

# PESQUISA DOS EFEITOS DO CLIMA SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO – INSTRUMENTAÇÃO DA PISTA EXPERIMENTAL NA USP

José Tadeu Balbo  
Andréa Arantes Severi  
Marcos Paulo Rodolfo  
Deividi da Silva Pereira

## RESUMO

As análises de efeitos das condições climáticas (temperaturas, umidade relativa do ar, radiação solar) sobre as placas de concreto de cimento Portland em pavimentos foram várias vezes realizadas por pesquisadores desde a década de 1920. Tais efeitos são suficientemente significativos para justificar pesquisas também para condições climáticas típicas encontradas no Brasil, sendo possível por meio de instrumentação adequada de pista a obtenção de parâmetros que melhor caracterizem o comportamento dos pavimentos sob ação de cargas e das condições ambientais de uso. O artigo apresenta a concepção do estudo experimental inédito em realização no País em termos de seu projeto, execução e monitoração.

## ABSTRACT

Environmental conditions like air temperature, solar radiation and air moisture and its effects over concrete slabs for pavements have been studied since the 20's by several researchers. Such effects are of paramount concern for structural analysis in order to justify studies for the typical climate conditions found in Brazil; and by adequate field instrumentation it should be allowed the behavior analysis of concrete pavements under effects of climate and loads. This paper introduces the original current experimental research in charge in the country concerning its experimental design, construction and evaluation of the track test.

## 1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Mecânica de Pavimentos (LMP) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), durante o ano de 1999 construiu uma pista experimental com pavimentos de concreto simples no *campus* da Cidade Universitária em São Paulo.

A pista experimental foi concebida em cinco seções de teste empregando 15 placas de concreto moldadas *in loco*, em uma área de estacionamento de veículos de passeios anexa ao edifício da engenharia civil da EPUSP. Cada seção experimental possui três placas de concreto com diferentes características, tendo sido empregadas como base de pavimentos a brita graduada simples e o concreto compactado com rolo.

Toda a execução do projeto foi realizada pelo LMP que, para uma série de serviços (terraplanagem e drenagem superficial) contou com o irrestrito apoio estratégico em termos de mão-de-obra e equipamentos da prefeitura do *campus* da Cidade Universitária, além de apoio de empresas para a imprimação de bases granulares e de serragem de juntas.

Tendo em vista que o objetivo da instrumentação era a coleta de dados referentes aos efeitos térmicos sobre placas de concreto, era necessária uma reflexão preliminar sobre os possíveis parâmetros que interferem na ocorrência de empenamento das placas, o que foi realizado tomando-se como instrumento de análise um programa de elementos finitos adequado. Outro aspecto digno de menção é que, face às características da pesquisa com coleta de dados contínua pelo menos ao longo de estações climáticas completas, era necessário que a equipe de pesquisadores estivesse muito bem informada sobre todos os princípios da instrumentação.

Isto levou à consideração de que tal serviço (instrumentação) não deveria ser realizado por terceiros, muito menos a coleta e análise de dados. Houve um esforço muito grande de toda equipe em estudar os processos de instrumentação disponíveis, abrangendo desde os tipos de

instrumentos a serem adquiridos, métodos de instalação dos instrumentos no concreto de cimento Portland – CCP (sepultamento), calibração do sistema eletrônico, concepção de programa de aquisição de dados adequado ao caso, até mesmo em treinamento para execução de soldagens e montagem de painéis eletrônicos de controle; enfim, a menos de equipamentos necessários que foram adquiridos no mercado, todos os serviços envolvendo instrumentação foram concebidos e executados pela equipe de pesquisa.

Nesta comunicação técnica serão abordados os aspectos de concepção do projeto, a instrumentação da pista, painéis de controle e esquemas de aquisição de dados, a forma de tratamento dos dados e as potencialidades do projeto de pesquisa em termos de evolução das técnicas de dimensionamento dos pavimentos de CCP.

## **2. CONCEPÇÃO DO PROJETO**

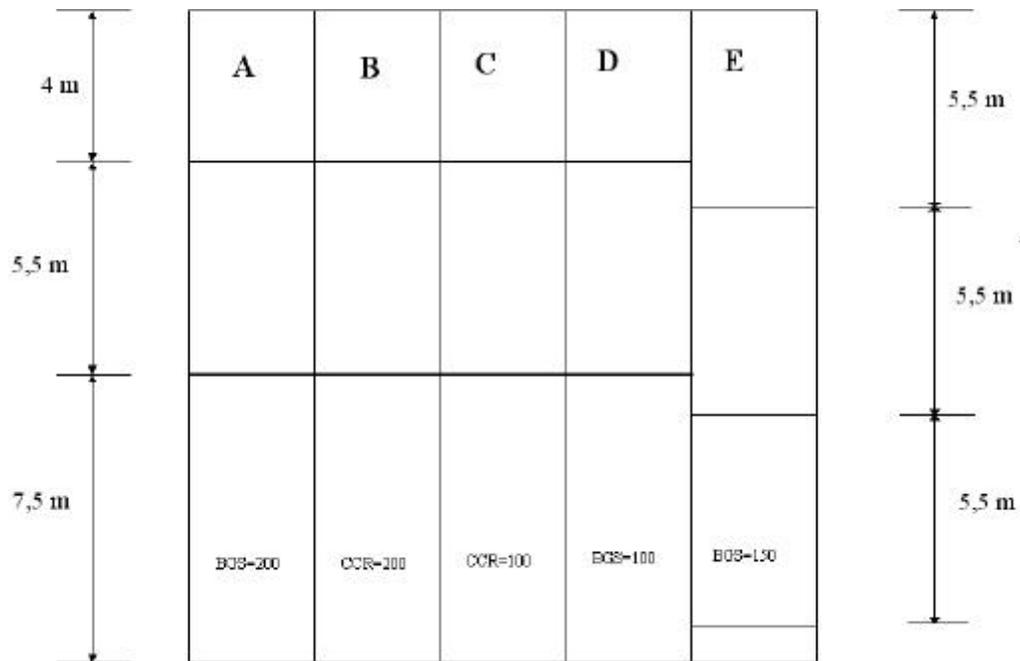
A pista experimental para gradientes térmicos em pavimentos de concreto de cimento Portland (PE1-GT-CCP) foi projetada com 5 seções e três placas por seção (Figuras 1 e 2). As seções A, D e E possuem bases granulares em brita graduada simples (BGS); as seções B e C possuem base em concreto compactado com rolo (CCR). A seção E possui três placas de comprimentos idênticos (5,5 m) e largura de 3,5 m; as demais seções possuem três placas com os comprimentos de 4,00 m, 5,50 m e 7,50 m e largura de 3,45 m.

A seção E possui uma junta com barras de transferência de cargas e uma junta sem tais dispositivos. As barras de transferência estão presentes em todas as demais juntas de placas e possuem diâmetro de 32 mm. O emprego de dois tipos de bases foi considerado tendo em vista que, além de representarem as situações de projeto mais comumente empregadas no País, as bases tratadas com cimento quando não aderidas ao CCP trataram-se de elementos indutores de tensões oriundas do empenamento da placa uma vez que não acomodam aos deslocamentos verticais sofridos pelas placas, seja o empenamento positivo ou negativo, apesar do fato de proporcionarem um alívio de tensões nas placas quanto aos efeitos de carregamentos.

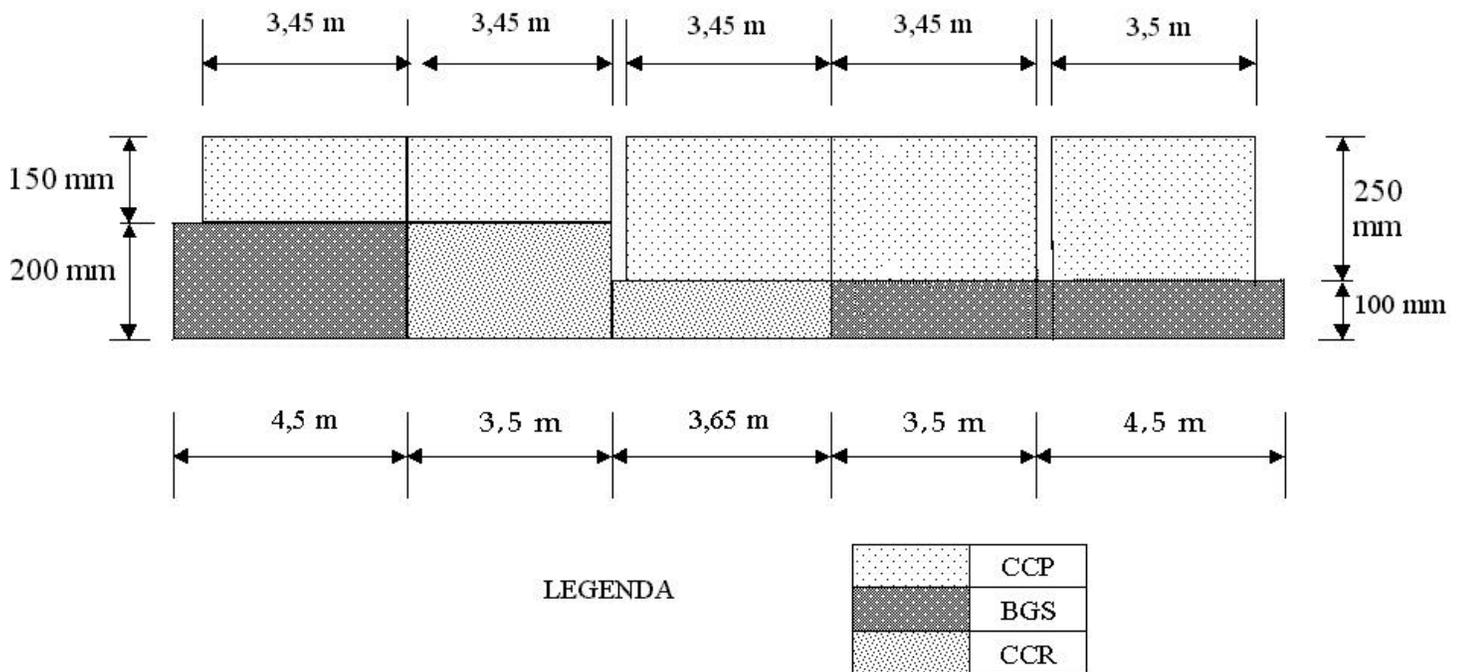
O espaçamento entre juntas foi escolhido de modo racional de tal forma que permitisse uma grande variabilidade nas relações entre comprimento de placa e seu raio de rigidez relativo (que é dependente da espessura da placa e do módulo de reação do sistema de apoio). Como a teoria convencional para gradientes térmicos em placas de concreto é em seu cerne dependente de tais relações, o projeto se guiou à luz dessa teoria (Westergaard-Bradbury) para sua concepção, tendo o estudo conduzido às soluções apontadas na Tabela 1. Tais relações resultaram, de modo distribuído, entre 6 e 40 para bases com CCR e entre 4 e 18 para bases em BGS, como se observa da Tabela 1.

O posicionamento de cada seção experimental em planta reservou espaçamento de 200 mm entre as seções B e C e as seções D e E para possibilitar a instalação dos dutos de PVC por onde passam os cabos dos instrumentos, pois envelopados não ficam sujeitos à ação direta da umidade do ar ou do solo. Para as seções A e E os dutos foram posicionados nas laterais da pista experimental.

O local selecionado para o experimento é tal que não existem sombras sobre a pista prejudicando a radiação solar direta sobre a superfície do concreto. As canaletas de cabos de instrumentos estão preenchidas por concreto e niveladas com as placas em suas extremidades.



**Figura 1:** Seções em Planta da Pista Experimental



**Figura 2:** Seções em Perfil da Pista Experimental

**Tabela 1:** Seções de Projeto Seleccionadas

Seção	Placa		Base			l(m)	L/l	
	Nome	L (m)	h1 (m)	Tipo	h2 (m)			k (MPa/m)
A1	A1	4,00	0,15	BGS	0,20	49	0,420	9,530

A	A2	5,50	0,15	BGS	0,20	49	0,420	13,104
	A3	7,50	0,15	BGS	0,20	49	0,420	17,869
B	B1	4,00	0,15	CCR	0,20	250	0,186	21,527
	B2	5,50	0,15	CCR	0,20	250	0,186	29,599
	B3	7,50	0,15	CCR	0,20	250	0,186	40,363
C	C1	4,00	0,25	CCR	0,10	111	0,600	6,667
	C2	5,50	0,25	CCR	0,10	111	0,600	9,166
	C3	7,50	0,25	CCR	0,10	111	0,600	12,500
D	D1	4,00	0,25	BGS	0,10	38	1,025	3,901
	D2	5,50	0,25	BGS	0,10	38	1,025	5,363
	D3	7,50	0,25	BGS	0,10	38	1,025	7,314
E	E1	5,50	0,20	BGS	0,15	42	0,698	7,880
	E2	5,50	0,20	BGS	0,15	42	0,698	7,880
	E3	5,50	0,20	BGS	0,15	42	0,698	7,880

### 3. MÉTODO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Foram utilizados dois tipos de instrumentos: medidores de deformação e de temperatura. Os medidores de deformação do tipo *strain gages* possuem módulo de deformação semelhante ao do concreto (28 GPa) sendo específicos para imersão no concreto fresco. Sua resistência é de 120  $\Omega$  e seu *gage factor* vale 2,0. Os medidores de temperatura tratam-se de termo-resistências do tipo PT-100, com faixa de utilização de  $-250$  °C a 600 °C. A proteção do filamento é constituída por uma cápsula cerâmica.

Buscou-se posicionar os *strain gages* próximos às zonas de maiores deformações. A localização de tais zonas se deu por meio de simulações numéricas das deformações com o uso do programa FEACONS 4.1 SI (de elementos finitos para placas de concreto) assumindo a ação de gradientes térmicos e cargas rodoviárias, localizadas no centro e na junta transversal da placa. Como as placas do pavimento não são aderidas à base e havendo a hipótese da linha neutra estar posicionada à meia altura da placa, os *strain gages* foram instalados no fundo da placa.

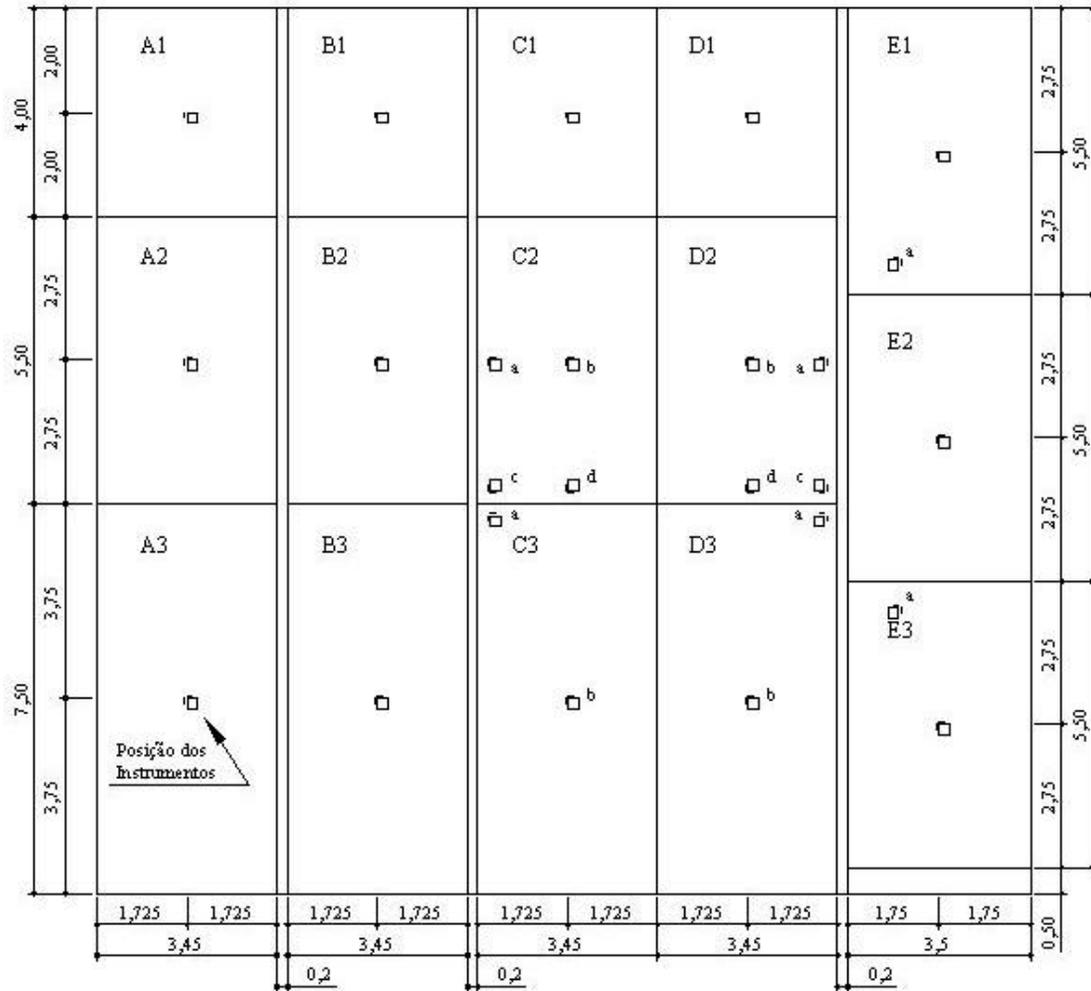
As termo-resistências foram instaladas próximas aos *strain gages*, abrangendo todas as posições em planta importantes (centro, meio da borda longitudinal, canto e meio da junta transversal) de modo a permitir avaliar a homogeneidade dos gradientes térmicos na área da placa. Os instrumentos foram instalados em cinco alturas distintas para que fosse possível estudar a linearidade dos gradientes térmicos ao longo da espessura da placa. A Figura 3 apresenta em planta a posição dos instrumentos.

A fixação dos instrumentos foi objeto de grande atenção por parte dos pesquisadores. Vários dispositivos foram estudados, desde armações em aço até dispositivos em argamassa. Por fim, foi adotado para a fixação dos *strain gages* um dispositivo composto de 2 barras de aço CA-60 B de 4,5 mm de diâmetro apoiadas sobre duas pastilhas produzidas com argamassa de cimento e areia. As pastilhas de argamassa eram coladas sobre o filme plástico com adesivo de contato após a identificação precisa da posição do instrumento. Sobre essas barras o *strain gage* era colocado e fixado com o uso de arame recozido.

Já os PT-100 foram fixados em uma haste de PVC com altura pré-definida em projeto, de modo a possuir orifícios onde os instrumentos seriam colados com cola de secagem rápida. Essa haste era, após seu posicionamento na placa, fixada de modo a não sofrer deslocamentos significativos.

A concretagem foi a etapa mais delicada da instrumentação, uma vez que as chances de se ter um instrumento danificado eram elevadas devido ao processo executivo (manual). Para diminuir a possibilidade de quebras, o sepultamento dos instrumentos foi executado manualmente. Pequenas

quantidades de concreto eram cuidadosamente colocadas e adensadas, envolvendo por completo os instrumentos.



**Figura 3:** Posição dos instrumentos nas placas

#### 4. PROGRAMA DE TRATAMENTO DE DADOS

Coletas de informações vem sendo realizadas em períodos sucessivos de 24 horas, sete dias por semana, desde outubro de 1.999. O condicionador de sinais empregado tem capacidade para receber simultaneamente 10 *strain gages* e 22 PT-100. Tal limitação implica em leituras semanais sucessivas de um bloco ou conjunto de instrumentos, o que tem sido realizado em intervalos de 15 minutos.

Paralelamente, o Centro Tecnológico de Hidráulica, no *campus* da USP, possui uma estação meteorológica completa (instalada a 200 m da pista experimental) que tem fornecido diariamente as variações de temperatura e umidade atmosférica, velocidade e direção de ventos e radiação solar, além de dados pluviométricos.

Um dos trabalhos em desenvolvimento é o tratamento das informações sobre gradientes térmicos conjuntamente com os dados climatológicos de maneira a se construir uma correlação entre valores de gradientes térmicos e condições climáticas diárias, permitindo no futuro a extrapolação dos resultados de São Paulo para outras regiões do Estado e do País.

Provas de carga a serem realizadas durante o inverno e o verão permitirão ainda uma análise mais consistente da contribuição estrutural de bases cimentadas nos pavimentos de concreto bem como a análise da capacidade de transmissão de cargas em juntas.

## **5. POTENCIALIDADES DA INSTRUMENTAÇÃO**

Obviamente o projeto de pesquisa tem como meta principal a construção de conhecimentos para que seja possível o estabelecimento de um critério de dimensionamento de pavimentos de concreto adequado às nossas condições climáticas.

Como resposta imediata do experimento, o que se julgava muito complicado obter, os gradientes térmicos, tem sido cadastrados diariamente e possibilitado o conhecimento dos efeitos do clima sobre placas de concreto de modo completamente inédito, inclusive por tratar-se do primeiro experimento desta natureza no País.

As medidas de deformações e temperaturas em escala real permitirão ainda a calibração de modelos numéricos para o cálculo de tensões em placas de concreto, também em desenvolvimento pelo LMP. Este trabalho é de fundamental importância para o desenvolvimento de modelos de cálculo consistentes.

Acredita-se que as primeiras informações mais conclusivas sobre o experimento estarão disponíveis no primeiro semestre do próximo ano.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (exclusiva financiadora do projeto de pesquisa), à Prefeitura do Campus da Capital do Estado de São Paulo da Universidade de São Paulo nas pessoas de seu prefeito, o Prof. Dr. Gil da Costa Marques e do eng.º Samir Hamzo, à empresa Engenharia de Pisos Ltda (desempenamento e serragem de juntas) e ao eng.º Marcelo Garcia da Nova Dutra S/A (imprimação de bases granulares), bem como ao Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP que viabilizou todos os trabalhos de controle tecnológico do concreto.

## **Laboratório de Mecânica de Pavimentos**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Transportes

Av. Prof. Almeida Prado, travessa 2, nº 83

Cidade Universitária – São Paulo

CEP 05.508-900

Fone: +55 – 11 – 3818-5306

Fax: +55 – 11 – 3818-5716

<http://www.lmp.ptr.usp.br/>

e-mail: [imp@edu.usp.br](mailto:imp@edu.usp.br)