

**33ª REUNIÃO ANUAL DE
PAVIMENTAÇÃO
FLORIANÓPOLIS/SC**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UMA PISTA
EXPERIMENTAL DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM
CONCRETO ASFÁLTICO**

Fernando Pugliero Gonçalves¹
Jorge Augusto Pereira Ceratti²
Régis Martins Rodrigues³
Luiz Somacal Neto⁴

¹ Eng. Civil, Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS

² Eng. Civil, Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS

³ Eng. Civil, Professor, Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica/ITA-CTA

⁴ Eng. Civil, DAER/RS

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – CPGEC

Av. Osvaldo Aranha, 99/3^o andar

Porto Alegre – RS – Brasil CEP: 90035190

E-mail: pugliero@vortex.ufrgs.br e ceratti@adufgrs.ufrgs.br

Fone: 051 33167049 Fax: 051 3163999

³ Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

São José dos Campos – SP – Brasil

E-mail: regis@infra.ita.cta.br

⁴ Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul

Av. Guaíba, 154 - Assunção

Porto Alegre - RS - Brasil CEP: 91740760

Fone: 051 2671617 Fax: 051 2671609

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UMA PISTA EXPERIMENTAL DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM CONCRETO ASFÁLTICO

RESUMO

Neste artigo apresenta-se a condição atual de uma pista experimental de pavimento submetida a solicitações de cargas impostas em verdadeira grandeza por um simulador linear de tráfego. Para interpretação do desempenho oferecido pelo pavimento foram monitoradas ao longo do tempo as seguintes respostas fundamentais: trincamento da camada asfáltica, afundamentos em trilha de roda e evolução da deformabilidade elástica do pavimento. O diagnóstico parcial do nível de degradação revelado pelo pavimento contempla, ainda, a análise de parâmetros obtidos a partir da instrumentação da seção experimental. São discutidos resultados de tensões e deformações medidas em pontos críticos da estrutura ao longo do período de solicitação pelo trem de carga do simulador de tráfego. A seção de pavimento em estudo consiste de um pavimento flexível em concreto asfáltico típico com revestimento constituído por concreto asfáltico modificado por polímeros e camadas de base e de sub-base de brita graduada assentes sobre um solo argiloso utilizado como reforço de subleito.

Palavras-chave: pavimentos, misturas asfálticas, ensaios acelerados, instrumentação.

1- INTRODUCAO

O comportamento adequado de misturas asfálticas em serviço é de fundamental importância para a racionalização dos investimentos em infra-estrutura viária no Brasil. A utilização de cimentos asfálticos modificados por polímeros tem sido apontada ao longo dos últimos anos como uma possibilidade alternativa para a melhoria do desempenho de pavimentos asfálticos. Diversos estudos envolvendo a realização de ensaios de laboratório e de campo demonstram as alterações introduzidas por diferentes tipos e percentuais de polímeros e a sua influência no comportamento de misturas asfálticas *in situ*.

Com relação as investigações de desempenho de estruturas de pavimentos flexíveis um aspecto interessante de ser discutido diz respeito a possibilidade da realização de análises comparativas da degradação evolutiva e dos custos associados ao ciclo de vida oferecidos por diferentes composições de misturas asfálticas numa dada situação de projeto.

No estágio atual de desenvolvimento da tecnologia aplicada nas etapas de projeto e de estudos de desempenho de pavimentos asfálticos o nível de confiabilidade associado às análises comparativas efetuadas entre soluções alternativas que envolvem a utilização de misturas asfálticas convencionais (CBUQ) e modificadas por polímeros (CAM) é extremamente baixo. Tendo em vista, principalmente, o desconhecimento da equivalência estrutural e dos ganhos efetivos associados com a utilização de asfaltos modificados numa dada composição de mistura asfáltica. O que se sabe de fato é que os asfaltos modificados por polímeros apresentam custos iniciais significativamente superiores quando comparados com os cimentos asfálticos convencionais.

A partir do momento em que o conhecimento existente nos permite, no caso de pavimentos flexíveis em concreto asfáltico, identificar os principais mecanismos que concorrem para a queda da serventia das estruturas ao longo de sua vida de serviço, resta-nos então, fundamentalmente, estabelecer critérios e modelos de previsão de desempenho que

possibilitem estimar a vida de serviço dos pavimentos em relação aos seus principais mecanismos de deterioração.

Nos últimos anos, diversos estudos, como os realizados por Ullidtz (1), Witczack (2) e Rodrigues (3), foram desenvolvidos no sentido de se obter modelos de previsão de desempenho. Somente através de modelos deste tipo se pode efetuar projetos considerando o uso de materiais para os quais não se tem experiência de campo suficiente para a elaboração de um modelo empírico adequado.

Para o desenvolvimento da pesquisa proposta no presente trabalho, cuja finalidade é investigar o desempenho oferecido por camadas de revestimentos constituídas por misturas asfálticas convencionais e por misturas asfálticas modificadas por polímeros, foram construídas e instrumentadas seis pistas experimentais de pavimentos. Tais pistas possuem estruturas idênticas, à exceção do tipo e da espessura das camadas asfálticas de revestimento.

A avaliação do desempenho das pistas experimentais em termos dos mecanismos principais de degradação que comumente condicionam o término da adequação das condições estrutural e funcional de pavimentos flexíveis em concreto asfáltico vem sendo realizada periodicamente. As solicitações de cargas são impostas por um simulador linear de tráfego. A configuração e o funcionamento do simulador de tráfego utilizado estão descritos em Ceratti *et al.* (4).

2 – ENSAIOS ACELERADOS E INSTRUMENTAÇÃO DE PAVIMENTOS

Pesquisas envolvendo a realização de ensaios acelerados em estruturas de pavimentos são desenvolvidas em vários países. Tais estudos buscam avaliar o desempenho de pavimentos em serviço. Para tanto, foram planejados e desenvolvidos diversos programas de pesquisas com o propósito de possibilitar a obtenção de parâmetros fundamentais, através dos quais espera-se racionalizar as etapas de dimensionamento e avaliação de pavimentos.

Dentre os principais estudos envolvendo ensaios acelerados e instrumentação de pavimentos, destacam-se: pista experimental de Minnesota, Nardo Road Test, Corpo dos Engenheiros do Exército Americano, pista Experimental de Nantes, Virtaa Test Track, Alberta Research Council, pista experimental de Madri e pista experimental de Nevada.

Com relação a instrumentação de seções de pavimentos destaca-se o estudo que está sendo desenvolvido pelo Departamento de Transportes do Estado de Minnesota (Mn/DOT), Estados Unidos, que planejou e implementou um programa de pesquisas denominado Mn/ROAD (Minnesota Road Research Project), o qual, representa sem sombra de dúvidas, um grande passo no campo de experimentos em escala real para ensaios de pavimentos. A instrumentação inclui a instalação de aproximadamente 3000 sensores, os quais permitem monitorar a evolução de respostas dos pavimentos, tanto em relação às cargas do tráfego, como no que se refere as condições ambientais (temperatura e umidade).

Os dados coletados no Mn/ROAD são usados para avaliar os métodos de projeto atualmente disponíveis, assim como, para auxiliar no desenvolvimento de novas metodologias para avaliação e projetos de estruturas de pavimentos. Além disso, estão sendo feitas tentativas no sentido de desenvolver modelos de previsão de desempenho do tipo mecânicos. Nessa pesquisa são feitas observações relativas a variação das respostas, tanto em períodos curtos como em períodos longos, dentro do período de projeto.

Horak *et al.* (5) discutem a aplicabilidade prática de ensaios acelerados em escala real realizados em estruturas de pavimentos através da utilização de simuladores de tráfego. De acordo com os referidos autores tais ensaios podem ser vistos como ferramentas auxiliares de

grande importância para as etapas de dimensionamento e avaliação do desempenho de pavimentos em serviço.

Metcalf (6) apresenta um resumo dos principais programas de investigação do desempenho de pavimentos envolvendo a realização de ensaios em verdadeira grandeza em trechos de rodovias, pistas circulares ou pistas retas.

3 - CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO

O experimento planejado para investigação do desempenho de pavimentos asfálticos com diferentes espessuras das camadas de revestimento envolvendo dois tipos de composições de misturas asfálticas está apresentado em Gonçalves *et al.* (7). As pistas experimentais de pavimentos a serem solicitadas pelo simulador de tráfego foram executadas no mês de setembro do ano de 2001. A configuração geométrica das seções dos pavimentos está apresentada na Tabela 1.

Neste trabalho são apresentados resultados derivados de ensaios acelerados realizados na pista experimental cuja espessura de revestimento é de quarenta (40) milímetros e o tipo de mistura asfáltica é modificada por polímeros. O tipo de polímero utilizado consiste de um SBS com teor de 3 %. As camadas granulares de base e de sub-base são de brita graduada e o reforço do subleito é constituído por um solo argiloso.

Tabela 1- Características das pistas experimentais

pista	seção	tipo de mistura asfáltica	espessura do revestimento (mm)	espessura da base (mm)	espessura da sub-base (mm)	carga aplicada (kN)
P1	1	CBUQ	40	150	150	130
P1	2	CBUQ	40	150	150	82
P2	3	CAM	40	150	150	130
P2	4	CAM	40	150	150	82
P3	5	CAM	60	150	150	130
P3	6	CAM	60	150	150	120
P4	7	CBUQ	60	150	150	130
P4	8	CBUQ	60	150	150	120
P5	9	CBUQ	80	150	150	130
P5	10	CBUQ	80	150	150	100
P6	11	CAM	80	150	150	130
P6	12	CAM	80	150	150	100

4 - TRÁFEGO ATUANTE

O histórico do carregamento imposto pelo simulador de tráfego à estrutura do pavimento em estudo está mostrado na Figura 1. Sendo que inicialmente foram aplicados $3,00 \times 10^3$ ciclos de carga com magnitude de 60 kN. O propósito da aplicação de níveis de cargas mais baixos nos

ciclos iniciais é se evitar a ocorrência prematura de deformações permanentes excessivas na fase de consolidação dos materiais que integram a estrutura do pavimento.

A pressão de inflação dos pneus utilizada foi de 800 kPa. O deslocamento lateral do trem de carga do simulador de tráfego é realizado numa distância de oitenta (80) centímetros.

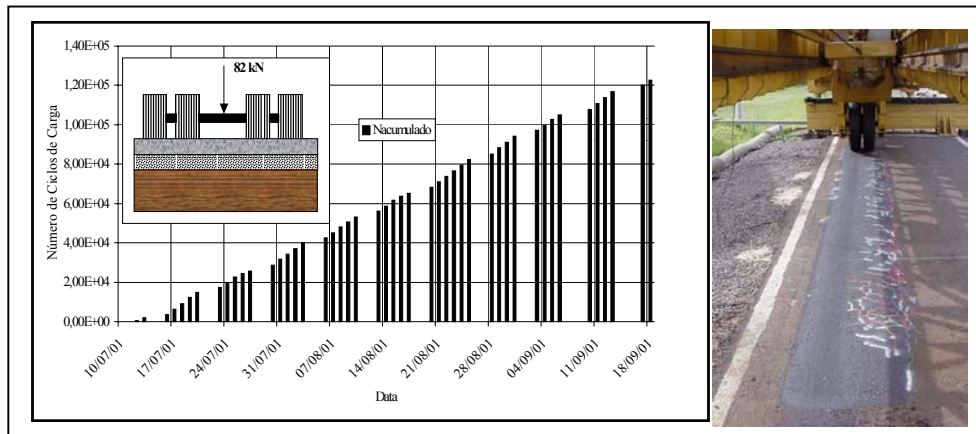


Figura 1 - Histórico do carregamento imposto pelo simulador de tráfego

5 - INSTRUMENTAÇÃO DA PISTA EXPERIMENTAL

Durante a execução das pistas experimentais foram instalados instrumentos configurados com o propósito de permitirem a investigação de respostas fundamentais dos pavimentos quando estes forem submetidos às cargas repetidas do simulador de tráfego. Tais respostas incluem a medição de tensões e deformações no interior das camadas dos pavimentos. O grupo principal de sensores utilizado é constituído por células de tensão total e extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*).

As respostas de um pavimento flexível quando submetido as cargas do tráfego (tensões, deformações, deslocamentos) são significativamente influenciadas pelo subleito. Uma porcentagem elevada da deflexão que ocorre na superfície do pavimento é acumulada no subleito. Neste estudo, para que se possa obter uma caracterização adequada do subleito ao longo do tempo (efeito da sazonalidade e da variação climática), foram instalados sensores no topo do subleito e a 200 mm de profundidade. Os locais para instalação dos instrumentos, mostrados na Figura 2, incluem pontos críticos ao longo da profundidade do pavimento. Formas típicas das deformações horizontais medidas na face inferior do revestimento asfáltico e da deformação vertical medida no topo do solo argiloso do subleito da pista experimental estão ilustradas nas Figuras 3 até 5.

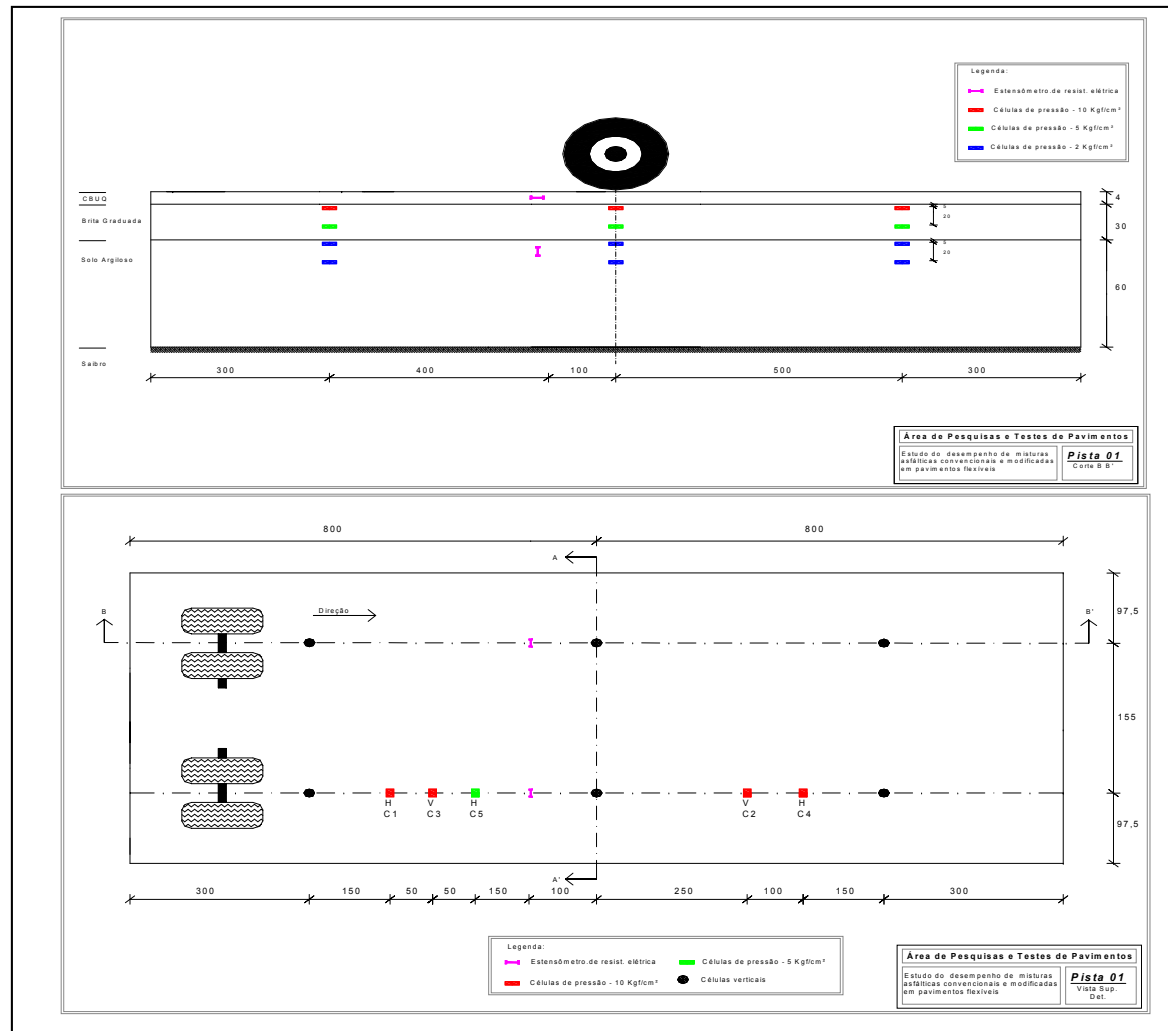


Figura 2 - Localização dos sensores no interior das pistas experimentais

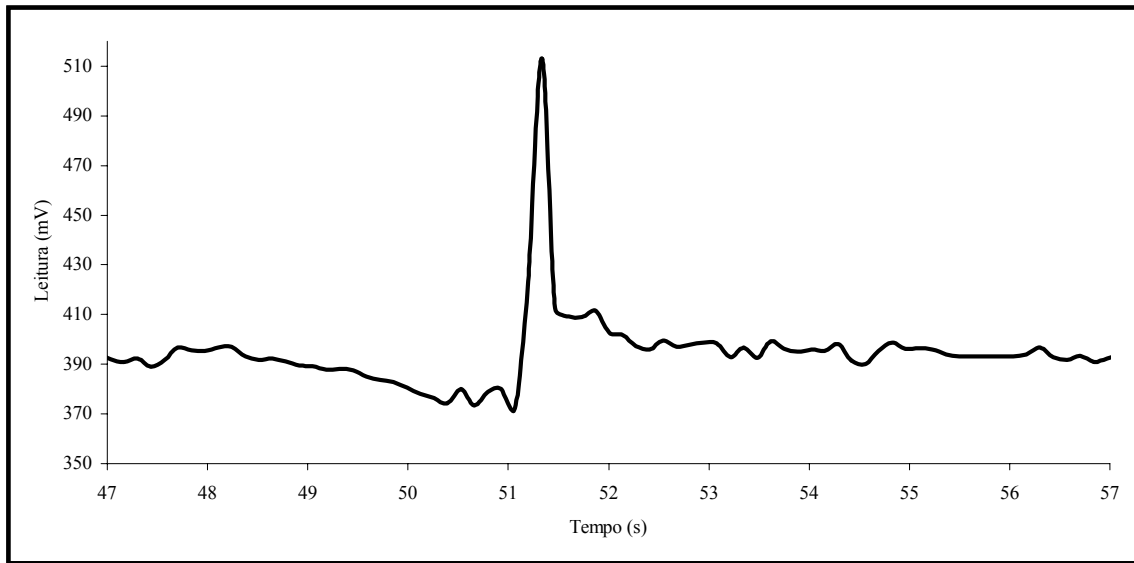


Figura 3 - Deformação de tração medida na face inferior da camada asfáltica (direção longitudinal)

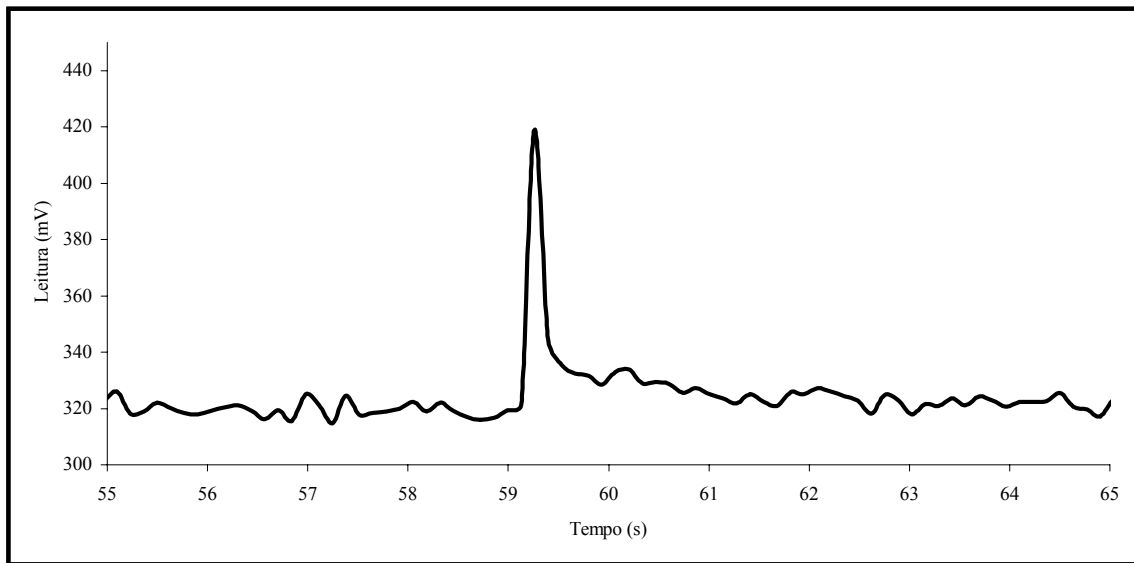


Figura 4 - Deformação de tração medida na face inferior da camada asfáltica (direção transversal)

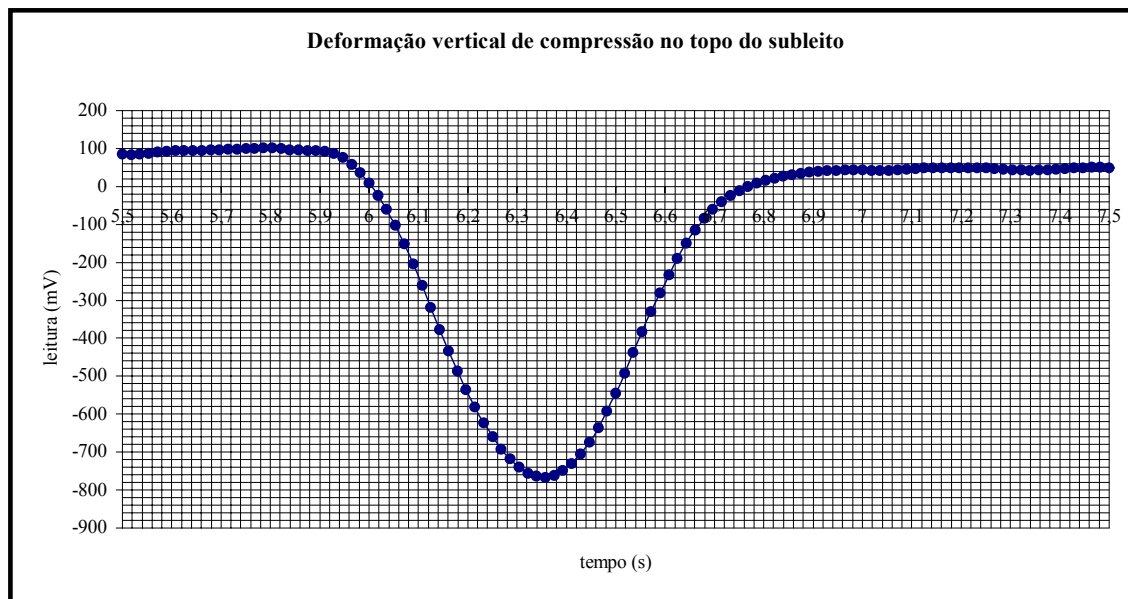


Figura 5 - Deformação de compressão medida no topo do subleito

6 - MEDIDAS DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES NAS CAMADAS DO PAVIMENTO

Para investigação do comportamento dos materiais que constituem as camadas do pavimento no que diz respeito às tensões geradas quando das solicitações dinâmicas impostas pelo trem de carga do simulador de tráfego foram instaladas células de tensão total em diferentes pontos no interior da estrutura. Tais células foram instaladas de modo a permitirem a realização de leituras tanto na direção vertical quanto na direção horizontal. Uma ampla discussão acerca dos fatores relevantes para a determinação de tensões *in situ* em estruturas de pavimentos foi apresentada por Selig (8).

O cálculo das tensões geradas pelas cargas do tráfego no interior das camadas do pavimento é efetuado através da equação 1. Nas Figuras 6 até 8 estão apresentados resultados obtidos ao longo do período de monitoramento de desempenho oferecido pela pista experimental. Tais resultados foram determinados com células instaladas no topo da camada granular de base, topo do subleito e a duzentos (200) milímetros no interior do solo argiloso.

$$\sigma = \left(\frac{L_0 \times 1000 \times k}{g \times A_I \times 10} \right) \quad (1)$$

sendo:

σ = tensão medida (MPa)

L_0 = leitura (mV)

k = sensibilidade ($\mu\text{V}/\text{V}$)

g = ganho de amplificação

A_I = excitação (V)

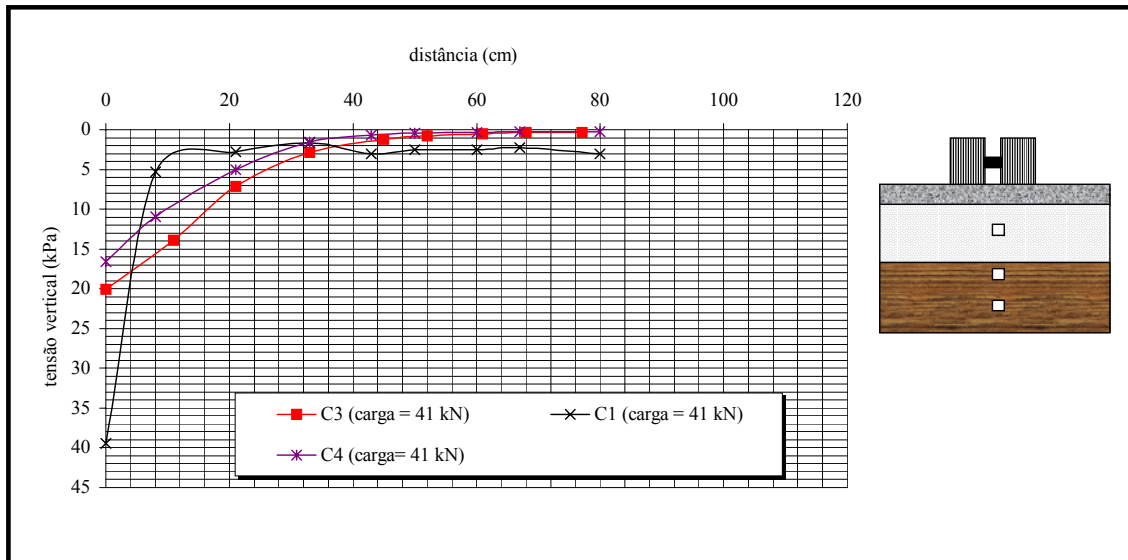


Figura 6 – Forma de distribuição e magnitude das tensões verticais ao longo da profundidade do pavimento

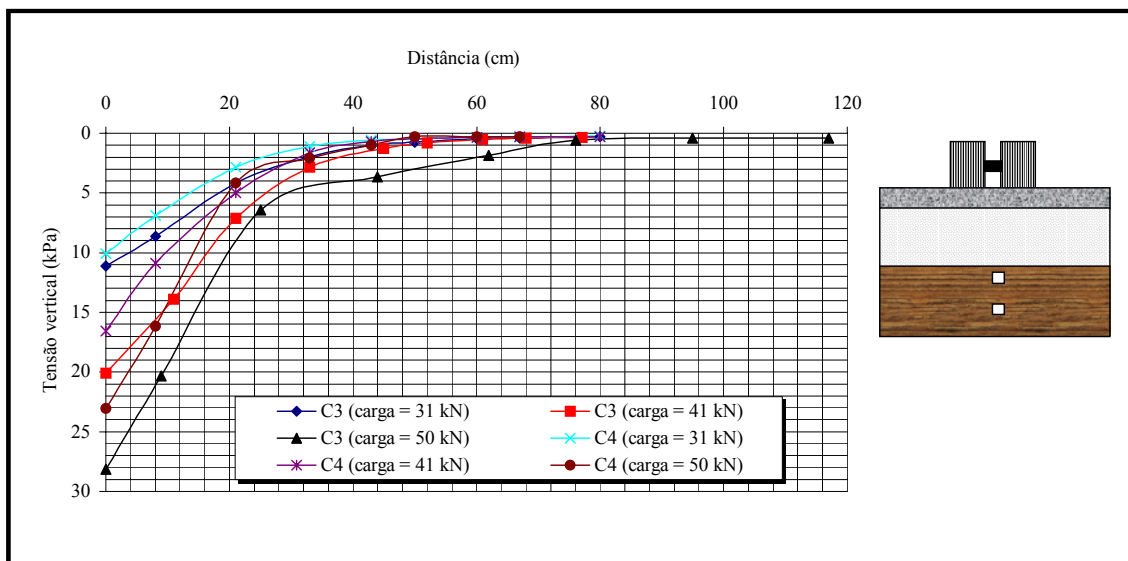


Figura 7 – Efeito do nível de carga nas tensões geradas no interior subleito

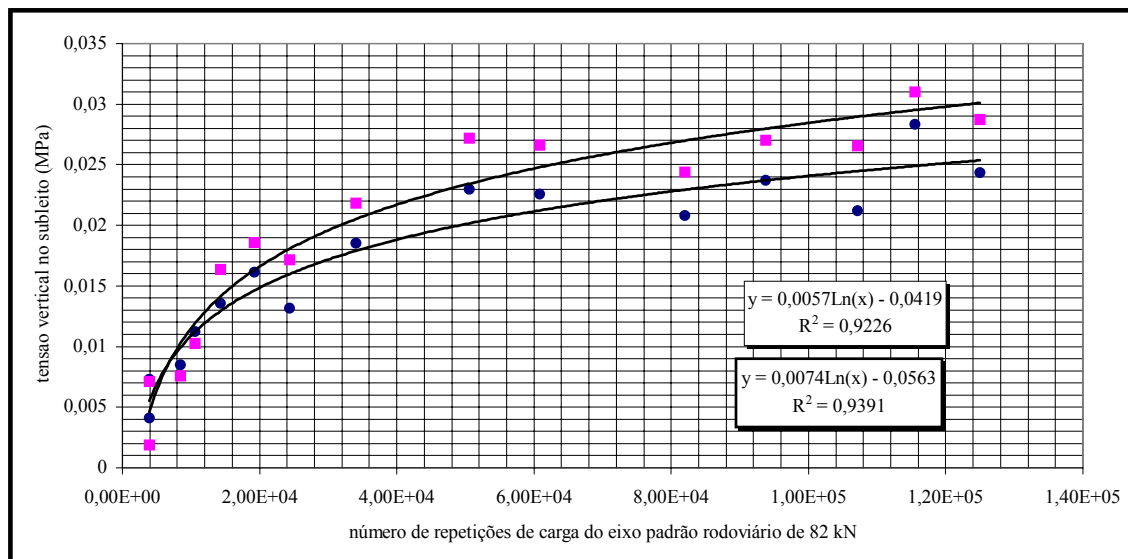


Figura 8 – Tensões verticais medidas no solo de subleito a diferentes profundidades (carregamento dinâmico)

Também foram realizados experimentos com o propósito de se identificar o efeito da pressão de inflação dos pneus nas respostas medidas no interior da estrutura do pavimento. Nas Figuras 9 e 10 estão mostrados alguns registros dos efeitos da variação da pressão do pneu e dos níveis de carga nas tensões e deformações verticais no interior do subleito da pista experimental. Os testes realizados incluem medidas sob carregamentos dinâmicos e estáticos impostos pelo trem de carga do simulador de tráfego.

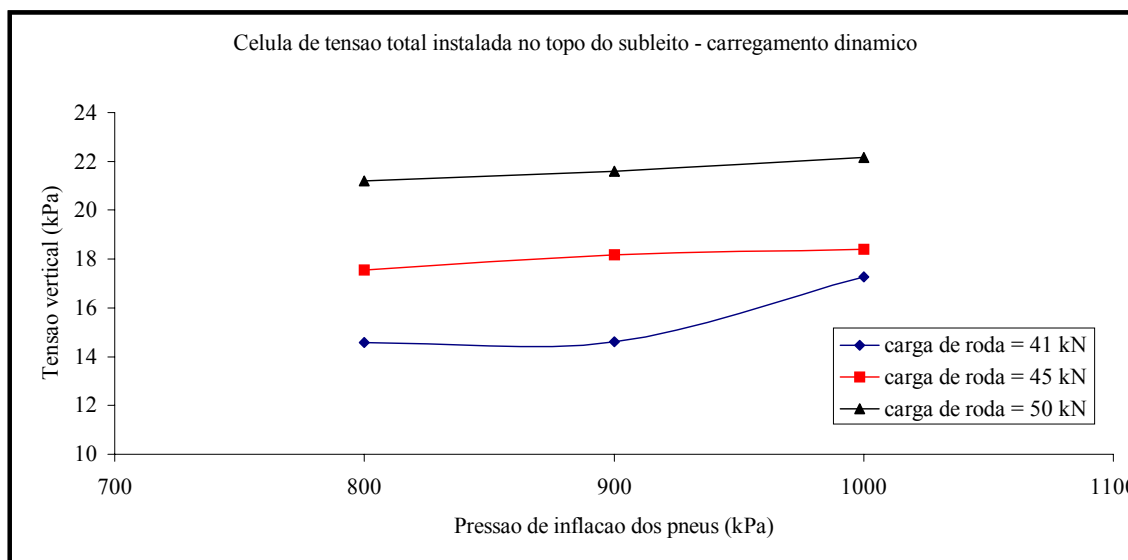


Figura 9 – Efeitos do nível de carga e da pressão de inflação dos pneus nas tensões geradas no subleito

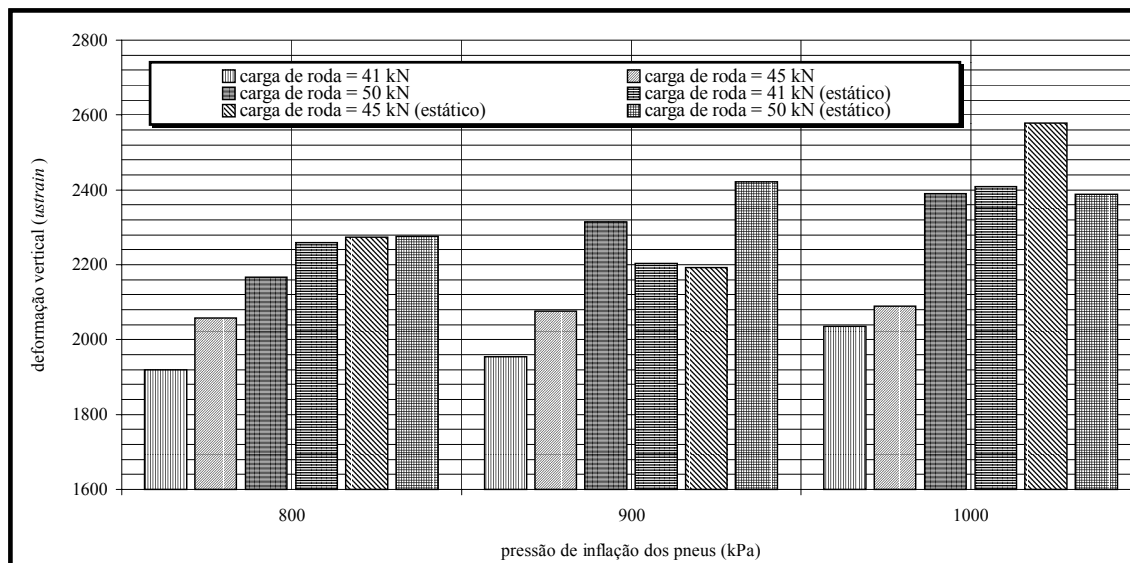


Figura 10 – Efeitos do nível de carga e da pressão de inflação dos pneus nas deformações verticais geradas no subleito

7 - DESEMPENHO OFERECIDO PELA PISTA EXPERIMENTAL

Até o presente momento, após a aplicação de um número de repetições do eixo padrão rodoviário (número N definido com base nos fatores de carga preconizados pelo DNER) correspondente a 150 000 ciclos de carga, a degradação oferecida pelo pavimento pode ser sintetizada através dos mecanismos principais de deterioração que vem sendo identificados e quantificados ao longo do período de monitoramento.

Os resultados das avaliações da pista experimental em termos da evolução das ocorrências de trincamento na superfície do revestimento asfáltico e de afundamentos em trilha de roda estão apresentados na Tabela 2 e nas Figuras 12 até 14.

Tabela 2 – Evolução da degradação da pista experimental

N (10^4)	área trincada (%)	Afundamentos em trilha de roda (mm)
2,0	3,2	2,4
4,0	5,1	3,5
6,0	22,0	4,3
10,0	27,2	5,6

A condição estrutural do pavimento vem sendo monitorada através da realização de ensaios defletoométricos. Para tanto, num primeiro momento, antes do início das solicitações das pistas experimentais pelo simulador de tráfego, foram efetuados levantamentos com o FWD. Tais ensaios foram realizados com três níveis distintos de cargas e estão sendo utilizados como elementos auxiliares no processo de interpretação do desempenho oferecido pelas seções experimentais.

Os levantamentos defletoométricos rotineiros ao longo do período de testes foram realizados através da utilização de viga Benkelman convencional e de viga automatizada. Uma vez que as propriedades do concreto asfáltico são altamente dependentes da temperatura (rigidez da camada), as deformações e as deflexões lidas deverão ser corrigidas para uma

temperatura de referência. Neste sentido, no presente estudo, estão sendo realizadas investigações em busca de um fator de correção local que permita se levar em conta o efeito da temperatura nas deformações medidas nas camadas asfálticas e nas deflexões determinadas na superfície do pavimento.

As leituras de temperatura são realizadas diariamente através um termômetro digital nas profundidades de 50 mm e de 900 mm no interior da camada asfáltica. Também, estão sendo realizadas investigações para se compreender o efeito do nível de carga aplicado pelo simulador de tráfego nas deformações horizontais e nas deflexões medidas.

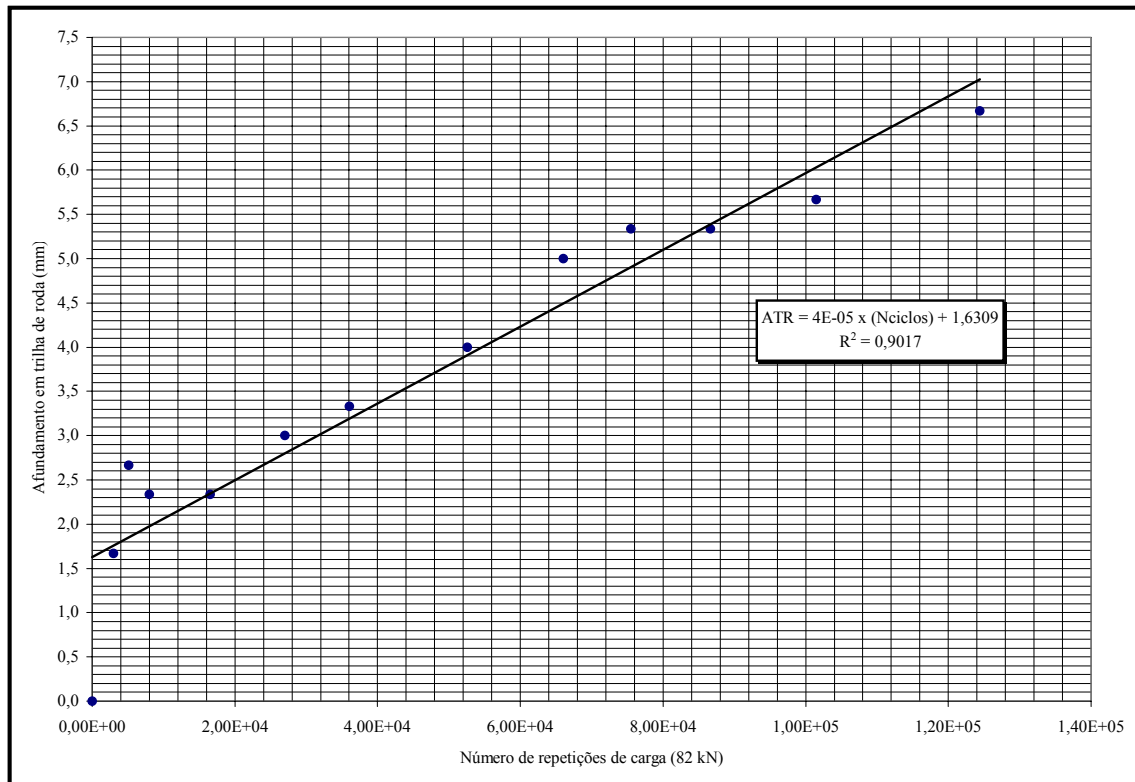


Figura 12 – Registros de afundamentos em trilha de roda

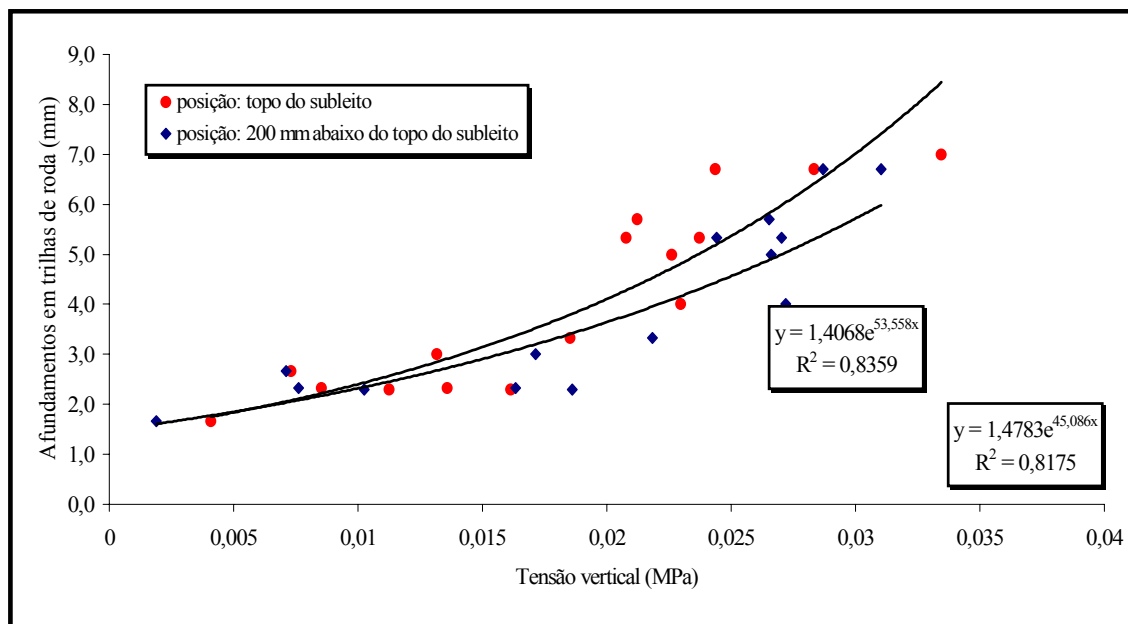


Figura 13 – Relação tensão vertical no subleito *versus* ATR

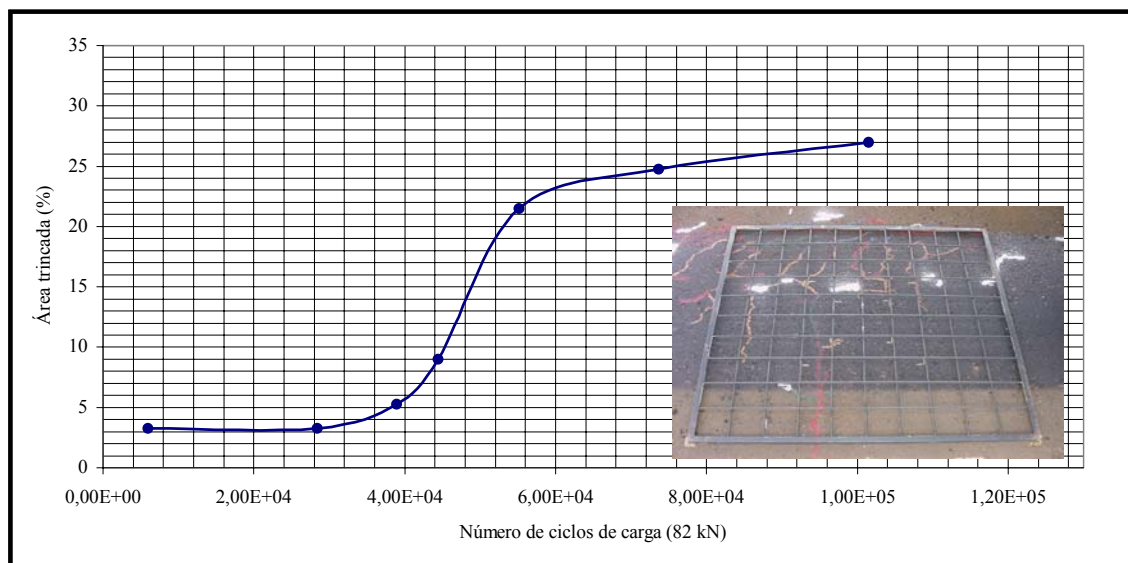


Figura 14 – Evolução do trincamento da pista experimental

8 - CONCLUSÃO

Neste artigo foram apresentados resultados de avaliações que vem sendo realizadas ao longo do período de solicitações de cargas impostas por um simulador linear de tráfego numa pista experimental de pavimento flexível com revestimento em concreto asfáltico modificado por polímeros. Até o presente momento, foram aplicados 150.000 ciclos de carga do eixo padrão rodoviário de 82 kN. A pressão de inflação dos pneus utilizada foi de 800 kPa.

Tais avaliações incluem os primeiros resultados derivados de medidas de tensões e deformações em ensaios acelerados em verdadeira grandeza realizados com o simulador linear

de tráfego instalado na Área de Pesquisas e Testes de Pavimentos - UFRGS/DAER-RS. As tensões e deformações medidas pelas células de tensão total e pelos *strain gages* instalados no interior das camadas do pavimento apresentam magnitudes compatíveis com valores esperados determinados através da aplicação de modelos teóricos.

Com base na evolução da degradação que vem sendo observada prevê-se que o término dos ensaios acelerados na pista experimental em estudo deverá ocorrer no mês de outubro de 2001. O critério de ruptura estabelecido e que deverá determinar o encerramento do ensaio com o simulador de tráfego na pista experimental com revestimento asfáltico modificado por polímeros numa espessura de quarenta (40) milímetros é a ocorrência de treze (13) milímetros de afundamentos em trilha de roda ou o registro de cinquenta (50) por cento de área com presença de trincas severas.

9 - AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa é parte de um estudo em desenvolvimento na Área de Pesquisas e Testes de Pavimentos UFRGS/DAER cujo propósito é investigar o desempenho de misturas asfálticas convencionais e modificadas por polímeros. O suporte financeiro é derivado do Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (PRONEX) do Ministério da Ciência e Tecnologia.

Os autores expressam seus agradecimentos a equipe de trabalho da Área de Pesquisas e Testes de Pavimentos. Em especial, nosso agradecimento, a Ipiranga Asfaltos S.A. e a Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S.A. pelo apoio prestado na execução das pistas experimentais.

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ullidtz, P.; Zhang, W. and Baltzer, S. "Validation of pavement response and performance models", International Conference Accelerated Pavement Testing, Reno, Nevada, 1999.
2. Witczack, M. W., Von Quintus, H. L. and Shartz, C. W. Superpave suport and performance models management: evaluation of the SHRP performance models system, 1998. <http://www.ence.umd.edu/superpave>. Accessed Oct. 5, 1998.
3. Rodrigues, R.M. Performance prediction models for highway and airport pavements in Brasil. *Final Report* FAPESP, São Paulo, 2000.
4. Ceratti, J. A., Nnuñez, W. P., Gehling, W. Y., Oliveira, J. A. A full-scale study of rutting of thin pavements. Transportation Research Board, 79 th Annual Meeting, Washington, D. C., 2000.
5. Horak, E.; Klevn, E.; Du Plessis, J.; Villiers, E. and Thomson, A. The impact and management of the heavy vehicle simulator (HVS) fleet in South Africa. 7 international conference on asphalt pavement.
6. Metcalf, J. B. - Application of full-scale accelerated pavement testing - NCHRP Synthesis - 1996.
7. Gonçalves, F.P., Ceratti, J.A.P., Rodrigues, R.M. e Somacal, L.N. 2000. Estudo experimental do desempenho de pavimentos flexíveis em concreto asfáltico: construção e instrumentação de seções-teste. 32ª Reunião Anual de Pavimentação da ABPv, 16 a 20 de Outubro. Volume II, pp. 950-961. Brasília, DF.
8. Selig, E. T. In situ stress measurements, Proceedings, Conference on State of The Art of Pavement Response Monitoring Systems for Roads and Airfields, U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, 1989.