

ESCOLA POLITÉCNICA  
DA USP

**NATAL, 07/10 a 10/10 de 2014**

## **PARAMETRIZAÇÃO DE PISTA EXPERIMENTAL DE PAVIMENTO DE CONCRETO CONTINUAMENTE ARMADO ATRAVÉS DE MÉTODO NÃO DESTRUTIVO**

Lucio Salles de Salles  
José Tadeu Balbo

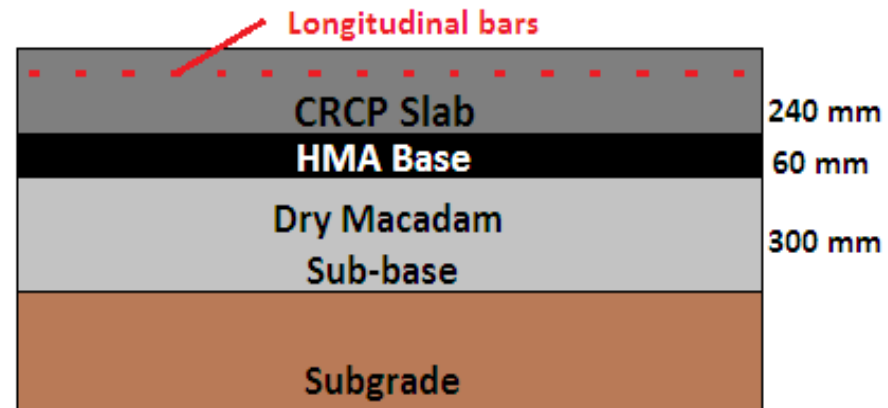
# PISTA EXPERIMENTAL: PCCA

- Pavimento de concreto sem juntas
- PCCA = “Let it crack”
- Fissuração controlada pela Armadura Longitudinal → Única Função
- Sem Juntas, sem barras de transferência
- Placas longas, duráveis e muito mais suáveis ao rolamento



# PCCA DE CURTA EXTENSÃO

- 4 seções
- 50 m de comprimento; 5.05 metros de largura
- Setembro, 2010
- Mesmas camadas
- Diferentes Taxas de armadura
  - Seção 1 (0.6%)
  - Seção 2 (0.7%)
  - Seção 3 (0.5%)
  - Seção 4 (0.4%)
- Armadura longitudinal (20 mm)
- Armadura transversal 20 mm, espaçadas em 0.9 m
- Sem ancoragem no final das seções



Steel details in Section 1



Moist curing (sections 1 and 2)



# PROBLEMA

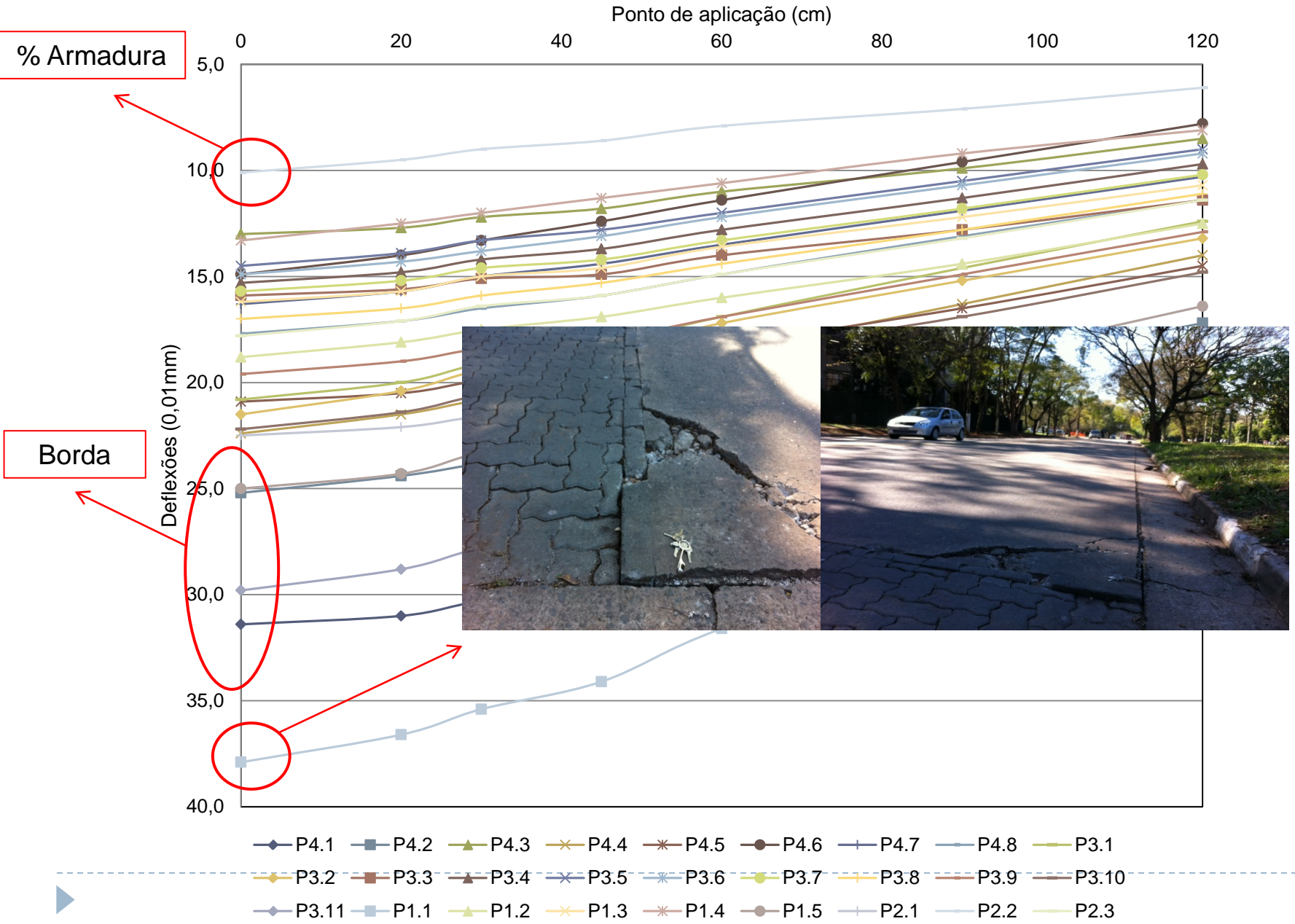
- PCCA de curta extensão apresentou um padrão de fissuração muito diferente do PCCA tradicional
- Número de fissuras, espaçamento entre fissuras e a influência da taxa de armadura
- Teste não destrutivo para verificar o desempenho estrutural do pavimento
- FWD
- Retroanálise e Parametrização das seções: k e E
- Determinação da LTE nas fissuras

| Seção | Taxa de Armadura (%) | Nº de fissuras (04/2014) | Espaçamento médio (m) |
|-------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1     | 0,6                  | 0                        | 0                     |
| 2     | 0,7                  | 2                        | 16,7                  |
| 3     | 0,5                  | 10                       | 4,55                  |
| 4     | 0,4                  | 7                        | 6,25                  |

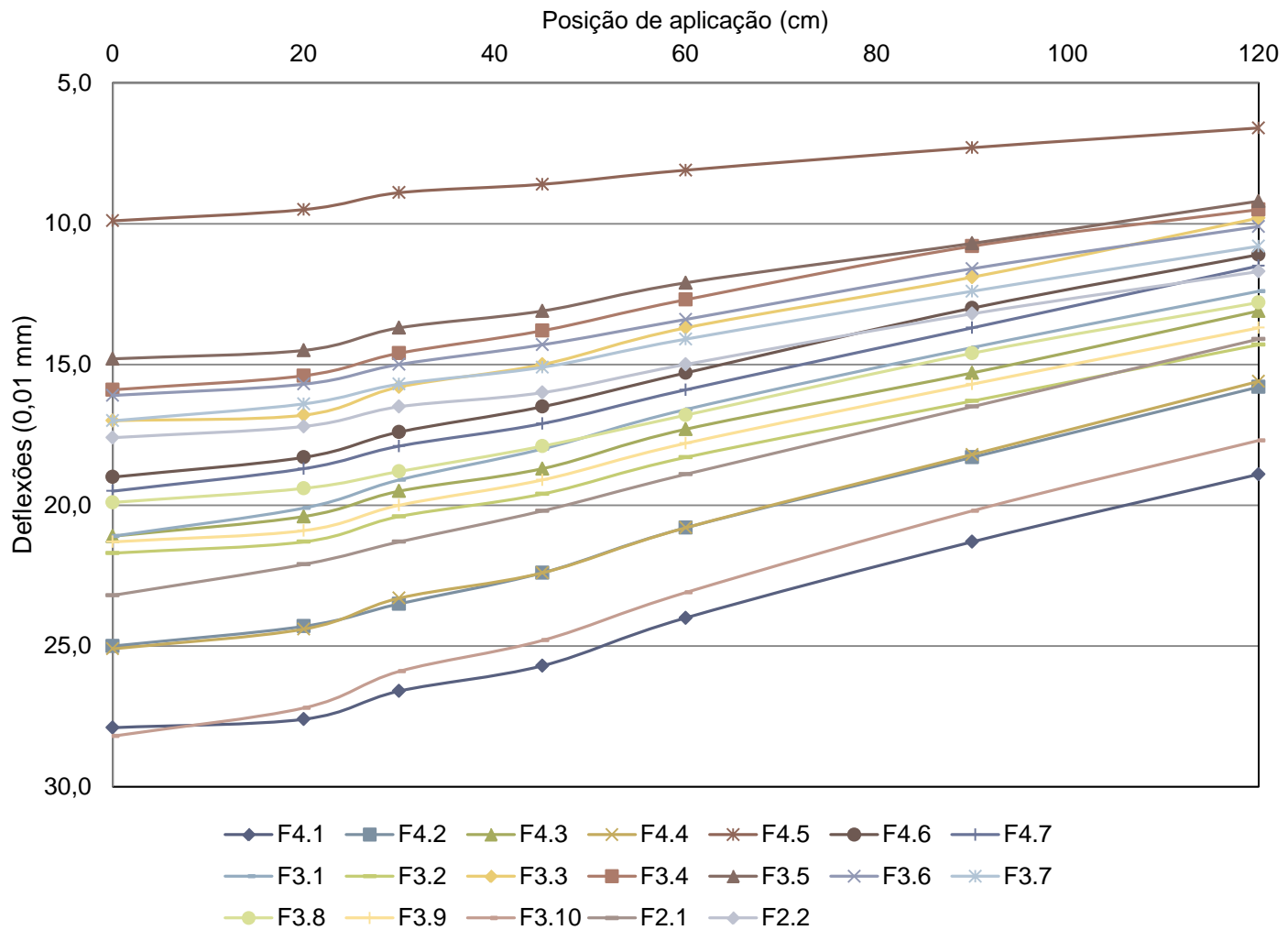




# ANÁLISE DE DEFLEXÕES

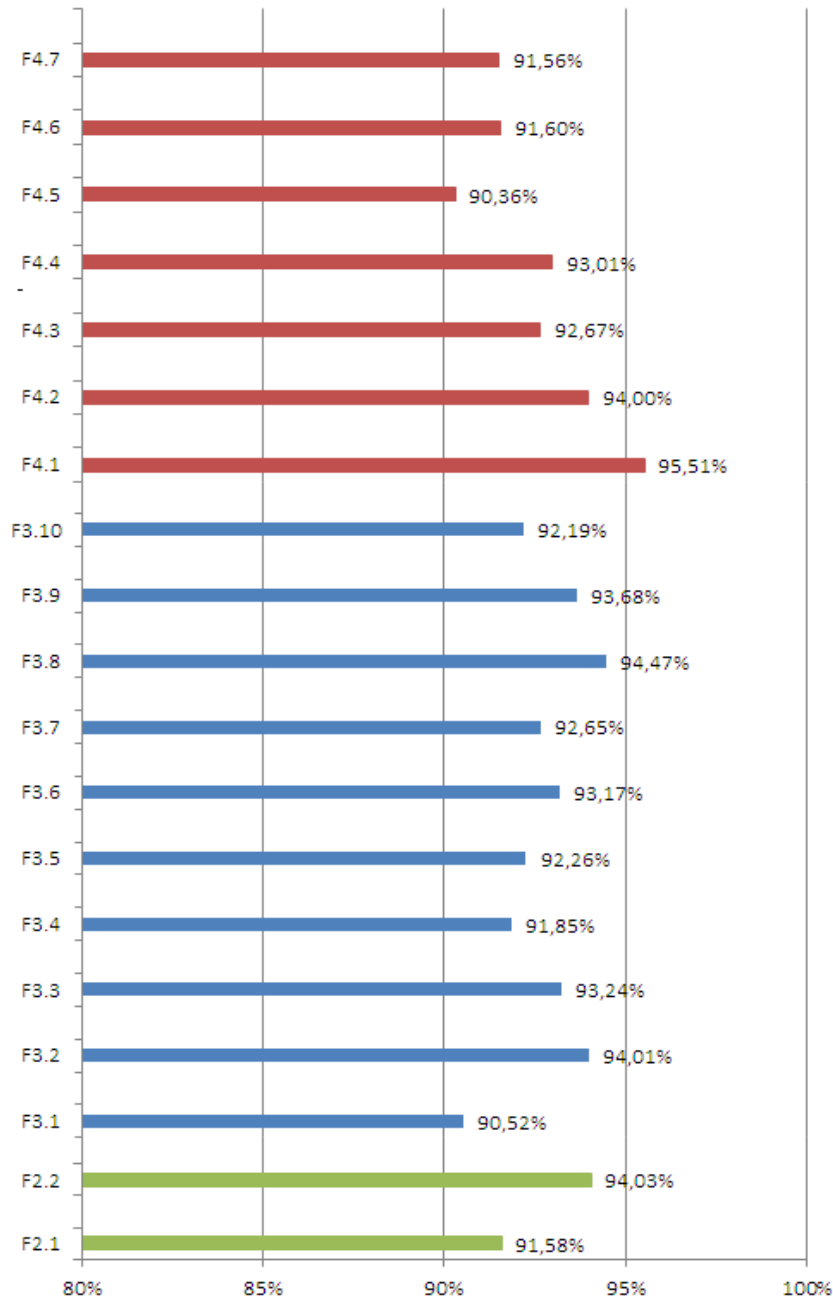


# ANÁLISE DE DEFLEXÕES

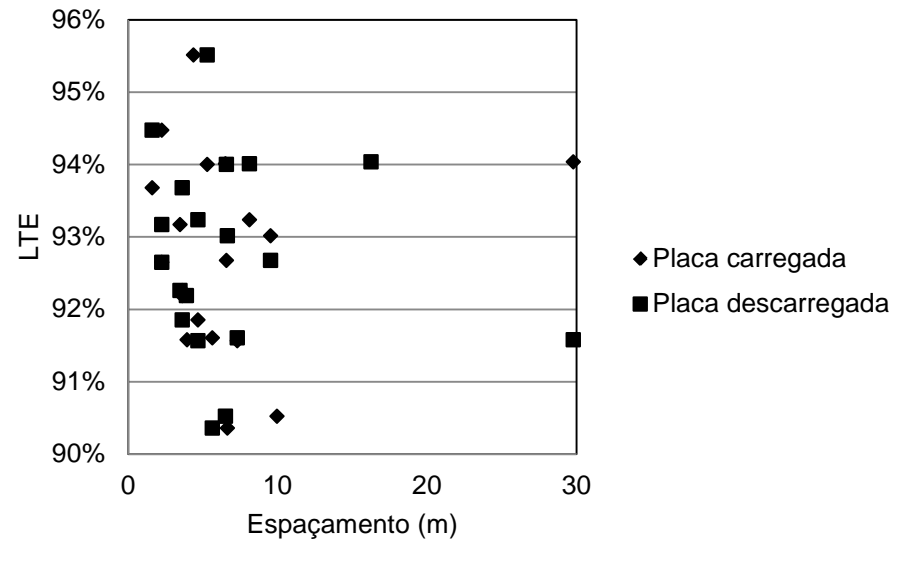


- Não há aumento nas deflexões quando a carga é aplicada nas fissuras

# EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA (LTE)



- LTE > 90%
- % de Armadura
- F3.1 (90,52%)  
F4.1 (95,51%) → Borda
- Espaçamento entre fissuras



- Simulação de LTE nas aplicações de meio de placa



# RETROANÁLISE DAS BACIAS DE DEFLEXÃO

|  | Ponto | Carga<br>(Kgf) | AREA | ℓ (pol) | k<br>MPa/m | E<br>MPa |        |
|--|-------|----------------|------|---------|------------|----------|--------|
|  | 1     | P4.1           | 6171 | 33,344  | 60,710     | 10,022   | 48.080 |
|  | 2     | P4.2           | 6198 | 32,238  | 47,733     | 20,106   | 36.862 |
|  | 3     | P4.3           | 6227 | 31,985  | 45,561     | 42,883   | 65.265 |
|  | 4     | P4.4           | 6200 | 31,473  | 41,769     | 29,349   | 31.552 |
|  | 5     | P4.5           | 6187 | 32,670  | 52,005     | 20,460   | 52.858 |
|  | 6     | P4.6           | 6219 | 29,758  | 32,801     | 70,594   | 28.861 |
|  | 7     | P4.7           | 6169 | 31,362  | 41,032     | 41,544   | 41.591 |
|  | 8     | P4.8           | 6167 | 31,729  | 43,576     | 34,023   | 43.328 |
|  | 9     | P3.1           | 6192 | 30,981  | 38,702     | 36,600   | 29.003 |
|  | 10    | P3.2           | 6170 | 30,670  | 36,999     | 38,493   | 25.477 |
|  | 11    | P3.3           | 6214 | 32,792  | 53,378     | 25,667   | 73.588 |
|  | 12    | P3.4           | 6169 | 31,608  | 42,701     | 40,960   | 48.094 |
|  | 13    | P3.5           | 6206 | 31,283  | 40,524     | 48,133   | 45.844 |
|  | 14    | P3.6           | 6159 | 31,248  | 40,307     | 46,972   | 43.789 |
|  | 15    | P3.7           | 6169 | 31,834  | 44,372     | 37,039   | 50.713 |
|  | 16    | P3.8           | 6170 | 31,906  | 44,930     | 33,390   | 48.057 |
|  | 17    | P3.9           | 6159 | 32,173  | 47,158     | 26,303   | 45.943 |
|  | 18    | P3.10          | 6163 | 31,811  | 44,192     | 26,378   | 35.531 |
|  | 19    | P3.11          | 6134 | 31,732  | 43,596     | 20,082   | 25.622 |
|  | 20    | P1.1           | 6100 | 31,646  | 42,976     | 16,147   | 19.453 |
|  | 21    | P1.2           | 6177 | 31,979  | 45,513     | 29,476   | 44.671 |
|  | 22    | P1.3           | 6198 | 31,704  | 43,391     | 37,671   | 47.164 |
|  | 23    | P1.4           | 6181 | 30,541  | 36,341     | 64,536   | 39.753 |
|  | 24    | P1.5           | 6130 | 31,896  | 44,852     | 22,634   | 32.351 |
|  | 25    | P2.1           | 6167 | 33,680  | 66,428     | 11,704   | 80.488 |
|  | 26    | P2.2           | 6190 | 30,297  | 35,153     | 90,736   | 48.938 |
|  | 27    | P2.3           | 6146 | 31,551  | 42,299     | 35,726   | 40.393 |

- Simulação teórica da resposta real do pavimento

- Parametrização das seções: E e k

- Menor Erro Quadrático + Erro percentual individual (<5%)

- Estimativa de parâmetros: estudos de Hall (1991) e Croveti (1994)

- Utilização do Programa EverFE



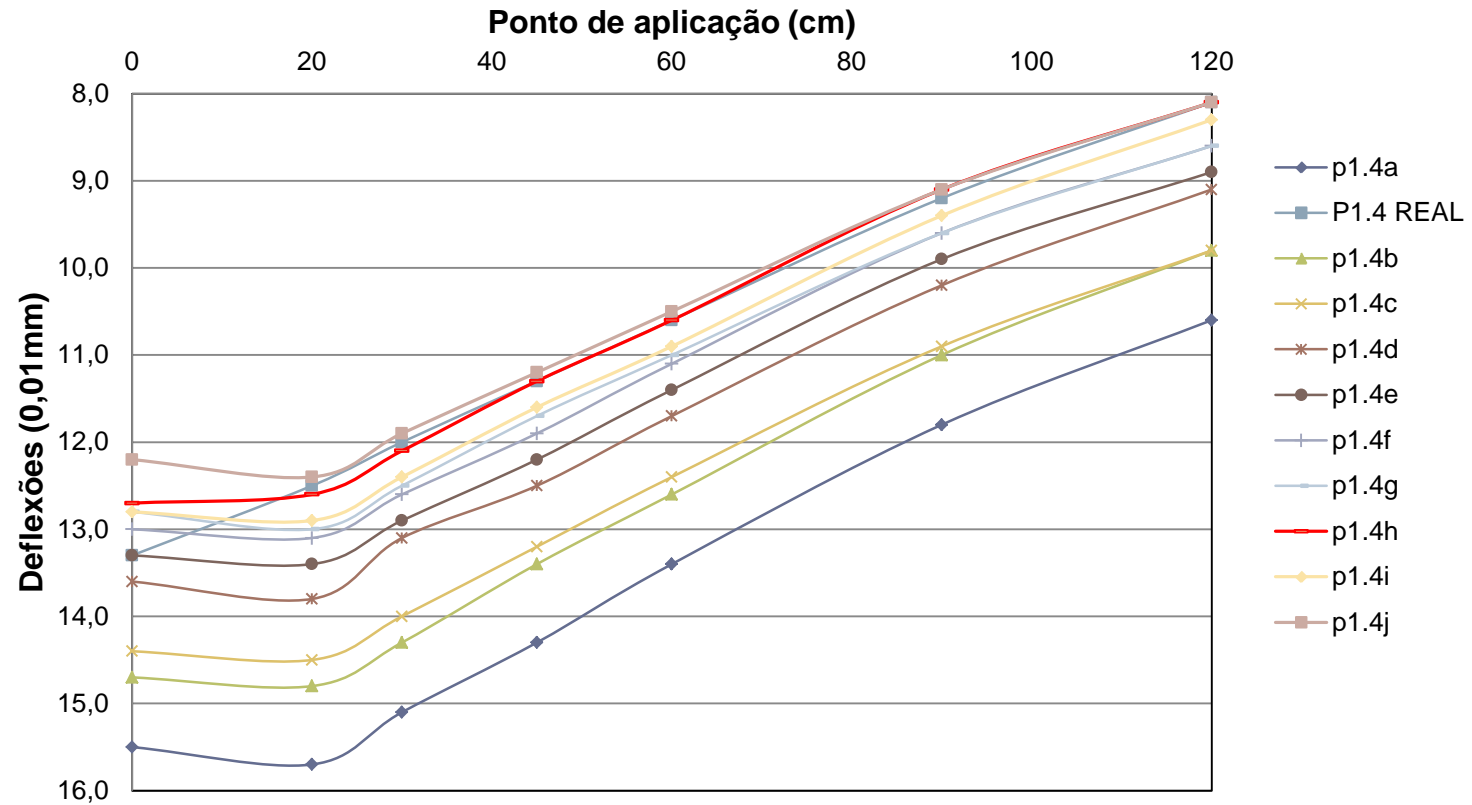
# RETROANÁLISE: PROCEDIMENTO

| Tent. | Arq.  | E<br>(MPa) | k<br>(MPa/m) | 0       | 20    | 30    | 45    | 60    | 90    | 120   | Erro (%)<br>TOTAL | Erro <sup>2</sup> |
|-------|-------|------------|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------------------|
|       |       |            |              | 13,3    | 12,5  | 12,0  | 11,3  | 10,6  | 9,2   | 8,1   |                   |                   |
| 1     | p1.4a | 35000      | 120          | 15,5    | 15,7  | 15,1  | 14,3  | 13,4  | 11,8  | 10,6  | 180,06%           | 54,54             |
|       |       |            |              | Erro(%) | 16,5% | 25,6% | 25,8% | 26,5% | 26,4% | 28,3% |                   |                   |
| 2     | p1.4b | 35000      | 130          | 14,7    | 14,8  | 14,3  | 13,4  | 12,6  | 11,0  | 9,8   | 126,10%           | 27,08             |
|       |       |            |              | Erro(%) | 10,5% | 18,4% | 19,2% | 18,6% | 18,9% | 19,6% |                   |                   |
| 3     | p1.4c | 38000      | 130          | 14,4    | 14,5  | 14,0  | 13,2  | 12,4  | 10,9  | 9,8   | 114,20%           | 21,84             |
|       |       |            |              | Erro(%) | 8,3%  | 16,0% | 16,7% | 16,8% | 17,0% | 18,5% |                   |                   |
| 4     | p1.4d | 38000      | 140          | 13,6    | 13,8  | 13,1  | 12,5  | 11,7  | 10,2  | 9,1   | 66,03%            | 7,64              |
|       |       |            |              | Erro(%) | 2,3%  | 10,4% | 9,2%  | 10,6% | 10,4% | 10,9% |                   |                   |
| 5     | p1.4e | 38000      | 145          | 13,3    | 13,4  | 12,9  | 12,2  | 11,4  | 9,9   | 8,9   | 47,70%            | 4,20              |
|       |       |            |              | Erro(%) | 0,0%  | 7,2%  | 7,5%  | 8,0%  | 7,5%  | 7,6%  |                   |                   |
| 6     | p1.4f | 38000      | 150          | 13,0    | 13,1  | 12,6  | 11,9  | 11,1  | 9,6   | 8,6   | 32,60%            | 1,83              |
|       |       |            |              | Erro(%) | 2,3%  | 4,8%  | 5,0%  | 5,3%  | 4,7%  | 4,3%  |                   |                   |
| 7     | p1.4g | 40000      | 150          | 12,8    | 13,0  | 12,5  | 11,7  | 11,0  | 9,6   | 8,6   | 29,76%            | 1,48              |
|       |       |            |              | Erro(%) | 3,8%  | 4,0%  | 4,2%  | 3,5%  | 3,8%  | 4,3%  |                   |                   |
| 8     | p1.4h | 38000      | 160          | 12,7    | 12,6  | 12,1  | 11,3  | 10,6  | 9,1   | 8,1   | 7,23%             | 0,39              |
|       |       |            |              | Erro(%) | 4,5%  | 0,8%  | 0,8%  | 0,0%  | 0,0%  | 1,1%  |                   |                   |
| 9     | p1.4i | 40000      | 155          | 12,8    | 12,9  | 12,4  | 11,6  | 10,9  | 9,4   | 8,3   | 20,42%            | 0,83              |
|       |       |            |              | Erro(%) | 3,8%  | 3,2%  | 3,3%  | 2,7%  | 2,8%  | 2,2%  |                   |                   |
| 10    | p1.4j | 40000      | 160          | 12,2    | 12,4  | 11,9  | 11,2  | 10,5  | 9,1   | 8,1   | 12,82%            | 1,26              |
|       |       |            |              | Erro(%) | 8,3%  | 0,8%  | 0,8%  | 0,9%  | 0,9%  | 1,1%  |                   |                   |

E

k

# RETROANÁLISE: PROCEDIMENTO



# RETROANÁLISE: ANÁLISE DOS DADOS

- Execução da placa de concreto
- Aplicação do FWD
- Deflexões da estrutura

Influenciam os resultados

- Menores valores próximos a borda

## ➤ E

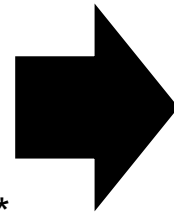
Variações (excluindo os valores de borda):

34.000 a 38.000 MPa (Seção 1)

25.000 a 42.000 MPa (Seção 3)

25.000 a 45.000 MPa (Seção 4)

\*(Seção 2)\*\*



38.000 MPa

38.000 MPa

25.000 MPa

35.000 Mpa

\* Valor de 60.000 MPa muito elevado para o concreto empregado

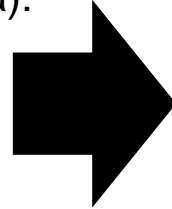
\*\*Valores altos nas proximidades da borda = maior rigidez da placa

# RETROANÁLISE: ANÁLISE DOS DADOS

## ➤ k

Variações (excluindo os valores de borda):

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 95 a 160 MPa/m (Seção 1) | 160 MPa/m |
| 85 a 135 MPa/m (Seção 3) | 135 MPa/m |
| 70 a 155 MPa/m (Seção 4) | 85 MPa/m  |
| (Seção 2)                | 105 MPa/m |



- Valores denotam uma base bastante rígida sobre o subleito
- Colim (2009): base de CCR valores entre 60 e 125 MPa/m



# CONCLUSÕES

## FWD

- Deflexões mais elevadas em pontos próximos à borda longitudinal
- Bacias obtidas em aplicações tangentes as fissuras mostram resultados semelhantes àqueles de meio de placa: **PCCA se comporta como uma estrutura contínua**
- LTE > 90% para todas as fissuras
- LTE fictício no meio da placa = LTE real na fissura: **PCCA se comporta como uma estrutura contínua**
- Processo de retroanálise: variações de E e k compatíveis para a maioria dos pontos.
- **Valores de E e k inferiores nas proximidades da borda**
- Borda da seção 1 apresenta valores muito baixos (12.000 MPa): deterioração do concreto devido a defeito na junta

