PTR 3521-Avaliação e Reabilitação de Pavimentos: Pistas-teste e simuladores de tráfego no mundo:benefícios e limitações

Samuel Sakanoue Leite 4637175
Thiago Ferraz 8994988

Professores Liedi Bariani Bernucci e José Tadeu Balbo

São Paulo
Abril 2018

1. Introdução

O que são pistas testes e simuladores de tráfego? Para que servem?

Introdução

- Antigamente a única forma de análise de um novo pavimento era através da sua inserção em uma via e o seu acompanhamento ao longo dos anos
- Simuladores de tráfego e pistas testes são métodos de análise que simulam ou impõe um tráfego mais pesado de forma a acelerar os resultados
- Testes físicos ainda são muito utilizados apesar de existirem simuladores computacionais
- **Simulador de tráfego**: consiste em um mecanismo que simula a passagem de uma determinada carga em um pavimento
- **Pista Teste**: consiste de um trecho de pavimento, fechado ou não, por onde uma determinada carga circula repetidas vezes

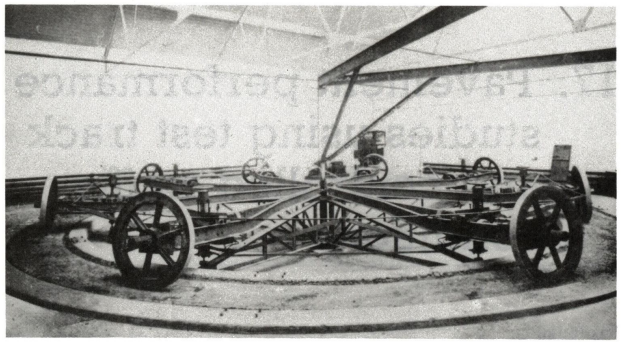


Figure 17.1 Teddington road testing machine (1912)

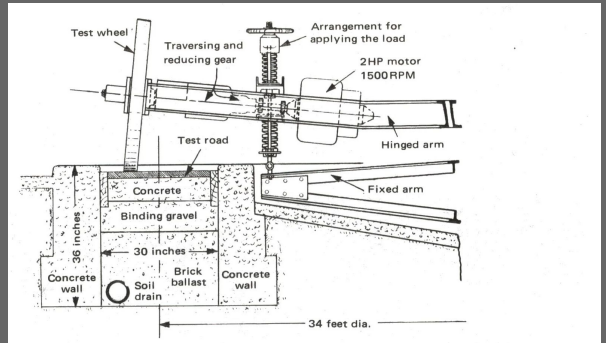


Figure 17.2 Details of wheel load adjustment used on the Teddington road testing machine (1912)

Figura 1.1-Foto e esquema do primeiro simulador de tráfego, o *Teddington road testing machine* (Inglaterra 1912)

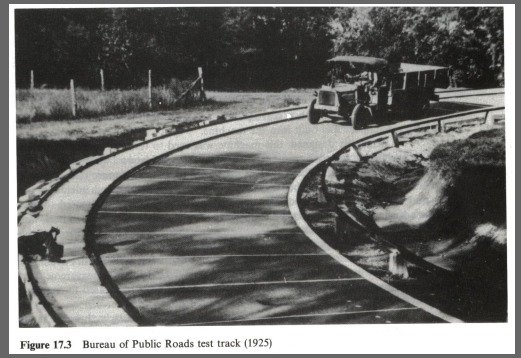


Figure 17.3 Bureau of Public Roads test track (1925)

Figura 1.2-Foto de uma das primeiras pista teste (Estados Unidos 1925)

Figura 1.3-Foto de um trecho de uma pista teste de concreto armado sendo executada na Universidade de São Paulo (Brasil 2017).

Figura 1.4-Foto do simulador de tráfego móvel LAPAV/UFRG (Brasil 2016) .

2. Simuladores de tráfego

Análise de alguns dos principais simuladores de tráfego utilizados

Simuladores de tráfego

- Grandes equipamentos para avaliação estrutural de seções de pavimento
- Ensaios consistem na aplicação controlada de uma carga de roda igual ou acima da carga máxima legal permitida
- A aplicação da carga se dá em geral pela passagem repetida de uma ou duas rodas de caminhão sobre a seção em ciclos contínuos por várias horas
- Resulta em uma rápida reprodução do número total de passagens previsto no projeto

Figura 2.1-Equipamento acelerated loading facility (ALF)

Finalidades da aplicação de simuladores de tráfego

Simuladores de tráfego permitem a realização de ensaios em condições de contorno mais próximas às reais, podendo ser empregados em diversos fins:

- Avaliar pavimentos existentes para níveis de tráfego mais elevados
- Avaliar materiais de pavimentação não tradicionais
- Avaliar processos de estabilização e tratamentos geossintéticos para o subleito
- Determinar o processo de deterioração do pavimento
- Investigar os efeitos ambientais
- Determinar a vida remanescente de um pavimento

Tipos de simuladores

- Simuladores de campo fechado: Rotação em torno de um pilar central
- Simuladores lineares: Rodas se movem linearmente ao longo de uma seção-teste
- Simuladores em pistas experimentais fechadas: Movimentos das rodas se dão de forma livre

Figura 2.2- Simulador Manège de fadigue de campo fechado

Figura 2.3- Simulador Linear HVS

Figura 2.4- Simulador em pista fechada no CEDEX, Madrid

Aspectos relevantes nos ensaios

- Trafego
  - Carga de roda
  - Características do pneu
  - Deslocamento lateral transversal
  - Sentido e velocidade do carregamento
  - Suspensão e efeitos dinêmicos
  - Tipo e configuração de eixo
- Variáveis climáticas
  - Temperatura e umidade
- Envelhecimento do asfalto
- Materiais de pavimentação

$$FEC = \left(\frac{Wi}{Wp}\right)^b$$

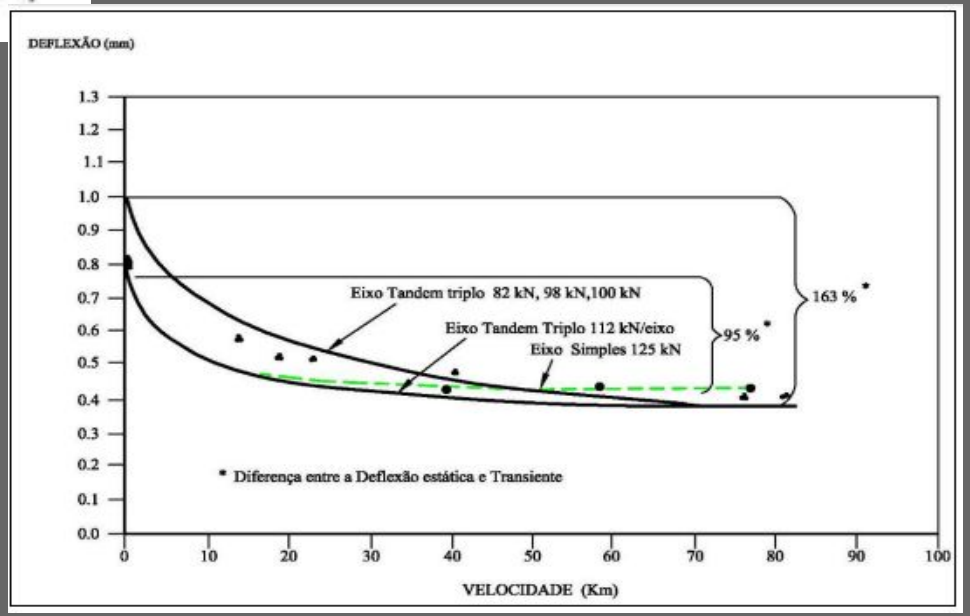


Figura 2.5-Gráfico Velocidade da roda X deflexão do pavimento

Manège de fadigue do LCPC

- Pista com 6m de largura e 120m de comprimento
- Velocidade
  - máxima:100km/h
  - usual:70km/h
- Carga de 50kN a 140kN

Figura 2.7- Simulador Manège de fadigue detahe das rodas

Figura 2.6- Simulador Manège de fadigue, visão geral

Heavy vehicle simulator

Tabela 2.1 – Características do HVS.

Mobilidade	Rebocável para distâncias longas; alto propelido para distâncias curtas
Carga da roda	Tipicamente 20-100kN para rodovias; até 200kN para aeródromos e testes especiais
Roda de teste	Simples ou dupla para caminhão ou simples para avião
Pressão de pneu	Tipicamente 560-690kPa em rodoviais; até 1.450kPa em aeródromos
Aplicações média por dia de CESE*	40.000
Comprimento da seção de teste	Até 8m
Largura da seção de teste	Variável, até 1,5m
Seção padrão de teste	Variável
Comprimento total, excluindo o motor principal	22,8m
Largura total	3,7m
Altura total	4,7m
Massa total	Aproximadamente 59.646kg
Velocidade máxima da roda	10km/h

* Carga de eixo simples equivalente

Figura 2.2- Simulador do tipo HVS

3. Pistas Testes

Análise dos experimentos WASHO e AASHO e seus resultados

WASHO Road Test (Idaho 1952-1954)

- Tinha como objetivo inicial o estudo da performance de pavimentos de concreto de diferentes espessuras para cargas pré definidas
- Um par de pistas cada uma com um par de faixas com trechos de diferentes espessuras (figura 3.1)
- Testes foram realizados de junho de 1953 até maio de 1954, com uma interrupção entre novembro e fevereiro devido ao congelamento da subbase (figura 3.2)
- Resultados foram obtidos através da medição das deformações permanentes do pavimento, além da observação da evolução de trincamentos e deflexão elástica pela viga benkelman

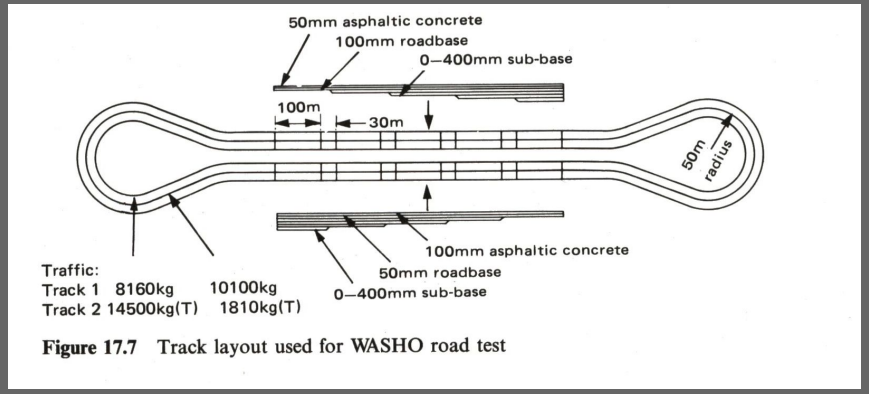


Figura 3.1-Esquema da pista teste utilizado para os teste da WASHO

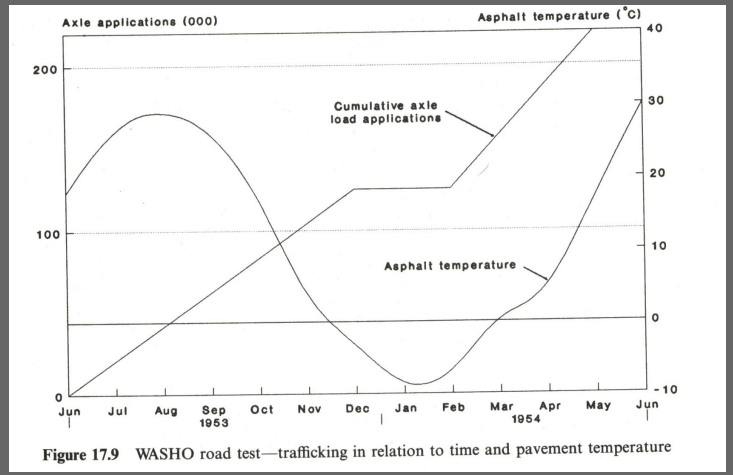


Figura 3.2-Gráfico mostrando a relação entre o número de ciclos acumulados pela temperatura do pavimento

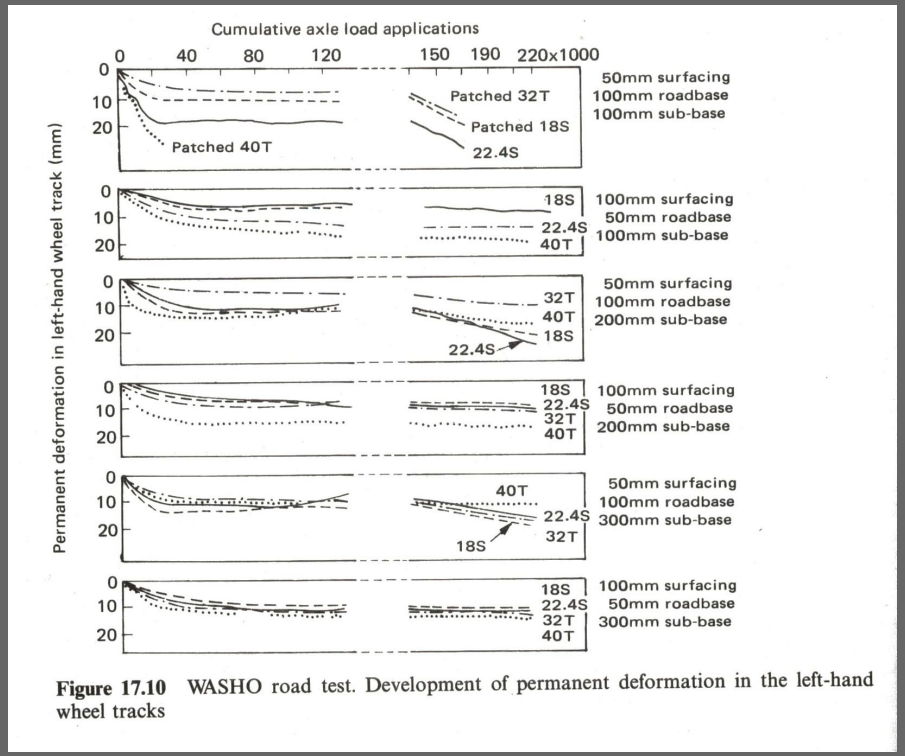
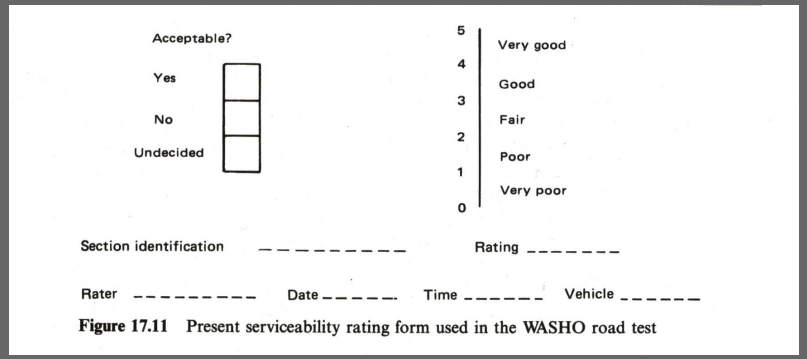


Figura 3.3-Gráfico mostrando a relação entre o número de ciclos acumulados pela deformação do pavimento

AASHO Road Test (Illanois 1960-1962)

- Tinha como objetivo a determinação da relação entre o número de repetições de determinadas cargas axiais e a performance de pavimentos de concreto de diferentes espessuras. Introduziu o conceito de serventia.
- Planejamento começou desde 1952 e levou em consideração os resultados do teste WASHO
- Primeiro foram selecionados 99 trechos de estrada e um teste era aplicado a motoristas de veículos de passeio e comerciais (figura 3.4)
- Foram medidos também a irregularidade superficial, os trincamentos, a profundidade de trilhos de roda e a extensão de possíveis medidas corretivas.



Acceptable?

Yes ☐

No ☐

Undecided ☐

5	Very good
4	Good
3	Fair
2	Poor
1	Very poor
0	

Section identification _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ Rating _ _ _ _ _ _ _

Rater _ _ _ _ _ _ _ _ _ Date _ _ _ _ _ Time _ _ _ _ _ _ Vehicle _ _ _ _ _ _

Figure 17.11 Present serviceability rating form used in the WASHO road test

Figura 3.4-Esquema da pista teste utilizado para os teste da WASHO

Figura 3.5-Foto de um perfilômetro CHLOE

AASHO Road Test (Illanois 1960-1962)

- Segunda parte do experimento consistiu na construção de seis trechos com loops, cada pista com duas faixas (figura 3.6)
- As faixas foram submetidas a um tráfego constante de 56km/h (35 mph) por 19 horas por dia por pouco mais de dois anos
- Pista 2 possuía 18 combinações diferentes de espessura (concreto, base e subbase) em cada faixa e nas pistas 3-6 27 combinações (figura 3.7)
- Avaliação do pavimento através do índice PSI (figura 3.8) e cargas aplicadas em Kip (1 kip = 0.225Kn) (figuras 3.10 e 3.11)

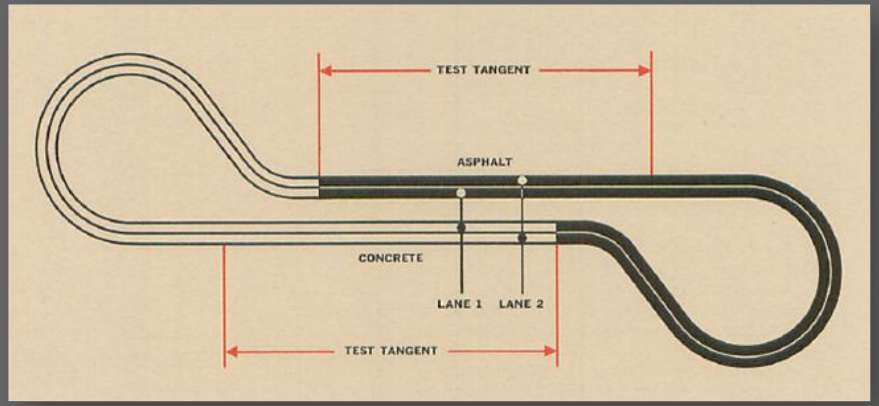


Figura 3.6-Esquema da pista teste para os testes da AASHO. Tangentes entre loops possuíam cerca de 2072.64m (6800ft).

Table 17.2 Axle loads and pavements used: main flexible-pavement experiment

	Loop 2		Loop 3		Loop 4		Loop 5		Loop 6	
	Lane 1	Lane 2	Lane 1	Lane 2	Lane 1	Lane 2	Lane 1	Lane 2	Lane 1	Lane 2
Axle load, lb	2000	6000	12 000	24 000	18 000	32 000	22 400	40 000	30 000	48 000
	S*	S	S	T*	S	T	S	T	S	T
Sub-base, in	0 and 4		0, 4, and 8		4, 8, and 12		4, 8, and 12		8, 12, and 16	
Roadbase, in	0, 3, and 6		0, 3, and 6		0, 3, and 6		3, 6, and 9		3, 6, and 9	
Surfacing, in	1, 2, and 3		2, 3, and 4		3, 4, and 5		3, 4, and 5		4, 5, and 6	

*S = carried on single axles; T = carried on tandem axles.

Figura 3.7-Dados das cargas aplicadas nas pistas e as espessuras usadas nos pavimentos..

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + \overline{SV}) - 1.38\overline{RD}^2 - 0.01\sqrt{C + P} \qquad (17.1)$$

where $\overline{RD}$ = the rut depth measured in inches over a 4-ft span embracing each wheel track (average for both wheel tracks)

$\overline{SV}$ = the slope variance $\times 10^6$ (average of both wheel tracks)

C = the cracking, expressed as the area of pavement in square feet exhibiting grid-pattern cracking or other cracking leading to the breakout of the bituminous surfacing, measured over an area of 1000 ft^2

P = the area of patching per 1000 ft^2

Figura 3.8-Relação utilizada para a determinação do índice PSI envolvendo a profundidade do trilho de roda (RD), a variação de declividade média entre os trilhos de roda (SV), a quantidade de trincas por unidade de área (C) e a quantidade de remendos na pista por unidade de área (P).

Figura 3.9-Foto aérea de uma das pistas utilizadas para os testes.

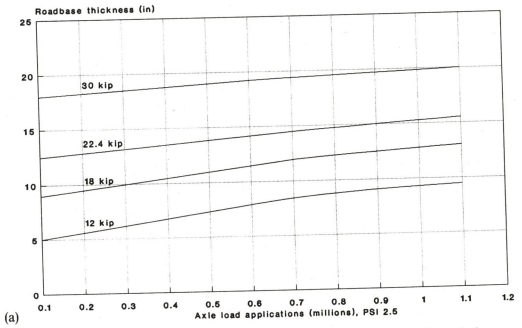
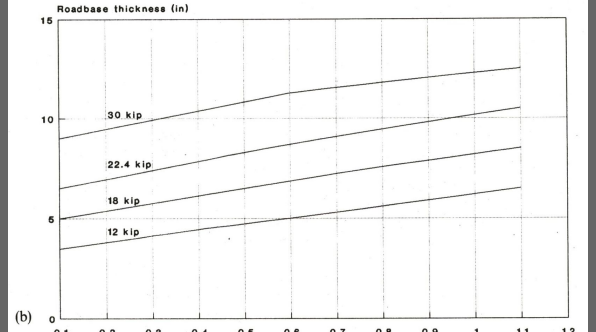


Figure 17.18 AASHO road test: effect of type of roadbase on performance: (a) crushed-stone roadbase



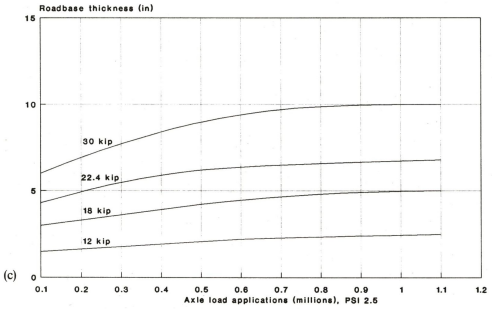


Figure 17.18–*contd*–AASHO roadtest: effect of type of roadbase on performance: (b) cement roadbase; (c) bituminous roadbase

Figura 3.10-Resultados obtidos das espessuras necessárias para suportar um determinado número de ciclos para uma determinada carga aplicada em três tipos de pista (resultados para pistas de brita, concreto e asfalto respectivamente).

Table 17.4 Axle load equivalence factors for flexible pavements

Single axles, PSI = 2.0							Tandem axle sets, PSI = 2.0						
Equivalence factors							Equivalence factors						
Gross axle load, kips*	Thickness index						Gross axle load, kips	Thickness index					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	12	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	14	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
8	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	16	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04
10	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	18	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
12	0.16	0.18	0.19	0.18	0.17	0.17	20	0.10	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10
14	0.32	0.34	0.35	0.35	0.34	0.33	22	0.16	0.17	0.18	0.17	0.16	0.16
16	0.59	0.60	0.61	0.61	0.60	0.60	24	0.23	0.24	0.26	0.25	0.24	0.23
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	26	0.32	0.34	0.36	0.35	0.34	0.33
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.60	28	0.45	0.46	0.49	0.48	0.47	0.46
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41	30	0.61	0.62	0.65	0.64	0.63	0.62
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51	32	0.81	0.82	0.84	0.84	0.83	0.82
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96	34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83	36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
30	10.38	10.03	9.24	8.65	8.73	9.17	38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
32	14.00	13.51	12.37	11.46	11.48	12.17	40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
34	18.55	17.87	16.30	14.97	14.87	15.63	42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
36	24.20	23.30	21.16	19.28	19.02	19.93	44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
38	31.14	29.95	27.12	24.55	24.03	25.10	46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
40	39.57	38.02	34.34	30.92	30.04	31.25	48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83

1 kip = 1000 lb

Figura 3.11-Tabela indicando a relação entre número de ciclos que um tipo de pavimento suporta para um determinada carga para um PSI de 2.0. O thickness index é uma relação entre as espessuras do pavimento.

Comparação entre WASHO e AASHO

- Objetivos, clima e materiais (base, subbase e revestimento) similares
- Critérios diferentes para a avaliação de performance entre os testes
- AASHO estudou uma gama maior de carregamentos e espessuras de pavimentos além de ter durado um ano a mais
- AASHO introduziu o conceito de serventia, quantificou o quão boa a via é, diferente da WASHO que apenas mediu as deformações
- Frequência de medições diferente (14 para AASHO e 30 dias para WASHO)
- Testes perdem um pouco da representabilidade em regiões com clima muito diferente

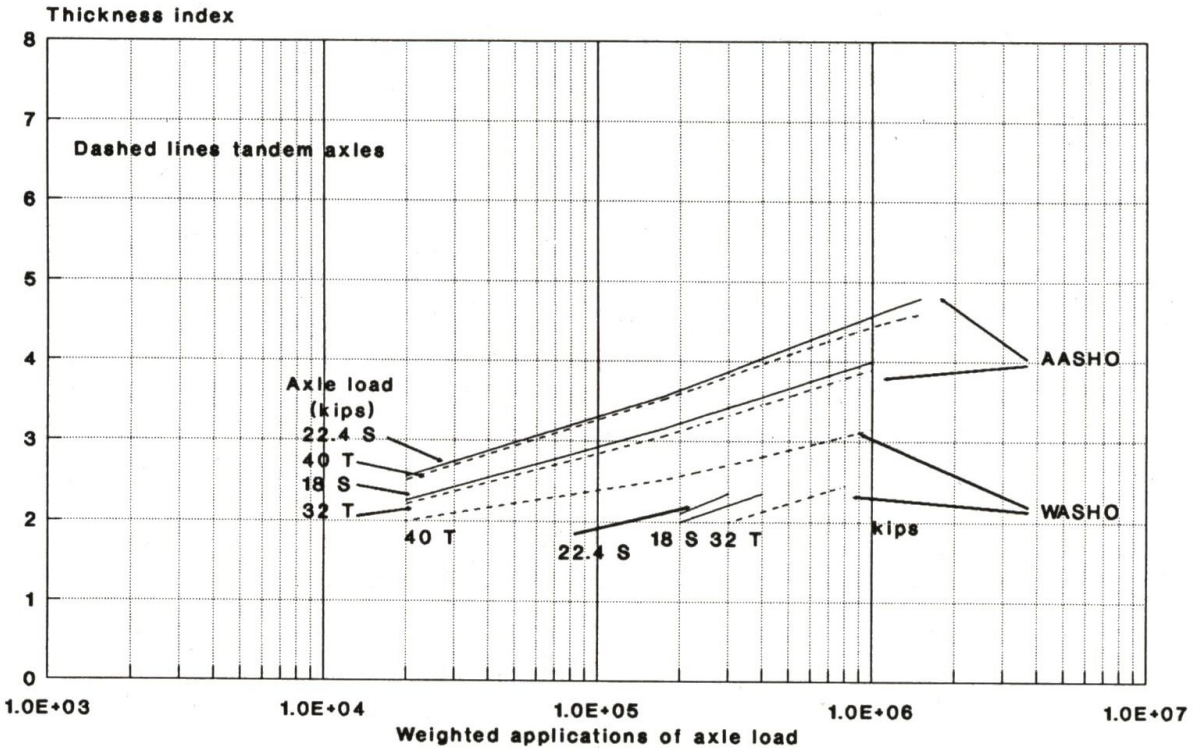


Figure 17.20 Comparison between AASHO and WASHO test results for flexible pavements—PSI 2.5

Figura 3.12-Comparação entre os resultados dos dois experimentos conduzidos. Nota-se a grande diferença entre os resultados obtidos.

Referências

CRONEY, David, CRONEY, Paul. The Design and Performance of Road Pavements. 2ª Edição. London. McGRAW-HILL Book Company Europe.

VALE, F.A. Método de uso de simulador de tráfego linear móvel de pista para determinação de comportamento e previsão de desempenho de pavimentos asfélticos

https://www.floridamemory.com/items/show/105566 último acesso em 08/04/18 21:21
http://explorer.acpa.org/explorer/places/united-states/illinois/ottawa/test-road/aasho-road-test/ último acesso em 08/04/18 21:21
http://jornal.usp.br/ciencias/tecnologia/estudo-premiado-analisa-durabilidade-de-concreto-em-clima-tropical/ último acesso em 08/04/18 21:21
http://www.ufrgs.br/lapav último acesso em 08/04/18 21:27