



11ª. SEMANA DE TECNOLOGIA METROVIÁRIA – FÓRUM TÉCNICO

“AVALIAÇÃO DO ESTADO ESTRUTURAL DE VIAS SOBRE LASTRO”

AUTORES:

- (1) CÁSSIO EDUARDO LIMA DE PAIVA - UNICAMP
- (2) JOÃO DINI PIVOTO – MRS LOGÍSTICA
- (3) FERNANDO CESAR DE MOURA E SILVA – MRS LOGÍSTICA
- (4) JOÃO RENATO PEPE – CPTM - CIA. PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS
- (5) LUIZ ANTONIO PELLEGRINI BANDINI – MRS LOGÍSTICA
- (6) LUIZ FRANCISCO MUNIZ DA SILVA – MUNIZ E SPADA
- (7) JORGE LUIS GOUDENE. SPADA – MUNIZ E SPADA
- (8) PAULO ROBERTO AGUIAR – ALUNO DE PÓS-GRADUAÇÃO UNICAMP

INTRODUÇÃO

O presente trabalho descreve a sistemática adotada pela UNICAMP-Faculdade de Engenharia Civil -Depto. de Geotecnia e Transportes, para avaliação estrutural de uma via constituída por lastro, dormente e trilho, apoiada sobre plataforma em solo, localizada na linha Lapa-Jundiaí. A sistemática adotada consistiu do levantamento de dados geotécnicos do subleito da plataforma, do lastro ferroviário e na caracterização de bacias ou curvas de deflexões de veículos ferroviários trafegando sobre o local, à velocidade de até 50 km/h.

De posse dos dados de campo, foi então realizada uma avaliação estrutural da via através de métodos clássico e computacional, no sentido de se determinar se o esforço provocado por uma locomotiva tipo U23C estava dentro dos limites admissíveis para o trilho e para o subleito.

A LINHA LAPA-JUNDIAÍ

A linha Lapa-Jundiaí, de aproximadamente 50 km de extensão, atravessa terrenos de qualidade bastante diversa, variando desde solos moles até terrenos mais resistentes. Por ela circulam atualmente trens de subúrbio metropolitano, e trens de carga da MRS Logística.

Para a realização desta avaliação estrutural, a linha Lapa-Jundiaí foi dividida em 9 segmentos críticos e um adicional após Jundiaí que por estar sem manutenção representaria uma via em estado



precário. Este critério teve como objetivo principal a busca de situações limites que deveriam representar a via férrea em condições de trabalho severo.

LEVANTAMENTO DE CAMPO

O levantamento de campo constitui-se inicialmente da abertura de poços de inspeção para a coleta de amostras do lastro, lastro contaminado, e subleito e medição das suas espessuras. Foram realizados os ensaios de caracterização dos materiais colhidos, tais como densidade “in situ”, umidade natural, granulometria, limite de liquidez, etc. A capacidade portante foi determinada através do emprego do penetrômetro sul africano DCP, e da realização de ensaios CBR, e de ensaios triaxiais dinâmicos, para determinação da resiliência do solo.

Encerrada esta etapa, foram ainda realizados nos mesmos segmentos, levantamentos do desgaste nos perfis dos trilhos e o levantamento das deflexões da via através de ensaios não destrutivos, por meio de aparelhos com tecnologia a laser para definição das deformações da grade ferroviária sob solicitações da carga de locomotivas trafegando na via em velocidade de até 50 km/h.

A locomotiva utilizadas neste levantamento foi a U23 C, cujas principais características estão relacionadas a seguir: Diesel elétrica; Arranjo dos eixos : C-C; Peso total = 180000 kgf; Carga média por eixo = 30000 kgf; Diâmetro das rodas = 40 polegadas; Espaçamento entre eixos do mesmo truque: D 1-2 = 2,20 m; D 2-3 = 2,14 m.

A foto 1 apresentada a seguir, mostra a locomotiva utilizada. O equipamento de medição dos deslocamentos verticais é composto por 3 equipamentos lasers que visam um anteparo metálico colocado sobre o dormente. Durante a aproximação e a passagem do veículo estudado o dormente sofre um deslocamento vertical que é medido de forma contínua (300 medições por segundo) pelo laser correspondente. As deflexões medidas pelo equipamento laser são transmitidas a um notebook dotado de software específico para o registro em arquivo de dados. A foto 2 mostra o equipamento de medição montado próximo à via férrea.



Foto 1- Locomotivas U20C (em primeiro plano) e a U23C utilizada para determinação das deflexões na via.



Foto 2. Equipamento de medição das deformações recuperáveis, constituído por 3 equipamentos lasers, instalados sobre viga de suporte (paralela à via), e por notebook (ao centro) para registro dos dados.

A foto 3 mostra o laser que se apóia em uma viga de suporte, e o anteparo metálico sobre o dormente. Uma premissa do levantamento realizado é a de que não existe deslocamento entre o trilho e o dormente, tendo sido medidas os deslocamentos ocorrentes sobre o dormente, e sobre o

lastro no nível inferior do dormente (extremidade do dormente), após a remoção do lastro desta região.

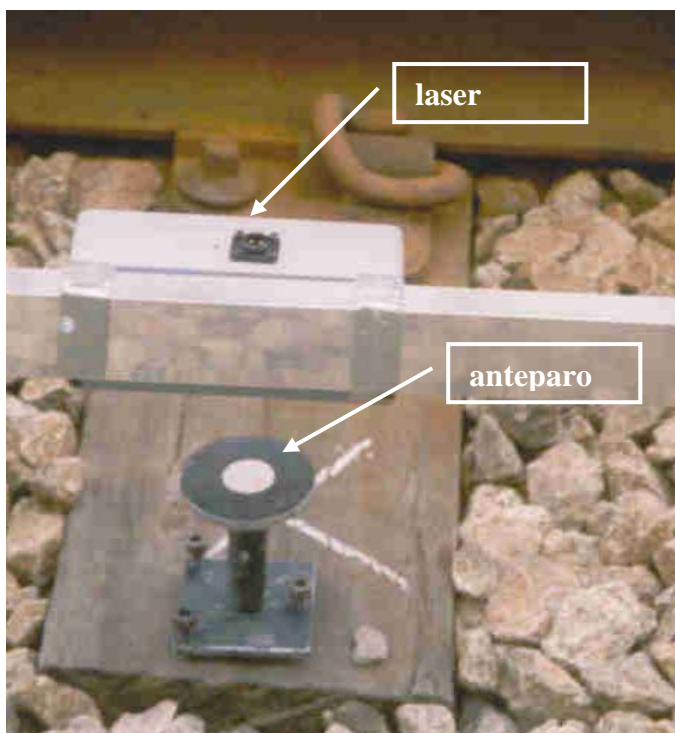


Foto 3. Aparelho laser para medição do deslocamento vertical do dormente (apoiado na viga). O anteparo do feixe de raio laser ficava apoiado sobre o dormente, ou sobre a plataforma, na extremidade do dormente considerado.

EXEMPLO DE RESULTADOS OBTIDOS

Em um dos trechos avaliados foram obtidos os seguintes resultados apresentados na tabela 1.

| Medida | Valor | Unidade |
|---|--------------------------|---------|
| Espessura dormente | 0,17 | m |
| Espessura lastro | 0,30 | m |
| Espessura lastro contaminado | 0,20 | m |
| Limite de liquidez (LL) | 33,5 | % |
| Índice de Plasticidade (IP) | 7 | % |
| Umidade Natural | 23,5 | % |
| CBR | 1,6 | % |
| Resistência à compressão simples | 39 | kPa |
| Classificação HRB | A-4 | - |
| Classificação de Resiliência | III | - |
| Módulo resiliente do lastro ($M_{R\text{-lastro}}$) | $60 \times \theta^{0,3}$ | MPa |
| Módulo resiliente do subleito ($M_{R\text{-subleito}}$) | 30 | MPa |

Tabela 1: Resultados dos ensaios geotécnicos.

As espessuras do dormente e das camadas de lastro e lastro contaminado foram obtidas a partir das sondagens realizadas.



Os limites de Atterberg foram obtidos a partir das amostras recolhidas durante a execução dos poços de inspeção. Os valores da umidade natural foram obtidos a partir de amostras da camada da plataforma e visava permitir posterior moldagem de corpos de prova em laboratório nas mesmas condições de campo. O valor do CBR – índice de suporte Califórnia foi obtido em laboratório com as amostras moldadas nas mesmas condições de campo. Na moldagem destes corpos de prova foi necessária a determinação da família de curvas de compactação que permitisse a correta identificação do grau de compactação de campo.

A resistência a compressão simples foi determinada para que se dispusesse de um outro parâmetro para comparação com a tensão vertical apresentada pelos veículos estudados no nível da plataforma. O módulo de resiliência do subleito foi obtido a partir de ensaio de laboratório específico no qual a amostra foi moldada nas mesmas condições observadas no campo. Finalmente, o módulo resiliente do lastro foi obtido a partir de estudos de retroanálise desenvolvidos com o programa Ferrovias 1.0.

CONCLUSÕES

Os procedimentos de coleta de dados empregados para a avaliação foram considerados satisfatórios e permitiram que a infraestrutura fosse avaliada como suporte da via.

O conjunto das informações permitiu que todo o sistema veículo-trilho-infraestrutura pudesse ser avaliado nas condições reais.

Os dados coletados ao longo dos diferentes trechos permitiram o desenvolvimento de avaliações comparativas entre os trechos e entre os veículos analisados.

U23-Ida V=16 km/h

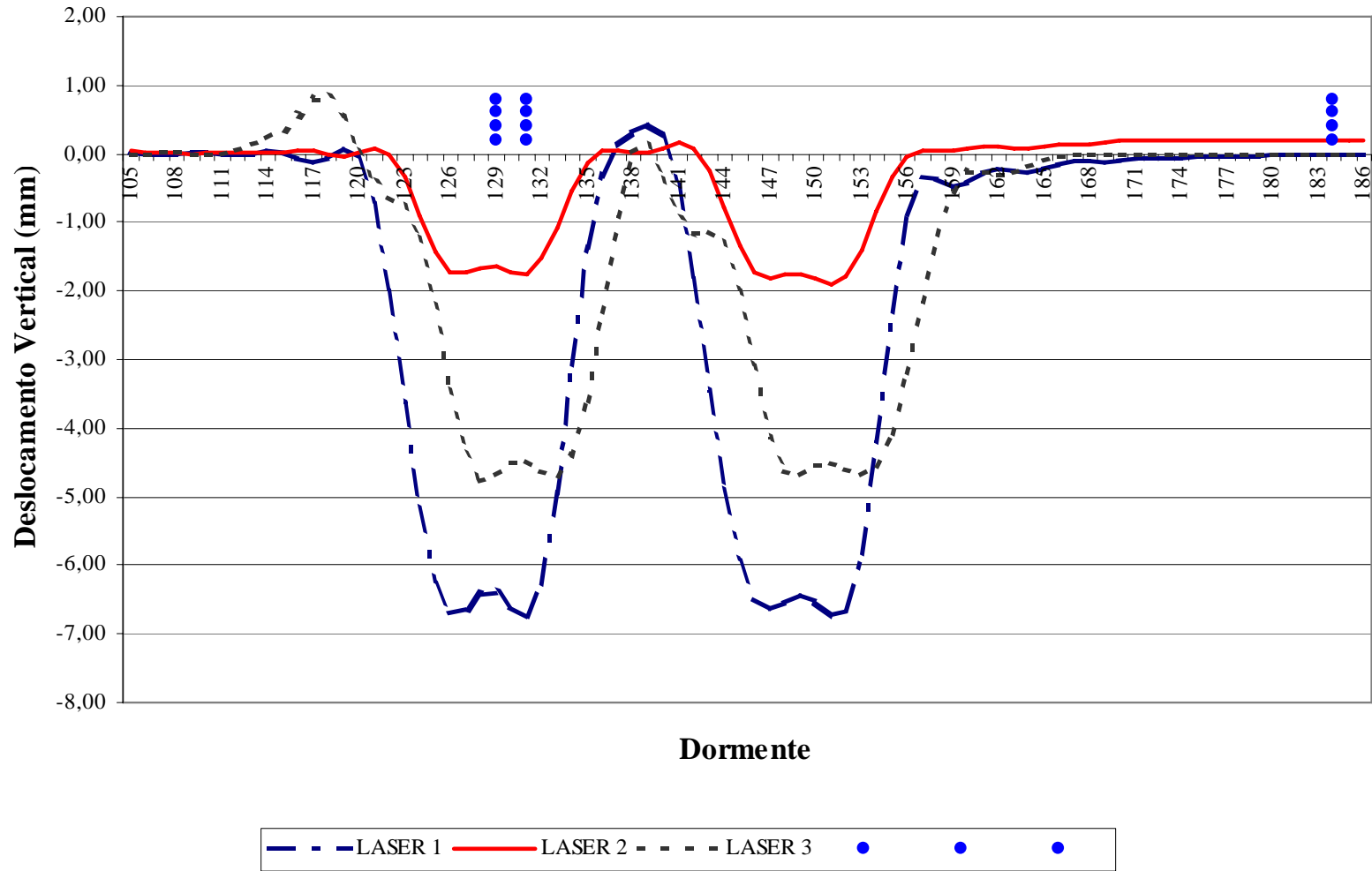


Figura 1: Bacia de deformações medida em um dos trechos, para a locomotiva U23C trafegando à velocidade de 16 km/h



CURRICULUM DOS AUTORES

- (1) Cássio Eduardo Lima de Paiva
UNICAMP – Faculdade de Engenharia Civil – Departamento de Geotecnia e Transportes
Engenheiro Civil, Mestre em transportes (1982), Doutor em Transportes (1989); Experiência em projetos e construção, e pesquisas de vias férreas desde 1978.
- (2) João Dini Pivoto
MRS Logística S.A.
Engenheiro Elétrico
Experiência de mais de 30 anos em vias férreas.
- (3) Fernando César de Moura e Silva
MRS Logística S.A.
Engenheiro Civil
Experiência de mais de 25 anos em via permanente
- (4) João Renato Pepe
CPTM- Cia Paulista de Trens Metropolitanos
Engenheiro Civil
Atual Assessor Técnico Executivo –2, experiência de 25 anos de via permanente.
- (5) Luiz Antonio Pellegrini Bandini
MRS Logística S.A.
Engenheiro Civil
Experiência de mais de 30 anos em via permanente
- (6) Luiz Francisco Muniz da Silva
Muniz e Spada Engenheiros Consultores
Engenheiro Civil, Mestre em Geotecnia (1991), Doutor em Geotecnia (2002); Experiência de mais de 20 anos em obras ferroviárias.
- (7) Jorge Luiz Goudene Spada
Muniz e Spada Engenheiros Consultores
Engenheiro Civil, Mestre em Geotecnia (1991), Doutor em Geotecnia (2003); Experiência de mais de 25 anos em obras ferroviárias.
- (8) Paulo Roberto Aguiar
UNICAMP-Aluno de Pós-Graduação
Engenheiro Civil
Experiência de 25 anos de via permanente.

Características da Via Férrea analisada

- **Extensão: 50 km**
- **Característica: atravessa trechos de terrenos em solos moles (várzea de córrego até terrenos mais resistentes).**
- **Tráfego: misto.**



A Avaliação

- **A linha foi dividida em 10 segmentos críticos (critério: busca de situações limites, representativas da via férrea em condições de trabalho severo).**
- **Avaliação estrutural através de método clássico (Zimmermann), e computacional (Ferrovia 1.0).**
- **Verificado se o esforço provocado por locomotiva U23C estava dentro dos limites admissíveis para o trilho e para o subleito.**

Locomotivas U20C e U23C utilizadas no estudo



Levantamento de campo

- **Fase 1: Coleta de amostras dos materiais**
 - Lastro
 - Lastro contaminado
 - Subleito
 - Medição das espessuras das camadas
- **Fase 2: Levantamentos**
 - Desgaste dos trilhos
 - Deflexões por meio de equipamento a laser, com locomotivas trafegando à velocidade de até 50 km/h.

Poços de Inspeção





Determinação da capacidade portante





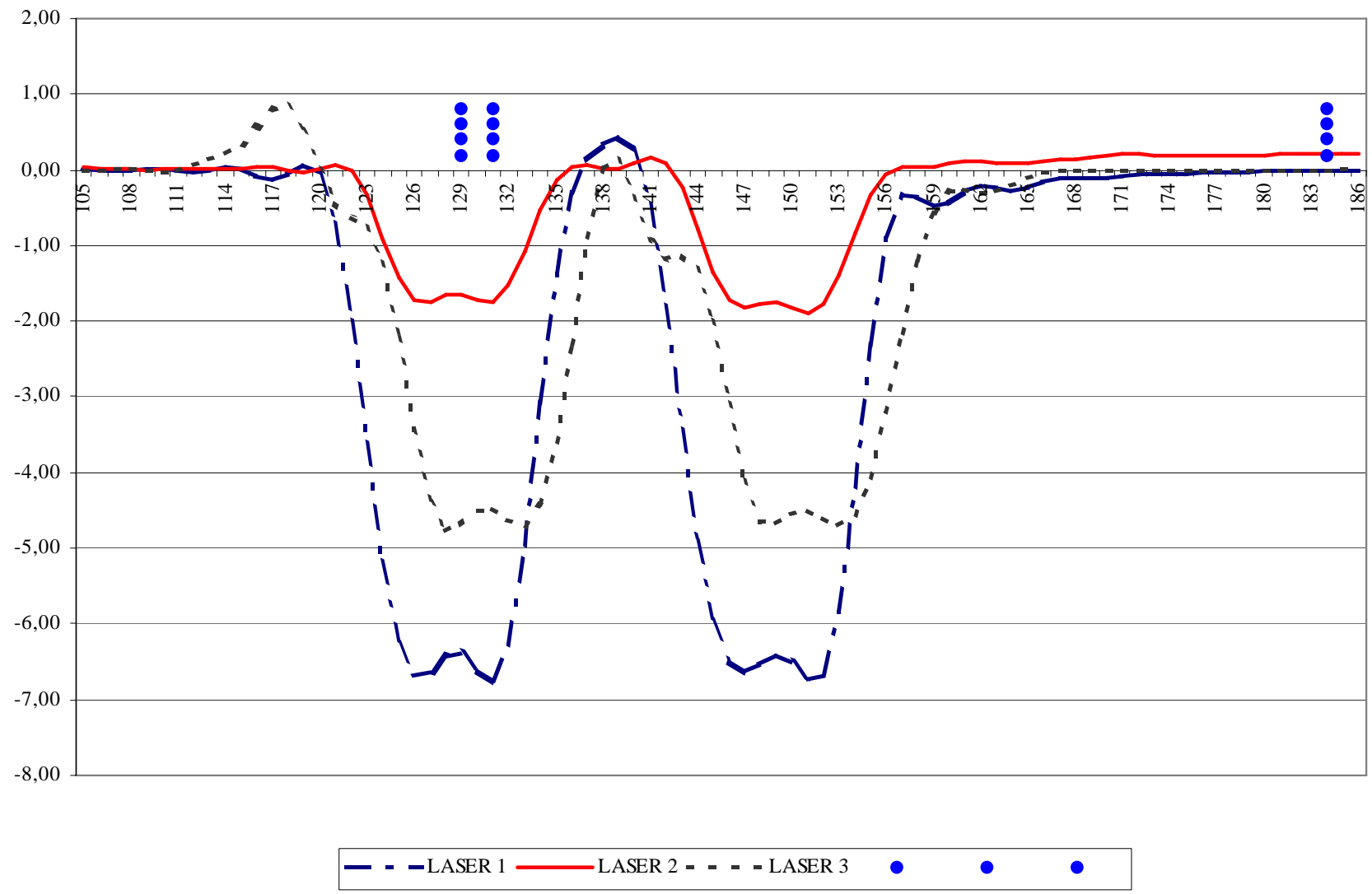


Resultados dos ensaios geotécnicos do segmento 1-2



| Medida | Valor | Unidade |
|---|--------------------------|----------------|
| Espessura dormente | 0,17 | m |
| Espessura lastro | 0,30 | m |
| Espessura lastro contaminado | 0,20 | m |
| Limite de liquidez (LL) | 33,5 | % |
| Índice de Plasticidade (IP) | 7 | % |
| Umidade Natural | 23,5 | % |
| CBR | 1,6 | % |
| Resistência à compressão simples | 39 | kPa |
| Classificação HRB | A-4 | - |
| Classificação de Resiliência | III | - |
| Módulo resiliente do lastro ($M_{R\text{-lastro}}$) | $60 \times \theta^{0,3}$ | MPa |
| Módulo resiliente do subleito ($M_{R\text{-subleito}}$) | 30 | MPa |

Bacia de Deflexões



Segmento 1-2 – U23C

Conclusões sobre o estado da via avaliada

- **Os procedimentos de coleta de dados empregados para a avaliação foram considerados satisfatórios e permitiram que a infraestrutura fosse avaliada como suporte da via.**



