

SISTEMA DE PESAGEM EM MOVIMENTO – WIM: INSTALAÇÃO E CALIBRAÇÃO EM PISTA EXPERIMENTAL PARA MONITORAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DO ESPECTRO DE CARGAS RODANTES DA BR-290/RS - FREEWAY

Lelio Brito

Engenheiro Civil pela UFRGS 2003. Mestre em Geotecnia pela UFRGS 2006.
PhD em Engenharia pela University of Nottingham 2011. Email: <leliobrito@gmail.com>.

André Luiz Bock

Engenheiro Civil pela UNIJUI. Mestre em Engenharia Civil pela UFRGS 2012.
E-mail: <andrebock.eng@gmail.com>.

Jorge Augusto Pereira Ceratti

Engenheiro Civil pela UFRGS. Mestre em Engenharia Civil pela UFRGS. Doutor em Engenharia Civil pela
Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1991. Professor Associado 4 e professor do Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. E-mail: <jorge.ceratti@ufrgs.br>.

Washington Peres Núñez

Engenheiro Civil (1981). Mestre em Engenharia Civil (1991). Doutor em Engenharia Civil pela
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1997), onde é atualmente Professor Associado.
E-mail: <wpnunez@superig.com.br>.

RESUMO

O tráfego de veículos representa um dos importantes papéis no dimensionamento de pavimentos bem como no desempenho da sua vida útil. Métodos empíricos, como o atualmente vigente no Brasil, especificado pelo IPR-719 do DNIT consideram o tráfego de projeto a partir de um “eixo padrão rodoviário”, no qual as configurações e magnitudes de cargas de eixo são convertidas em um número equivalente de solicitações de carga padrão – hoje um eixo simples de rodas duplas (ESRD) com 80kN, através de fatores de equivalência de carga. Métodos de dimensionamento mais atuais, como AASHTO 2002, caracterizam o tráfego através de espectros de carga por eixo; para isto é necessário que sejam determinados os vários tipos de carregamentos e suas magnitudes para caracterização do tráfego rodante. O uso de sistema de pesagem em movimento, conhecidos como “Weigh-in-motion”, são equipamentos que permitem a determinação do peso dos eixos rodantes em vias em serviço a velocidade operacional da via; estes equipamentos associados a classificadores de tráfego, permitem a completa classificação do espectro de cargas nas rodovias. Este estudo investigou a sensibilidade de um sistema de pesagem em movimento através de sua implantação em uma pista experimental através do Simulador de Tráfego DAER/UFRGS na Universidade Federal do Rio Grande do Sul para avaliar a acurácia deste sistema e suas limitações com vistas à implantação posterior em uma via em serviço na BR-290/RS. Com os resultados obtidos foi possível estabelecer um protocolo de instalação e coleta de dados para futura instalação em campo e verificar a sensibilidade dos sistemas em condições características do estado. Os resultados mostraram uma variação de até 57% nas leituras de carga para variação uma variação de 17°C na temperatura do pavimento e também sensibilidade da carga em função do posicionamento do rodado na seção transversal do pavimento.

Palavras-chave: pesagem em movimento, espectro de cargas, caracterização de tráfego.

INTRODUÇÃO

Este trabalho discute a fase inicial de um projeto desenvolvido na Concessionária da Rodovia Osório-Porto Alegre, empresa responsável pela operação da rodovia BR-290/RS, no trecho da Freeway. O projeto teve o objetivo principal de implantar um sistema de pesagem em movimento para determinação da composição do espectro de cargas da frota de veículos comerciais rodantes naquela rodovia. O estudo ainda promoveu uma discussão sobre a modernização da infraestrutura de fiscalização do controle de cargas pela inserção de uma nova tecnologia de pesagem, visando à possível futura melhoria da eficiência da malha da Concessionária, por agir com uma ferramenta de análise dos eixos de carga que rodam sobre a rodovia.

O projeto é constituído de três focos principais, sendo que o primeiro serviu para a definição do sistema a ser utilizado para aquisição e análise dos dados coletados através da avaliação tecnológica dos sistemas de pesagem disponíveis, incluindo aspectos operacionais, acurácia e confiabilidade. Estes aspectos impactam diretamente na usabilidade do sistema e segurança que o equipamento escolhido será compatível com o tipo de pavimento, características de tráfego e de tecnologia de informação disponíveis na Concessionária, assegurando que o projeto será capaz de entregar o seu produto final, a saber: amostragem do espectro de cargas para uma amostra de tráfego da Freeway no período de cinco semanas.

Já o segundo grande enfoque do estudo e objeto deste trabalho refere-se à validação do equipamento nos aspectos técnicos e operacionais. Nesta etapa foi realizada a instalação do equipamento em uma Pista Experimental na Área de Pesquisa e Testes de Pavimentos da UFRGS. Esta etapa permitiu que o sistema fosse estudado para uma implantação acurada no que se refere à sua instalação física para melhor funcionamento, e também calibração do sistema através do uso do Simulador de Tráfego do Laboratório de Pavimentação LAPAV/UFRGS, onde foram aplicadas cargas em movimentos para ajuste dos sensores e hardware de aquisição. Este período de investigação facilitou o estabelecimento de um protocolo de coleta de dados que garantiu a usabilidade dos resultados. A última etapa desta pesquisa consistiu na implantação do sistema de pesagem em movimento na BR-290/RS, Freeway, para a coleta e análise de dados de forma a viabilizar a amostragem do espectro de cargas rodantes naquela rodovia.

No presente trabalho é apresentada a fase de implantação experimental do sistema WIM prevista no segundo enfoque deste projeto, além de uma breve descrição de sistemas de pesagem em movimento e suas principais vantagens, são descritos os procedimentos e cuidados necessários para correta instalação do equipamento e posterior calibração do sistema através da aquisição de dados de pesagem realizados no simulador de tráfego linear.

O SISTEMA DE PESAGEM DE VEÍCULOS COMERCIAIS

Tradicionalmente, os sistemas de pesagem podem ser divididos em dois grupos: Pesagem Estática e Pesagem Dinâmica. No esquema da Figura 1 são apresentados os sistemas de pesagem e as suas principais subdivisões. Neste estudo foi utilizado um sistema de pesagem em movimento de alta velocidade (HS-WIM), o mesmo será descrito no decorrer do trabalho.

De uma forma geral, qualquer sistema de pesagem para fiscalização de veículos comerciais rodoviários podem ocorrer de duas formas: na primeira, todos os veículos são fiscalizados através de postos de pesagem fixa ou móvel; na segunda, apenas os veículos potencialmente em desconformidade com os pesos máximos admissíveis são chamados para uma pesagem estática ou de baixa velocidade com o propósito de verificar a potencial infração. Constatada a não conformidade, é aplicada a penalidade prevista em Lei, e, nos casos previstos, o veículo é retido até que seja descarregado e removido o excesso de carga pelo operador.

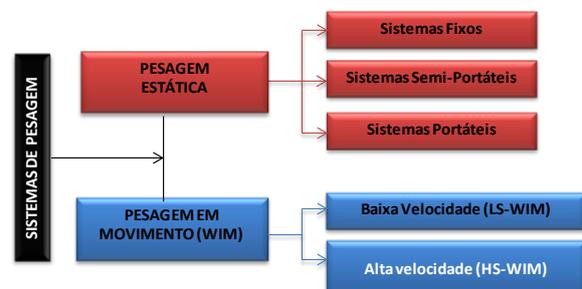


Figura 1 - Sistemas de pesagem de veículos

Os sistemas de pesagem em movimento (weigh-in-motion - WIM), se propõem justamente a funcionar como selecionadores dos potenciais infratores no segundo tipo descrito anteriormente. Ocorre que a pesagem de toda uma

frota de caminhões é onerosa tanto em aspectos de tempo - que hoje custam cada vez mais ao custo agregado de transporte - mas também para os órgãos responsáveis pela fiscalização.

Contrariamente aos sistemas WIM que podem de uma maneira automática pesar os veículos e assim acusar aqueles com valores de carga por eixo ou total acima do limite, os postos de pesagem móvel por serem amostrais não conseguem muitas vezes coibir adequadamente esta prática abusiva de sobrecarga que ocorre nas rodovias brasileiras, já que se conhece uma série de artifícios utilizados pelo público transportador para evitar a fiscalização.

Já os postos fixos são muito mais eficazes, mas, assim como os móveis, também requerem um desvio total dos veículos e filas acabam por se formar prejudicando a fluidez do tráfego. Outra discussão importante, é o fato de que “os justos pagam pelos pecadores”; ou seja, transportadores que se enquadram dentro das prerrogativas legais, pagam pelo mesmo ônus de tempo e retorno à pesagem pelo fato de ter que entrar na balança que via de regra representa algumas vezes em um atraso. É por este fato e outros que o WIM vem sendo hoje apontado com uma potencial solução para este problema. Uma série de vantagens podem ser apontadas para o WIM:

- ◆ Infraestrutura mais barata do que a implantação de postos de pesagem;
- ◆ Operação automática sem necessidade de agentes de pesagem;
- ◆ Monitoramento contínuo com possibilidade de 100% do fluxo de veículos pesados;
- ◆ Velocidade operacional da via sem necessidade de desvios, nem redução da velocidade;
- ◆ Classificação dos veículos de acordo com seu espectro de cargas;
- ◆ Custo de operação globalmente reduzido;
- ◆ Gratificação aos transportadores não infratores que não precisam ser onerados com os gastos de tempo nas balanças fixas ou móveis.

SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO DE ALTA VELOCIDADE.

Dada a tendência de crescimento do fluxo de carga rodoviária, e considerando a premissa de que o fluxo de veículos conformes seja minimamente perturbado, a eficiência e efetividade

do sistema vai depender diretamente do grau de automatização empregado na fiscalização, neste contexto sistemas automatizados como os de pesagem em alta velocidade (HS-WIM) merecem destaque especial.

São sistemas com baixa participação humana e, conseqüentemente, altos nível de eficiência e eficácia na fiscalização. Neste caso, a operação do sistema consiste em pesar automaticamente todos os veículos do fluxo, na velocidade normal de operação, por meio de balança dinâmica de alta velocidade, instalada no pavimento ou sob pontes.

Detectada a não conformidade, o veículo e seu condutor são automaticamente identificados, por meio de análise de imagens, e incluídos num cadastro informatizado de infratores, com vistas à emissão automática de penalidade. Dependendo da magnitude do excesso de carga, no próximo posto de polícia/pedágio, identificado por imagem como integrante do cadastro de infratores, o veículo é sinalizado para fora do fluxo, e, nos casos previstos, retido até que o descarregamento e remoção do excesso de carga seja providenciado pelo transportador.

Os sistemas de pesagem em movimento de alta velocidade (HS-WIM) são constituídos de uma série de sensores, instalados em uma ou mais faixas de tráfego, adquirem valores como volume de tráfego e horários de ocorrência, velocidade, classificação do veículo baseada no número e no espaçamento de eixos, cargas por eixo ou total do veículo enquanto estes estão viajando na velocidade normal no fluxo de tráfego. Sistemas HS-WIM permitem que todo tráfego que passa pela seção instrumentada seja monitorado, sem perturbação do fluxo de veículos na rodovia.

Como o objetivo desta pesquisa consiste em identificar e analisar o espectro de carga que atualmente circula na rodovia BR-290/RS, trecho da Freeway, sem perturbação do tráfego com coleta de dados na velocidade padrão da rodovia, foi este o sistema utilizado: um sistema de HS-WIM (Sistema de Pesagem em Movimento de Alta Velocidade).

A ESCOLHA DO SISTEMA UTILIZADO.

Para o propósito da realização desta pesquisa alguns elementos chave precisaram ser analisados no intuito de que a instalação de um sistema de WIM pudesse alcançar os objetivos propostos, conforme abaixo descritos.

Primordialmente, deveria ser um sistema já existente, pronto para instalação e uso e que tivesse o menor potencial de desenvolver problemas ao longo da pesquisa, ainda que nunca possa se garantir tal fato. Devido ao fato da pesquisa ser de curta duração e também do objetivo principal ser o de avaliar o espectro de cargas, a parte eletrônica do equipamento não foi questionada.

Num segundo momento, dos mais importantes itens a serem investigados é a acurácia, confiabilidade do sistema e facilidade de uso foi levado em consideração. Sabe-se que o sistema deverá apresentar características mínimas de precisão e operação que permita coletar dados que permita a determinação do espectro de cargas na rodovia BR-290/RS no trecho da Freeway, com a melhor confiabilidade disponível.

O sistema deveria ser também de fácil aquisição no país, dentro de tempo hábil. Sabe-se que os trâmites burocráticos de importação podem levar a inxequibilidade desta pesquisa caso não se consiga alcançar a compra do equipamento nos primeiros meses de projeto. Daí a necessidade de uma das primeiras etapas contemplar a sugestão por compra de um equipamento.

Uma vez consolidado o conhecimento das etapas anteriores iniciais do projeto para escolha do sistema a ser utilizado, há ainda de se suprir o hiato que há entre equipamento e tecnologia disponível no Brasil associado às condições locais. Ou seja, o equipamento deve ser compatível com a transmissão de tecnologia de informação disponível na Concessionária, haja visto que os problemas de armazenamento, coleta de dados e análise antecipados são muito grandes. O volume de dados a serem coletados é deveras volumoso o que poderá trazer problemas caso não se tenha uma transparência entre os sistemas e que não seja possível realizar uma confiável comunicação entre o equipamento de WIM e o servidor de dados pretendido. O sistema também deverá contar com um software possível de analisar os dados obtidos. Por mais que este tratamento pareça numa primeira instância relativamente simples, basta olhar as várias pesquisas que visam a padronização dos protocolos de armazenamento de dados que se verá a dificuldade de se tratar com volume tão grande de dados.

Finalmente, também foi levando em consideração o potencial uso desta ferramenta futuramente. Ou seja, que o sistema seja compatível com as exigências atuais de tráfego de dados,

sistema de coleta de informação, usabilidade em rodovias brasileiras e adaptabilidade para o cenário brasileiro. Em função das consultas realizadas previamente na pesquisa DNIT/UFSC e que foram devidamente documentadas, pareceu que o melhor curso de ação foi iniciar pelo levantamento dos sistemas já existentes no Brasil para que se pudesse de antemão ter os equipamentos mais próximos e que poderiam de sobremaneira facilitar a realização da pesquisa.

Considerando-se a experiência adquirida durante as etapas desenvolvidas até o momento através de uma ampla revisão bibliográfica sobre os sistemas de WIM disponíveis, seguida de visita à empresa fabricante TDC além de visita ao Check-Site da VOSA e em discussão com a Concessionária CONCEPA foram adotadas algumas definições no que se refere à aquisição de um sistema de pesagem em movimento para esta pesquisa.

Seguindo as premissas consideradas para a definição do sistema de pesagem a ser utilizado, optou-se por um equipamento com uso de sensores piezoelétricos convencionais (constituídos de fios metálicos com uma cerâmica piezoelétrica em seu interior). Este tipo de sensor apresenta a vantagem de aceitar pequenas dobras sem prejuízo de seu funcionamento. Não apresentam problemas em pavimentos com pequenas deformações permanentes. Sistemas com uso da configuração Piezo+Loop+Piezo atingem usualmente confiabilidade de 90% e são, assim, a melhor custo benefício. Esta configuração é a sugerida para uso na BR-290/RS, Freeway. Na Figura 2 é apresentada uma imagem do equipamento e sistema de aquisição de dados juntamente com algumas informações técnicas importantes.

A pista experimental utilizada nesta etapa da pesquisa apresenta uma largura total de 3,15m, como a mesma é solicitada apenas por um semi-eixo poderia ter sido adotado um comprimento de sensor inferior à largura da pista, pois há somente a necessidade de que seja garantido um contato pleno entre as rodas do semi-eixo e o sensor. Como há a possibilidade de movimentar o simulador transversalmente sobre a pista e ensaiar mais de uma trilha de roda optou-se pela instalação de um sensor com comprimento suficientemente extenso para que possibilitasse medições em toda a abrangência de ensaio do simulador.

Em função dos fatores mencionados acima foi escolhido um sensor piezoelétrico de 2.73m de comprimento (9"), classe I (WIM). Para a implantação na pista experimental, conforme será



HI-TRAC® 100+

HIGH-SPEED TRAFFIC WEIGH-IN-MOTION & CLASSIFICATION SYSTEM



TECHNICAL INFORMATION

ACCURACY DATA

Gross Vehicle Weight	±10%
Individual Axle Weight	±15%
Group Axle Weight	±15%
Traffic Volume	>99.5%
Length	±8%
Headway	±7%
Speed	±1.5%
Speed Range	1 - 200 kph

Note: Gross vehicle and axle weight accuracy with 90% confidence. Axle weight accuracy assumes road sensors installed in a surface compliant with COST 323 Class B(10) or ASTM E1318-02 specifications.

CLASSIFICATION ACCURACY

FHWA, UK DFT, AUSTRROADS, user definable	
Motorbike	>95%
Cars & Vans	>97%
Cars & Vans + Trailer	>97%
Rigid HGV	>98%
Articulated HGV	>99%
Draw-Bar Trailers	>99%
Buses & Coaches	>97%

Figura 2 - Equipamento, sistema de aquisição de dados e informações técnicas

apresentado no item a seguir, é necessário a instalação de duas linhas de sensores piezoelétricos, um sensor de temperatura e um equipamento para coleta e análise de dados.

NECESSIDADES ESPECIAIS DO WIM PARA INSTALAÇÃO NA PISTA EXPERIMENTAL.

Para a implantação do sistema WIM, sua validação e calibração através da utilização do Simulador de Tráfego, houve a necessidade da realização de uma programação diferenciada do hardware do equipamento. Ocorre que o simulador de tráfego simula apenas um semi-eixo a cada passagem, o que não seria suficiente para gatilho do equipamento. A passagem de apenas um eixo não é configuração convencional para um veículo, logo ele não acionaria uma leitura. Para tanto é necessário utilizar uma lógica diferenciada do sistema de forma que permita que cada passagem do simulador na pista de tráfego seja reconhecida.

Para atender esta necessidade, foi desenvolvido pela equipe da TRACEVIA/TDC um firmware específico que leva em conta as características diferenciadas do sistema de aplicação de carga através do semi-eixo do simulador de tráfego. Através desta adequação o sistema passa a ter condições de realizar leituras e interpretação dos dados adquiridos com a passagem de apenas um eixo (meio veículo); a etapa de validação no simulador de tráfego é vital para a mais adequada implantação na rodovia em serviço posteriormente.

Outros dois pontos de grande importância a serem observados e relatados referentes à instalação do sistema na pista experimental dizem respeito à necessidade de instalação do Loop Magnético e ao distanciamento entre os dois sensores piezoelétricos.

Usualmente na instalação de um sistema WIM utiliza-se um princípio que consiste na seguinte configuração: Piezo-Loop-Piezo. Neste caso o Loop serve como gatilho para o acionamento do sistema de registro de leitura dos sensores (instalados aos pares para aquisição de uma média de leitura de uma passagem sobre o sistema e cálculo da velocidade do veículo).

No caso em questão, não há a necessidade de instalação do Loop magnético, pois com a configuração diferenciada do software para a passagem do semi-eixo do simulador, a própria passagem e detecção de pressão gerada pela passagem do rodado já caracteriza um gatilho para o registro de uma passagem de carregamento. Adicionalmente, em função da não necessidade de instalação de um Loop magnético e principalmente em decorrência da baixa velocidade de passagem do Simulador, com uma velocidade média de 5km/h, definiu-se juntamente com os consultores da TRACEVIA que não haveria a necessidade de um distanciamento entre as duas linhas de sensores da mesma magnitude estabelecida pelo fabricante ($\pm 3,00\text{m}$). Com as considerações acima, chegou-se a definição de um distanciamento menor entre os sensores piezoelétricos. A distância adotada será de 2,00m.

IMPLANTAÇÃO EXPERIMENTAL NO SIMULADOR DE TRÁFEGO DAER/UFRGS

A implantação experimental do sistema WIM na Área de Pesquisa e Testes em Pavimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LAPAV/UFRGS) proposta neste projeto permitiu que o sistema fosse objeto de estudo para uma implantação acurada no que se refere à sua instalação física para melhor funcionamento, e também calibração do sistema através do uso de um Simulador de Tráfego, através do qual foram aplicadas cargas em movimentos (cargas e velocidade predefinidas) para ajuste dos sensores e hardware de aquisição de dados.

A configuração da pista experimental é apresentada nas imagens abaixo. O pavimento é construído sobre um subleito de argila, constituído de uma base de 30 cm de espessura de brita graduada e um revestimento de WMA (*Warm Mix Asphalt*) de 10cm de espessura. Algumas características das camadas são apresentadas nos itens a seguir:

- ♦ **Subleito:** o material empregado na camada final de terraplenagem trata-se de uma argila vermelha de comportamento laterítico;

- ♦ **Agregados:** Os agregados utilizados tanto na base quanto na mistura asfáltica são oriundos da britagem de rocha basáltica da região de Triunfo/RS;
- ♦ **Base:** A base de brita graduada obedeceu a faixa granulométrica e o grau de compactação estabelecidos pelo caderno de encargos da SMOV- Porto Alegre;
- ♦ **Revestimento Asfáltico:** O projeto da mistura obedeceu à faixa C do DNIT, a mistura WMA foi projetada utilizando CAP 50/70 com adição de zeólitas.

A pista experimental sobre a qual encontra-se instalado o Simulador de Tráfego é constituída de 10 seções, sendo elas demarcadas de metro em metro conforme demonstrado na Figura 2. Com aproximadamente 14 m de comprimento a pista experimental possui uma extensão solicitada de 8,0m que é dividida em três trechos principais, sendo eles: um trecho inicial de aceleração (1,5 m), um Trecho Efetivamente Carregado (5,0 m) e um trecho final de desaceleração (1,5 m). Tomou-se o cuidado de instalar os sensores do sistema WIM totalmente dentro do trecho efetivamente carregado, evitando assim influência de aceleração e desaceleração da unidade de aplicação de carga, garantindo dessa forma uma solicitação uniforme.



PISTA EXPERIMENTAL LAPAV/UFRGS

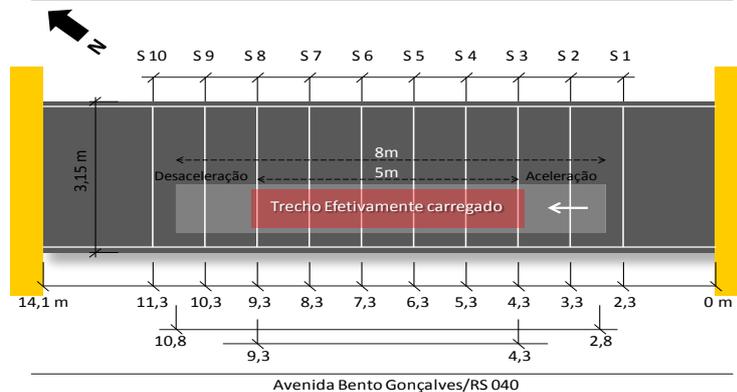


Figura 3 - Pista experimental da Área de Testes de Pavimentos LAPAV/UFRGS

O Simulador está equipado com pneus com lonas, tamanho 9 x 20 cm em um semi-eixo simples com rodas duplas, com cargas de eixos variando entre 82 kN e 130 kN. Foram estabelecidas relações entre a carga de eixo e a pressão de inflação nos pneus obtendo valores que variam de 0,53 MPa (82 kN) a 0,73 MPa (130 kN).

O equipamento possibilita aplicação de ciclos de carga em espaçamentos de tempo entre 16 e 18 segundos, o que corresponde a uma variação entre 200 e 225 ciclos por hora respectivamente. Com uma velocidade média de deslocamento de 5 km/h, o equipamento possibilita a aplicação de até 65 kN de carga sobre o pavimento, em um curso total de atuação de 8 metros, com um curso de aceleração e desaceleração de 3 metros.

ETAPAS DE INSTALAÇÃO - PISTA EXPERIMENTAL LAPAV/UFRGS.

No processo de instalação é necessária a execução de cortes superficiais no revestimento nas dimensões compatíveis ao tipo de sensor, de

acordo com a especificação do produto (Figura 4).

A demarcação dos cortes foi realizada através da locação espacial de pontos notáveis realizados com o auxílio de trena e régua metálica ao longo da seção transversal do pavimento. Realizou-se a pintura com tinta Spray, ligando os pontos notáveis por linhas esticadas, ficando as marcações dos cortes pintadas no pavimento, demarcando assim o local preciso de corte para instalação dos sensores.

O corte do pavimento foi realizado por um equipamento portátil dotado de uma serra circular diamantada, própria para cortes em estruturas maciças, utilizada correntemente em cortes de pavimentos asfálticos. A largura necessária para instalação (20mm) exige a execução de dois cortes paralelos para obter a espessura de corte especificada para o tipo de sensor a ser instalado. Foram realizados dois cortes paralelos e posteriormente realizada a retirada de material do revestimento asfálticos entre os dois cortes executados.



Figura 4 – Demarcação e realização dos cortes para instalação dos sensores

Conforme recomendações do fabricante as dimensões para instalação são as seguintes: 3/4" (20 mm) com tolerância de ($\pm 1/16$ " ou ± 2 mm)

com profundidade mínima de 1" (25 mm), dimensões estas reproduzidas no gabarito de conferência, conforme apresentado na Figura 5.



Figura 5 – Processo de instalação dos sensores e gabarito para conferência dos cortes.

Após preparação dos sensores, estes foram posicionados no interior das canaletas. O sensor recebe ajustes nos respectivos espaçadores para que o mesmo esteja corretamente alinhado e na profundidade certa. Após a acomodação do sensor no interior do corte realizado no pavimento, o mesmo foi posicionado na profundidade correta com o auxílio do gabarito que garante a sua profundidade adequada (3/8" - 9mm). Após a finalização do posicionamento, realizaram-se os preparativos para aplicação do "grout" - resina que permite o fechamento dos cortes e finalização da instalação.

RESULTADOS OBTIDOS

Para a verificação e entendimento do funcionamento do sistema de coleta e armazenamento dos dados realizados pelo sistema WIM sua posterior interpretação desenvolveu-se esta etapa, onde se fará uso de um sistema de aplicação de cargas e condições de contorno através de um sistema conhecido (Simulador de Tráfego) e de fácil variação (cargas).

A transmissão da carga ao pavimento é feita através de um semi-eixo de rodado duplo, articulado e regulável que trafega a uma velocidade média de 5km/h. O rodado é ligado ao carro através de um garfo articulado. Através deste sistema podem ser aplicadas no pavimento cargas reguláveis de até 65 kN (correspondentes a cargas no eixo (ESRD) de 0 a 130 kN, ou seja, cargas de até 13t).

Com a unidade hidráulica de aplicação de carga devidamente calibrada, a fim de garantir a precisão e conformidade dos ensaios realizados, serão aplicados distintos carregamentos sobre o pavimento (carga conhecida) e verificados/comparados os resultados lidos pelos sensores piezoelétricos do sistema WIM, além disso é verificada a influência da temperatura do pavimento nas leituras dos sensores piezo. Os procedimentos realizados nesta etapa são descritos nos itens a seguir.

Após a definição dos níveis de carregamento "empregáveis" através do simulador de tráfego, foram também levados em consideração fatores como cargas admissíveis (especificadas pelos métodos de dimensionamento), e níveis de sobrecarga. Como esta fase tem por objetivo verificar o funcionamento do sistema WIM através da apli-

cação de carregamentos conhecidos, os mesmos serão divididos basicamente em três níveis, sendo eles denominados de Cargas Leves, Carga Padrão e Cargas com Excesso.

Todo processo de calibração do sistema foi realizado com acompanhamento das empresas

fabricante e fornecedora do equipamento debruçando uma grande demanda em função da peculiaridade do experimento, ou seja, a pesagem de um semi-eixo do simulador de tráfego atuante na pista de testes.

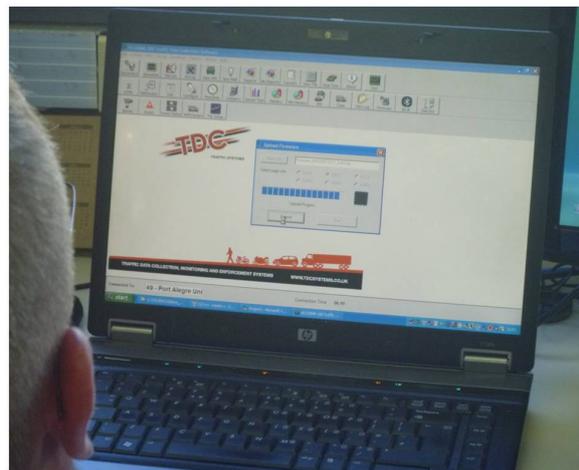
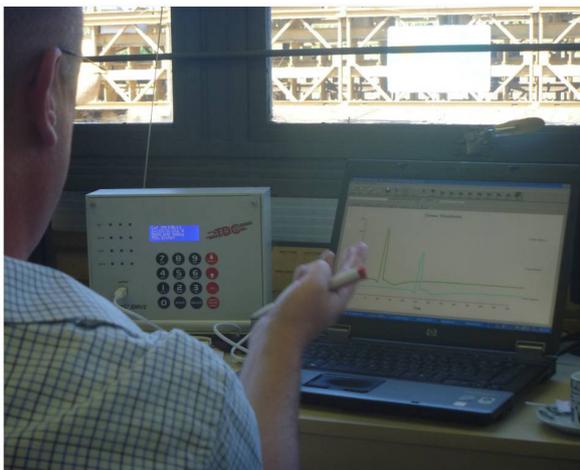


Figura 6 - Processo de calibração do sistema na pista de testes LAPAV/UFRGS.

Após a adequação do software e conferência das variáveis envolvidas no sistema, realizou-se uma calibração pontual dos sensores na temperatura de 30/31 °C, após foram iniciados os testes para verificação de seu funcionamento através da aplicação de distintos carregamentos na pista experimental pelo simulador de tráfego em diferentes temperaturas para a formulação de uma curva completa de calibração.

Com o propósito de verificar a variação das leituras de carga dos sensores piezoelétricos em função da temperatura do revestimento asfáltico foi realizada uma betaria de testes que consistiu em uma coleta contínua de dados durante um período com uma grande amplitude de variação de temperatura da pista. Foram coletados e analisados dados de pesagem entre as temperaturas de pista de 21°C (início da manhã) e 38 °C (início

da tarde). Neste período de monitoramento das leituras realizadas pelo sistema WIM, a carga aplicada foi mantida constante, ou seja, 4.600kg (utiliza-se o kg como unidade de mediada em função desta ser a unidade utilizada pelo sistema de aquisição de dados).

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente e estão apresentados na Figura 7. Para cada intervalo de temperatura foi considerada uma amostra com 100 leituras de carga. A partir das leituras realizadas observa-se a importância da temperatura na aquisição de dados, percebe-se que na temperatura para o qual o sistema foi calibrado (calibração pontual), os valores das leituras coincidem em grande precisão com os valores das cargas aplicadas pelo simulador de tráfego, ficando dentro dos limites especificados de precisão. Já para as demais temperaturas, tan-

to menores quanto maiores, os dados começam a se distanciar consideravelmente do real valor aplicado, demonstrando dessa forma que a temperatura do revestimento influencia de forma muito significativa na precisão do equipamento, e que o mesmo precisa ser calibrado considerando um range de temperaturas as quais o pavimento estará exposto, ou as leituras refinadas através de um modelo de ajuste em função da temperatura do revestimento.

Para temperaturas mais baixas observa-se uma grande dispersão das leituras (grande amplitude entre valores máximos e mínimos) e uma concentração das leituras próximo à media. Já para temperaturas mais elevadas, além de grande diferença entre valores máximos e mínimos, há uma maior concentração das leituras próximos aos valores máximos encontrados na amostra.

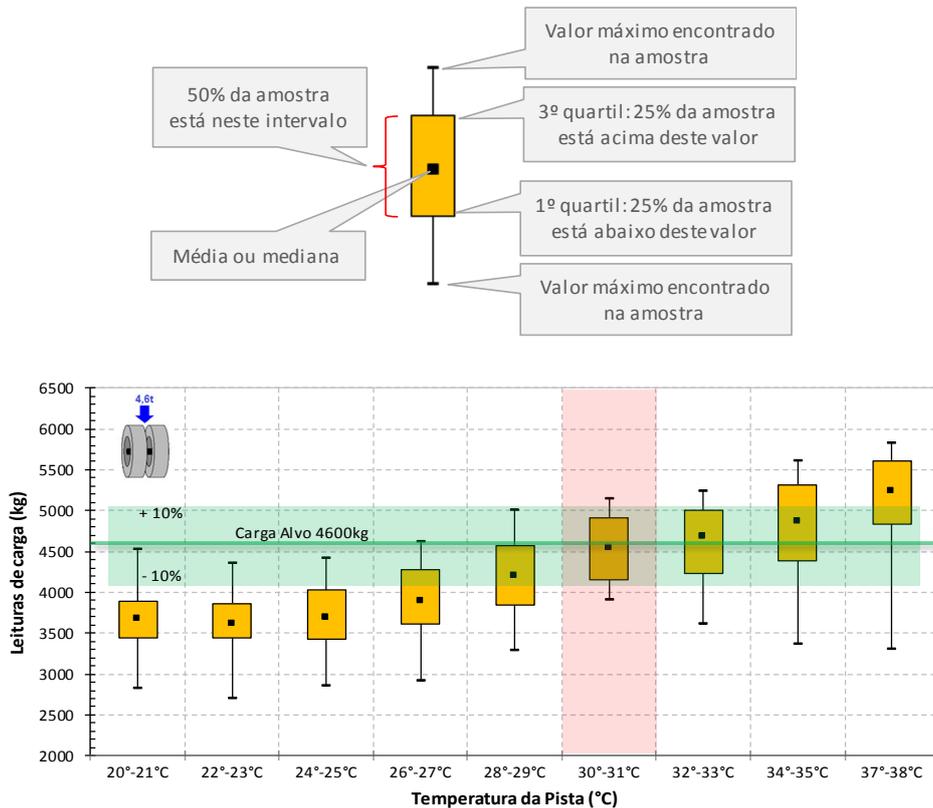


Figura 7 – Resultados coleta de dados para diferentes temperaturas do pavimento

Através da análise do banco de dados coletado e analisado anteriormente, foi observada a seguinte variação das leituras (carregamento de 4600 kg) de carga em função da temperatura do revestimento.

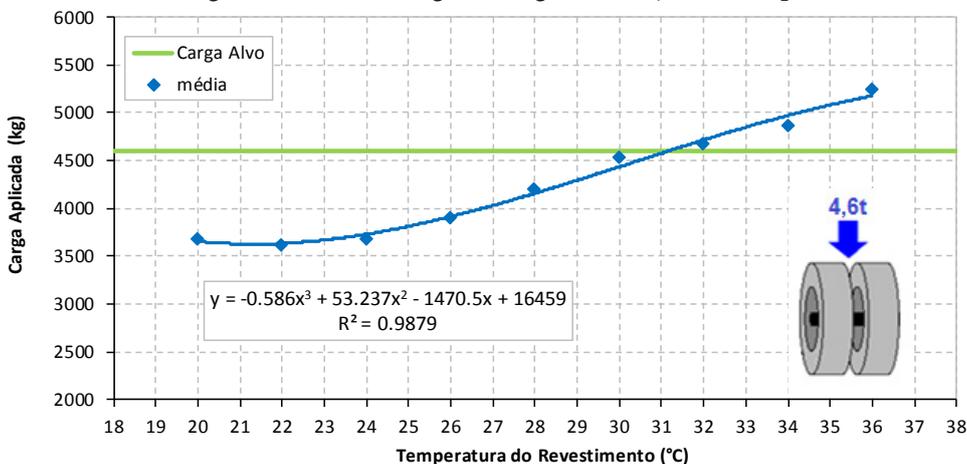


Figura 8 – Variação das leituras em função da temperatura do revestimento

Salienta-se que após os testes apresentados foi realizado pelo fabricante uma calibração em função da temperatura do pavimento. No caso do WIM instalado, o próprio sistema se vale de um sensor de temperatura instalado junto aos sensores piezoelétricos para que com isto, seja possível fazer uma correção da leitura de carga em função da temperatura do revestimento no momento da leitura de carga. A correção é realizada de forma automática pelo software a partir de uma calibração realizada pela empresa fabricante considerando diversos carregamentos em diferentes temperaturas na condição de contorno em que se encontra instalado o sistema. Isto gera uma curva de calibração feito pelo próprio software do sistema operado.

Um aspecto importante observado para esta calibração está no fato da necessidade de se calibrar o sistema em um bom intervalo de tempera-

tura. Considerando que é comum na região sul do País variações térmicas entre verão e inverno de aproximadamente 40 °C, ainda que o sistema apresente uma linearidade no comportamento, as variações lidas foram significativas. De acordo com o fabricante o sistema a calibração do sistema na variação de temperatura que ocorre ao longo de um dia seria suficiente para produzir uma curva de calibração adequada ao sistema.

A seguir são apresentados resultados de leituras realizadas pelo sistema já calibrado em diferentes níveis de carregamento na pista de testes através do semi-eixo do simulados de tráfego em faixas próximas de temperatura para verificação da variabilidade das leituras obtidas. Para cada nível de carregamento foram realizadas novamente 100 leituras, os resultados de leitura de carga e sua variabilidade percentual são apresentados nos gráficos a seguir (Figura 11).

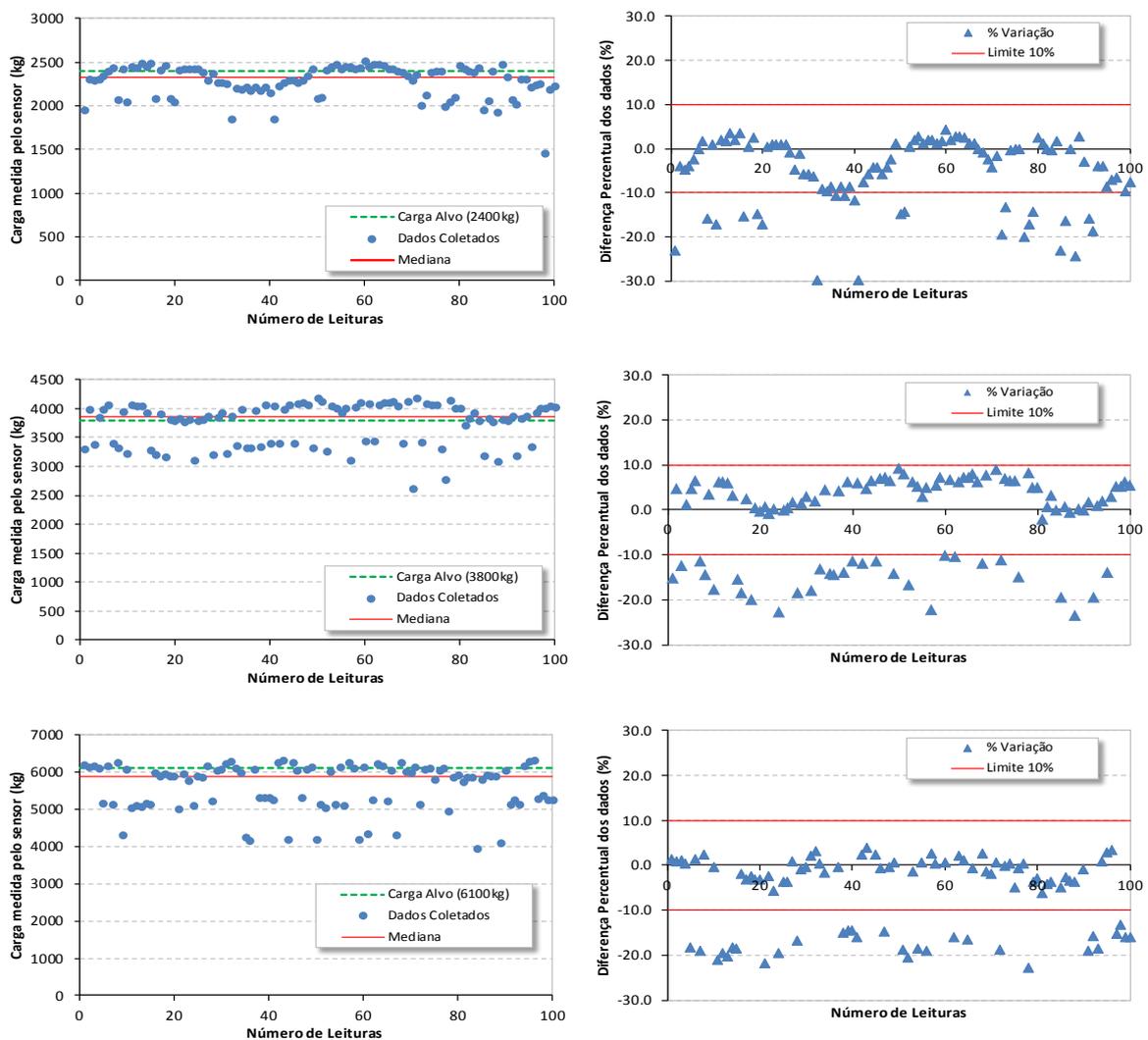


Figura 9 – Resultados de leituras de carga realizadas em três níveis de carregamento (leve/médio/pesado)

Para os valores coletados, observa-se uma dispersão dos dados em diferentes sentidos (além de 10%), um deles trata-se de uma variabilidade das leituras ao longo de diferentes posições no sensor em função de um deslocamento transversal programado que o rodado do simulador executa na trilha de roda a cada ciclo de carregamento, esta variação se traduz nos resultados em picos e vales cíclicos e pode ser melhor observada nos gráficos de diferença percentual dos dados, principalmente em cargas leves. Outro aumento de dispersão dos resultados apresentados observa-se um aumento na dispersão dos dados com a elevação da carga aplicada, uma possível explicação para tal efeito pode estar relacionado a um fator externo, ou seja, uma possível instabilidade da estrutura do simulador de tráfego com o aumento da carga aplicada sobre o pavimento.

CONCLUSÕES DO TRABALHO

Com o sistema de WIM escolhido para a pesquisa foi possível com o uso do Simulador de Tráfego do Laboratório de Pavimentação LAPAV/UFRGS calibrar e certificar-se da capacidade do sistema de leitura de pesagem em velocidade. A calibração no simulador foi âncora fundamental para a instalação adequada em campo, permitindo um treinamento antecipado da equipe e conhecimento das propriedades do sistema.

A implantação experimental do sistema WIM permitiu que o sistema fosse objeto de estudo para uma implantação acurada no que se refere à sua instalação física para melhor funcionamento, e também calibração do sistema através do uso de um Simulador de Tráfego, através do qual foram aplicadas cargas em movimentos (cargas e velocidade predefinidas) para ajuste dos sensores e hardware de aquisição de dados.

Os resultados obtidos mostraram uma variação de até 57% nas leituras de carga para variação uma variação de 17°C na temperatura do pavimento e também sensibilidade da carga em função do posicionamento do rodado na seção transversal do pavimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os envolvidos neste projeto que foi de grande multidisciplinaridade e envolvimento de um número considerável de pessoas na fase de instalação e

operação dos equipamentos, em especial à equipe de TI e Engenharia da Concepa que foi incansável nos ajustes necessários. Agradecem também à disponibilidade concedida pela ANTT pelo apoio a pesquisa com recursos RDT através da Concepa.

REFERÊNCIAS

- American Society For Testing And Materials. ASTM E1318-02 (2002). Standard Specification for Highway Weigh-in-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods. 16p.
- Brito, L. A. T., Bock, A. (2013). *Relatório Final de Pesquisa Concepa - ANTT. Estudo do Espectro de Cargas dos Veículos Comerciais rodantes na BR-290/RS, Freeway, através do uso da técnica do Weigh-in-Motion*. 147p.
- Valente, A. (2007). Avaliação das metodologias de Pesagem em Movimento Existentes. Convênio DNIT/UFSC. Núcleo de Estudos de Pesagem. Fases 1 a 8.

ABSTRACT

Road traffic figures an important role in pavements design and the performance during their lifetime. Empirical methods, as current Brazilian specifications – IPR-719 from DNIT, consider the design traffic accounted in “standard axle loads”, in which the axle configuration and magnitude are equated in equivalent standard axle loads – today a dual tired single axle with 80kn load, with use of the equivalency load factors. Modern design methods, such as the AASHTO 2002, characterizes traffic by means of the axle load spectra; in order to compose this it is necessary to determine the various running axles configuration and actual loads. The use known as “Weigh-in-motion” are systems that allow the measurement of the running axles in in-service roads at operational speeds; these devices fitted along with traffic classifiers allow a complete sweep of the road traffic spectrum. This research studied the sensibility of a weigh in motion system by use of an experimental installation in a trial section of a heavy simulation facility – DAER/UFRGS – at the Federal University of Rio Grande do Sul. The study aimed to evaluate the accuracy of the system and its limitation aiming at a future setup of the system in the field and verify its sensibility to local weather condition. Results show a variation of up to 57% of reading load to a temperature variation of 17°C in the pavement temperature and a sensibility of the load read depending on the load axle transversal position.

Keywords: Weigh-in-motion, traffic spectrum, traffic characterization.