

MODELO PARA PREVISÃO DE DIFERENCIAIS TÉRMICOS DIURNOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES NO CLIMA TROPICAL

Andréa Arantes Severi

Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie

José Tadeu Balbo

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

Os dados referentes a quinze meses de aferições de diferenciais térmicos em pavimentos de concreto simples na pista experimental da USP, no que tange a diferenciais absolutos e temperaturas de topo são correlacionados com valores de dados climáticos também coletados no local, apresentando-se por final, pela primeira vez para ambiente tropical, modelos de previsão de diferenciais térmicos em pavimentos de concreto simples, dos quais inclusive são inferidos efeitos de saturação em bases granulares. Os modelos são confrontados com um modelo desenvolvido para clima temperado em anos recentes, sendo apontadas suas potencialidades em melhor descrever tais efeitos em regiões quentes e úmidas.

ABSTRACT

Data from field experiments with jointed concrete pavements at University of São Paulo concerning temperatures on concrete slabs allowed the calibration of empirical models to forecast thermal differentials as well as concrete surface temperature as function of climate data obtained at the experimental site, the first one for typical tropical conditions, indeed taking account the effects of saturated granular bases. By confrontation of the new results with previous model defined through experiments in temperate climate it becomes clear the advantages of the new proposed model for concrete pavements design and analysis purposes in hot and wet areas.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um modelo empírico-estatístico para previsão de diferenciais térmicos em pavimentos de concreto de cimento Portland (CCP) simples, conforme se apresenta neste artigo, fundamentou-se em análises realizadas durante 15 meses de coleta de dados realizada na pista experimental construída no campus da USP em São Paulo (Balbo *et al.* 2000; Severi e Balbo, 2001). Neste artigo são apresentados modelos para a previsão da temperatura de topo máxima e de diferenciais térmicos positivos máximos em condições de clima tropical de altitude.

As análises dos dados coletados durante a pesquisa permitiram observar que o diferencial térmico positivo apresentou valores muito mais elevados, atingindo freqüentemente 17°C para placas de 250 mm, que aqueles apresentados pelos diferenciais térmicos negativos, que atingiram freqüentemente -5°C para placas de 250 mm, sendo portanto a condição mais crítica para o empenamento dos pavimentos de concreto (Severi e Balbo, 2001).

Dentre as inúmeras informações obtidas junto a estação meteorológica do Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH) na Cidade Universitária em São Paulo, as seguintes foram consideradas fundamentais para a elaboração dos modelos de previsão: o número de horas de insolação, expresso pela quantidade de horas de sol (ou insolação) entre o nascente e o poente (NHI), a temperatura atmosférica (T_{ar}), a umidade relativa do ar (H) e a velocidade média do vento (v_v). Sendo assim considerou-se, a priori, que tais que variáveis climáticas seriam as principais responsáveis pelos estados térmicos verificados em pavimentos de CCP.

Tais modelos empíricos para previsão de temperatura de topo máxima e gradientes térmicos máximos positivos obtidos para clima tropical a seguir apresentados são confrontados com o

modelo também empírico proposto por Kuo (1998) para clima temperado, sendo este modelo utilizado no método de dimensionamento de pavimentos de concreto da AASHTO em sua versão suplementar de 1998 para estimar o diferencial térmico positivo em pavimentos de CCP.

2. MODELOS PARA PREVISÃO DA TEMPERATURA DE TOPO

Para a elaboração dos modelos de previsão de temperaturas de topo máximas buscou-se estabelecer relações estatísticas correlacionando dados de temperatura medidos no interior de placas de CCP e dados oriundos de uma estação meteorológica completa existente nos arredores da pista experimental, pautando-se pelos seguintes critérios de seleção de dados:

- todas as medidas referem-se ao horário solar independentemente da estação ou época do ano (os horários oficiais de verão no país foram de 03/10/1999 a 27/02/2000 e de 08/10/2000 a 18/02/2001);
- o número de horas de insolação (NHI) a ser considerado tem como referência o período entre o amanhecer e às 16h;
- a temperatura atmosférica (T_{ar}) é a média entre a máxima e a mínima verificadas entre as 9 horas e às 15 horas do dia.
- a velocidade média do vento (v_v) é calculada para o período entre 9 horas e 15 horas do dia;
- a umidade relativa do ar (H) é aquela aferida às 15 horas (mais próxima do evento);
- a ocorrência de chuva após as 9 horas da manhã elimina tal dia da análise global.

Ainda, sabendo-se que o NHI e a temperatura atmosférica seriam variáveis chaves para o processo de elevação da temperatura na superfície, apenas as datas em que o CTH forneceu informações e dados foram levados a termo (o CTH não processa medidas em sua estação meteorológica no campus aos sábados e domingos, além de ter paralisado as leituras de abril a meados de junho de 2000).

Uma análise preliminar dos dados antes do tratamento estatístico permitiu verificar não existir relação direta entre a velocidade média de ventos aferida pelo CTH e os resultados em pista uma vez que tal velocidade praticamente não variava, estando entre 0,8 m/s e 1,1 m/s durante o horário de interesse, em qualquer época do ano; Assim sendo, esta variável foi desconsiderada. Portanto, a temperatura de topo em pavimentos de CCP no local de análise seria dependente do número de horas de insolação, da temperatura atmosférica e da umidade relativa do ar.

Após inúmeros testes e formulações de regressões lineares múltiplas, foi possível obter os seguintes modelos para a previsão da temperatura de topo em placas de concreto, para o ano cheio, para o período primavera/verão e para o período outono/inverno:

Ano Cheio:

$$T_{T,máx} = -6,00 + 1,00 \cdot NHI + 1,37 \cdot T_{ar} + 0,064 \cdot H \quad (1)$$

onde:

$T_{T,máx}$: temperatura de topo máxima (°C);

NHI : número de horas de insolação (h);

T_{ar} : temperatura atmosférica (°C);

H : umidade relativa do ar (%).

Este modelo apresentou, para 142 conjuntos de dados, um erro padrão de 3,7°C e um coeficiente de determinação (R^2) de 0,73.

Primavera/verão:

$$T_{T,máx} = 11,94 + 1,01 \cdot NHI + 0,92 \cdot T_{ar} - 0,03 \cdot H \quad (2)$$

Este modelo apresentou, para 97 conjuntos de dados, um erro padrão de 2,8°C e um coeficiente de determinação (R^2) de 0,79.

Outono/inverno:

$$T_{T,máx} = 14,3 + 0,2 \cdot NHI + 0,75 \cdot T_{ar} - 0,07 \cdot H \quad (3)$$

Este modelo apresentou, para 39 conjuntos de dados, um erro padrão de 2,0°C e coeficiente de determinação (R^2) de 0,70.

Verificou-se, após uma análise de sensibilidade, que o número de horas de insolação representa um incremento de 7% na temperatura de topo durante a primavera/verão e de apenas 1,5% durante o outono/inverno. O efeito combinado do número de horas de insolação e da temperatura do ar, para uma variação de 1°C na temperatura do ar, representa um incremento na temperatura de topo de 20% para a primavera/verão e de apenas 7% durante o outono/inverno, ou seja, o número de horas de insolação é um parâmetro muito mais representativo durante os meses quentes.

Com relação à umidade relativa do ar, verifica-se que, embora pouco significativa para a temperatura de topo, sempre atua contrariamente a seu incremento em até 2%, tanto para a primavera/verão, quanto para outono/inverno.

3. Modelos de Previsão do Diferencial Térmico Máximo

Para a modelagem estatística dos diferenciais térmicos máximos positivos, considerou-se que os mesmos seriam dependentes dos seguintes parâmetros e fatores:

- da temperatura máxima de topo verificada no mesmo instante;
- do coeficiente de transmissão térmica do concreto de cimento Portland; no entanto, como supostamente os concretos empregados nas várias seções de pavimentos eram idênticos (mesmo material e traço), este parâmetro foi mantido como constante;
- da espessura da placa de CCP;
- da presença de umidade no fundo da placa (H_f) devido à má drenagem do pavimento, como verificado com a placa A3 na seção A da pista experimental. Esta anomalia foi observada durante as estações mais úmidas, quando, devido à natureza do terreno local e ao posicionamento da pista experimental, ocorria saturação, inclusive na base granular sob a placa de CCP, causando redução na temperatura de fundo e conseqüente elevação nos diferenciais térmicos.

Da mesma forma que para a obtenção do modelo de previsão para a temperatura de topo máxima, inúmeros testes de funções de correlação foram realizados, tendo sido obtidos os modelos para a previsão do diferencial térmico positivo máximo, para o ano cheio, para primavera/verão e para outono/inverno, conforme descritos na seqüência.

*Previsão de Gradientes para ano cheio e possível umidade de fundo
(tomar $H_f = 1$ neste caso; caso contrário $H_f = 0$)*

$$DT+ = -7,883 + 0,379 \cdot T_{T,m\acute{a}x} + 0,018 \cdot h + 2,236 \cdot H_f \quad (4)$$

onde:

$DT+$: diferencial térmico positivo máximo (°C);

$T_{T,m\acute{a}x}$: temperatura de topo máxima (°C);

h : espessura da placa de CCP (mm);

H_f : umidade de fundo (1 para a ocorrência e 0 para não ocorrência).

Este modelo apresentou, para 107 conjuntos de dados, um erro padrão de 2,6°C e R^2 de 0,56. Devido ao baixo coeficiente de determinação deste modelo, os dados foram trabalhados em dois períodos climáticos, primavera/verão e outono/inverno, almejando-se com tal segregação a obtenção de melhores modelos de correlação, conforme se segue.

*Previsão de Gradientes para primavera/verão e possível umidade de fundo
(tomar $H_f = 1$ neste caso; caso contrário $H_f = 0$)*

$$DT+ = -18,83 + 0,542 \cdot T_{T,m\acute{a}x} + 0,037 \cdot h + 4,165 \cdot H_f \quad (5)$$

Este modelo apresentou erro padrão de 1,9°C e R^2 de 0,80 para 67 conjuntos de observações.

Previsão de Gradientes para outono/inverno sem umidade de fundo

$$DT+ = -6,534 + 0,509 \cdot T_{T,m\acute{a}x} + 0,0013 \cdot h \quad (6)$$

Este modelo apresentou, para 38 conjuntos de observações, erro padrão de 1,9°C e R^2 de 0,71.

A partir dos modelos de previsão do diferencial térmico positivo, pode ser inferido que a espessura da placa é mais relevante durante os períodos quentes (primavera/verão) em comparação com os períodos frios (outono/inverno). Também pôde ser verificado que modelos que consideram a presença de umidade no fundo da placa (bases saturadas) são mais relevantes para estações mais úmidas em clima tropical (primavera/verão), e não para estações secas (outono/inverno).

4. MODELO PARA CLIMA TEMPERADO PROPOSTO POR KUO

Kuo (1998) propôs modelos para previsão do diferencial térmico positivo e negativo em placas de pavimento de concreto em função de sua espessura, média anual da temperatura do ar, precipitação anual e média anual da velocidade do vento. Os dados climatológicos utilizados pelo autor para elaboração do modelo foram provenientes de 14 diferentes localidades nos Estados Unidos com clima temperado.

Em função da magnitude e importância do diferencial térmico positivo observado em clima tropical, a equação apresentada por Kuo (1998) para previsão do diferencial térmico negativo não será analisada neste trabalho, sendo apresentado na Equação 7 o modelo proposto por Kuo para a previsão de diferenciais térmicos positivos.

$$DT+ = 0,962 - \frac{52,181}{h} + 0,341 \cdot v_v + 0,184 \cdot T_{ar} - 0,00836 \cdot P \quad (R^2 = 0,84) \quad (7)$$

onde:

$DT+$: diferencial térmico positivo (°F);

h : espessura da placa (polegadas);

v_v : média anual da velocidade do vento (milhas por hora);

T_{ar} : temperatura atmosférica (°F);

P : precipitação anual (polegadas).

Foram realizadas análises de sensibilidade do modelo proposto por Kuo (1998), variando-se a espessura da placa, a velocidade do vento, a temperatura do ar e a precipitação. As Figuras 1 a 4 apresentam a variação do diferencial térmico em função dos parâmetros mencionados. Verifica-se, que o modelo apresentado por Kuo (1998), é muito mais sensível à variação da temperatura do ar e, em contrapartida, praticamente insensível à variação da precipitação.

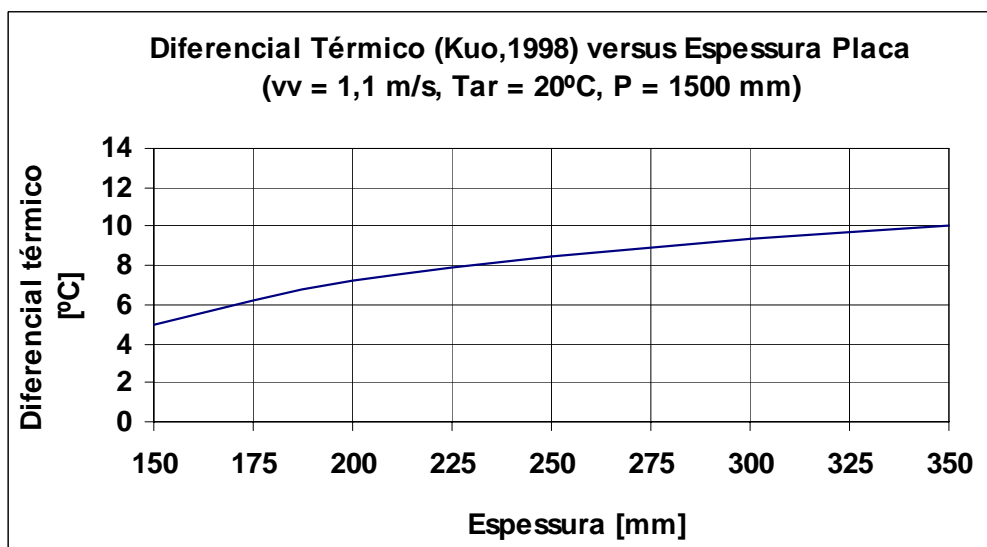


Figura 1 Sensibilidade do $DT+$ (modelo de Kuo, 1998) à variação da espessura da placa ($T_{ar} = 20^\circ\text{C}$, $P = 1500$ mm e $v_v = 1,1$ m/s)

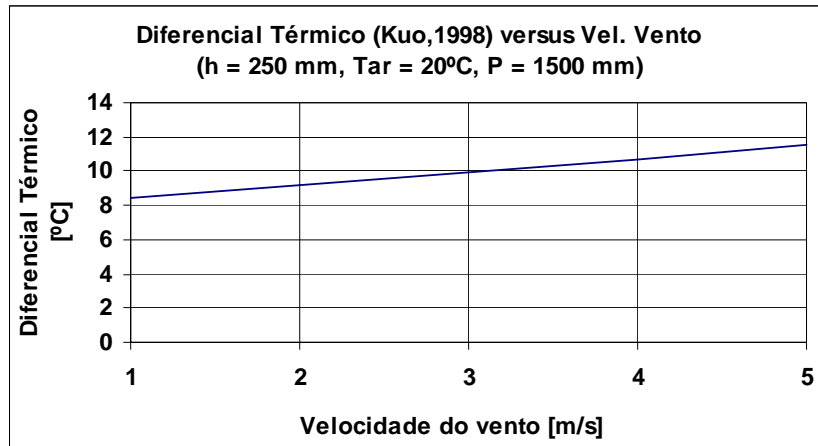


Figura 2 Sensibilidade do $DT +$ (modelo de Kuo, 1998) à variação da velocidade do vento ($h=250$ mm, $T_{ar} = 20^{\circ}\text{C}$ e $P = 1500$ mm)

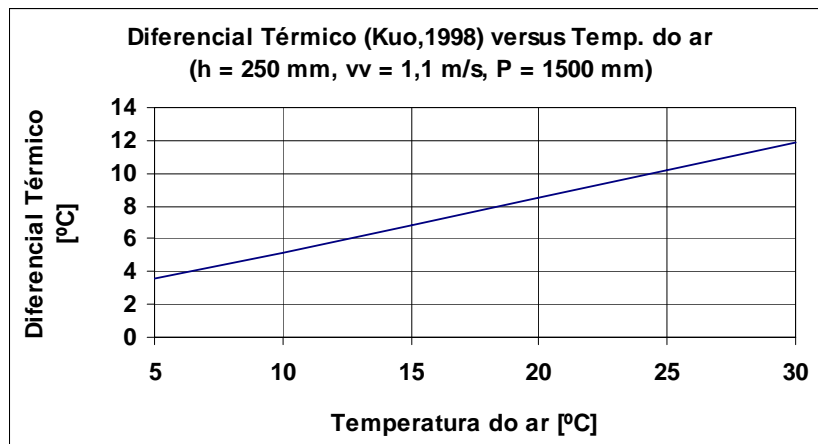


Figura 3 Sensibilidade do $DT +$ (modelo de Kuo, 1998) à variação da temperatura do ar ($h=250$ mm, $v_v = 1,1$ m/s e $P = 1500$ mm)

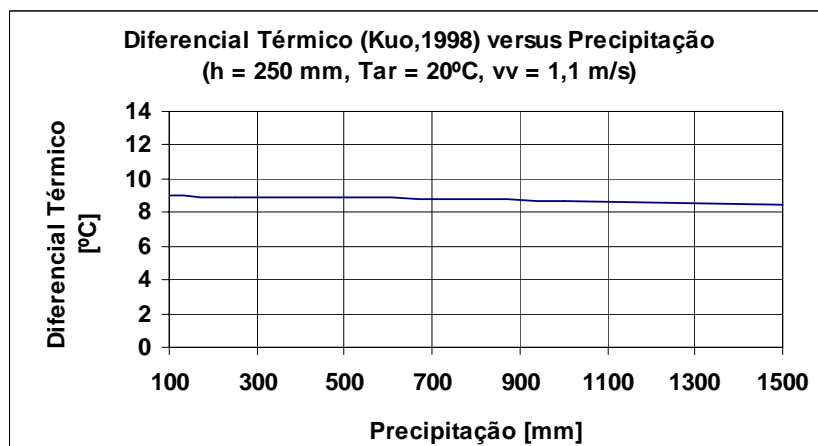


Figura 4 Sensibilidade do $DT +$ (modelo de Kuo, 1998) à variação da precipitação ($h=250$ mm, $v_v = 1,1$ m/s e $T_{ar} = 20^{\circ}\text{C}$)

4. NOVO MODELO PROPOSTO VERSUS MODELO DE KUO

A partir dos modelos para previsão de diferenciais térmicos positivos máximos, propostos neste trabalho, foram realizadas comparações com o modelo proposto por Kuo (1998), considerando as condições climáticas apresentadas pela área de estudo, ou seja, em ambiente tropical.

Para as análises realizadas foram consideradas as espessuras de placa utilizadas na pista experimental (150 mm e 250 mm) e também a presença de umidade no fundo da placa durante a primavera/verão (considerada no modelo proposto neste trabalho).

As Figuras 5 a 10 apresentam graficamente os resultados das análises realizadas, sendo que os parâmetros climáticos considerados foram aqueles observados na área de pesquisa, tendo como faixas de variação:

- T_{ar} = de 5°C a 40°C para o ano cheio, de 20°C a 40°C para a primavera/verão e de 5°C a 25°C para o outono/inverno;
- NHI = 6 horas (invariável durante as análises);
- H = 70% para o ano cheio, 80% para a primavera/verão e 40% para o outono/inverno;
- v_v = 1,1 m/s (invariável durante as análises);
- P = 1500 mm para o ano cheio, 1200 mm para primavera/verão e 300 mm para outono/inverno.

Para a previsão do diferencial térmico positivo máximo para o ano todo, sem presença de umidade no fundo da placa, o modelo proposto na Equação 4 apresenta, para placas com espessuras de 150 mm (Figura 5), uma boa concordância com o modelo de Kuo, para temperatura do ar variando de 5 a 20°C, onde pode ser obtido um diferencial térmico de 4,5°C para uma temperatura do ar de 15°C para ambos os modelos. Para a temperatura do ar superior a 20°C, o modelo de Kuo (1998) passa a subestimar o valor do diferencial térmico positivo máximo, chegando a uma diferença de 5°C, para uma temperatura do ar de 35°C, onde o diferencial térmico obtido a partir do modelo proposto foi de 15°C.

Para placas de 250 mm (Figura 6), para uma previsão anual, o modelo de Kuo assemelha-se ao modelo proposto para temperaturas do ar entre 15°C e 30°C, quando se obtém um diferencial térmico de 8°C, para uma temperatura do ar de 20°C, para ambos os modelos. Para temperaturas do ar inferiores a 15°C, o modelo de Kuo passa a superestimar o valor do diferencial térmico, com uma diferença de 4°C para uma temperatura do ar igual a 5°C, enquanto o diferencial térmico obtido a partir do modelo proposto foi de 5°C. Para temperaturas do ar superiores a 30°C, o modelo de Kuo subestima o valor do diferencial térmico, chegando a alcançar uma diferença de 4°C, para uma temperatura do ar de 35°C, enquanto que o diferencial térmico obtido a partir do modelo proposto foi de 17°C.

O modelo proposto pela equação 5, para previsão de diferenciais térmicos positivos máximos durante a primavera/verão apresenta, quando não é considerada a presença de umidade no fundo da placa, para placas de 150 mm (Figura 7) e de 250 mm de espessura (Figura 8), uma boa concordância com o modelo proposto por Kuo, para temperaturas do ar entre 20°C e 30°C, novamente subestimando o valor do diferencial térmico para temperaturas do ar superiores a 30°C, apresentando uma diferença de 5°C para temperaturas do ar próximas aos

40°C, sendo que a partir do modelo proposto foi obtido um diferencial térmico de 15°C e 19°C para placas de 150 mm e 250 mm de espessura, respectivamente.

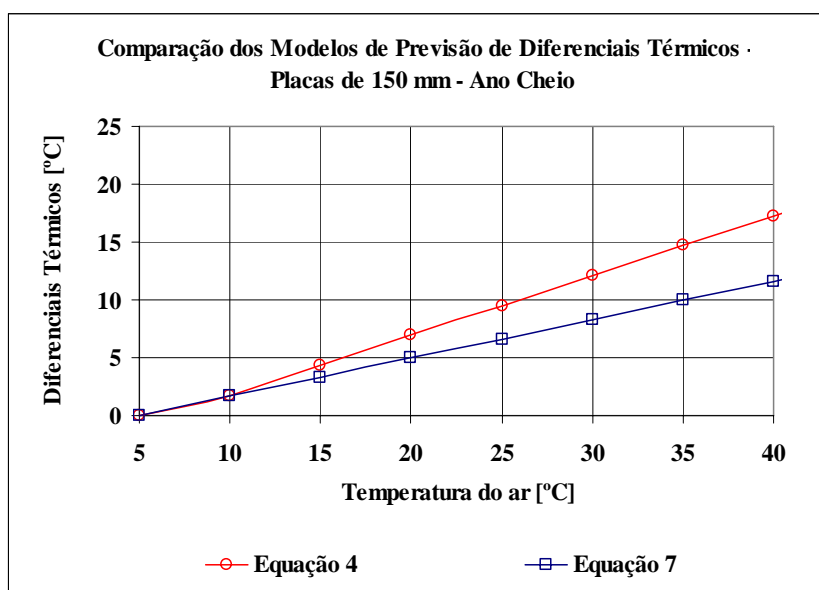


Figura 5 Comparação entre o modelo de previsão de proposto e o modelo de Kuo (1998) - para placas de 150 mm e ano cheio

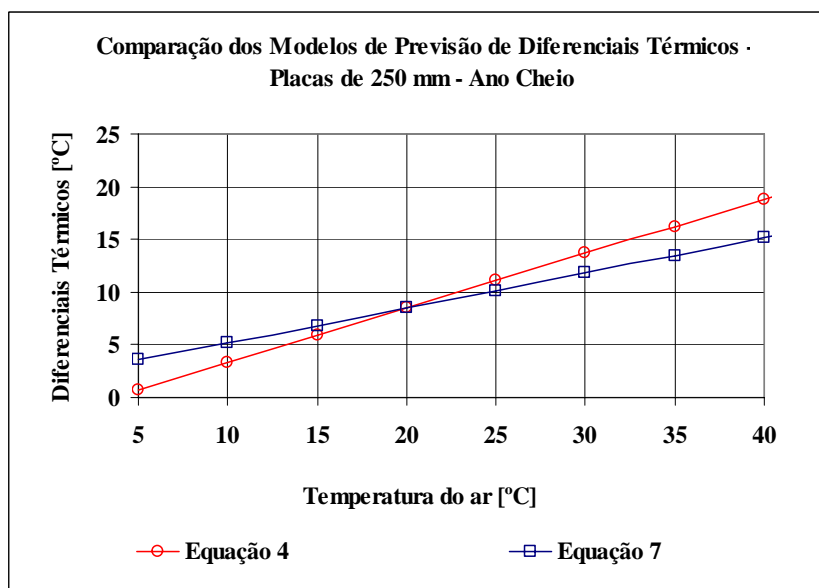


Figura 6 Comparação entre o modelo de previsão proposto e o modelo de Kuo (1998) - para placas de 250 mm e ano cheio

Ainda analisando as Figuras 7 e 8, verifica-se que os diferenciais térmicos obtidos em placas de 250 mm, para os modelos das equações 5 e 7 (modelo de Kuo), apresentam valores superiores em até 5°C, quando comparados com os valores obtidos para placas de 150 mm, de acordo com o que foi verificado durante a monitoração dos dados (Severi e Balbo, 2001).

Considerando-se a presença de umidade no fundo da placa (Figuras 7 e 8), o modelo proposto na equação 5 apresenta valores de diferenciais térmicos positivos até 9°C superiores àqueles obtidos a partir do modelo de Kuo, estando aproximadamente 6°C acima para temperaturas do ar próximas de 30°C, para ambas as espessuras, enquanto que o diferencial térmico obtido a partir da equação 5 foi 15°C e 18°C, para placas de 150 mm e 250 mm de espessura, respectivamente.

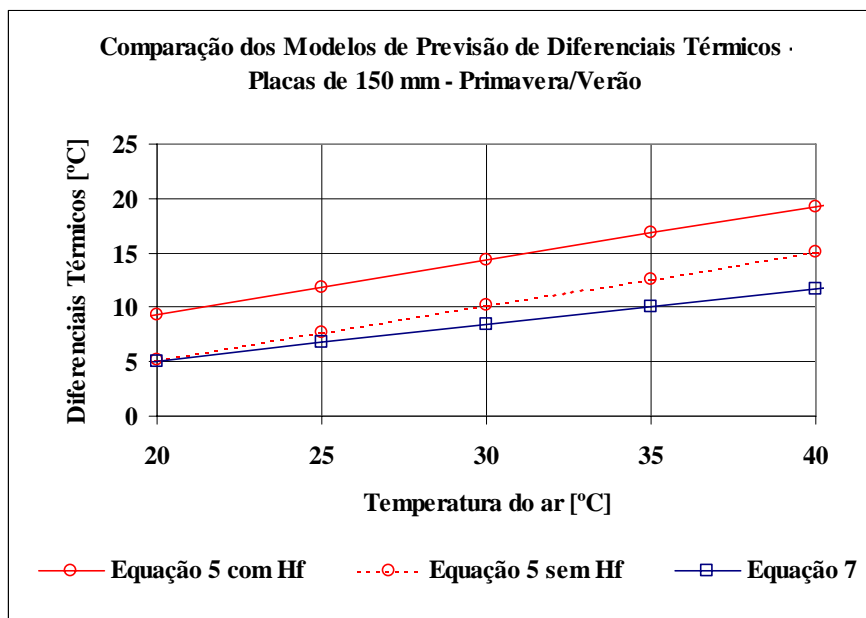


Figura 7 Comparação entre o modelo de previsão proposto e o modelo de Kuo (1998) - para placas de 150 mm, primavera/verão, com e sem presença de umidade de fundo

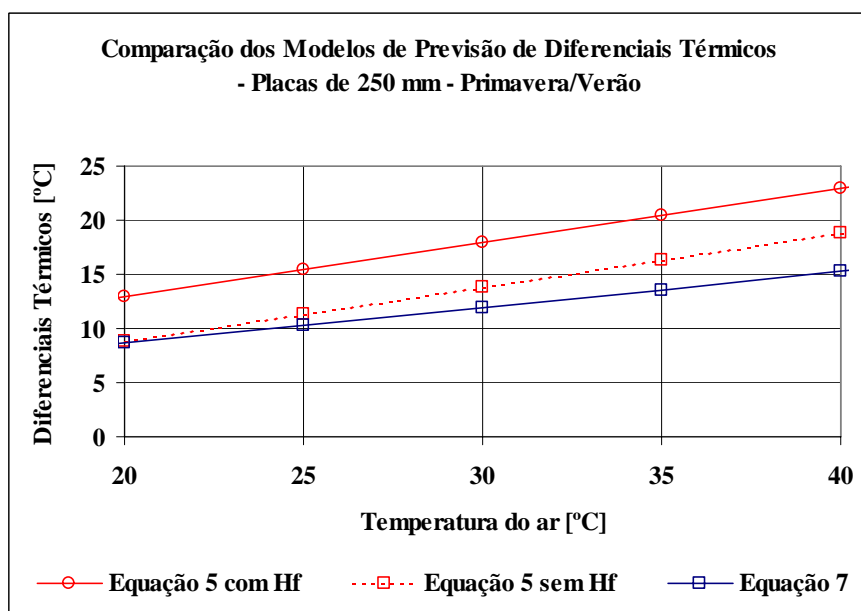


Figura 8 Comparação entre o modelo de previsão proposto e o modelo de Kuo (1998) - para placas de 250 mm, primavera/verão, com e sem presença de umidade de fundo

Análises para as estações frias (outono/inverno), apresentadas nas Figuras 9 e 10, mostraram que o modelo proposto (Equação 6) assemelha-se ao modelo de Kuo, apresentando uma diferença entre os dois modelos de apenas 2°C, dentro portanto da faixa de tolerância considerada nas análises dos dados coletados na pista experimental objeto deste trabalho.

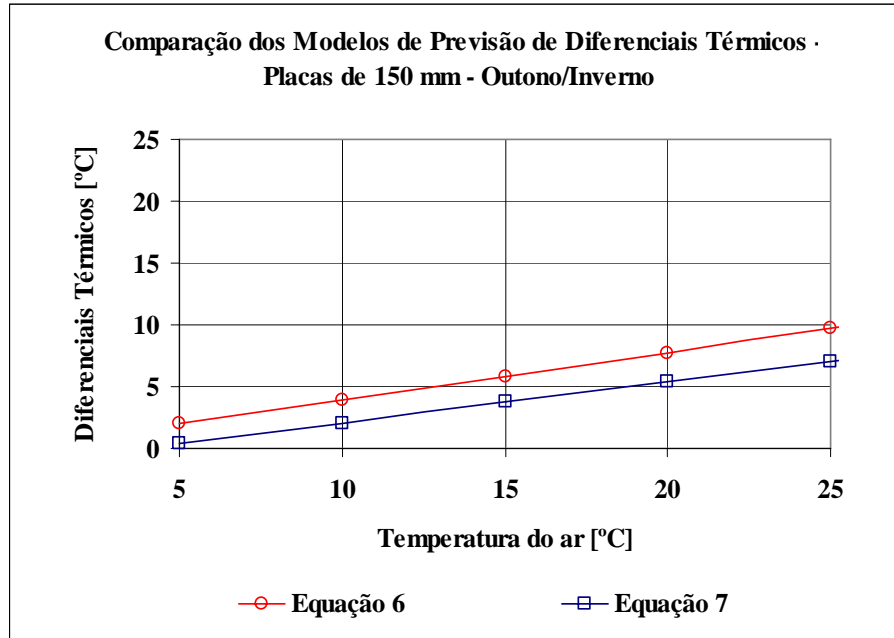


Figura 9 Comparação entre o modelo de previsão proposto e o modelo de Kuo (1998) - para placas de 150 mm, outono/inverno

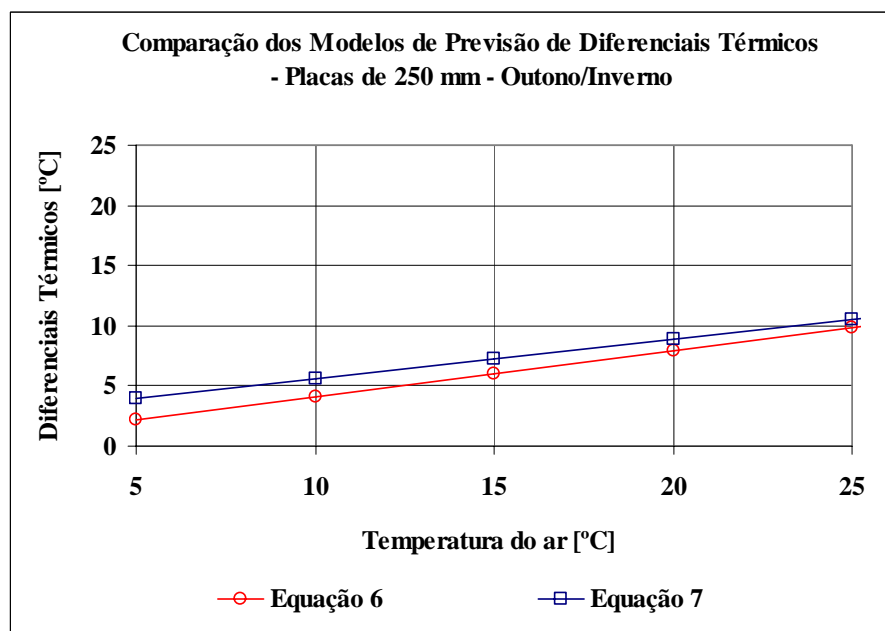


Figura 10 Comparação entre o modelo de previsão proposto e o modelo de Kuo (1998) para placas de 250 mm, outono/inverno

Pode ser inferido, a partir das comparações entre os modelos propostos nas Equações 4, 5 e 6 e o modelo proposto por Kuo (1998), que existe uma boa concordância entre eles para as

estações frias (outono/inverno) e para também para as estações quentes (primavera/verão), quando temos temperaturas do ar abaixo de 30°C.

Sendo assim, para temperaturas superiores a 30°C (muito comuns em regiões tipicamente tropicais) o modelo de Kuo passaria a subestimar os valores de diferenciais térmicos obtidos, ocorrência que pode ser explicada pelo fato de simplesmente este modelo ter sido calibrado em clima temperado, onde foram utilizadas dados localidades nos Estados Unidos, sendo que para a média anual da temperatura do ar foi obtido um máximo valor de 20,2°C, contra 25°C observados em São Paulo; quanto à média anual velocidade do vento, os valores obtidos para a calibração dos modelos de Kuo (1998) estiveram entre 3,23 m/s e 5,81 m/s, enquanto que na área de pesquisa o valor médio foi de 1,1 m/s. Lembrando também que os diferenciais térmicos máximos positivos alcançam aproximadamente 10°C em clima temperado, contra 17°C freqüentemente obtidos em clima tropical., chegando a atingir até 22,5°C (Severi e Balbo, 2001).

5. CONCLUSÕES

Os modelos apresentados são uma importante ferramenta para a previsão de diferenciais térmicos em clima temperado, sendo estes os primeiros modelos empíricos apresentados para as condições de clima tropical. Os modelos empíricos desenvolvidos apresentaram uma boa concordância com o modelo proposto por Kuo (1998) durante as estações frias.

Para as estações quentes, o modelo proposto por Kuo (1998) subestima os valores de diferenciais térmicos máximos que podem ser obtidos em clima tropical, que alcançam 20°C para uma temperatura do ar de 35°C, contra 14°C obtidos a partir do modelo de Kuo (1998) para placas de 250 mm de espessura.

O método de dimensionamento de pavimentos de CCP apresentado como suplemento ao guia para projeto de estruturas de pavimentos (AASHTO, 1998), é único que considera o efeito da temperatura, tendo sido calibrado nas pistas do AASHTO *Road Test*, experimento realizado em clima temperado, onde é considerado como critério de ruptura a perda de serventia ao longo do tempo. Para estimar o diferencial térmico positivo e negativo, o método utiliza-se do modelo proposto por Kuo (1998), também calibrado para o clima temperado, onde é considerado ainda, no que diz respeito ao efeito térmico, uma distribuição linear da temperatura ao longo da profundidade da placa; entende-se que este ainda seja o método mais completo (AASHTO, 1998), mas ainda assim é um método empírico totalmente calibrado para o clima temperado.

A partir das análises realizadas e com os modelos de previsão de diferenciais térmicos positivos propostos neste trabalho, e também das análises do comportamento da temperatura ao longo da profundidade da placa, que se apresentou em 92% do tempo não linear (Severi e Balbo, 2001), pode-se inferir que um diferencial térmico estimado a partir do modelo proposto por Kuo (1998), para o dimensionamento de pavimentos de concreto em clima tropical, a partir do método da AASHTO/86-98, pode resultar em espessuras de placas menores que aquela projetada para um diferencial térmico estimado a partir dos modelos propostos.

O efeito da temperatura do ar na placa elimina dúvidas sobre se o efeito do diferencial térmico deve ou não ser levado em conta também em projetos de pisos industriais de concreto, visto que o empenamento pode ocorrer mesmo neste caso (sem ocorrência de luz solar incidindo diretamente sobre o pavimento).

Os modelos empíricos para previsão do diferencial térmico máximo positivo, propostos neste trabalho são portanto uma ferramenta para a previsão da temperatura em ambiente tropical para pavimentos de concreto de cimento Portland em serviço e principalmente para o projeto de novos pavimentos. Estudos estão sendo envidados para a ampliação de tais modelos para aplicação específica em outras localidades do Brasil que não São Paulo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo completo financiamento do projeto de pesquisa (Processo nº 98/11629-5) concedido por meio de auxílio individual à pesquisa ao segundo autor deste trabalho. Agradecem também à Fundação para Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa concedida à autora principal deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1986) Guide for design of pavement structures. American Association of Highway and Transportation Officials, ISBN 1-56051-055-2, Washington D.C.
- AASHTO (1998) Supplement to the AASHTO guide for design of pavement structures – part II – rigid pavement design & rigid pavement joint design. American Association of Highway and Transportation Officials, ISBN 1-56051-078-1, Washington D.C.
- Balbo, J. T., Severi, A. A., Rodolfo M. P., Pereira, D. S. (2000) Pesquisa dos Efeitos do Clima sobre Pavimentos de Concreto: Instrumentação da Pista Experimental na USP. *In: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2000*. Editores: J.R.A. Setti & H.B.B. Cybis, ANPET, pp.533-538.
- Kuo, C. M. (1998). Effective temperature differential in concrete pavements. *Journal of Transportation Engineering, American Society Civil Engineers*, Vol. 124, n. 02, pp. 112 – 116.
- Severi, A. A., Balbo, J. T. (2001) Gradientes Térmicos em Pavimentos de Concreto nas Condições de Clima Tropical. *In: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001*. Editores: J.R.A. Setti & O.F.Lima Jr., ANPET, vol. 1, pp.299-307.

Endereço dos autores:

Escola Politécnica da USP – PTR
Laboratório de Mecânica de Pavimentos
Av. Prof. Almeida Prado s/n, travessa 2
CEP 05508-900 Cidade Universitária São Paulo
Fone: (11) 3091 5306
aseveri@usp.br
jotbalbo@usp.br