

**IAG34-01-2013**  
**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN**  
**PERMANENTE DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS**  
**CON ASFALTO CONVENCIONAL Y DE CAUCHO DE CAPAS DE**  
**REFUERZO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**  
**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA À DEFORMAÇÃO PERMANENTE**  
**ENTRE MISTURAS ASFÁLTICAS CONVENCIONAIS E COM ASFALTO**  
**BORRACHA EM CAMADAS DE REFORÇOS DE PAVIMENTOS**  
**FLEXÍVEIS**

Liseane Padilha Thives  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis, Brasil  
[liseane.thives@ufsc.br](mailto:liseane.thives@ufsc.br)

Glicério Trichês  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis, Brasil  
[glicerio.triches@ufsc.br](mailto:glicerio.triches@ufsc.br)

Jorge Carvalho Pais  
Universidade do Minho  
Guimarães, Portugal  
[jpais@civil.uminho.pt](mailto:jpais@civil.uminho.pt)

Paulo António Alves Pereira  
Universidade do Minho  
Guimarães, Portugal  
[ppereira@civil.uminho.pt](mailto:ppereira@civil.uminho.pt)

## **Resumen**

Debido al creciente y cada vez más pesado tráfico actuante en las carreteras brasileñas, una de las patologías observadas ha sido la deformación permanente. Esta situación incitó el desarrollo y la búsqueda de nuevas tecnologías y materiales para atender las necesidades de un mejor rendimiento de las carreteras brasileñas. Este documento contempla un estudio de las mezclas asfálticas modificadas con neumáticos usados (asfalto caucho) para evaluar su desempeño a la deformación permanente en comparación con una mezcla convencional. El objetivo del estudio es contribuir para un mejor conocimiento del comportamiento de la deformación permanente de mezclas asfálticas aplicadas en capas de refuerzo de pavimentos flexibles. Así fueron producidas y probadas mezclas asfálticas con caucho (*continuos blend e terminal blend*) y comparadas con una mezcla estándar de referencia elaborada con asfalto convencional generalmente aplicadas en las carreteras brasileñas. Para las mezclas estudiadas, fueron realizadas ensayos de deformación permanente con el simulador de tráfico *Wheel Tracking*. Los resultados muestran que la mezcla

con asfalto convencional tiene una alta tasa de velocidad de deformación, lo que haría inviable su uso en capas de refuerzo. Las mezclas asfálticas con caucho tuvieron resultados de deformación permanente satisfactorios. También se evaluó que la sustitución de mezclas convencionales por mezclas de caucho en la capa llevó a una reducción significativa en la deformación permanente total de la capa, que muestra que mezclas de asfalto con caucho tienen una resistencia a la deformación permanente efectivamente mayor.

## Resumo

Devido ao crescente e cada vez mais pesado tráfego atuante nas rodovias brasileiras, uma das patologias observadas tem sido a deformação permanente. Este cenário suscitou o desenvolvimento e a busca de novas tecnologias e materiais para atender as necessidades de melhor desempenho das rodovias brasileiras. O presente trabalho contempla o estudo de misturas asfálticas com asfalto modificado com borracha de pneus usados (asfalto borracha) para avaliar a sua capacidade de desempenho à deformação permanente em relação a uma mistura convencional. O foco do estudo é contribuir para um melhor conhecimento do comportamento à deformação permanente de misturas asfálticas aplicadas em camadas de reforço de pavimentos flexíveis. Assim, foram produzidas e testadas misturas asfálticas com asfalto borracha (contínuos blend e terminal blend) e comparadas a uma mistura convencional de referência confeccionada com asfalto convencional usualmente aplicada em revestimentos de rodovias brasileiras. Para as misturas estudadas, foram realizados ensaios de deformação permanente com o simulador de tráfego *Wheel Tracking*. Os resultados obtidos mostram que a mistura com asfalto convencional apresenta uma elevada taxa de velocidade de deformação o que inviabilizaria o seu emprego em camadas de reforço. As misturas com asfalto borracha resultaram em um desempenho mecânico satisfatório quanto à deformação permanente. Avaliou-se ainda que, a substituição, na camada de reforço, de parte da mistura convencional por misturas com asfalto borracha resulta em uma significativa redução na deformação permanente total da camada, o que mostra que as misturas com asfalto borracha efetivamente apresentam maior resistência à deformação permanente.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, uma das patologias mais ocorrentes nos pavimentos flexíveis tem sido as deformações permanentes, também denominadas trilhas de roda. Tem-se observado que estas degradações ocorrem precocemente, sem que a vida de projeto do pavimento tenha sido alcançada. Estes fatores podem ser decorrentes da intensidade das cargas de tráfego ou devido à aplicação de misturas asfálticas convencionais que já não resistem a estas cargas impostas. Ainda, no Brasil tem sido prática na reabilitação de pavimentos degradados a construção de camadas de misturas asfálticas sobre camadas a serem restauradas.

Diante deste cenário, este trabalho tem como objetivo principal avaliar a deformação permanente de misturas asfálticas com asfalto modificado com borracha de pneus usados em comparação com uma mistura com asfalto convencional, simulando a reabilitação de um pavimento.

Para tanto, foram produzidas quatro misturas com asfalto borracha e uma mistura com asfalto convencional, sobrepostas, simulando a reabilitação de um pavimento. Para os ensaios de

deformação permanente foi utilizado o equipamento de cargas rolantes denominado simulador de tráfego *Wheel Tracking*.

## **DEFORMAÇÃO PERMANENTE**

A deformação permanente é causada principalmente pela deformação de fluência sem mudança de volume. Na abertura ao tráfego, denominada fase inicial, o aumento da deformação irreversível que ocorre nos flancos dos pneus é claramente superior do que nas zonas de irrompimento. Nesta fase inicial de abertura ao tráfego a compactação das camadas do pavimento pelo tráfego tem uma grande importância na deformação permanente. Após a fase inicial, o volume do material deslocado pelos rodados é aproximadamente igual ao volume das zonas de irrompimento adjacentes. Isto é uma indicação que a compactação devida ao tráfego está completa e que a partir desta fase a deformação permanente é causada essencialmente por deslocamento com constância de volume. Esta fase é considerada representativa do comportamento da deformação permanente durante a vida do pavimento (Eisenmann & Hilmer, 1987).

As deformações permanentes em pavimentos, incluem-se os afundamentos nas trilhas de roda, deformações plásticas no revestimento e depressões. Esses defeitos causam acréscimos na irregularidade longitudinal afetando a dinâmica das cargas, a qualidade de rolamento, o custo operacional dos veículos e, devido ao acúmulo de água.

Os carregamentos do tráfego causam deformação em três situações (DNIT, 2006):

- quando os esforços induzidos nos materiais constituintes dos pavimentos são suficientes para causar cisalhamento, promovendo deslizamentos no interior do material. Neste caso, poucas cargas concentradas ou pressões excessivas nos pneus podem causar tensões que excedem a resistência ao cisalhamento dos materiais e ainda causam fluência plástica, cujo resultado são afundamentos sob a carga de roda e, frequentemente, sollevamentos ao redor da área carregada;
- carregamentos estáticos ou de longa duração podem causar afundamentos em materiais de comportamento viscoso, como as misturas asfálticas;
- um grande número de repetições de cargas de pressões reduzidas podem causar pequenas deformações que se acumulam ao longo do tempo e se manifestam como afundamentos canalizados nas trilhas de roda.

Em laboratório, as deformações permanentes podem ser medidas por diversos ensaios e equipamentos, sendo que os mais utilizados no Brasil são os do tipo cargas rolantes.

## **MATERIAIS E MÉTODO**

Os materiais utilizados para produção das misturas asfálticas foram agregados graníticos e asfaltos convencional e com borracha. Foram utilizadas curvas granulométricas do tipo dense graded e gap graded. O equipamento para realização dos ensaios de deformação permanente foi o simulador de tráfego *Wheel Tracking*.

## Materiais

Neste estudo foram utilizados agregados graníticos com a seguinte granulometria: (i) brita 6/12 – tamanho nominal 6,0 a 12,0 mm; (ii) brita 4/10 – tamanho nominal 4,0 a 10,0 mm; (iii) brita 0/4 (pó de pedra) – tamanho nominal inferior a 4,0 mm e filer calcário calcítico.

O asfalto convencional empregado na produção da mistura convencional foi o CAP 50/70 (classificação por penetração), sendo o mesmo utilizado como asfalto base na fabricação dos asfaltos borracha do tipo terminal blend, com 15% e 20% de borracha granulada tipo ambiente em planta industrial. Foram produzidos em laboratório asfaltos borracha do tipo continuous blend com 17% de borracha granulada. Para a produção dos asfaltos borracha em laboratório, dois tipos de borracha foram utilizadas: ambiente e criogênica e asfalto tipo CAP 30/45 (classificação por penetração). Para todos os asfaltos foram realizados ensaios de caracterização. A Tabela 1 apresenta um resumo do tipo de asfalto utilizado.

**Tabela 1: Tipos de asfaltos**

Ordem	Asfalto base	Borracha	% de borracha	Tipo
AC	CAP 50/70	-	-	Convencional
B1	CAP 30/45	ambiente	15	<i>Terminal blend</i>
B2	CAP 30/45	criogênica	17	<i>Continuous blend</i>
B3	CAP 50/70	ambiente	17	<i>Continuous blend</i>
B4	CAP 50/70	ambiente	20	<i>Terminal blend</i>

## Misturas asfálticas

Neste estudo foram produzidas, em laboratório, misturas com asfalto-borracha e uma mistura convencional de referência. Para as misturas com asfalto borracha foram utilizadas duas granulometrias, sendo do tipo gap graded especificada pelo California Department of Transportation (Caltrans) tipo ARHM-GG (*Asphalt Rubber Hot Mix Gap-Graded*) e, dense graded, especificada pelo *Asphalt Institute* (AI) tipo IV. A mistura convencional de referência, foi a especificada pelo DNIT– ES 031 (2006), CAUQ faixa “C” (DNIT – EM 095, 2006), que é o órgão normativo brasileiro. A dosagem foi realizada por meio da metodologia Marshall. As características das misturas estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2: Características misturas asfálticas**

Ordem	Asfalto base	Granulometria	Teor de asfalto (%)
MAC	CAP 50/70	DNIT	5,5
MB1	CAP 30/45	AI	7,0
MB2	CAP 30/45	AI	7,0
MB3	CAP 50/70	Caltrans	8,0
MB4	CAP 50/70	Caltrans	8,5

Para os ensaios de deformação permanente e, para cada mistura asfáltica, foram confeccionados 5 corpos-de-prova com as seguintes dimensões médias: 300x250x80 mm e compactados em laboratório.

### Ensaio de deformação permanente

Os ensaios de deformação permanente foram realizados com o simulador de tráfego *Wheel Tracking* de acordo com a norma espanhola NLT 173 (1984) (Resistência a la deformación plástica de las mezclas betuminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio).

O ensaio *Wheel Tracking* consiste em submeter corpos-de-prova ao carregamento de uma roda móvel em determinadas condições de pressão e temperatura, medindo-se periodicamente a profundidade da deformação da rodeira produzida. Neste trabalho, a pressão utilizada foi de 500 kPa à uma frequência de 1 Hz (ida e volta), e temperatura do ensaio de 60°C (comumente utilizada no Brasil em ensaios de deformação permanente). A Figura 1 ilustra o equipamento *Wheel Tracking*.

**Figura 1: Equipamento Wheel Tracking**



Antes do início do ensaio, é realizado um condicionamento da câmara de ensaio e do corpo-de-prova durante 4 horas a 60°C. Posteriormente, procede-se à aplicação do carregamento, a velocidade constante, e medição do valor da rodeira produzida a cada minuto, sendo que o critério adotado de interrupção de ensaio foi o tempo de 120 minutos. Os resultados são apresentados em velocidades (taxas) de deformação verificadas entre determinados intervalos.

O corpo-de-prova da mistura MAC (mistura de referência) foi moldado com 8,0 cm de espessura. Para as outras 4 misturas com asfalto borracha, os corpos-de-prova foram moldados em duas etapas, sendo que 3,0 cm da mistura MAC foram substituídos por 3,0 cm de misturas com asfalto borracha, de modo a simular a reabilitação de uma camada de desgaste construída sobre uma camada betuminosa com asfalto convencional. A Figura 2 ilustra a configuração adotada para as misturas com asfalto borracha, simulando uma camada reabilitada.

**Figura 2: Configuração dos corpos-de-prova de misturas com asfalto borracha**  
**(a) espessuras** **(b) no sentido do ensaio**

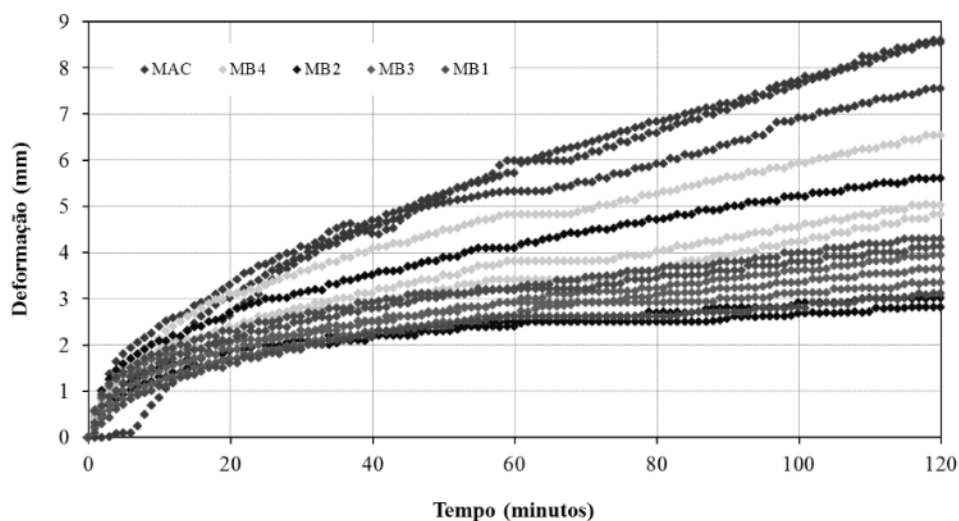


## RESULTADOS

Os valores limites propostos pela Dirección General de Carreteras da Espanha (D.G. Carreteras, 2004) para análise dos resultados do ensaio *Wheel Tracking* dependem da intensidade do tráfego e da zona climática. Para as condições mais desfavoráveis, correspondentes às classes de tráfego T0, T1 e zona climática quente, o valor limite considerado para a velocidade de deformação entre 105 e 120 minutos ( $v_{105/120}$ ) é de  $1,5 \times 10^{-2}$  mm/minuto. De acordo com a D.G. Carreteras, a pressão do ensaio é de 700 kPa, sendo que na Espanha o eixo padrão utilizado para o dimensionamento de pavimentos é de 130 kN.

A Figura 3 apresenta a evolução das rodeiras de cada mistura estudada, na qual se pôde observar que a deformação atingida pela mistura convencional foi superior a das misturas com asfalto borracha.

**Figura 3: Evolução da deformação das misturas no ensaio *Wheel Tracking***

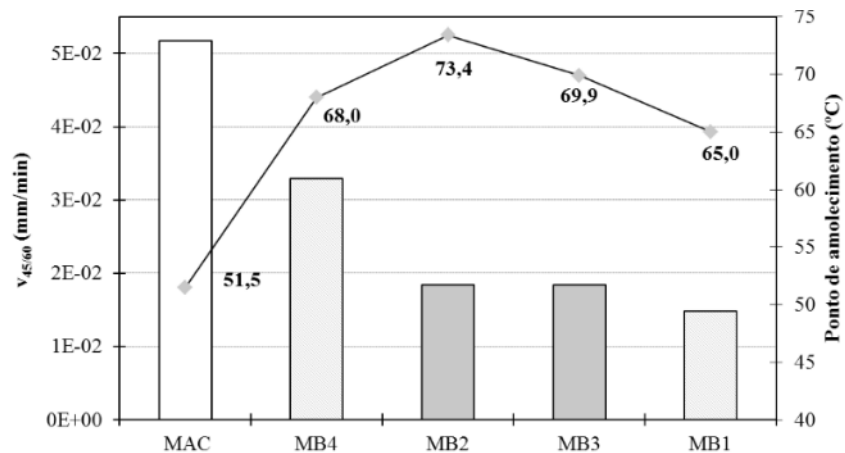


Neste trabalho foi realizada uma comparação das velocidades de deformação de v45/60 (entre 45 e 60 minutos), v60/120 (entre 60 e 120 minutos) e v105/120 para as cinco misturas estudadas. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para as velocidades de deformação de v45/60, v60/120 e v105/120, enquanto que as Figuras 4, 5 e 6 ilustram as velocidades de deformação (v45/60, v60/120 e v105/120) das misturas e o ponto de amolecimento dos asfaltos.

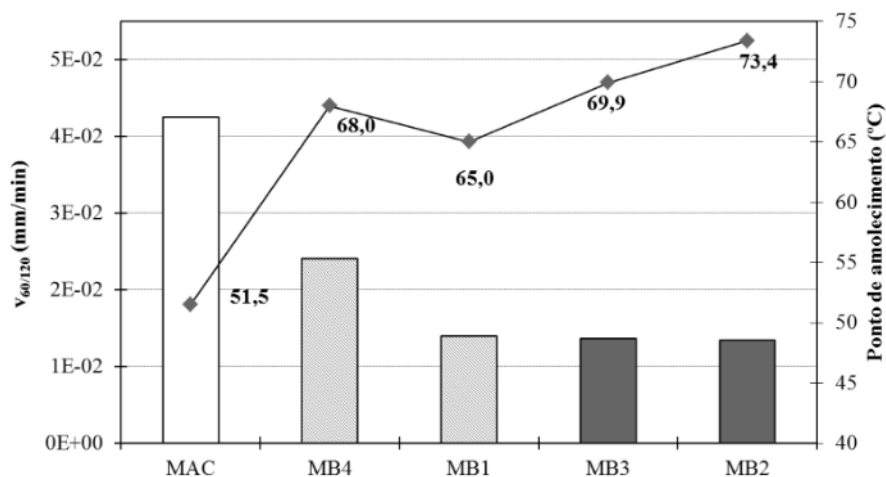
**Tabela 3: Velocidades de deformação de v45/60, v60/120 e v105/120**

Mistura	v45/60 (mm/minuto)	v60/120 (mm/minuto)	v105/120 (mm/minuto)
MAC	$5,18 \times 10^{-2}$	$4,24 \times 10^{-2}$	$4,00 \times 10^{-2}$
MB1	$1,49 \times 10^{-2}$	$1,40 \times 10^{-2}$	$1,38 \times 10^{-2}$
MB2	$1,84 \times 10^{-2}$	$1,34 \times 10^{-2}$	$1,16 \times 10^{-2}$
MB3	$1,84 \times 10^{-2}$	$1,37 \times 10^{-2}$	$1,20 \times 10^{-2}$
MB4	$3,29 \times 10^{-2}$	$2,41 \times 10^{-2}$	$2,60 \times 10^{-2}$

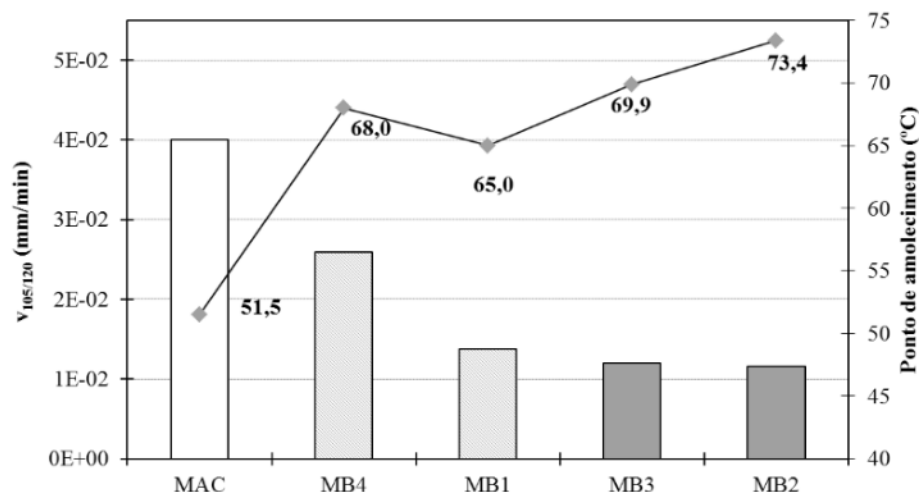
**Figura 4: Velocidade de deformação v45/60 e ponto de amolecimento**



**Figura 5: Velocidade de deformação v60/120 e ponto de amolecimento**



**Figura 6: Velocidade de deformação v105/120 e ponto de amolecimento**



Os resultados obtidos mostraram que a mistura MAC (convencional) apresentou uma elevada taxa de velocidade de deformação e que de acordo com D.G. Carreteras (2004) inviabilizaria o seu emprego em camadas de desgaste.

Por outro lado, a substituição nos corpos-de-prova de parte da mistura MAC por misturas com asfalto borracha mostrou uma significativa redução na deformação permanente total do corpo de prova, como pôde ser observado na Tabela 3. Como exemplo, na velocidade de deformação  $v_{60/120}$ , para o corpo-de-prova, com a mistura MB1 a taxa da velocidade de deformação passou de  $4,24 \times 10^{-2}$  (da mistura MAC) para  $1,40 \times 10^{-2}$ , representando uma redução de 67% na deformação. Assim, caso o corpo-de-prova, fosse todo produzido com a mistura MB1, a velocidade de deformação seria ainda menor e que, portanto, esta mistura atenderia ao preconizado de D.G. Carreteras (2004).

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foi avaliada a resistência à deformação permanente de misturas asfálticas simulando a reabilitação de um pavimento. Para tanto, foram produzidos corpos-de-prova com dimensões médias de 300x250x80 mm. Para a mistura de referencia, produzida com asfalto convencional, o corpo-de-prova foi produzido com a espessura total desta mistura, enquanto que para as misturas com asfalto borracha, 3,0 cm da espessura foi substituído com estas misturas para um pavimento reabilitado (os demais 5,0 cm permaneceram com a mistura convencional). Como resultado obteve-se o seguinte:

- mistura MAC (convencional) apresentou uma elevada taxa de velocidade de deformação, que de inviabilizaria o seu emprego em camadas de desgaste;
- a substituição nos corpos-de-prova de parte da mistura MAC por misturas com asfalto borracha mostrou uma significativa redução na deformação permanente total do corpo de prova,
- isto significa que, se o corpo-de-prova fosse produzido com misturas com borracha, haveria uma maior redução das trilhas de roda, ou seja, haveria uma maior resistência à deformação permanente.



## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Programa ALβAN (Programa de Bolsas de Alto Nível da União Europeia para a América Latina), pela bolsa nº E04D040507BR durante os trabalhos em Portugal e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa no Brasil. Agradece-se também à Universidade de Coimbra (Portugal) pela utilização do equipamento *Wheel Tracking*.

## REFERÊNCIAS

- AI, 1989. Asphalt Institute – The Asphalt Handbook, Manual Series nº 4 (MS 4). 1989 Edition, Kentucky, USA.
- Caltrans, 1992. Design Guide for ARHM-GG. California Department of Transportation. Division of New Technology, Materials and Research. Sacramento, California, USA.
- DNER, 1997. EM 313 (Pavimentação – Concreto Betuminoso – Especificação de Serviço). Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, Brasil
- DNIT, 2006. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, 2ª Edição. Ministério dos Transportes – Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes (DNIT), Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR 720. Rio de Janeiro, Brasil.
- Dirección General de Carreteras, 2004. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. Año vigente 2004. 543 Mezclas Bituminosas Discontinuas en Caliente para Capas de Rodadura. Madrid, España.
- Eisenmann, J. & Hilmer, A., 1987. Influence of Wheel Load and Inflation Pressure on the Rutting Effect at Asphalt Pavements – Experiments and Theoretical Investigations, Proceedings, Sixth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor, 392-403.
- NLT 173, 1984. Resistência a la Deformación Plástica de las Mezclas Bituminosas mediante la Pista de Ensayo de Laboratorio. Centro de Estudios de Carreteras. España.
- Thives, L.P., 2009. Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.