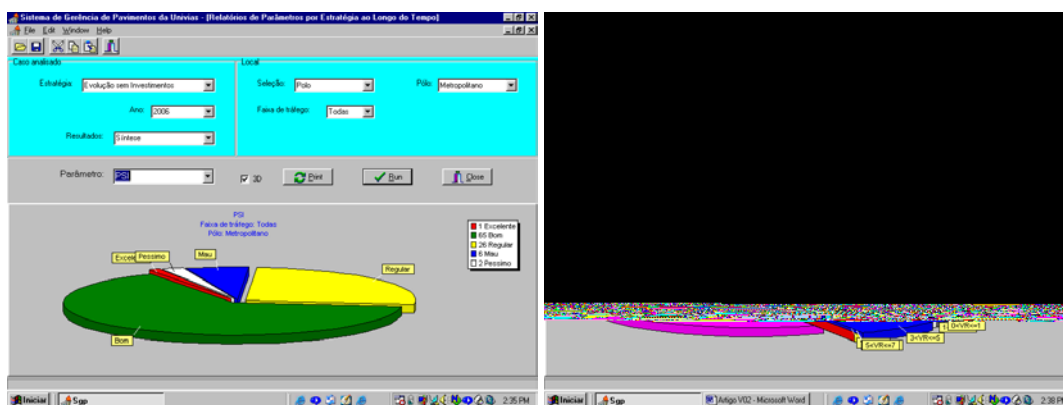


Figura 4: Necessidades atuais de manutenção da rede

### 7.1 Evolução da condição da rede sem intervenções

Destina-se a mostrar as conseqüências, em termos de deterioração dos pavimentos e em termos do crescimento dos custos de manutenção, de uma alocação de recursos extremamente baixa. Este tipo de análise possibilita aos responsáveis pelas tomadas de decisão avaliar as conseqüências da ausência de investimentos, bem como estabelecer um parâmetro para comparação frente as outras estratégias. As telas mostradas na Figura 5 ilustram a possibilidade de análise de conseqüências permitidas pelo SGP.





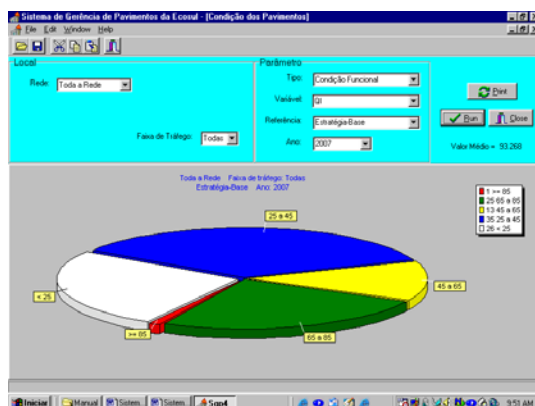
a) Vida restante.

b) Serventia dos pavimentos.

**Figura 5:** Síntese da evolução das condições dos pavimentos sem investimentos

## 7.2 Estratégia-base

Trata-se de um Plano Plurianual de Investimentos onde todas as necessidades de manutenção, conforme detectadas pelas árvores de decisão, são imediatamente atendidas a cada ano do Período de Análise, sem a consideração de restrições orçamentárias e operacionais. Destina-se a fornecer um limite superior para os investimentos, além se servir de base para a geração de estratégias sob restrição orçamentária. Na Figura 6 está mostrado um ambiente do SGP que permite visualizar o comportamento futuro dos pavimentos em termos de parâmetros principais adotando-se a estratégia-base.



**Figura 6:** Evolução da irregularidade dos pavimentos (Estratégia-Base)

## 7.3 Estratégias sob restrição orçamentária

As análises envolvendo restrições orçamentárias são realizadas a partir da identificação de prioridades para investimentos na rede. Isto é feito através de um Índice de Prioridade (IP), aplicado a todos os subtrechos que necessitem ser restaurados em um dado ano. Inicialmente, exclui-se do orçamento disponível a verba requerida, a cada ano, para as intervenções de conservação. Serão executadas apenas as restaurações de maior IP que se enquadrarem no orçamento restante disponível.

Os demais segmentos, que requerem restauração naquele ano mas que ficaram de fora da priorização, receberão Conserva Leve (reparos em áreas localizadas) naquele ano e nos seguintes, até que venham a ser restaurados. Se o acréscimo de verba requerido para a execução dessas conservas leves ultrapassar a diferença entre a restrição orçamentária ajustada e o somatório da verba requerida para as restaurações já priorizadas, um ajuste iterativo deverá ser feito, excluindo-se progressivamente as restaurações já programadas do final da lista de IP.

O parâmetro central para se avaliar o custo a médio ou longo prazo de uma estratégia de alocação de recursos em pavimentação é o Custo no Ciclo de Vida, definido por:

$$CCV(PA) = CI + \sum_{i=1}^{PA} \frac{CC_i}{(1+r)^{i-1}} + \sum_{j=1}^{N_R} \frac{CR_j}{(1+r)^{T_j}} - \frac{VR}{(1+r)^{PA-1}}$$

$$VR = \frac{VSR}{PP} CR$$

$$VSR = PP - PA - VS - \sum_{j=1}^{N_R-1} PP_j$$

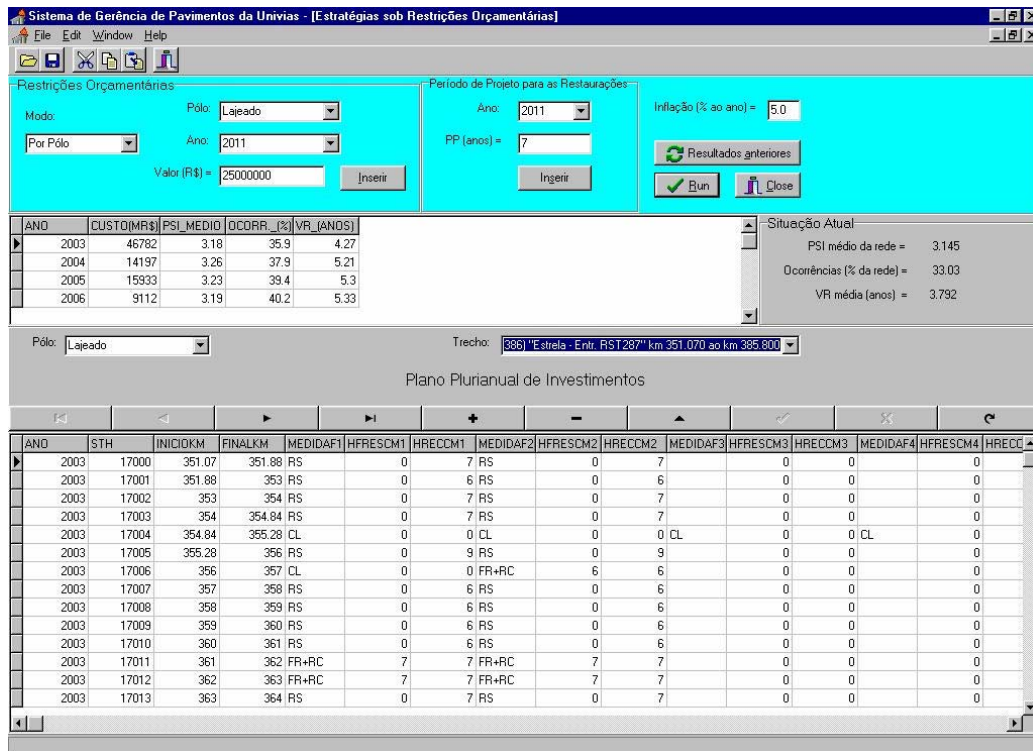
onde:

CCV = custo no ciclo de vida;  
 CI = custo do investimento inicial;  
 VR = vida restante;  
 VSR = vida de serviço;  
 PP = período de projeto;  
 PA = período de análise;  
 i = taxa de oportunidade do capital;  
 T = tempo.

As intervenções de conservação são realizadas sempre da forma como foram detectadas pelas árvores de decisão, aplicando-se o IP apenas às restaurações. A razão para isto está em que:

- O grande aporte de capital está associado às restaurações;
- A conservação (conserva rotineira, conserva leve e conserva pesada), se aplicada em um momento adequado, é a categoria de intervenção de mais elevada relação Benefício-Custo, conforme estudos com o HDM-III indicam; e
- Se a conservação for aplicada sistematicamente de forma apropriada, estar-se-á adotando uma política de Manutenção Preventiva, o que levará à redução de CCV a longo prazo, na medida em que as intervenções tenderão a reduzir a velocidade de deterioração dos pavimentos, levando a que as restaurações futuras possam ser postergadas.

Os principais parâmetros a serem configurados, ou seja, magnitude do investimento a cada ano do período de análise, período de projeto para as restaurações e taxa de inflação são mostradas na Figura 7.



**Figura 7:** Parâmetros de entrada e resultados obtidos na análise sob restrições orçamentárias

## 7.4 Análises de Conseqüências

Pode-se determinar qual é o nível mínimo de investimentos requerido para que seja obtido um determinado padrão de serventia médio ao longo do Período de Análise, bem como qual seria o nível de investimento ótimo em termos da minimização do Custo no Ciclo de Vida (CCV) global da rede ao longo do Período de Análise. Consiste da comparação entre diversos parâmetros importantes em termos da serventia dos pavimentos como o índice de serventia, a vida restante, etc. Alguns recursos e possibilidades de análises podem ser visualizados nas Figuras 8 e 9 a seguir.

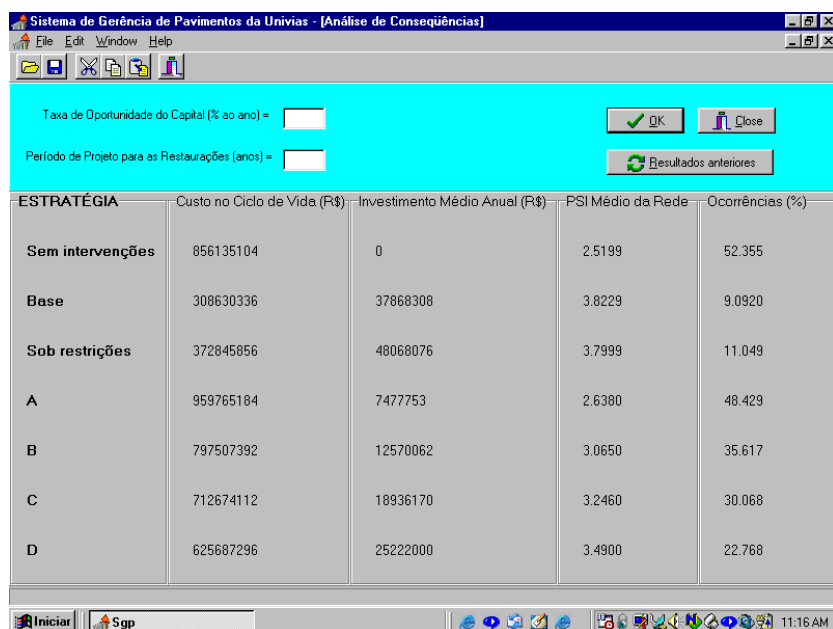


Figura 8: Análise de conseqüências

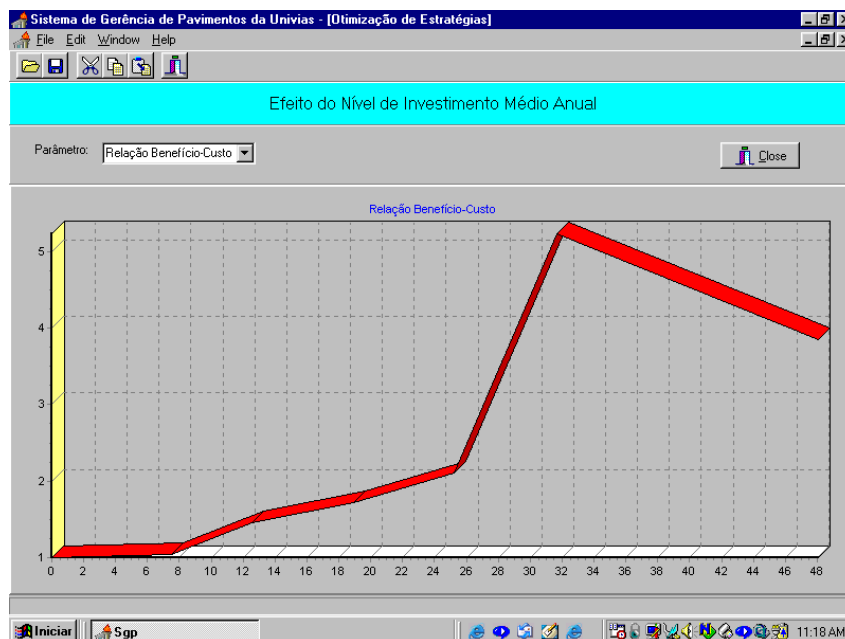


Figura 9: Relação benefício-custo das intervenções

## 8. Relatórios gerenciais

Levando-se em conta o fato do SGP ser uma ferramenta multi-usuário é de fundamental importância a emissão de relatórios que possam atender aos diferentes níveis de necessidades da esfera administrativa. Na versão atual do SGP Univas são emitidos os seguintes relatórios:

- Diagnóstico da condição dos pavimentos;
- Intervenções de manutenção requeridas nas diferentes estratégias de análise;
- Custos associados com os cenários de manutenção analisados.

Nas Figuras 10 e 11 a seguir estão apresentados os itens disponíveis no menu relatórios e alguns dos formatos dos relatórios gerados pelo SGP Univias.

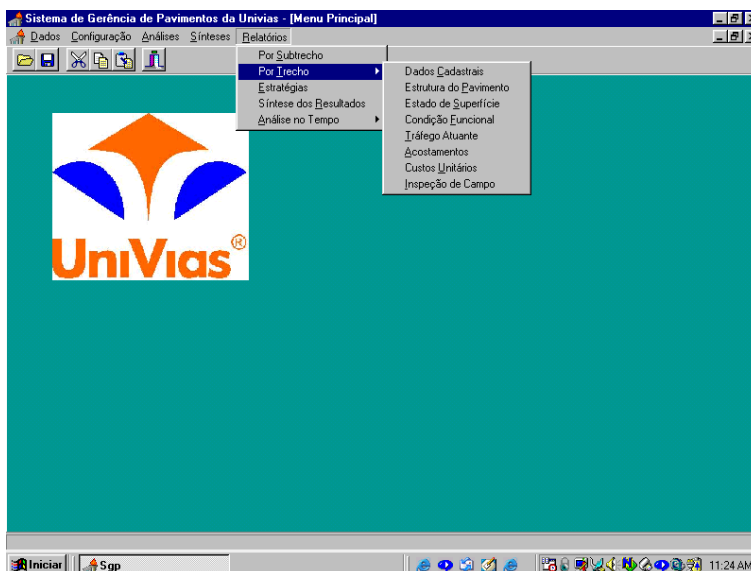


Figura 10: Relatórios gerados pelo SGP Univias

| Ano  | Subtrecho | Estrat | Medida | Medida 2 | Medida 3 | Medida 4 | Medida 5 | Medida 6 | Medida 7 | Medida 8 | Medida 9 | Medida 10 | Acostam | Medida 11 | Medida 12 |
|------|-----------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|---------|-----------|-----------|
| 2000 | 2003      | 224    | 3      | 225      | CL       | 0        | 0        | CR       | 0        | 0        | FR-RC    | 0         | 0       | 0         | 0         |
| 2001 | 2003      | 225    | 226    | FR-RC    | 3        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2002 | 2003      | 226    | 227    | CR       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2003 | 2003      | 227    | 228    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2004 | 2003      | 228    | 229    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2005 | 2003      | 229    | 230    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2006 | 2003      | 230    | 231    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2007 | 2003      | 231    | 232    | CR       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2008 | 2003      | 232    | 233    | CR       | 0        | 0        | FR-RC    | 3        | 3        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2009 | 2003      | 233    | 234    | CR       | 0        | 0        | CR       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2010 | 2003      | 234    | 235    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2011 | 2003      | 235    | 236    | CR       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2012 | 2003      | 236    | 237    | FR-RC    | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CL      | 0         | 0         |
| 2013 | 2003      | 237    | 238    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2014 | 2003      | 238    | 239    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2015 | 2003      | 239    | 240    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2016 | 2003      | 240    | 241    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2017 | 2003      | 241    | 242    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2018 | 2003      | 242    | 243    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |
| 2019 | 2003      | 243    | 244    | CL       | 0        | 0        | CL       | 0        | 0        | 0        | 0        | 0         | CR      | 0         | 0         |

a) Intervenções de manutenção

| Ano  | Subtrecho | Custo Total (R\$) | Faixa 1 (R\$) | Faixa 2 (R\$) | Faixa 3 (R\$) | Faixa 4 (R\$) | Acostamento (R\$) |
|------|-----------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| 2003 | 2000      | 116368            | 1022          | 1120          | 55921         | 57574         | 730               |
| 2003 | 2001      | 44367             | 43637         | 730           | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2002      | 1746              | 1600          | 146           | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2003      | 1481              | 730           | 730           | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2004      | 1481              | 730           | 730           | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2005      | 1481              | 730           | 730           | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2006      | 1481              | 730           | 730           | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2007      | 3061              | 1600          | 1481          | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2008      | 45237             | 1600          | 43637         | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2009      | 3200              | 1600          | 1600          | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2010      | 1481              | 730           | 730           | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2011      | 2331              | 1600          | 730           | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2012      | 64023             | 82249         | 730           | 0             | 0             | 1043              |
| 2003 | 2013      | 1481              | 730           | 730           | 0             | 0             | 0                 |
| 2003 | 2014      | 876               | 730           | 146           | 0             | 0             | 0                 |

b) Custos das intervenções

Figura 11: Plano Plurianual de Investimentos

## 9. Ferramentas para Projeto de Engenharia

O Subsistema de Projeto, também denominado SGP em Nível de Projeto, é o responsável pela execução de projetos executivos de engenharia para obras de restauração ou de construção de pavimentos. Tais projetos utilizam como restrição orçamentária o volume de recursos que foi alocado a cada obra específica pelo SGP em Nível de Rede. Sua finalidade básica é a de levar ao melhor aproveitamento possível dos recursos alocados para cada trecho. Para tanto, são levantados dados detalhados acerca da condição estrutural, funcional e de degradação dos pavimentos, bem como das características do tráfego atual e futuro e dos materiais de construção disponíveis, a fim de se tomar decisões com base em um diagnóstico suficientemente preciso dos problemas e do desempenho dos pavimentos. O resultado é a adoção de soluções técnicas que uniformizem o desempenho e maximizem a vida de serviço dos pavimentos restaurados.

O Subsistema de Projeto utiliza modelos de previsão de desempenho do tipo mecanístico-empírico, prática esta fundamental para uma utilização econômica e racional dos recursos disponíveis. Os programas computacionais que integram o SGP Univias em nível de projeto são:

- Sistema Pavesys-9: Aplicação de modelos mecanístico-empíricos para verificação do desempenho de alternativas de restauração de pavimentos;
- Sistema Laymod-4: Retroanálise de pavimentos;
- Programa Flaps: Cálculo de tensões e deformações em estruturas de pavimentos.

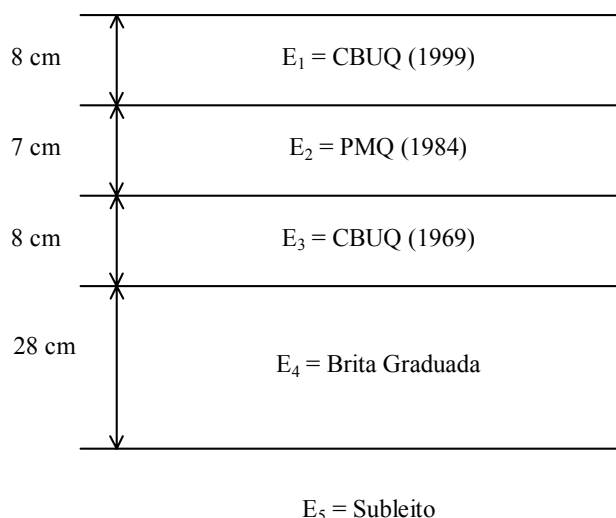
### 9.1 Avaliação Estrutural de Pavimentos

Apresenta-se a seguir o programa de computador Laymod-4, para retroanálise de bacias de deflexões medidas em provas de carga realizadas sobre pavimentos. O programa calcula os módulos de elasticidade efetivos *in situ* das camadas do pavimento de modo a reproduzir as bacias medidas no campo.

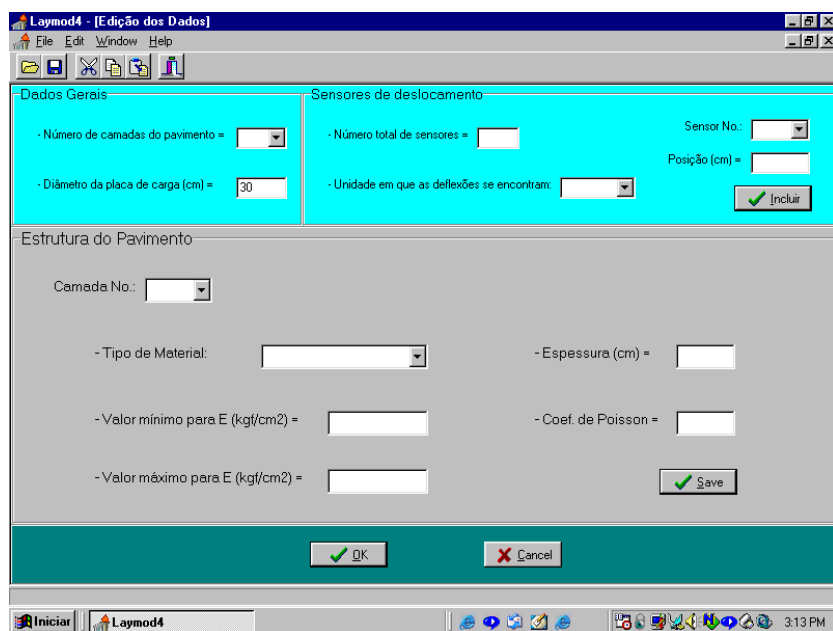
A título de exemplo de aplicação do Laymod-4, seja o caso da estrutura de pavimento flexível em cinco camadas mostrada na Figura 12, onde foram medidas através do FWD as bacias mostradas na Tabela 3. Os resultados, obtidos através do programa Laymod-4, são mostrados na Tabela 4, onde se pode observar que o erro do ajuste é baixo. São necessários erros menores que 5% para que o processo seja confiável e convergente.

A pesquisa pela combinação de valores de módulos de elasticidade das camadas mais adequada para reproduzir as bacias de campo é feita dentro de um domínio delimitado pelo usuário. Os valores máximo e mínimo admissíveis para os módulos das camadas são fornecidos pelo usuário em função da natureza dos materiais das camadas e de sua condição, que pode ser afetada pelo trincamento, umidade ou temperatura.

O programa FLAPS, pela teoria de camadas elásticas, é acionado para gerar uma base de dados contendo múltiplas combinações de valores para os módulos de elasticidade das camadas e suas correspondentes bacias de deflexões.



**Figura 12:** Estrutura de pavimento avaliada



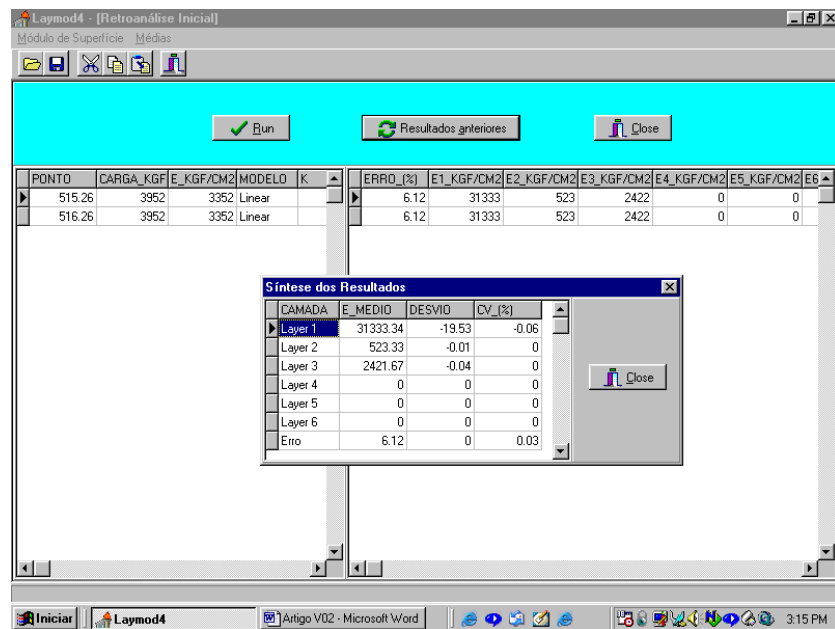
**Figura 13:** Dados de configuração do Laymod-4 relativos à estrutura do pavimento avaliado e à prova de carga realizada

**Tabela 3:** Bacias de deflexões medidas com o FWD  
(deflexões  $D_i$  em 0,01 mm)

| Estaca    | Carga (kgf) | $D_1$ | $D_2$ | $D_3$ | $D_4$ | $D_5$ | $D_6$ | $D_7$ | $T_{ar}$ ( $^{\circ}C$ ) | $T_{sup}$ ( $^{\circ}C$ ) |
|-----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|---------------------------|
| 267 + 000 | 4234        | 37.0  | 23.9  | 17.0  | 11.7  | 7.5   | 5.2   | 3.6   | 28                       | 45                        |
| 267 + 040 | 4269        | 35.4  | 23.7  | 18.4  | 13.6  | 9.3   | 6.0   | 3.7   | 27                       | 44                        |
| 267 + 120 | 4234        | 33.5  | 22.0  | 16.4  | 11.7  | 7.5   | 5.0   | 3.3   | 27                       | 44                        |
| 267 + 200 | 4248        | 31.8  | 19.7  | 13.8  | 9.8   | 6.2   | 4.0   | 2.6   | 28                       | 45                        |
| 267 + 280 | 4185        | 71.0  | 46.3  | 34.0  | 23.1  | 13.6  | 7.0   | 3.7   | 27                       | 45                        |
| 267 + 360 | 4234        | 62.7  | 44.7  | 32.4  | 21.2  | 12.3  | 6.7   | 3.7   | 27                       | 44                        |
| 267 + 440 | 4121        | 85.6  | 56.6  | 43.1  | 31.8  | 20.2  | 11.8  | 6.5   | 27                       | 45                        |
| 267 + 520 | 4199        | 43.6  | 27.8  | 20.0  | 12.9  | 7.0   | 3.8   | 2.1   | 28                       | 45                        |
| 267 + 600 | 4262        | 51.9  | 34.9  | 25.5  | 17.4  | 11.0  | 7.1   | 5.0   | 28                       | 45                        |
| 267 + 680 | 4227        | 40.9  | 26.6  | 20.2  | 13.7  | 7.9   | 3.9   | 1.6   | 28                       | 46                        |
| 267 + 760 | 4248        | 55.1  | 38.8  | 29.3  | 19.4  | 10.6  | 4.6   | 1.6   | 28                       | 45                        |
| 267 + 840 | 4199        | 52.1  | 34.5  | 26.0  | 18.5  | 12.0  | 7.7   | 4.9   | 28                       | 45                        |
| 267 + 920 | 4206        | 37.5  | 26.6  | 21.0  | 14.3  | 8.6   | 5.1   | 3.2   | 28                       | 45                        |
| 268 + 000 | 4262        | 37.2  | 26.8  | 21.8  | 16.8  | 12.0  | 8.4   | 6.1   | 29                       | 45                        |
| 268 + 080 | 4227        | 37.4  | 22.0  | 14.2  | 8.6   | 4.0   | 1.4   | 0.3   | 29                       | 45                        |
| 268 + 160 | 4213        | 39.4  | 26.2  | 18.4  | 11.7  | 6.2   | 2.6   | 0.7   | 29                       | 45                        |

**Tabela 4: Resultados da retroanálise**

| Estaca    | Carga (kgf) | E <sub>1</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | E <sub>2</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | E <sub>3</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | E <sub>4</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | E <sub>5</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Erro (%) |
|-----------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------|
| 267 + 000 | 4234        | 26860                                 | 1262                                  | 10839                                 | 1187                                  | 2436                                  | 0.7      |
| 267 + 040 | 4269        | 18569                                 | 2830                                  | 26923                                 | 672                                   | 2275                                  | 0.2      |
| 267 + 120 | 4234        | 23878                                 | 2356                                  | 8328                                  | 985                                   | 2603                                  | 0.6      |
| 267 + 200 | 4248        | 21029                                 | 2197                                  | 13738                                 | 1043                                  | 3293                                  | 1.1      |
| 267 + 280 | 4185        | 12566                                 | 1225                                  | 3899                                  | 312                                   | 2100                                  | 0.4      |
| 267 + 360 | 4234        | 12566                                 | 11389                                 | 442                                   | 382                                   | 2160                                  | 0.8      |
| 267 + 440 | 4121        | 6391                                  | 1298                                  | 10839                                 | 249                                   | 1196                                  | 0.8      |
| 267 + 520 | 4199        | 25206                                 | 1171                                  | 6061                                  | 636                                   | 3776                                  | 0.7      |
| 267 + 600 | 4262        | 23949                                 | 1189                                  | 3070                                  | 692                                   | 1779                                  | 0.5      |
| 267 + 680 | 4227        | 8976                                  | 6257                                  | 10707                                 | 466                                   | 4497                                  | 0.6      |
| 267 + 760 | 4248        | 10536                                 | 7113                                  | 3217                                  | 317                                   | 4303                                  | 0.8      |
| 267 + 840 | 4199        | 20675                                 | 1153                                  | 13912                                 | 545                                   | 1712                                  | 0.3      |
| 267 + 920 | 4206        | 24249                                 | 19602                                 | 3022                                  | 740                                   | 2611                                  | 0.5      |
| 268 + 000 | 4262        | 16463                                 | 9395                                  | 8196                                  | 911                                   | 1478                                  | 0.3      |
| 268 + 080 | 4227        | 23657                                 | 1135                                  | 20331                                 | 618                                   | 20378                                 | 1.2      |
| 268 + 160 | 4213        | 20675                                 | 2038                                  | 10574                                 | 466                                   | 9137                                  | 0.9      |



**Figura 14:** Tela ilustrativa da etapa final do processo através do Laymod-4, onde são calculados os módulos de elasticidade das camadas referentes a cada bacia medida no campo



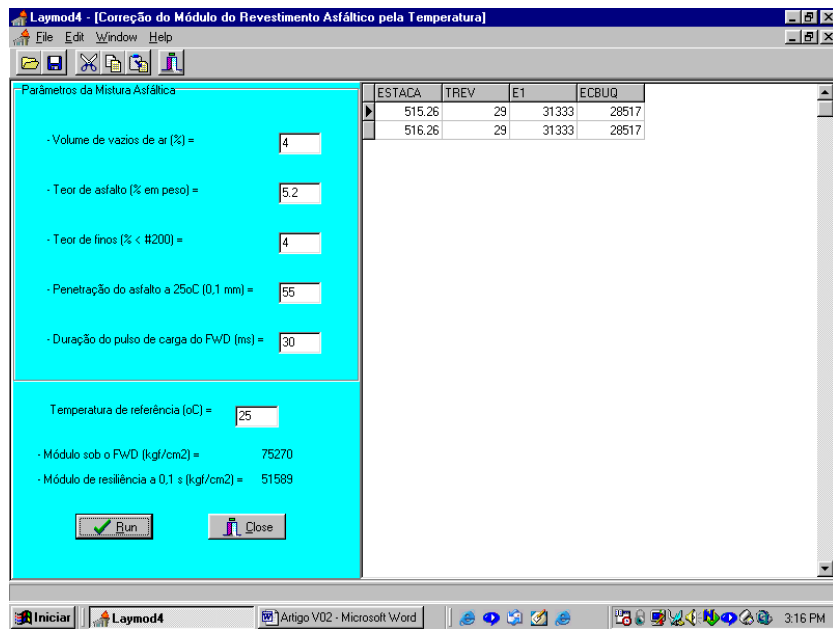


Figura 15: Correção dos módulos de elasticidade do revestimento asfáltico pela temperatura

## 9.2 Dimensionamento estrutural de pavimentos

O dimensionamento das diversas soluções de restauração identificadas como aplicáveis é realizado de forma a que o pavimento restaurado apresente uma vida de serviço mínima igual ao período de projeto. Para tanto, os mecanismos com que as estruturas de pavimento normalmente se degradam sob a ação das cargas repetidas do tráfego são considerados, através da aplicação de modelos de previsão de desempenho apropriados, preferencialmente os que puderam ser calibrados na fase de “Diagnóstico”.

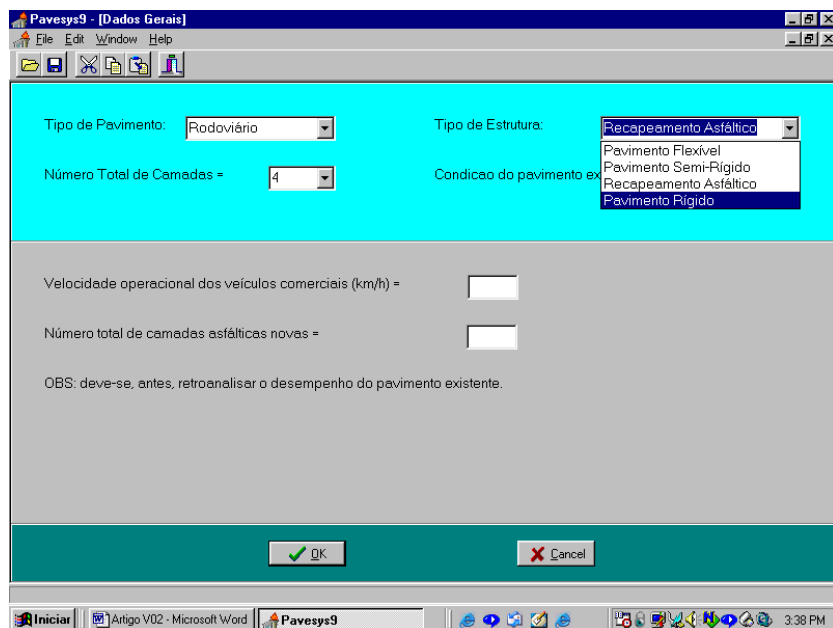


Figura 16: Tela de configuração do Pavesys9

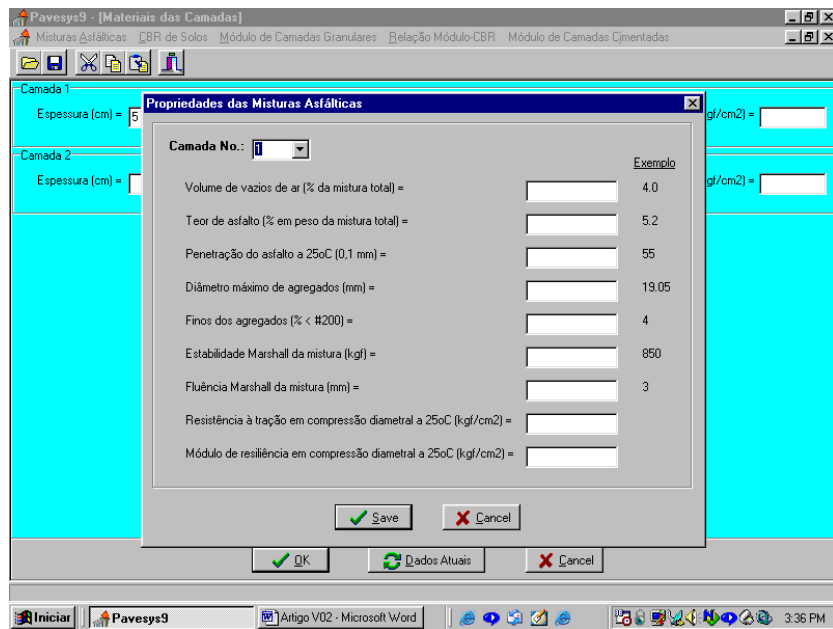


Figura 17: Dados dos materiais das camadas

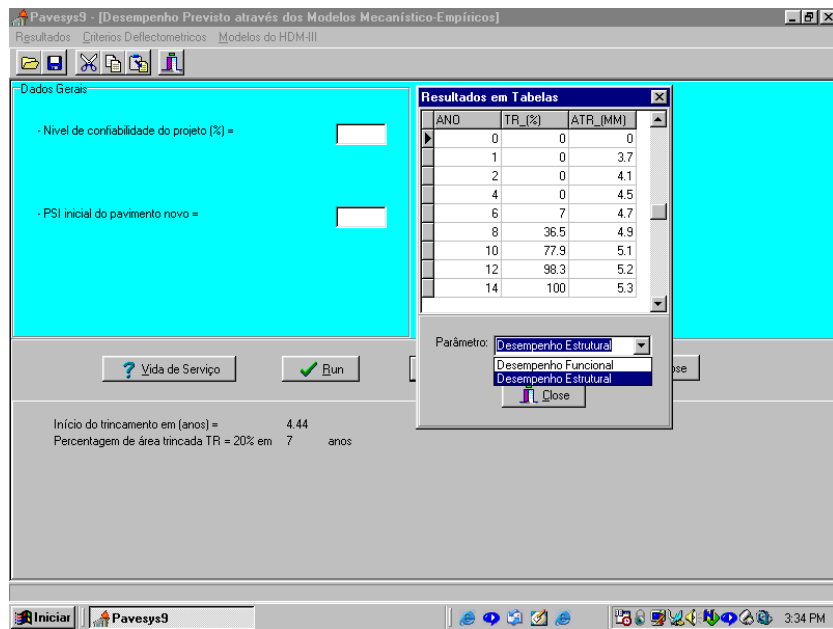


Figura 18: Desempenho previsto pelo Pavsys-9

## 10. Conclusões

Foram apresentadas as características principais do SGP Univias. Tal sistema foi desenvolvido levando-se em conta as necessidades específicas de apoio ao processo de tomada de decisões identificadas na estrutura administrativa do Consórcio Univias. Atualmente, o SGP vem sendo utilizado para as seguintes funções principais:

- Elaboração do Plano Plurianual de Investimentos do Consórcio;

- Determinação de estratégias alternativas de manutenção em função da relação benefício-custo oferecida;
- Verificação da adequação estrutural de pavimentos através da retroanálise de levantamentos deflectométricos;
- Dimensionamento estrutural de pavimentos;
- Previsões de desempenho de pavimentos existentes e de novas tecnologias utilizadas pelo Univias, como o asfalto borracha e a inserção de camadas intermediárias anti-reflexão de trincas, por exemplo.

O SGP Univias, desde sua implantação no final do ano de 2002, tem justificado a tomada de decisão junto a alta administração do Consórcio, bem como também, tem sido utilizado como uma fonte de consulta de diversas informações pertinentes a malha pavimentada. É importante observar que outro benefício imensurável com a implantação do SGP é a possibilidade da manutenção atualizada do banco de dados, pois, desta forma as informações são adequadamente armazenadas ao longo do tempo e permitem uma manipulação ágil e confiável do histórico dos pavimentos.

No que diz respeito à operação em Nível de Projeto, os principais benefícios gerados até o presente momento são:

- Realização dos projetos de restauração determinados em nível de rede através do Subsistema de Planejamento do SGP;
- Análises estruturais confiáveis para o atendimento das necessidades quanto aos estudos especiais de interesse do Consórcio, como, por exemplo, a avaliação do efeito da sobrecarga nos pavimentos e avaliação de novos materiais;
- Agilidade na realização dos projetos, pois, através da base de dados do SGP é possível a realização rápida de uma série de análises e projetos, elevando desta forma todo o processo de projeto e planejamento.

## 11. Referências Bibliográficas

- Pavesys Engenharia Ltda (2002). **Manual Técnico do Sistema de Gerência de Pavimentos do Consórcio Univias.**
- Rodrigues, R.M. (2000) Performance Prediction Models for Highway and Airport Pavements in Brazil, Research Report FAPESP No.1999/09012-2, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Rodrigues, R.M. (1998). Performance prediction model for asphalt overlays with geotextile interlayers on cracked pavements”. Sixth International Conference on Geosynthetics, Atlanta, Georgia, 25-29, IGS - International Geotextile Society, Vol. 2, pp. 973-976.
- AASHTO (1986). *The AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.* Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Harvey, J.T., Deacon, J.A., Tsai, B.W. and Monismith, C.L. (1995). "Fatigue Performance of Asphalt Concrete Mixes and Its Relationship to Asphalt Concrete Pavement Performance in California". University of California at Berkeley, Institute of Transportation Studies. Asphalt Research Program, CAL/APT Program, 188 pp.
- Rodrigues, R.M. (2000). A model for fatigue cracking prediction of asphalt pavements based on mixture bonding energy. *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 1(2), pp. 133-149.
- Rodrigues, R.M. (2001). "Aperfeiçoamento e Consolidação de Modelos de Previsão de Desempenho para Pavimentos Rodoviários e Aeroportuários com base na Pesquisa LTPP-FHWA". Relatório Final da Pesquisa CNPq N<sup>o</sup> 301314/96-9.