

Solução de pavimento de concreto continuamente armado para operação de sistemas WIM

Continuously Reinforced Concrete Pavement solution for operating WIM systems

Almeida, A. (1); Otto, G. (1); Patricio, T. (2); Shinohara, K.J.C. (1); Valente, A.M. (3)

(1) Doutor, Universidade Federal de Santa Catarina - LabTrans

(2) Mestranda, Universidade Federal de Santa Catarina - LabTrans

(3) Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina
R. Dr. Álvaro Milen da Silveira, 104, CEP 88020180 - Florianópolis, SC

Resumo

Este artigo trata da concepção e avaliação de um Pavimento de Concreto Continuamente Armado (PCCA) na Estação de Controle em Pista (ECP) do piloto do Posto Integrado e Automatizado de Fiscalização (PIAF), localizado na BR-101 Sul, no trecho entre Araranguá e Sombrio. Esta construção teve por objetivo atender as especificações da norma europeia COST-323 de 2002 para instalação de sensores Weight-in-Motion (WIM), de modo a garantir um bom funcionamento dos sensores instalados durante toda a vida útil. Para a concepção e dimensionamento deste pavimento utilizou-se o "Manual de Pavimento Rígido" (DNIT, 2005) conjuntamente às recomendações americanas para dimensionamento de pavimentos continuamente armados "Continuously Reinforced Concrete Pavement Design & Construction Guidelines" (FHWA, 2016). Após a construção da pista e a realização do estudo da irregularidade longitudinal do pavimento de concreto, concluiu-se que a construção atingiu o objetivo inicial de garantir a durabilidade dos sensores já que as características do pavimento atenderam as especificações da "Classe I - Excelente" do COST-323.

Palavra-Chave: PCCA, sistemas WIM, COST 323

Abstract

This article deals with the design and evaluation of a Continuously Reinforced Concrete Pavement at the "Estação de Controle em Pista" of the first model of the "Posto Integrado e Automatizado de Fiscalização (PIAF)", located on BR-101 Sul, in the stretch between Araranguá and Sombrio. The purpose of this construction was to meet the specifications of the European standard COST-323 of 2002 for the installation of Weight-in-Motion (WIM) system, in order to guarantee a good functioning of the sensors installed throughout the life cycle. For the design of this pavement, the "Manual de Pavimentos Rígidos" (DNIT, 2005) was used together with the American recommendations "Continuously Reinforced Concrete Pavement Design & Construction Guidelines" (FHWA, 2016). After the construction of the runway and the study of the longitudinal irregularity of the concrete pavement, it was concluded that the construction reached the initial objective of guaranteeing the durability of the WIM sensors since the characteristics of the pavement met the specifications of "Class I - Excellent" of COST-323.

Keywords: CRCP, WIM systems, COST-323

1 Introdução

A fiscalização de excesso de peso nas rodovias brasileiras deveria ser um imperativo dado os danos causados pelos veículos comerciais de cargas e de passageiros, visto que a falta de fiscalização de carga acarretando aumento do número e da gravidade dos acidentes, na deterioração precoce das estruturas de pavimentos e na concorrência desleal entre os transportadores. Neste sentido o Departamento Nacional Infraestruturas de Transportes (DNIT) junto à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), por meio do Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans), desenvolveu o projeto do Posto Integrado Automatizado de Fiscalização (PIAF) visando à substituição do Posto de Pesagem Veicular (PPV).

No PIAF foram implementadas novas tecnologias de pesagem, inclusive controle de excesso de peso em pista à velocidade diretriz da via, assim só entram no posto de pesagem os veículos acusados pelo sistema de suspeita de excesso de peso. O projeto do PIAF é constituído de uma Estação de Controle em Pista (ECP) que utiliza tecnologia Weight-in-Motion (WIM), um posto de fiscalização com balança de precisão, um controle de fuga e o Centro de Controle de Operações (CCO), em conjunto estes realizam a fiscalização automatizada.

Neste projeto, uma das soluções para a estrutura de pavimento proposta para a Estação de Controle em Pista (ECP) é a solução de Pavimento de Concreto Continuamente Armado (PCCA). A escolha desse tipo de pavimento tem como benefício a durabilidade para o período determinado do projeto, garantindo a funcionalidade, a efetividade e o bom desempenho na operação dos equipamentos de pesagem a serem instalados.

Essa solução segue a perspectiva de garantir o desempenho na operação do PIAF em diversas condições impostas ao pavimento, como de carregamento excessivo e de condições climáticas adversas.

Para desenvolver o projeto de PCCA, se utilizou do método de dimensionamento de pavimento rodoviário da Portland Cement Association (PCA), de 1984, dos Estados Unidos, denominado de PCA/1984, junto como manual Continuously Reinforced Concrete Pavement Design & Construction Guidelines, da Federal Highway Administration (FHWA) e da Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI), de 2009.

Este artigo tem por objetivo apresentar o resultado da concepção e avaliação do PCCA projetado e dimensionado para instalação de sistemas High-Speed Weigh-in-Motion (HS-WIM) no projeto piloto de PIAF em Araranguá/SC.

2 Pavimento de Concreto Continuamente Armado (PCCA)

O segmento rodoviário em que foi construído a pista de concreto continuamente armado está localizada no sentido Sul da BR-101, entre os quilômetros 418+567 e 418+703, próximo ao município de Araranguá, no Estado de Santa Catarina, conforme mostra a Figura 1. Essa localização, seguiu as recomendações da Classe I do COST 323 (2002) com inclinação longitudinal menor que 1,0%, inclinação transversal menor que 3,0% e com raio de curvatura maior que 1.000 metros.

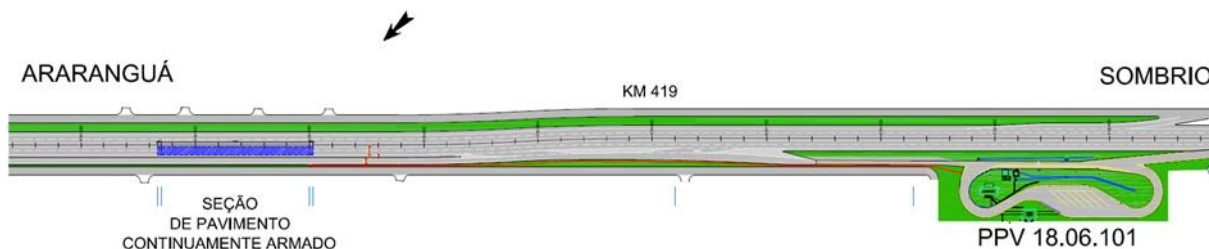


Figura 1 – Situação do PCCA (DNIT, 2018)

Em seguida são discorridos sobre os resultados de dimensionamento e do processo de execução do PCCA.

2.2 Projeto

O dimensionamento do PCCA iniciou com a espessura definida em função dos dados de concreto, de tráfego e de fundação. Essa é uma espessura necessária para suportar as tensões de tração por flexão e as deformações verticais críticas (erosão) produzidas pela passagem dos veículos. O cálculo da estrutura do pavimento de concreto simples, sem acostamento de concreto e com barras de transferência, através do método da PCA/84, foi feito com base nas seguintes informações: Coeficiente de recalque do sistema de 158,5 MPa/m; Espessura da placa de 25 cm; Dimensões da placa de acordo com o projeto executivo; Junta longitudinal separando as faixas em 3,6 m para cada lado; e Placa de PCCA – Concreto com resistência característica à tração na flexão de 4,5 MPa aos 14 dias.

Adotou-se a espessura da estrutura de projeto final de 26 cm, isto é, somou-se 1 cm no resultado do cálculo em razão da utilização de um equipamento de pequeno porte para espalhamento do concreto na pista e, também, para eventual necessidade de realizar microfresagem. Para isso, a estrutura constituída de pavimento apresenta seguintes espessura: uma camada de concreto continuamente de 26 cm, uma camada de Brita Graduada (BG) de 9 cm e a sub-base de 20 cm, como ilustra a Figura 2.

No dimensionamento, calculou-se a armadura longitudinal, que tem a função de fornecer o esforço mínimo necessário para o desenvolvimento de fissuras com espaçamentos e aberturas dentro do limite mínimo estabelecido pela FHWA. Nesse sentido, as armaduras longitudinais, geralmente, são projetadas para produzir um padrão de fissuras aceitável, que mantenha as fissuras transversais firmemente fechadas/apertadas e, também, que preserve as tensões da armadura de reforço dentro dos níveis permitidos.

A quantidade de aço longitudinal é determinada pela percentagem do aço com referência à seção transversal da placa de concreto do pavimento. Consoante ao manual da FHWA, essa taxa varia de 0,60% a 0,80% para que o padrão de fissuração seja aceitável. Para o PCCA, adotou-se: Aço CA-50, diâmetro ($\varnothing$) = 16 mm; espaçamento (S) = 120 mm; percentagem do aço (Ps) = 0,67%.

Nesse projeto, o cobrimento dimensionado foi de 100 mm e o transpasse das armaduras longitudinais do PCCA foi dimensionado para uma adequada continuidade de reforço e uma eficiente transferência de carga. De acordo com as recomendações da FHWA, o transpasse é equivalente a 25 vezes o diâmetro da armadura longitudinal e com uma disposição escalonada ou oblíqua.

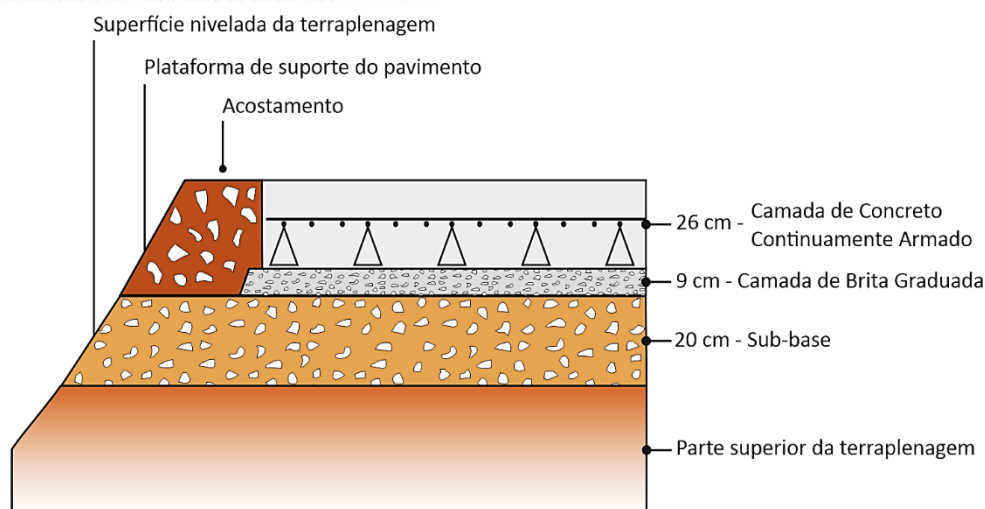


Figura 2 – Seção transversal do PCCA (DNIT, 2018)

No que refere cálculo da armadura transversal, este foi com base no manual americano (CRSI, 2009) e é baseado na percentagem da área da seção longitudinal do concreto da estrutura do pavimento, ou seja, a quantidade de aço mínima deve ser de 0,085% da área da seção longitudinal.

As armaduras transversais servem de apoio às armaduras longitudinais, assegurando o correto posicionamento na estrutura, como também o controle de eventuais fissuras longitudinais que surgirão na estrutura do pavimento. O manual da FHWA recomenda um espaçamento de 0,30 m a 0,90 m e, para esse projeto, adotou-se a armadura transversal com diâmetro de 16 mm e espaçamento de 90 cm entre as barras de aço de CA-50.

Também, determinou-se as barras de ligação que são destinadas a manter as duas placas de PCCA livres de possíveis movimentos laterais e a assegurar que juntas permitam a transferência de carga. O cálculo resultou em uma barra de ligação com diâmetro de 16 mm, comprimento de 120 cm e espaçamento de 90 cm.

Por fim, as barras de transferência adotadas apresentam as seguintes características: Aço CA-25; diâmetro ($\varnothing$) = 32 mm; comprimento da barra (l) = 460 mm e espaçamento (S) = 300 mm.

Como resultado do dimensionamento da estrutura do PCCA apresenta-se, na Figura 3, o corte transversal da faixa direita do pavimento, no qual se observa o posicionamento da armadura transversal e longitudinal no pavimento, as treliças metálicas, os espaçamentos laterais e a espessura da camada.

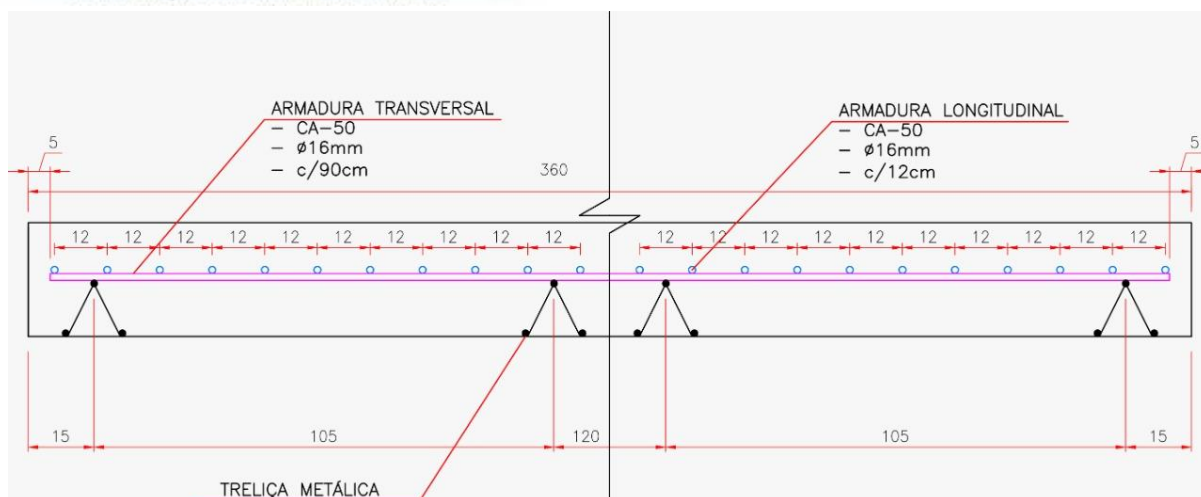


Figura 3 – Corte transversal do PCCA na faixa da direita (DNIT, 2018)

2.3 Microfresagem e a irregularidade longitudinal do pavimento

Após a execução do pavimento de concreto projetado foi necessário realizar a conformação horizontal da pista e texturizar o pavimento de concreto, deste modo, realizou-se a microfresagem. O serviço foi executado com um equipamento de microfresagem de pavimento em faixas paralelas longitudinais de 100 cm de largura ao longo de toda a extensão da pista de concreto. A espessura da camada retirada foi de, aproximadamente, 10 mm, variando de acordo com o levantamento topográfico realizado previamente.

Para verificação da irregularidade no PCCA, realizou-se o levantamento do perfil longitudinal pelo método topográfico. A cota da superfície do pavimento é verificada ao passo de 30 cm sobre um dos alinhamentos longitudinais, da provável trilha da roda (esquerda e direita separadamente), e em dois momentos, antes e depois da execução da microfresagem, para cada as duas faixas de rolamento (esquerda, interna ao eixo da rodovia, e direita, externa). As medições são realizadas considerando a mesma referência, o que permite a sobreposição das cotas levantadas e a comparação entre elas.

O perfil topográfico, gerado no levantamento, apresenta pequenas variações devido a precisão do equipamento utilizado, um perfil médio do levantamento é gerado utilizando um processo de filtragem Passa-Baixa do tipo Butterworth, que permite suavizar a curva e eliminar os picos que não representam a superfície do pavimento, como mostra a Figura 4.

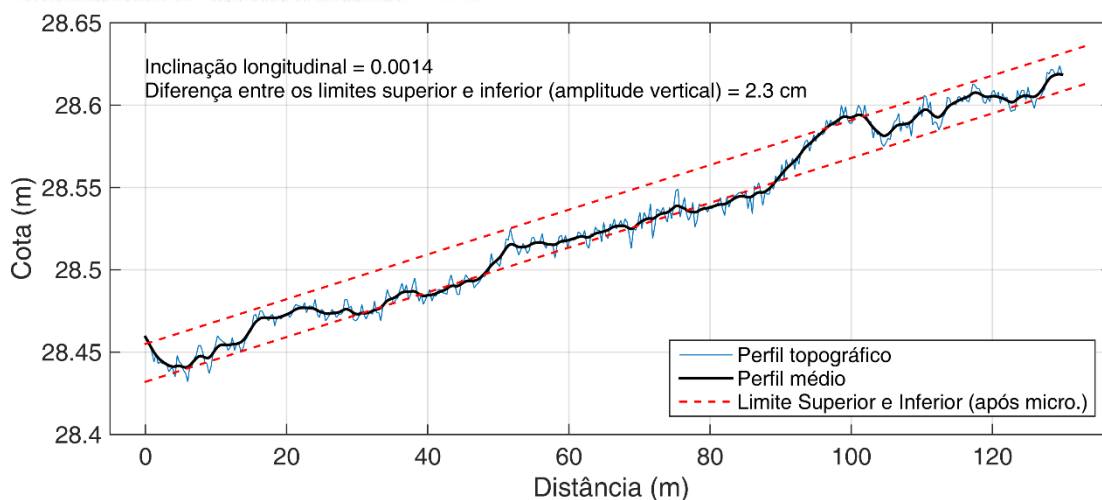


Figura 4 – Perfil longitudinal sobre a faixa da esquerda, trilha de roda direita, após microfresagem.

A análise do perfil longitudinal permite considerar a superfície do pavimento sobre um plano, representado por uma reta determinada por regressão linear, esta reta indica que a pista possui inclinação longitudinal da superfície do pavimento é próxima do 0,14%, que é inferior limite para sítio Classe I segundo COST-323 de 1%.

A dinâmica dos veículos trafegando sobre a rodovia irá depender das irregularidades da superfície do pavimento, sendo as diferenças de cota da superfície a responsável pela geração de acelerações verticais nos conjuntos eixos, sistema de amortecimento e a carga transportada. A diferença de cota (superior e inferior), durante o percurso do veículo sobre a trilha de roda direita da faixa a esquerda, é da ordem de 2,3 cm para o comprimento total da pista de 120 m.

Significa que no percurso da viagem do veículo, este deverá sofrer deslocamento vertical dessa ordem de grandeza e que será maior ou menor, dependendo da velocidade. No entanto, a dinâmica vertical resultante no veículo, vai depender da combinação das condições e características do veículo e da interação entre cada rodado, esquerdo e direito, com seu respectivo caminho ou trilha de roda.

O resultado comparativo entre o perfil longitudinal anterior e posterior a microfresagem sobre as trilhas de roda da faixa direita e esquerda, apresentadas na Figura 5 e Figura 6 respectivamente, mostra que houve redução das amplitudes da cota (limites superior e inferior) em relação a superfície original do pavimento.

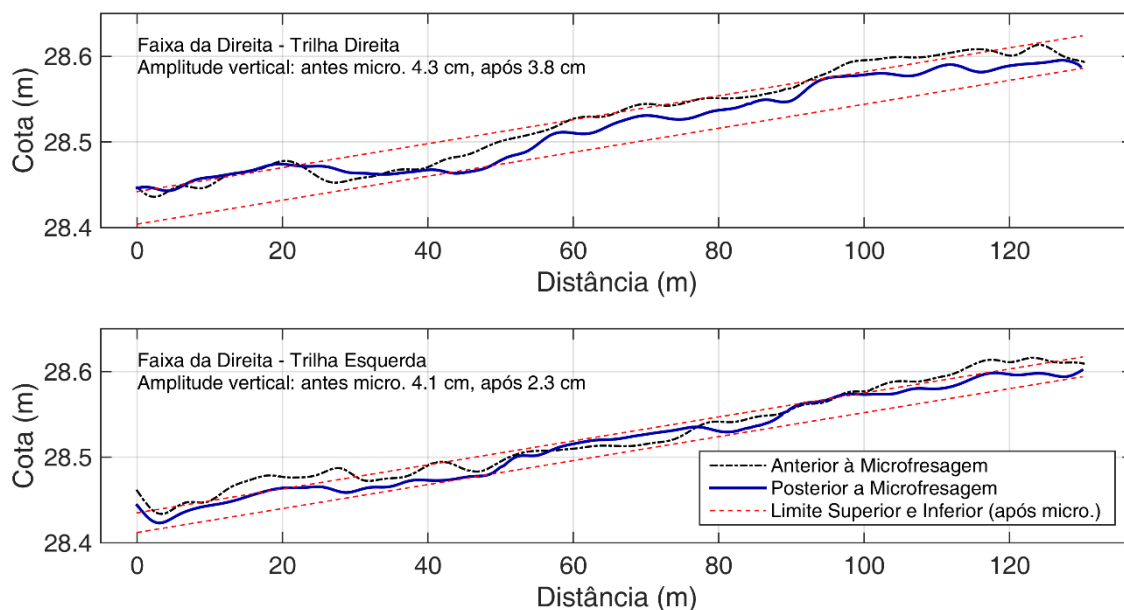


Figura 5 – Comparação entre o perfil longitudinal anterior e posterior ao serviço de microfresagem sobre as trilhas da faixa da direita

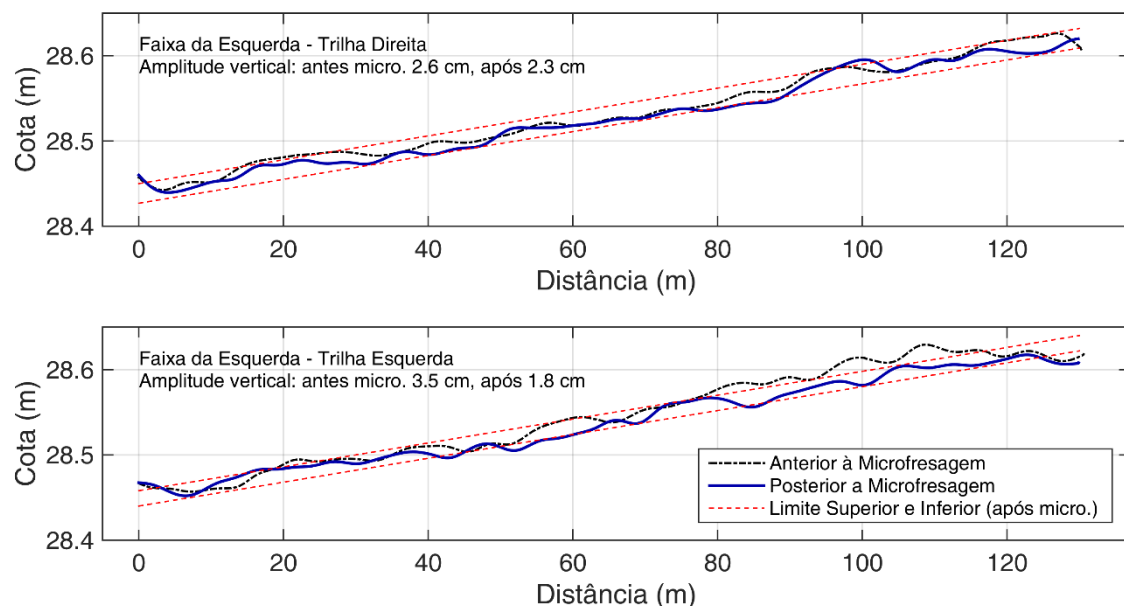


Figura 6 – Comparação entre o perfil longitudinal anterior e posterior ao serviço de microfresagem sobre as trilhas da faixa da esquerda

Anterior à microfresagem, sobre a faixa da direita, a variação de amplitude vertical é da ordem de 4,3 cm e 4,1 cm para a trilha de roda direita e esquerda respectivamente. Posterior a microfresagem, a amplitude vertical sobre as trilhas de roda são 3,8 cm e 2,3 cm, para a trilha da direita e esquerda respectivamente. Sobre a faixa da esquerda, a amplitude vertical era da ordem de 2,6 e 3,5 cm, trilha direita e esquerda respectivamente e, após a microfresagem, ficou da ordem de 2,3 e 1,8 cm. A porcentagem redução da

amplitude vertical é da ordem de 12% para as trilhas de roda a direita (em ambas as faixas de rolamento) e de 46% para a trilha de roda a esquerda (em ambas as faixas). Em ambas as faixas de rolamento, a redução média da amplitude vertical ficou próximo a 30%.

3 Conclusão

O controle da prática de excesso de peso nas rodovias brasileira precisa de uma estrutura de pavimento que assegure acurácia na medição e bom funcionamento, ao longo de toda a vida útil dos equipamentos instalados. Neste contexto, a proposta de construção de um Pavimento de Concreto Continuamente Armado (PCCA) no trecho de instalação de sensores WIM deve ser avaliada, após a construção, de modo a garantir que o pavimento cumpra todos os requisitos necessários a boa conservação dos sensores.

Dado a falta de normativa brasileira específica para a avaliação de pavimentos construídos com a finalidade de instalação de sistemas WIM, é necessário o uso de normativas bem estabelecidas, assim a Tabela 1 apresenta os parâmetros definidos como “Classe I- Excelente” da Especificação Europeia COST 323 de 2002 para WIM.

Tabela 1 – Características da “Classe I – Excelente” do COST 323

Características do pavimento	Classe I
Inclinação longitudinal	< 1,0%
Inclinação transversal	< 3,0%
Raio de curvatura	>1.000 m
Profundidade da trilha de roda	≤ 4,0 mm
Rugosidade pelo índice IRI	0-1,3 m/km

A partir destes parâmetros concluiu-se que a estrutura do pavimento construída é adequada para a instalação de sistemas-WIM, tendo atendido todos os critérios da Classe I – Excelente do COST 323.

Notou-se que, a microfresagem longitudinal, além de garantir a segurança na tráfegabilidade, evitando os efeitos de viscoplanagem e hidropianagem com o aumento da rugosidade, é importante na adequação do pavimento à instalação dos sensores WIM, aumentando o índice IRI, além disso o cuidado e observação dos parâmetros pretendidos a partir da escolha da localização do sistema de pesagem em movimento garante a adequação quanto a inclinação transversal e o raio de curvatura.

Deste modo, recomenda-se a implantação de PCCA como solução de pavimento adequada para a fiscalização direta com sistemas WIM no Brasil.

4 Referências

ASTM (2017). **E1318-09 - Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods**. American Society for Testing and Materials. Pensilvânia, EUA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland** - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Aço** – Especificações de aço destinado a armadura para estrutura de concreto armado. Rio de Janeiro, 2007.
BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. IPR 714 – Manual de pavimentos rígidos. 2 ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005, 234p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. IPR 714 – Manual de pavimentos rígidos. 2 ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005, 234p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **DNIT 047/2004 ES: Pavimento rígido** – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT). **Documentos Técnicos: Projetos e Avaliações da Pista Experimental para Sistema de Fiscalização Direta de WIM**. Florianópolis: UFSC; Brasília: DNIT, 2018. Termo de cooperação n. TC-497/2012.

COST 323. **Weigh in motion of road vehicles**. Final Report, Appendix 1 European WIM Specification, LCP publication, Paris, 2002.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Continuously reinforced concrete pavements – Design & Construction Guidelines**. Washington, D.C.: Concrete Reinforcing Steel Institute Draft – CRSI, 2009, 172p.

Portland Cement Association. **Thickness design for concrete highway and street pavements**. Shokie, EUA: Portland Cement Association (PCA), 1984.