

## AValiação DE PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS INVERTIDOS NO BRASIL ATRAVÉS DA CURVATURA DA BACIA DE DEFLEXÕES

**Damires Cristovão de Almeida**

Desenvolvimento Tecnológico – CCR Engelog

**Nair Cristina Margarido Brondino**

Universidade Estadual Paulista – UNESP

**Paulo Ricardo Freitas Vicente**

Dynatest Engenharia Ltda

**Ana Elisabete P. G. A. Jacintho**

Universidade Católica de Campinas – PUC

### RESUMO

A avaliação estrutural realizada com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD) tem possibilitado a compreensão do comportamento dos pavimentos através da análise das deflexões superficiais. Contudo, ainda não se domina os parâmetros de desempenho obtidos a partir da análise da bacia de deflexão. Neste trabalho é desenvolvida uma análise de desempenho a partir das medidas de deflexões obtidas em duas seções-teste em pavimento semirrígido invertido que apresentam desempenhos distintos desde da época da implantação, situadas na Rodovia dos Bandeirantes (SP-348) no Estado de São Paulo. O comportamento das camadas dos pavimentos das seções-teste, em especial da camada de brita graduada tratada com cimento (BGTC) foi avaliado mediante retroanálises e análise dos Parâmetros da Bacia de Deflexões. Posteriormente, foi desenvolvido um estudo paramétrico, variando os valores das espessuras e dos módulos das camadas, de forma a permitir o entendimento do comportamento estrutural dos pavimentos semirrígidos invertidos, e em especial das seções-teste estudadas.

**Palavras-chave:** Avaliação estrutural; parâmetros estruturais; pavimento semirrígido invertido.

### ABSTRACT

The structural evaluation performed with the *Falling Weight Deflectometer* (FWD) has made it possible to understand the behavior of pavements through the analysis of surface deflections. However, the performance parameters obtained from the deformation bowl analysis are not yet mastered. In this work a performance analysis is developed based on the deflection measurements obtained in two test sections in inverted semirigid pavement that present different performances since the time of implementation, both located in Rodovia dos Bandeirantes (SP-348) in the State of São Paulo. The behavior of the test section pavement layers, in particular the cement-treated graded stone layer, was evaluated by backcalculation and analysis of the deflection bowl parameters. Subsequently, a parametric study was developed, varying the layers' thicknesses and moduli values, in order to allow the understanding of the structural behavior of inverted semi-rigid pavements, and especially in both test sections studied.

**Keywords:** Structural evaluation; structural parameters; semirigid inverted pavement.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o desempenho dos pavimentos semirrígidos invertidos vem sendo comprovado. Todavia, ainda não se domina plenamente os parâmetros de projeto, critérios construtivos e de reabilitação de forma adequada, o que compromete a durabilidade deste tipo de pavimento, verificando-se com frequência algumas experiências de insucessos.

Embora os levantamentos deflectométricos realizados com o equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD) forneçam subsídios capazes de conhecer a bacia de deflexões e estudar as condições estruturais das diversas camadas do pavimento através dos Parâmetros da Bacia de Deformação (PBD), a incorreta interpretação das respostas estruturais do pavimento pode induzir à adoção de soluções de restauração inadequadas.

De acordo com Ferri et al. (2010) a caracterização estrutural do pavimento está fortemente condicionada à adequada interpretação dos valores de deflexões e dos índices de curvatura da

bacia de deflexões, bem como da determinação das condições de integridade da base cimentada, que refletem diretamente no comportamento mecânico da estrutura, requerendo cuidados especiais no tratamento dos dados e no processo de tomada de decisões.

Neste contexto, foi desenvolvida uma avaliação comparativa entre deflexões superficiais medidas em duas seções-teste que apresentaram diferentes desempenhos, situadas na Rodovia dos Bandeirantes no Estado de São Paulo (SP-348), cada uma com extensão de 320 metros. Os pavimentos foram dimensionados com as mesmas premissas de projeto, entretanto, os segmentos têm apresentado desempenhos distintos desde a época da implantação em 2001. Foram utilizados os dados de levantamentos deflectométricos realizados a cada dois anos no período compreendido entre 2003 e 2016, com utilização do equipamento FWD.

O comportamento das camadas dos pavimentos das seções-teste, em especial da camada de brita graduada tratada com cimento (BGTC), foi avaliado mediante retroanálises das medições de deslocamentos verticais, e de bacias de deflexões medidas na superfície do pavimento, o que permitiu a determinação dos módulos de trabalho destas camadas. Posteriormente, se desenvolveu um estudo paramétrico, variando os valores das espessuras e dos módulos das camadas, de forma a permitir o entendimento do estado estrutural dos pavimentos invertidos das duas seções-teste estudadas.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DAS SEÇÕES-TESTE

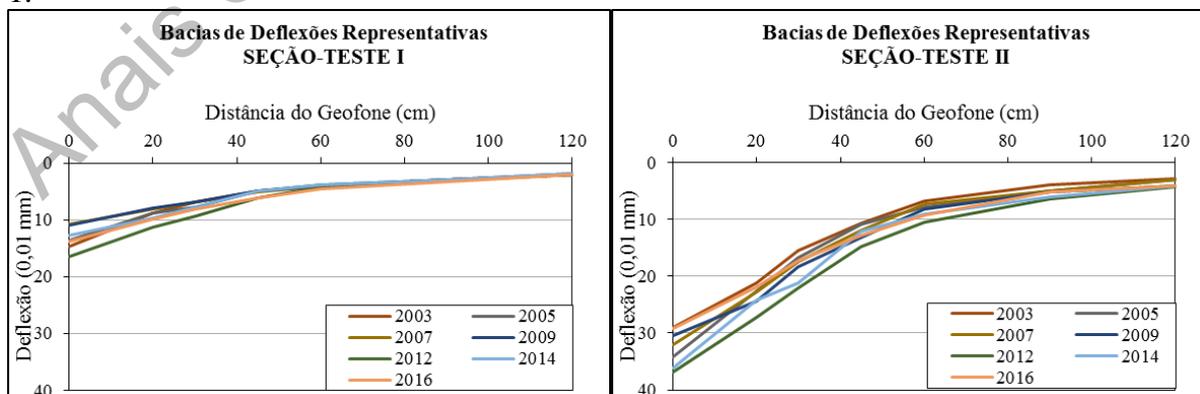
A Tabela 1 apresenta os principais dados de localização e extensão das seções-teste analisadas neste trabalho.

**Tabela 1:** Características de localização

| Seção-Teste | Localização | Extensão (m) | Sentido | Tipo de Pista | Faixa de Estudo | Tipo de Pavimento |
|-------------|-------------|--------------|---------|---------------|-----------------|-------------------|
| I           | SP-348      | 320          | Norte   | Dupla         | Faixa 2         | Invertido         |
| II          | SP-348      | 320          | Sul     | Dupla         | Faixa 2         | Invertido         |

As seções-teste foram monitoradas a cada dois anos no período entre 2003 e 2016 com levantamentos deflectométricos. Os levantamentos deflectométricos foram realizados com o uso do *Falling Weight Deflectometer* (FWD), na faixa de tráfego mais carregada (Faixa 2), com espaçamento entre as estações de 40 metros.

As bacias de deflexões representativas levantadas nas seções-teste são apresentadas na Figura 1.



**Figura 1:** Bacias de Deflexões Representativas

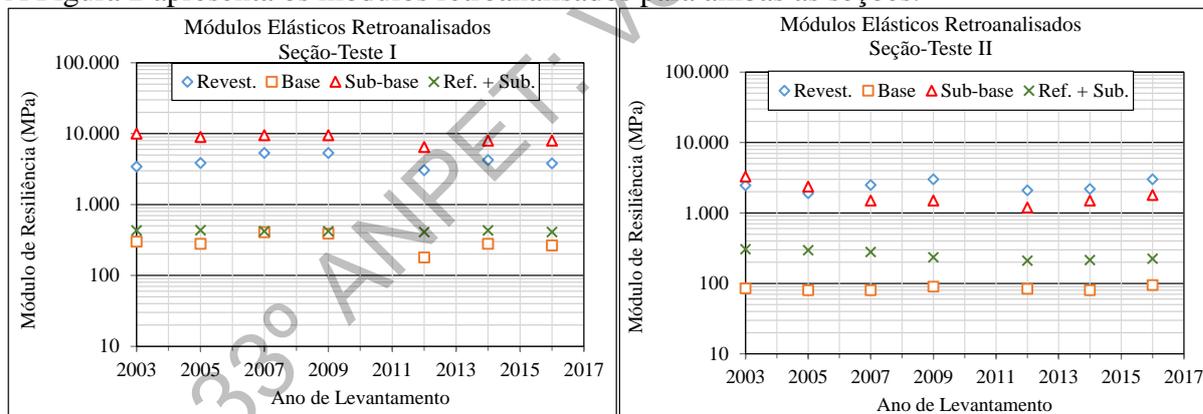
Após a seleção das seções-teste, foram abertos dois poços de inspeção em cada seção para reconhecimento dos materiais e espessuras das camadas executadas. A Tabela 2 apresenta de forma resumida as informações obtidas.

**Tabela 2:** Espessuras das Camadas das Seções-Teste

| Camada  | Seção-Teste I |       | Seção-Teste II    |      |                   |      |
|---|---------------|-------|-------------------|------|-------------------|------|
|   | PI-01         | PI-02 | Estrutura Adotada |      | Estrutura Adotada |      |
| Espessuras (cm)   |               |       |                   |      |                   |      |
| <b>Revestimento</b><br>CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE | 15,0          | 14,5  | 15,0              | 14,0 | 13,0              | 14,0 |
| <b>Base</b><br>BRITA GRADUADA SIMPLES                       | 8,0           | 9,0   | 9,0               | 12,0 | 13,0              | 12,0 |
| <b>Sub-base</b><br>BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO       | 19,0          | 18,0  | 19,0              | 18,0 | 18,0              | 18,0 |
| <b>Reforço do Subleito</b><br>SOLO                          | 18,0          | 18,5  | 18,0              | 16,0 | 14,0              | 16,0 |
| <b>Subleito</b>   | -             | -     | -                 | -    | -                 | -    |

De posse dos dados deflectométricos (Figura 1) e das características das camadas das seções-teste (Tabela 2) foram realizadas retroanálises das estruturas de pavimento com o *Elastic Layered System* (Elsym5) em ambas as seções, para determinação dos módulos elásticos *in situ*. Todas as retroanálises foram realizadas de forma que o erro entre as bacias deflectométricas medidas e calculadas não ultrapassasse o limite de 10%, buscando-se, assim, minimizar as diferenças dos módulos obtidos.

A Figura 2 apresenta os módulos retroanalizados para ambas as seções.



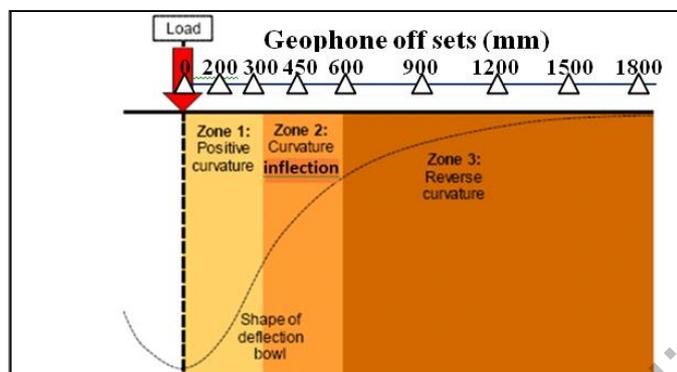
**Figura 2:** Módulos Elásticos Retroanalizados

No processo de retroanálise das estruturas das seções-teste percebeu-se uma interdependência das camadas das estruturas. O módulo da infraestrutura (reforço do subleito + subleito) condiciona muito mais para a obtenção do módulo da BGTC do que na obtenção do módulo do revestimento. Por sua vez, o módulo da BGS é subordinado aos módulos das camadas subjacentes, em especial da camada de BGTC, por estar diretamente apoiada.

### 3. PARÂMETROS DA BACIA DE DEFLEXÕES

A partir da correta interpretação das bacias de deflexões medidas com FWD é possível direcionar um diagnóstico assertivo nos projetos de reabilitação dos pavimentos, focando nas regiões com perda de capacidade de suporte, sem necessidade de ter conhecimento detalhado de toda a estrutura do pavimento ou da realização de retroanálises.

Segundo Horak (2008), a bacia de deflexões medida abaixo da aplicação da carga pode ser basicamente descrita em termos de três zonas distintas, Zona 01, Zona 02 e Zona 03. A Figura 3 ilustra apresenta estas zonas.



**Figura 3:** Zonas de Curvatura da Bacia de Deflexão. **Fonte:** (HORAK, 2008)

De acordo com SANRAL (2014), o geofone imediatamente abaixo da carga do FWD mede a maior deflexão, e todas as camadas contribuem para essa deflexão. O geofone mais distante da aplicação da carga mede uma deflexão que é gerada a partir do subleito. Além disso, as deflexões obtidas fornecem informações sobre as camadas individuais, quando observada toda a bacia. Os Parâmetros da Bacia de Deflexões utilizados neste estudo são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Parâmetros da Bacia de Deflexões. **Fonte:** Adaptado de SANRAL (2014), Horak (2008), Horak, Emery e Maina (2015), Lopes, Fortes e Suzuki (2013).

| Parâmetro   | Fórmula   | Unidade   | Zona de Curvatura<br>(Ver Figura 3) |
|---|---|-----------|-------------------------------------|
| $D_0$ - Deflexão Máxima   | Medido no ponto de carregamento de aplicação da carga | $10^2$ mm | 1, 2 e 3                            |
| $R$ - Raio de Curvatura   | $R = \frac{6250}{2^2(D_0 - D_{25})}$                  | m         | 1                                   |
| <b>BLI</b> - Índice da Camada de Base Anteriormente referido como Índice de Curvatura da Superfície (SCI)   | $BLI = D_0 - D_{30}$                                  | $10^2$ mm | 1                                   |
| <b>MLI</b> - Índice da Camada Média Anteriormente referido como Índice da Curvatura da Base (BCI)   | $MLI = D_{30} - D_{60}$                               | $10^2$ mm | 2                                   |
| <b>LLI</b> - Índice da Camada Inferior Anteriormente referido como Índice de Dano à Base (BDI)  | $LLI = D_{60} - D_{90}$                               | $10^2$ mm | 3                                   |
| <b>Onde:</b> $D_0, D_{25}, D_{30}, D_{60}, D_{90}$ ( $10^2$ mm)<br>Deflexões medidas distantes à 0 cm, 25 cm, 30 cm, 60 cm e 90 cm do ponto de aplicação da carga |   |           |                                     |

Neste estudo o parâmetro Raio de Curvatura não foi analisado, uma vez que o tipo do pavimento estudado é semirrígido invertido, e a norma DNER-PRO 011/79 indica a utilização de raios de curvatura na avaliação estrutural de pavimentos flexíveis. Além do mais, de acordo com Horak (2008) devido à proximidade (20 cm) do geofone da borda da placa de aplicação de carga, as indicações estruturais relacionadas ao raio de curvatura podem apresentar menor confiabilidade em relação aos demais parâmetros.

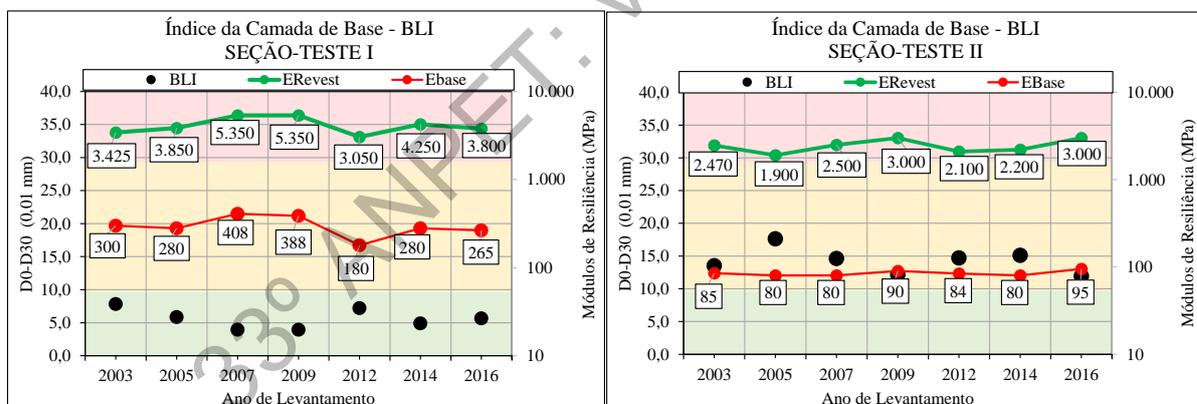
Horak (2008) sugeriu critérios para avaliar pavimentos sul-africanos, classificando-os como “bom”, “atenção” e “ruim”, mostrados na Tabela 4. Ao usar esses critérios de avaliação, as deficiências nas camadas estruturais podem ser apontadas com mais facilidade.

**Tabela 4:** Classificação da Condição Estrutural de acordo com os Parâmetros da Bacia de Deflexões. **Fonte:** Adaptado de Horak (2008)

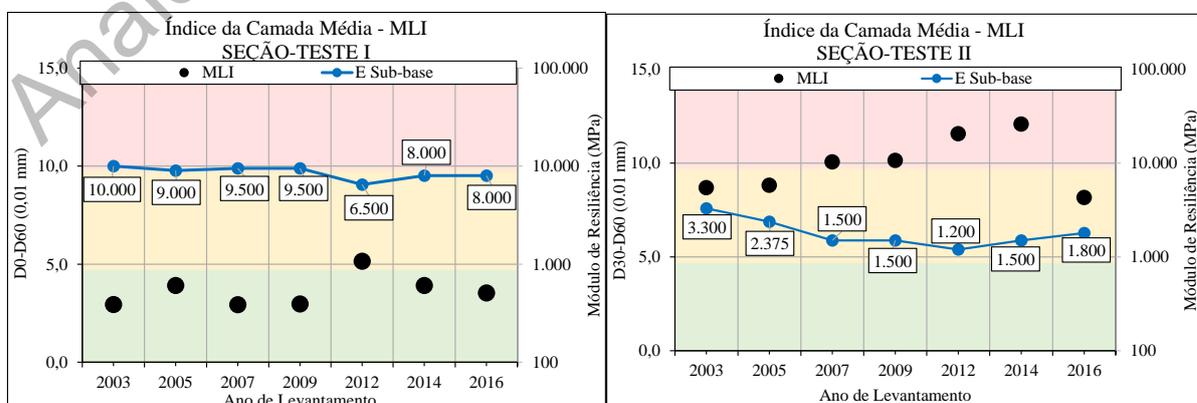
| Tipo de Base    | Condição Estrutural | Parâmetros da Bacia de Deflexões ( $10^{-2}$ mm) |   |  |  |
|-----------------|---------------------|--|---|--|--|
|                 |                     | D <sub>0</sub>                                   | BLI (D <sub>0</sub> - D <sub>30</sub> ) | MLI (D <sub>30</sub> - D <sub>60</sub> ) | LLI (D <sub>60</sub> - D <sub>90</sub> ) |
| Base Granular   | Bom                 | <50  | <20                                     | <10                                      | <5                                       |
|                 | Atenção             | 50-75  | 20-40                                   | 10-20                                    | 5-10                                     |
|                 | Ruim                | >75  | >40                                     | >20                                      | >10                                      |
| Base Cimentada  | Bom                 | <20  | <10                                     | <5                                       | <4                                       |
|                 | Atenção             | 20-40  | 10-30                                   | 5-10                                     | 4-8                                      |
|                 | Ruim                | >40  | >30                                     | >10                                      | >8                                       |
| Base Betuminosa | Bom                 | <40  | <20                                     | <10                                      | <5                                       |
|                 | Atenção             | 40-60  | 20-40                                   | 10-15                                    | 5-8                                      |
|                 | Ruim                | >60  | >40                                     | >15                                      | >8                                       |

Na Tabela 4 os parâmetros indicados para base cimentada são adequados para classificação da condição estrutural dos pavimentos semirrígidos invertidos, pavimento comumente utilizado na África do Sul (informação verbal fornecida por Emile Horak através de mensagem de texto em abril de 2018).

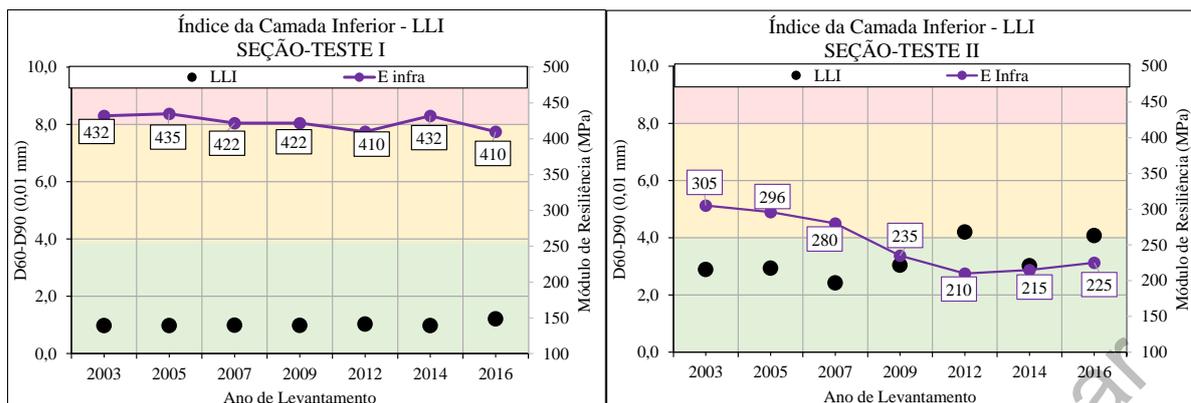
Foram calculados os Parâmetros da Bacia de Deflexões de ambas as seções-teste, associando-os aos módulos retroanalizados das respectivas camadas. Os limites admitidos para a classificação da condição estrutural de pavimentos com base cimentada, estão em conformidade com a Tabela 4.



**Figura 4:** Avaliação do revestimento e da camada de BGS - Índice da Camada de Base (BLI).



**Figura 5:** Avaliação da camada de BGTC - Índice da Camada Média (MLI).



**Figura 6:** Avaliação da camada de infraestrutura (reforço do subleito+subleito) - Índice da Camada Inferior (LLI)

Na Figura 4 associou-se o parâmetro BLI aos módulos retroanalizados das camadas de revestimento e de BGS, uma vez que foi verificado que o desempenho modular do revestimento está diretamente ligado à integridade da camada subjacente. Na seção-teste I todos os parâmetros calculados são menores que  $10 \cdot 10^{-2}$  mm, indicando uma boa condição estrutural, ao passo que os valores modulares mínimos correspondem a 3.050 MPa e 180 MPa para o revestimento e base, respectivamente.

O comportamento da camada de BGTC da seção-teste I se mantém “bom” em praticamente todos os anos de análise (Figura 5). Este comportamento pôde ser verificado *in loco* pela extração de corpos de provas íntegros da camada de BGTC. Por outro lado, o comportamento da camada de BGTC da seção-teste II (Figura 5) denota perda gradativa de capacidade estrutural desde a 1ª campanha de monitoramento em 2003. A má condição estrutural da seção-teste foi também verificada na extração dos corpos de prova, que se apresentavam desagregados nos 3,0 cm inferiores da camada.

Os indicadores da condição estrutural (Módulo e LLI) das camadas subjacentes à camada de BGTC (Figura 6) apresentam grandes disparidades em ambas as seções-teste, podendo ser fortemente considerada uma possível causa para a diferença de desempenho das seções-teste. Balbo (1993) concluiu que a compactação da BGTC é afetada pela deformabilidade das camadas subjacentes e então, quanto menor a deformabilidade da camada de assentamento da BGTC, maiores são as densidades obtidas no fundo desta camada após a compactação.

#### 4. ESTUDO PARAMÉTRICO E ANÁLISE DE DADOS

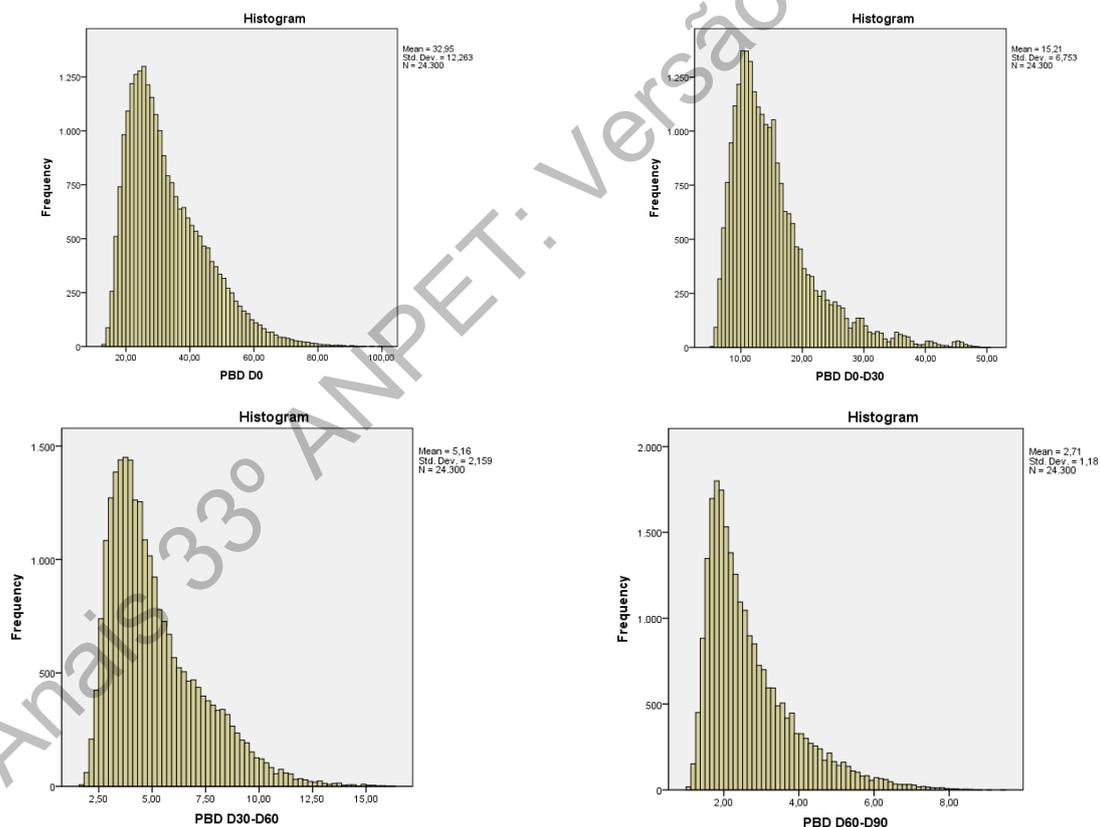
Objetivando verificar a sensibilidade dos parâmetros propostos por Harok (2008) e entender o comportamento das variáveis envolvidas no desempenho estrutural dos pavimentos semirrígidos invertidos e em especial das seções-teste estudadas, foi desenvolvido um estudo paramétrico a partir das combinações de espessuras e de módulos de elasticidade. Foram simuladas bacias de deflexões de 24.300 estruturas de pavimentos com sistemas de quatro camadas elásticas superpostas com o programa computacional Elsym-5. A Tabela 5 sintetiza as características das estruturas simuladas.

**Tabela 5:** Características das estruturas simuladas

| Camada                     | Espessuras (cm)  | Coefficiente de Poisson | Módulos (MPa)                              |
|----------------------------|------------------|-------------------------|--|
| Revestimento Asfáltico     | 7,5; 10,0; 12,0  | 0,30                    | 1.000; 2.000; 3.000; 4.000; 5.000          |
| Base Granular              | 10,0; 12,0; 15,0 | 0,35                    | 100; 200; 300; 400; 500                    |
| Sub-base Cimentada         | 15,0; 17,0; 20,0 | 0,25                    | 2.000; 4.000; 6.000; 8.000; 10.000; 12.000 |
| Infraestrutura equivalente | -                | 0,40                    | 50; 100; 150; 200; 250; 300                |

A partir das respostas elásticas obtidas com a simulação das 24.300 estruturas de pavimento foi possível construir modelos lineares generalizados, em que  $D_0$ ,  $D_0$ - $D_{30}$ ,  $D_{30}$ - $D_{60}$  e  $D_{60}$ - $D_{90}$  foram utilizados como variáveis resposta, e as espessuras das camadas do pavimento e os módulos de elasticidade foram considerados como fatores. Tendo em vista que o objetivo eram as combinações entre os fatores, os modelos ajustados consideraram todos os efeitos de interação duplos entre espessuras e módulos. O *software* SPSS versão 17.0 foi utilizado nas análises.

Os modelos foram comparados a partir do Critério de Informação de Akaike e do *Deviance*, utilizando-se como critério de quanto menor, melhor”. A Figura 7 apresenta os histogramas para as variáveis resposta consideradas e de onde pode-se observar a assimetria das curvas, sugerindo que as mesmas não apresentam Distribuição Normal.



**Figura 7:** Histogramas das variáveis resposta

Após simulações, onde foram combinados diferentes tipos de distribuições assimétricas para a variável resposta e diferentes funções de ligação, os melhores modelos ajustados para  $D_0$ ,  $D_0$ - $D_{30}$ ,  $D_{30}$ - $D_{60}$  e  $D_{60}$ - $D_{90}$  consideraram a Distribuição *Gamma* para a variável resposta e as seguintes funções de ligação, respectivamente: raiz quadrada, potência - 0,2, identidade e raiz quadrada.

Embora a hipótese de distribuição normal para o *deviance* residual do modelo tenha sido rejeitada pelo Teste de *Kolmogorov-Smirnov* ( $p\text{-value} < 0,001$ ), as curvas do *deviance* apresentaram comportamento simétrico e, portanto, a violação da hipótese de normalidade não afeta sobremaneira os testes acerca dos parâmetros dos modelos. Além disso, o gráfico de *deviance versus* valores preditos distribuiu-se aleatoriamente em torno de  $y = 0$ , resultado que indica que a hipótese de homocedasticidade também não foi violada.

A Tabela 6 apresenta os valores dos módulos de elasticidade médios fornecidos pelos modelos supracitados, obtidos de acordo com os dados de entrada apresentados na Tabela 5, e classificados conforme os critérios estabelecidos por Horak (2008).

**Tabela 6:** Classificação da Condição Estrutural de acordo com os Parâmetros da Bacia de Deflexões e módulos elásticos.

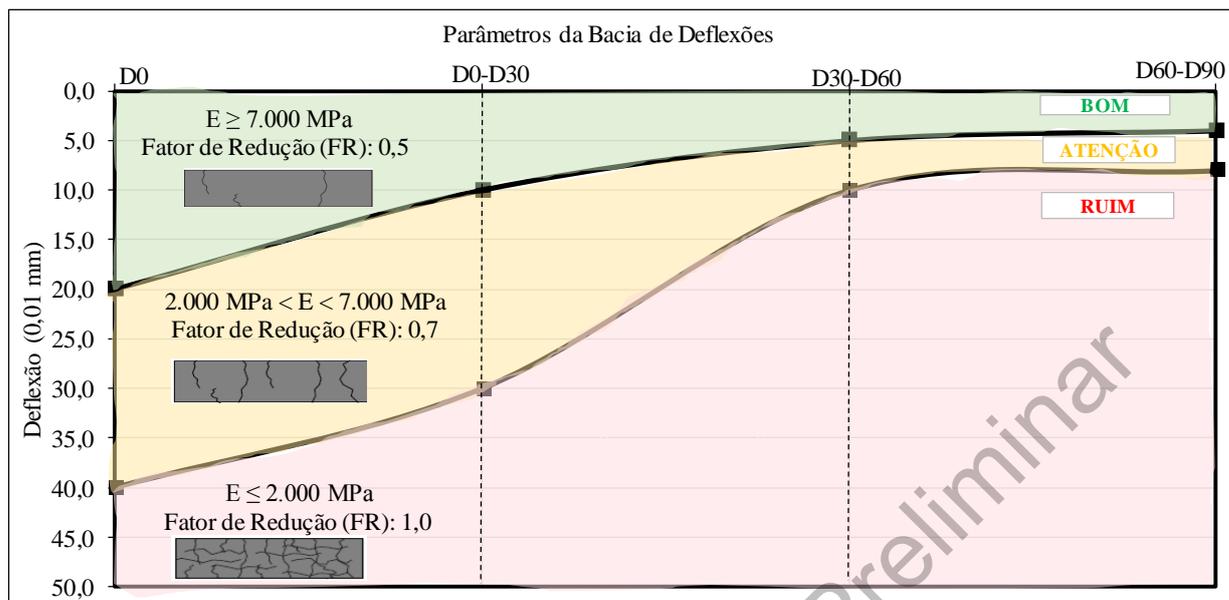
| Condição Estrutural | Fator de Redução (IP-DEP00/002) | Parâmetros da Bacia de Deflexões ( $10^{-2}$ mm) |   |  |  | Módulos de Elasticidade (MPa) |                    |                        |                                   |
|---------------------|---------------------------------|--|---|--|--|-------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------|
|                     |                                 | D <sub>0</sub>                                   | BLI (D <sub>0</sub> - D <sub>30</sub> ) | MLI (D <sub>30</sub> - D <sub>60</sub> ) | LLI (D <sub>60</sub> - D <sub>90</sub> ) | Revestimento (CA)             | Base (BGS)         | Sub-base (BGTG)        | Infra (Ref. do Subleito+Subleito) |
| Bom                 | 0,5                             | <20  | <10                                     | <5                                       | <4                                       | $E \geq 3.100$                | $E \geq 200$       | $E \geq 7.000$         | $E \geq 180$                      |
| Atenção             | 0,7                             | 20-40  | 10-30                                   | 5-10                                     | 4-8                                      | $2.100 < E \leq 3.100$        | $100 < E \leq 200$ | $2.000 < E \leq 7.000$ | $50 < E \leq 180$                 |
| Ruim                | 1,0                             | >40  | >30                                     | >10                                      | >8                                       | $E \leq 2.100$                | $E \leq 100$       | $E \leq 2.000$         | $E \leq 50$                       |

Os módulos médios de elasticidade (Tabela 6) e a classificação da condição estrutural se mostraram convergentes quando comparados com os módulos retroanalisados nas seções-teste I e II. A classificação da condição estrutural dos pavimentos através dos Parâmetros da Bacia de Deflexões também se mostrou adequada, uma vez que foi possível observar em campo, ano a ano, o desempenho dos pavimentos.

A partir das simulações obtidas no estudo paramétrico e da classificação da condição estrutural dos pavimentos realizada por Horak (2008) foi possível indicar os limites dos módulos elásticos e associar estes valores modulares aos fatores multiplicadores indicados na Instrução de Projeto IP-DEP00/002 do DER/SP (DER/SP, 2006), possibilitando, assim, avaliar a integridade da camada cimentada sem a necessidade de uma investigação destrutiva (Figura 8).

De acordo com a IP-DEP00/002, se a estrutura do pavimento for semirrígida com base de solo-cimento ou base de brita graduada tratada com cimento, deve-se analisar a condição de fissuração da camada cimentada. Se a camada estiver íntegra, adota-se como deflexão admissível o valor obtido pelas metodologias voltadas para reabilitação dos pavimentos flexíveis (DNER PRO-11/79, DNER PRO-269/94 – TECNAPAV), multiplicado por 0,5. Se a camada estiver com fissuração, mas ainda com comportamento de estrutura semirrígida, adota-se o valor da deflexão admissível multiplicado por 0,7. Se a camada estiver totalmente fissurada e deteriorada com comportamento de estrutura flexível, adota-se o valor da deflexão admissível multiplicado por 1,0.

A partir da análise dos Parâmetros da Bacia de Deflexões, em conjunto com os módulos elásticos e os fatores de redução indicados na IP-DEP00/002, foi possível gerar um diagrama (Figura 8) que possibilita a avaliação da integridade da camada cimentada nos pavimentos semirrígidos invertidos, dispensando a realização de ensaios destrutivos.



**Figura 8:** Avaliação da Integridade da camada cimentada nos pavimentos semirrígidos invertidos

A análise das respostas elásticas obtidas a partir das simulações também possibilitou o entendimento do desempenho estrutural dos pavimentos semirrígidos invertidos quando da variação das espessuras e módulos elásticos das camadas, concluindo que:

- Quanto menor a espessura do revestimento asfáltico, maior o seu módulo de elasticidade;
- Os módulos do revestimento asfáltico são mais dependentes da espessura da camada de BGS do que da variação da espessura da BGTC;
- O módulo de elasticidade da camada de BGS varia mais em função das espessuras e dos módulos da camada de BGTC, e do revestimento asfáltico do que em função de suas próprias características;
- Os módulos da BGTC são dependentes da variação da espessura da camada de BGS, e pouco influenciáveis pela variação da espessura do revestimento;
- Espessuras maiores de BGS proporcionam módulos maiores de BGTC;
- Quanto mais esbelta a camada de BGTC maiores serão os módulos de elasticidade;
- Quanto maior o módulo da camada subjacente, maior deverá ser o módulo da camada de BGTC;
- As espessuras do revestimento asfáltico e da BGS quase não influenciam na obtenção do módulo da camada de infraestrutura (reforço do subleito + subleito).

Esta análise possibilitou a indicação das possíveis causas atreladas as diferenças de comportamento de ambas as seções-teste. As diferenças de espessuras das camadas (Tabela 2), especialmente da BGS e da BGTC (considerando a segregação nos 3,0 cm finais, observada na abertura dos poços de inspeção), e as diferenças de suporte das camadas subjacentes (Figura 6) às camadas da BGTC podem ter ocasionado a diferença de desempenho nas seções estudadas. No entanto, para o inteiro entendimento do comportamento dos pavimentos seria preciso caracterizar os materiais das camadas utilizados, como granulometria, porcentagem de cimento, compactação, umidade, densidade e todos os outros fatores atrelados ao sucesso desse tipo de pavimento.

## 5. CONCLUSÃO

Neste artigo, o estudo paramétrico possibilitou o entendimento do comportamento dos pavimentos semirrígidos invertidos, em especial das seções-teste estudadas, no que se refere à disposição em perfil, interação e espessura das camadas.

Conclui-se que a diferença de desempenho entre as seções-teste estudadas pode estar atrelada, a princípio, às diferenças de espessuras das camadas de BGS e BGTC e à deformabilidade da camada de infraestrutura (reforço do subleito+subleito). Entretanto, para que se tenha um diagnóstico conclusivo é importante verificar os ensaios laboratoriais e *in situ* realizados durante a execução das obras em 2001, assim como realizar novos ensaios para que seja possível identificar as características físicas e químicas das seções-teste.

Também foi possível associar, com confiança, os Parâmetros da Bacia de Deflexões aos módulos de trabalho das camadas dos pavimentos semirrígidos invertidos. A coerência obtida nos resultados da análise de mais de 24.000 simulações das bacias de deflexões e as respostas das seções-teste proporciona segurança nos critérios e metodologias utilizadas, o que permite uma interpretação rápida e precisa dos valores de deflexões deste tipo de pavimento, sem que haja a necessidade da realização de ensaios destrutivos ou de inúmeras retroanálises nos projetos de reabilitação deste tipo de pavimento.

A indicação de uma faixa de módulos para a camada cimentada, integrada aos Parâmetros da Bacia de Deflexões, permitiu a associação dos fatores multiplicadores indicados na Instrução de Projeto IP-DEP00/002, possibilitando a avaliação da integridade das camadas cimentadas, facilitando a caracterização e interpretação do comportamento estrutural deste tipo de pavimento quando da reabilitação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALBO, José Tadeu (1993) *Estudo das propriedades mecânicas das misturas de brita e cimento e sua aplicação aos pavimentos semi-rígidos*. Tese (Doutorado), Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- DER/SP. (2006) *IP-DEP00/002 - Projeto de Restauração de Pavimentos*. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – São Paulo, 50 p.
- LOPES, Flaviane; FORTES, Rita; SUZUKI, Carlos. (2013) *Pavimentos Flexíveis com Revestimento Asfáltico - Avaliação Estrutural a partir dos Parâmetros de Curvatura da Bacia de Deformação*. ABPv: Associação Brasileira de Pavimentação, Cuiabá, p.58-65.
- FERRI, Santi et al. (2010) *Proposição de metodologia de retroanálise para estimar o comportamento estrutural de pavimentos asfálticos com bases tratadas com cimento*. ABPv: Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, p.1-3.
- HORAK, Emile. (2008) *Benchmarking the structural condition of flexible pavements with deflection bowl parameters*. Journal Of The South African Institution Of Civil Engineering. Pretoria, p. 2-9.
- HORAK, Emile; EMERY, Stephen; MAINA, James. (2015) *Review of Falling Weight Deflectometer Deflection Benchmark Analysis on Roads and Airfields*. Conference On Asphalt Pavements For Southern Africa (capsa15), 11th, 2015, Sun City, South Africa, Pretoria, p.1-11.
- SANRAL, T. S. (2014) *Pavement Design. Republic of South Africa*: The South African National Road Agency.
- SUZUKI, Carlos Yukio. (1992) *Contribuição ao estudo de pavimentos rodoviários com estrutura invertida (sub-base cimentada)*. 432 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.