

---

# APRESENTAÇÃO |

## INTRODUCTION

Aeroportos e autoestradas bem-projetados e bem-construídos com pavimentos de concreto podem fornecer excelente desempenho em longo prazo sob larga variedade de condições operacionais e de localização. Ao observar os elementos típicos de projeto e de construção, incluindo a de espessura de base, das juntas transversais e longitudinais e propriedades do concreto, os pavimentos de concreto superam seus equivalentes asfálticos por não apresentarem afundamentos em trilhas de roda e por poderem ser projetados para resistir a qualquer quantidade de repetições de eixos pesados (com mínimo dano por fadiga). Nas últimas duas décadas, as tecnologias para pavimentos de concreto e os equipamentos de construção evoluíram espetacularmente para garantir que esse pavimento seja mais eficiente do que jamais o fora. Este livro oferece a engenheiros e estudantes brasileiros uma visão geral dos métodos clássicos e contemporâneos para a concepção, a construção e a avaliação de pavimentos de concreto.

O livro abrange diversos tópicos, incluindo os tipos e as caracterís-

Well-designed and well-constructed airport and highway concrete pavements can provide excellent long-term performance under a wide range of operational and site conditions. By observing elements of proper design and construction, including considerations of thickness, base, transverse and longitudinal joints, and concrete properties, concrete pavements will outperform flexible pavements. Rigid pavements can be designed to withstand any number and magnitude of repeated axle loads (with minimal fatigue damage). In the last two decades concrete pavement technologies and construction equipment have improved dramatically to ensure that these pavements are better constructed and able to achieve the desired design life. This book provides Portuguese speaking engineers and students with a concise overview of classical and contemporary methods in the design, construction, and evaluation of concrete pavements.

The book covers a wide range of topics, including types and features

---

---

ticas dos pavimentos de concreto e de reforços em concreto, várias técnicas de construção e a teoria clássica de Westergaard sobre a análise de pavimentos de concreto. O Cap. 4 fornece um panorama de diversos procedimentos, desde os tradicionais métodos da PCA e da FAA até os mais modernos métodos LEDFAA e da PMSP (no Brasil). A obra também apresenta uma variedade de modelos analíticos que permitem uma análise dos pavimentos para as condições não previstas pelos métodos de projeto convencionais. Por fim, apresenta diversas ferramentas e métodos para avaliação do estado do pavimento, para ensaios não destrutivos e para sua manutenção.

Em nosso entendimento, o Prof. Balbo é a autoridade ideal para trabalhar cada um dos temas que esta obra envolve. Embora alguns o conheçam principalmente por seu trabalho sobre o comportamento dos pavimentos em climas tropicais, a verdade é que sua experiência é muito mais ampla e inclui uma série de questões importantes sobre mecânica dos pavimentos teórica e aplicada – por exemplo, seu trabalho sobre os efeitos de gradientes térmicos no desempenho de placas finas, e ensaios, em escala real e modelagem teórica, de *whitetoppings* ultradelgados. Por meio de sua pesquisa e ensino, o Prof. Balbo tem desempenho ativo em engenharia de

of concrete pavements and overlays, various construction techniques, and the classical Westergaard theory of concrete pavement analysis. The design chapter provides a comprehensive overview of various procedures, from the traditional PCA and FAA to the more modern LEDFAA and PMSP (Brazilian) designs. The book also presents a variety of model analytical tools that permit an analysis of rigid pavements for the conditions not covered by conventional design methods. Finally, the book introduces various tools and methods for pavement condition assessment, non-destructive testing, and maintenance.

On each of these topics, Prof. Balbo is to our knowledge the ideal authority for the work of this text. While some know Prof. Balbo mainly for his work on pavement behavior in tropical climates, the truth is that his expertise is much broader and includes a number of important topics in theoretical and applied pavement mechanics. This includes work in the effects of thermal gradients on the performance of thin slabs and full-scale testing and theoretical modeling of ultra thin whitetopping overlays. Through his research and teaching, Prof. Balbo has been very active in theoretical and applied pavement engineering around the

---

pavimentos teórica e aplicada em todo o mundo, incluindo compromissos de pesquisa em um número significativo de instituições nos Estados Unidos e na Europa, bem como indicações para comitês de associações internacionais de rodovias de concreto.

O livro do Prof. Balbo oferece uma visão abrangente das metodologias de projeto bem consolidadas, das práticas brasileiras e dos conceitos do estado da arte. Recomendamos esta obra para estudantes e profissionais como livro-texto e uma excelente fonte de conhecimento atual. Servirá ainda de referência para engenheiros experientes em pavimentos que desejam rever e melhorar seus conhecimentos teóricos, e aplicá-los para resolver problemas práticos.

world, including research appointments at a number of institutions in the United States and Europe and appointments on the committees of international consortiums in concrete roads.

Professor Balbo's book provides a comprehensive overview of the well-established design methodologies, Brazilian practices, as well as the state-of-the-art concepts. We recommend this textbook to students and practitioners as an excellent source of current knowledge or as a reference book for experienced pavement engineers who want to review or improve their theoretical understanding for future applications to practical problems.

*Michael Darter, PhD*

Professor Emérito da Universidade de Illinois, Urbana-Champaign  
Emeritus Professor, University of Illinois at Urbana-Champaign

*Lev Khazanovich, PhD*

Professor Associado da Universidade de Minnesota, Twin Cities  
Associate Professor, University of Minnesota at Twin Cities

*Jeffery Roesler, Ph.D.*

Professor Associado da Universidade de Illinois, Urbana-Champaign.  
Associate Professor, University of Illinois at Urbana-Champaign

---

---

# APRESENTAÇÃO II

Tenho a honra de prefaciar uma das mais completas obras já escritas sobre Pavimentos de Concreto, fruto de uma vida voltada ao estudo e à pesquisa, representando o coroamento de uma brilhante carreira dedicada à área.

Seu autor, José Tadeu Balbo, é Graduado em Engenharia Civil (1984), Mestre em Engenharia de Transportes (1990) e Doutor em Engenharia (1993), todos pela Universidade de São Paulo (USP), com programa de doutorado-sanduiche da CAPES, na Escola Politécnica Federal de Zurique, Suíça (1992-1993), e Pós-doutorado pela Universidade de Cincinnati, Ohio (EUA).

É também o primeiro Livre-docente em Projeto e Construção de Pavimentos pela USP (1999) e, atualmente, professor associado desta mesma instituição; membro do Comitê de Pavimentos Rígidos (AFD50) do Transportation Research Board – National Academy of Sciences (EUA); revisor do *International Journal of Pavement Engineering* e do *Journal of the Transportation Research Board*; conselheiro editorial do *International Journal of Pavement Research and Technology*; diretor da International Society for Concrete Pavements e coordenador de comitê de rodovias em concreto do Instituto Brasileiro do Concreto.

Em 2008, atuou como Professor Visitante na Universidade de Illinois, em Urbana-Champaign (EUA), na área de pesquisas de pavimentos de concreto delgado, com análise de dados de deformações e temperaturas em placas de concreto. Participa, igualmente, de pesquisa na Universidade de Minnesota (Twin Cities).

Este livro é um verdadeiro manual para projeto, construção e manutenção de pavimentos de concreto, fundamentado em estudos teóricos; tecnologia do concreto; análises dimensional, estrutural e de tensões; avaliação, diagnóstico e recuperação. Balbo conclui sua obra discutindo a reciclagem do concreto e as preocupações de um profissional com a sustentabilidade da infraestrutura de nosso País.

Além disso, esta obra será, com certeza, adotada pelas principais universidades brasileiras como livro-texto em seus cursos de Engenharia.

*Rubens Machado Bittencourt*

Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto

---

diferenciais térmicos, que se tornariam padrão em todo o planeta. Ou seja, a escola americana viria a diferenciar-se das europeias pela formulação teórica e pela experimentação com instrumentação em pista para medidas de deformações. Nos EUA, desde primórdios do século XX, a evolução dos processos tecnológicos em pavimentação aconteceria com base no binômio modelagem analítica-experimentação em pista. Em paralelo às obras do Império Romano, sem sombra de dúvida, podemos reconhecer nos EUA a grande escola do rodoviarismo internacional (Fig. 1.14).



**Fig. 1.14** (A) Interestadual US92, Deland (Flórida), em 2005, após 60 anos (cortesia de Thomas Yu e Lev Khazanvich); (B) primeira rodovia em concreto no estado de Nova Jersey, em 1912 ([www.publicroads.com](http://www.publicroads.com))

A mais famosa experimentação, que tinha como um de seus objetivos a validação dos modelos de Westergaard, foi a *Arlington Experimental Farm*, na década de 1930. Os americanos tinham uma incrível consciência de que as pesquisas aplicada e teórica deveriam somar-se para dirimir questões importantes, criando novas especificações de projeto e construção de pavimentos. Uma dessas mudanças de rota, em função da pesquisa aplicada, foi a questão das bordas espessadas de placas, que os alemães e suíços definitivamente não utilizavam. Até o início da década de 1940, era comum o emprego de placas com seção transversal espessada nas bordas. Kelley (1939) relata que em 1912 a Comissão de Autoestradas da Califórnia já adotara tal padrão, com as seções próximas às bordas espessadas de até 75 mm, em forma trapezoidal. Na análise dessa questão com base em resultados de medidas de tensões durante os testes na *Arlington Experimental Farm*, já se obser-

vara que, em termos de efeitos combinados de carga e de temperatura, não haveria vantagem no uso das seções com bordas espessadas, prática definitivamente abandonada na década de 1940.

Nos EUA, pelo menos três instituições operavam, em geral de forma colaborativa, para a disseminação e divulgação de especificações adequadas para a construção relacionada a rodovias: o *Bureau of Public Roads* (fundado em 1893), a *American Association of State Highway Officials* (fundada em 1914) e o *Highway Research Board* (fundado em 1920). A partir de 1916, o Congresso Americano iniciou o financiamento de fundos para a expansão do sistema federal rodoviário, sendo o planejamento levado com extrema seriedade, mesmo em momentos críticos como a recessão a partir de 1929. O processo teve seu ponto culminante com o planejamento do *AASHO Road Test*, maior experimento rodoviário da humanidade, que envidava esforços de ampliação do conhecimento tecnológico para a grande expansão do *Interstate System* (*Federal Aid Highway Act of 1956*), em especial a partir da década de 1960. Em 1955, o número de automóveis no país era de aproximadamente 60 milhões (Hoel; Short, 2006), o que demonstrava a urgência da melhoria e ampliação do modal rodoviário nos EUA. Atualmente esse número supera 230 milhões de veículos.

De 1920 a 1960, as misturas de concreto eram produzidas em pista. A partir de então, essa técnica foi superada com o emprego de misturadoras de grande capacidade de produção e caminhões basculantes ou betoneiras, associados ao uso crescente de pavimentadoras de fôrmas deslizantes, desenvolvidas no estado de Iowa em 1947 (no Brasil, esse tipo de máquina viria a ser empregado apenas em meados dos anos 1980). Os pavimentos de concreto eram produzidos com equipamentos de vibração do concreto, não apresentando padrão seco, como era comum nos países europeus. Em 1949, as pavimentadoras de fôrmas deslizantes tinham a capacidade de construir, de uma só vez, pavimentos de concreto com largura de 2,75 m e espessura de 150 mm, capacidade rapidamente expandida com a implantação do *Interstate System*. Atualmente é comum o uso de equipamentos de pavimentação para faixa única de concretagem de 15 m de largura e 500 mm de espessura.

Hoel e Short (2006) – professor na Universidade da Virgínia e engenheiro do Exército Americano, respectivamente – admitem, sem

misturas eram mais homogêneas em suas matrizes e com maior quantidade de argamassa. Já para a BGTC, com agregados graníticos muito bem graduados e o mesmo tipo de cimento, comum naquela época, com matriz bem mais heterogênea, devido ao baixo consumo de cimento, Balbo (1993) encontrou um modelo que indica qualidade inferior da BGTC em relação ao CCR.

No caso dos concretos, o primeiro modelo nacional surgiu da avaliação sistemática da formação de fissuras de canto em placas delgadas de concreto que empregaram CAD, segundo a dosagem mostrada na Tab. 2.7. Esse modelo foi descrito por Balbo (1999) para a previsão da formação de 10% de placas fraturadas em pavimentos de concreto. Cervo (2004), estudando o mesmo tipo de CAD, desenvolveu ensaios de fadiga em laboratório, o que lhe permitiu descrever um modelo de transferência (SF, do inglês *shift-factor*) entre a fadiga observada em campo e aquela prevista por testes em flexão dinâmica de corpos de prova, dado pela expressão:

$$SF = \frac{N_{f, campo}}{N_{f, laboratório}} = \left( \frac{\sigma_{tj}}{f_{ct, f}} \right)^{4,2} \quad (2.33)$$

**TAB. 2.7** TRAÇO DO CAD ESTUDADO POR BALBO (1999) E CERVO (2004)

<b>Materiais ou propriedades</b>	<b>Valores obtidos</b>
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	440
Sílica ativa (kg/m <sup>3</sup> )	44
Areia (kg/m <sup>3</sup> )	493
Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	1,194
Relação a/c	0,365
Plastificante (L/m <sup>3</sup> )	1,65
Superplastificante (L/m <sup>3</sup> )	3,846
Incorporador de ar (mL/m <sup>3</sup> )	119
Ar incorporado (%)	≤ 5,0
Abatimento (mm)	70 ± 10
Resistência à tração na flexão (MPa) – 28 dias	5,7 a 6,1

Com base nesses resultados de Cervo (2004), verifica-se que os concretos de pavimentação rompem muito mais rapidamente em pista do que em testes laboratoriais dinâmicos. Entre vários fatores envolvidos para a diferenciação do comportamento em fadiga na pista e no laboratório, o fato de se aplicar, em laboratório, cargas em frequência extremamente elevada (Fig. 2.15) gera tempos de atuação do carregamento e de pico de tensão minimizados, deflagrando um processo de propagação de fissuras mais lento durante os ensaios

dinâmicos em flexão. De qualquer forma, ainda é o único modelo de conversão de comportamento de laboratório para campo disponível na literatura nacional.

Cervo (2004) não se furtou a estudar os concretos convencionais de pavimentação, cujo traço encontra-se na Tab. 2.8. Os estudos compreenderam concretos saturados e não saturados, variação de frequências e de tensões sobre um mesmo corpo de prova. A Fig. 2.16 mostra os efeitos da variação de frequências, de onde se conclui que ensaios realizados a 10 Hz resultaram em maior resistência à fadiga dos concretos, enquanto que para frequências de 1 e 5 Hz não foram observadas variações claras nessa resistência. Isso indica que testes a 5 Hz são recomendáveis para a determinação de modelos mais condizentes com o comportamento em pista.

A Fig. 2.17 mostra os efeitos de variações das tensões aplicadas sobre um mesmo corpo de prova, de onde se conclui que os concretos submetidos a tensões crescentes apresentam maior resistência à fadiga, contrariamente aos concretos submetidos a valores de tensões decrescentes. Cervo (2004) também observou que os CAD saturados, ao contrário dos concretos comuns de

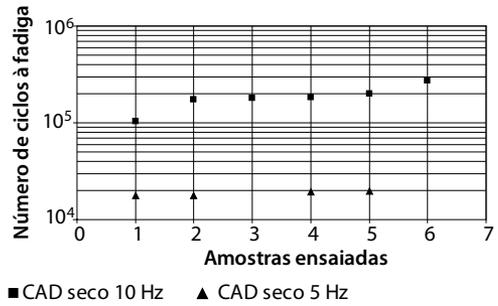


Fig. 2.15 Resistência à fadiga de concreto de alto desempenho em função da frequência

TAB. 2.8 TRAÇO DO CONCRETO CONVENCIONAL ESTUDADO POR CERVO (2004)

Materiais ou propriedades	Valores obtidos
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	328
Areia (kg/m <sup>3</sup> )	691
Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	483
Brita 2 (kg/m <sup>3</sup> )	724
Relação a/c	0,553
Plastificante (L/m <sup>3</sup> )	1,148
Ar incorporado (%)	2,6
Abatimento (mm)	65
Resistência à tração na flexão (MPa) aos 28 dias	4,8

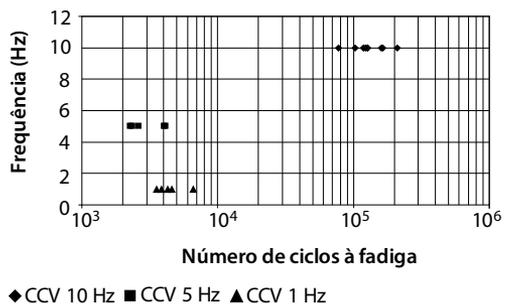


Fig. 2.16 Resistência à fadiga de concreto convencional em função da frequência aplicada

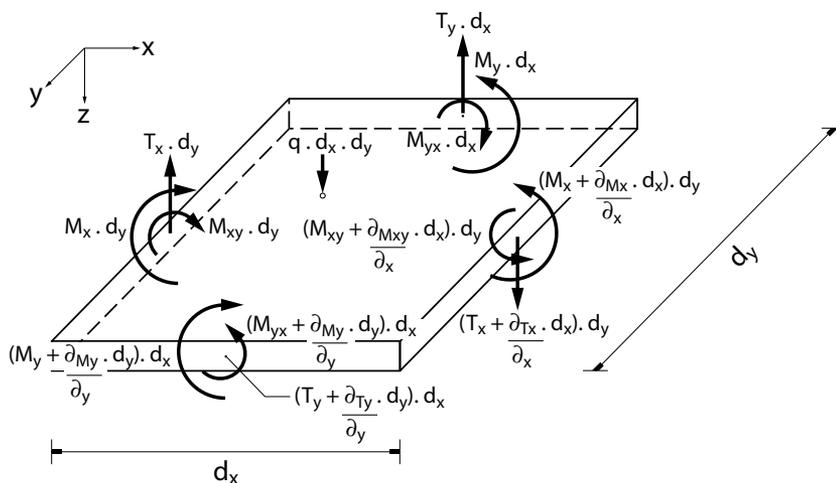


Fig. 3.3 Elemento de placa em estado plano de tensões (Balbo, 1989)

$$\frac{\partial M_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial M_x}{\partial x} - T_x = 0 \quad (3.10)$$

Da mesma maneira, o equilíbrio das forças transversais na direção  $z$  fornece a seguinte equação:

$$\frac{\partial T_x}{\partial x} + \frac{\partial T_y}{\partial y} + q = 0 \quad (3.11)$$

onde  $q$  é o somatório das forças exteriormente aplicadas na superfície da placa, ativas e reativas.

As deformações em um dado ponto qualquer da placa em flexão são obtidas por analogia com a teoria de flexão de vigas; para tanto, toma-se como válida a hipótese de Navier. Em estado plano de tensões, ter-se-ão então as deformações definidas por:

$$\varepsilon_x = \frac{z}{r_x} \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_y = \frac{z}{r_y} \quad (3.13)$$

onde  $z$  é a distância vertical entre o ponto qualquer considerado ao longo da profundidade da placa e o plano médio da placa (note-se que no plano médio  $z = 0$  e as deformações são nulas);  $r_x$  e  $r_y$  são os raios de curvatura

da placa nas direções x e y (ver Balbo, 2007). Da aplicação da lei de Hooke generalizada ao elemento de placa em estado plano de tensões obtêm-se as seguintes relações entre tensões e deformações:

$$\sigma_x = \frac{E}{(1-\mu^2)} \cdot (\varepsilon_x + \mu \cdot \varepsilon_y) \quad (3.14)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1-\mu^2)} \cdot (\varepsilon_y + \mu \cdot \varepsilon_x) \quad (3.15)$$

Com a substituição das Eqs. 3.12 e 3.13 nas Eqs. 3.14 e 3.15, obtêm-se as tensões em função dos raios de curvatura em x e y da placa em flexão, dadas por:

$$\sigma_x = \frac{E}{(1-\mu^2)} \cdot z \cdot \left( \frac{1}{r_x} + \mu \cdot \frac{1}{r_y} \right) \quad (3.16)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1-\mu^2)} \cdot z \cdot \left( \frac{1}{r_y} + \mu \cdot \frac{1}{r_x} \right) \quad (3.17)$$

Com a aplicação das tensões calculadas nas Eqs. 3.16 e 3.17 sobre as Eqs. 3.6 e 3.7, os momentos fletores atuantes em x e y na placa em estado plano de tensões resultam em:

$$M_x = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1-\mu^2)} \cdot \left( \frac{1}{r_x} + \mu \cdot \frac{1}{r_y} \right) \quad (3.18)$$

$$M_y = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1-\mu^2)} \cdot \left( \frac{1}{r_y} + \mu \cdot \frac{1}{r_x} \right) \quad (3.19)$$

Define-se por *módulo de rigidez da placa em flexão* (D) a relação:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1-\mu^2)} \quad (3.20)$$

Por decorrência da hipótese 2.c, podem ser escritas as seguintes expressões, que relacionam a curvatura da placa com a função que descreve os deslocamentos verticais (w) sofridos na linha média da placa em flexão:

- iii. J-SLAB, de Tayabji e Colley (1983), com modelos bastante melhorados para o tratamento de juntas, como BT e intertravamento de agregados, tendo sido o programa utilizado para a geração do modelo fechado de cálculo de tensões no método da PCA (1984);
- iv. FEACONS IV, de Coubane e Tia (1992), originalmente desenvolvido para o Departamento de Transportes do Estado da Flórida, a partir de 1986, pelo professor Mang Tia, da Universidade da Flórida, que fundamentou seu método de projeto para pavimentos de concreto incorporando os efeitos de diferenciais térmicos nas placas. Em 1997, Tia foi recebido como professor visitante na USP, quando uma nova versão do programa (FEACONS 4.1 SI) foi desenvolvida, incorporando rotinas de cálculo para bases rígidas não aderidas às placas, conforme o programa brasileiro RIGIPAVE, que foi igualmente incrementado naquele período, embutindo a consideração dos efeitos térmicos e de BT em juntas, bem como variabilidade do valor de  $k$  em bordas de placas;
- v. KENSLAB, desenvolvido por Huang (1993), operado em MS-DOS e distribuído com um livro desse autor sobre pavimentação;
- vi. outros programas, como o KOLA, desenvolvido por Kok (1990) na Europa.

No Quadro 4.2 são sumariamente descritas as características relevantes de alguns programas de elementos finitos atualmente empregados para a análise estrutural de pavimentos de concreto (comportamento rígido e forma de placas), alguns deles restritos ao universo acadêmico e outros abertos ou disponíveis comercialmente.

Ao comparar o MEF com outras formas de cálculo de tensões em placas, Ioannides, Thompson e Barenberg (1985) esclarecem que o ponto de partida para a discretização da malha de elementos finitos em áreas carregadas deve partir da relação  $2a/h = 0,8$ , onde  $a$  é o raio da carga circular,  $2a$  é o lado do elemento e  $h$  é a espessura da placa. Essa abordagem pode garantir acurácia de 98% no MEF. Quanto às condições para que o MEF resultasse em tensões ou deflexões semelhantes às calculadas pelos modelos analíticos de Westergaard, os autores chegaram às seguintes restrições:

- para as deflexões, a razão  $L/\ell$  deve ser de 8 vezes, sendo  $L$  o comprimento da placa;
- para tensões de tração na flexão, a razão  $L/\ell$  deve ser de 3,5 vezes;
- para  $L/\ell < 3$ , a deflexão torna-se mais sensível ao comprimento da placa.

**QUADRO 4.2** CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS DOS PROGRAMAS DE ELEMENTOS FINITOS PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO

Nome	Autor	Disponibilidade	Tipo	Potencialidades
RIGIPAVE 2000	Balbo (1989) USP	Acadêmica	2D	Apenas para placas sem transferência de cargas; apenas uma placa; gradientes térmicos
FEACONS IV	Tia et al. (1986) Universidade da Flórida	Acadêmica	2D	Aderência total entre placa e base; gradientes térmicos lineares; análise de três placas consecutivas
FEACONS 4.1 SI	Tia e Balbo (1997) UFL - USP	Acadêmica	2D	Aderência total ou não aderência entre placa e base; versão SI
ILSL2	Khazanovich e Ioannides (1993)	Acadêmica	2D	Aderência total ou não aderência entre placa e base; gradientes térmicos lineares e não lineares; vários tipos de modelos para fundações
ISLAB 2000	ARA (2006) Outras universidades e departamentos de transportes e rodovias	Comercial	2D	Aderência parcial; <i>overlays</i>
KENSLAB	Huang (1993) Universidade de Kentucky	Comercial (fornecido com livro do autor)	2D	Aderência total entre placa e base; gradientes térmicos lineares
EVERFE	Mahoney, Davids e outros Universidade de Washington	Disponível gratuitamente em < <a href="http://www.civil.umaine.edu/EverFE/">www.civil.umaine.edu/EverFE/</a> >	3D	Aderência parcial; gradientes não lineares

Embora sem amplo apoio em normas ou critérios universais, apresenta-se no Quadro 5.1 uma listagem dos defeitos mais comuns em pavimentos de concreto, com uma breve descrição de suas possíveis gêneses, sem exaurir a questão.

#### 5.2.4 O índice de condição de pavimentos do USACE

O *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE, 1982) desenvolveu um dos índices mais consistentes para a avaliação da integridade funcional e estrutural de pavimentos, incluídos os pavimentos de concreto. Esse índice, denominado *Pavement Condition Index* (PCI), é determinado com base em avaliações de defeitos visíveis na superfície dos pavimentos, tendo sido largamente empregado nos EUA para a avaliação e determinação de padrões de restauração e manutenção de pavimentos, por mais de duas décadas. A Fig. 5.19 apresenta a escala de avaliação do PCI, que varia de 0 a 100, representando os extremos de condição de um pavimento: totalmente degradado ou absolutamente perfeito, respectivamente.

O PCI é calculado com base na dedução de “valores deduzidos” do topo da escala (100), por meio da expressão:

$$PCI = 100 - CDV \quad (5.10)$$

onde CDV é o valor de dedução corrigido, dado pelo somatório dos valores de dedução (TDV) definidos para cada tipo de defeito na seção de pavimento avaliada. Os valores de dedução, por sua vez, são dados por meio de curvas empiricamente obtidas pelo USACE para 19 principais tipos de defeitos em placas de concreto. Na maioria dos casos, esses valores de dedução dependem do grau de severidade (deterioração) dos defeitos, dividido em três níveis: alto, médio e baixo.

Antes de se prosseguir na rotina de determinação do PCI, convém definir os padrões de degradação estabelecidos pelo USACE. Para tanto, o Quadro 5.2 explicita (simplificadamente em relação à lista original) as condições objetivas dos defeitos para se estabelecer o grau de degradação conveniente. Vale ressaltar que as descrições apresentadas pelo USACE para a severidade dos defeitos nem sempre são tão objetivas quanto possam parecer, dependendo muitas vezes da visualização de padrões

fotográficos apresentados no manual de identificação de defeitos do próprio USACE (1982).

**QUADRO 5.1** PRINCIPAIS DEFEITOS ENCONTRADOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO EM PLACAS

Nomenclatura do defeito	Descrição e gênese	Padrão visual
Fissuras de canto	<p>Geralmente ocorrem na forma de semicírculo e são também denominadas <i>diamond cracking</i> (foto superior), em referência à sua forma quando em todos os cantos de quatro placas comuns. Estão associadas ao vencimento da resistência por fadiga do concreto na região ou à espessura insuficiente de placa em relação ao tráfego real</p>	
Fissuras em feixes	<p>Ocorrem tanto em direção transversal quanto longitudinal, próximas a bordas ou a fissuras preexistentes, com formato de fissuras próximas e paralelas. Trata-se de progressão de fissuras de canto ou lineares, e estão associadas à baixa resistência do concreto à compressão. Também podem ser causadas por ciclos de congelamento e descongelamento em climas temperados</p>	
Fissuras longitudinais	<p>São fissuras paralelas à direção do tráfego. Estão normalmente associadas ao consumo de resistência à fadiga do concreto ou à insuficiência de sua espessura. Se posicionadas na proximidade de juntas longitudinais, normalmente resultam da retração de secagem do concreto por atraso de serragem de junta ou por serragem em espessura insuficiente</p>	