

AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO DO LIGANTE ASFÁLTICO E DO DESGASTE SUPERFICIAL DE BASES IMPRIMADAS

Fernando Dácio de Almeida
Suely Helena de Araújo Barroso

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN)

RESUMO

No Brasil, geralmente utiliza-se o asfalto diluído de petróleo do tipo Cura Média (CM-30) para serviços de imprimação betuminosa. Nos últimos anos tem-se verificado uma maior restrição na utilização do CM-30, por questões ambientais e devido à própria manipulação do material betuminoso. O objetivo deste artigo foi investigar o comportamento de ligantes comerciais e alternativo para o emprego em serviços de imprimação. Foram avaliados os parâmetros de penetração e desgaste superficial de uma base imprimada, usando-se: (i) um ligante comercial de referência CM-30; (ii) um ligante alternativo produzido em laboratório a partir da mistura de um CAP com óleo vegetal e (iii) dois ligantes comerciais. De forma geral, o ligante alternativo apresentou resultados promissores quando comparado aos ligantes de referência e comerciais para todos os parâmetros avaliados. Concluiu-se que o ligante alternativo pode representar uma alternativa ambientalmente mais autossustentável por utilizar óleo vegetal como solvente.

ABSTRACT

In Brazil, Cutback Medium Cure (CM-30) is generally used for prime coat services. In recent years there has been a greater restriction in the use of this CM-30, due to environmental issues and due to the very manipulation of the bituminous material. The objective of this article was to investigate the behavior of commercial and alternative binders for employment in prime coat services. The penetration and surface wear parameters of a primed base were evaluated, using: (i) a CM-30 commercial reference binder; (ii) an alternative binder produced in the laboratory from of the blend of a CAP with vegetable oil and (iii) two commercial binders. In general, the alternative binder presented promising results when compared to reference and commercial ligands for all parameters evaluated. It was concluded that the alternative binder may represent an environmentally more self-sustaining alternative to using vegetable oil as solvent.

1. INTRODUÇÃO

Poucos pesquisadores, no Brasil e no mundo, têm se dedicado ao estudo da imprimação betuminosa das bases rodoviárias. Alguns, ao definirem a imprimação betuminosa, são bastante objetivos, descrevendo sucintamente as funções desempenhadas em um pavimento asfáltico (DNIT, 2014), enquanto outros são mais detalhistas, inclusive discriminando em que situação a imprimação deve ser aplicada (RABÊLO, 2006).

Segundo a especificação ES 144/2014 (DNIT, 2014), a imprimação consiste na aplicação de material asfáltico sobre uma superfície de base concluída, antes da execução de um revestimento asfáltico qualquer. Alguns autores, Larsen (1992), Mantilla e Buttom (1994), *The Asphalt Institute* (AI) (2001) e *American Society for Testing and Materials - ASTM* (D8-02, 2003), atribuem à imprimação outras funções, tais como: (a) endurecimento e estabilização da parte superior da base ao preencher os vazios capilares desta impermeabilizando-a; (b) promoção da coesão e adesão da base com a camada asfáltica sobrejacente e (c) proteção da camada de base contra as intempéries e os efeitos do tráfego até que o revestimento seja executado.

O *United States Army Corps of Engineers - USACE* (2001), em seu guia de especificações para construção militar, define a imprimação betuminosa como sendo uma camada primária resultante de uma aplicação de um material de asfalto líquido de baixa viscosidade sobre uma camada de base não tratada quimicamente (não coesiva) antes da colocação de um

revestimento de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). Essa instituição aponta também como objetivos da imprimação o de impedir a movimentação lateral da mistura asfáltica durante a construção do revestimento.

O AI (2001) afirma que a imprimação impede que uma base granular absorva o excesso de umidade proveniente de chuvas ocorrentes antes da execução do revestimento e que sua finalidade é proteger os materiais subjacentes da água da chuva, fornecendo uma camada de impermeabilização temporária antes de pavimentar. Os benefícios adicionais da imprimação são relatados principalmente para aplicação em base de rodovias de tráfego leve utilizada como camada de rolamento, pois ela une as partículas de poeira.

Dantas (1959), Rabêlo (2006) e Villibor *et al.* (2009) relatam que a imprimação é uma etapa na construção de revestimentos betuminosos, executada sobre bases permeáveis, que tem basicamente três funções:

- i. aumentar a coesão da superfície superior da base até a profundidade próxima de 10 mm, a ela incorporando todo material fino que não possa ser eliminado pela varredura, de modo a tornar uma superfície lisa, polida e completamente isenta de pó;
- ii. permitir, pelo amolecimento do material betuminoso usado, seja pela ação do calor ou pela ação de solventes, uma ligação com a camada do revestimento;
- iii. proteger a base da ação da água que porventura possa atravessar o revestimento.

Ishai e Livneh (1984) ressaltam que a mútua ligação criada pela imprimação contribui para a adesão interfacial, para maior eficiência no entrosamento do sistema constituído pelas duas camadas e para a melhoria da capacidade estrutural do pavimento. No entanto, observa-se que em muitos estudos a penetração do ligante na base é o único parâmetro para avaliação do serviço de imprimação.

Villibor (2009), para verificar o comportamento da imprimação asfáltica em diferentes bases de pavimentos compostas por solos lateríticos e para avaliar a influência dos vários fatores que interferem no processo de imprimação, listou que entre essas variáveis, destacam-se: (a) tipo e taxa de aplicação do material betuminoso; (b) teor de umidade de compactação; (c) tipo de solo; (d) densidade aparente seca; (e) influência da perda de umidade e (f) influência da irrigação prévia da base.

Conforme relatado na literatura (DANTAS, 1959; SANTANA *et al.*, 1988; VILLIBOR, 2006; RABÊLO *et al.*, 2007), alguns dos problemas encontrados em Rodovias de Baixo Volume de Tráfego (RBVT) podem ser ocasionados pela má execução da imprimação betuminosa, como por exemplo: (i) a exsudação no revestimento que pode ser causada pela aplicação em base com excesso de umidade ou pelo excesso de ligante e (ii) o cravamento do agregado na base, causado pela quantidade insuficiente de ligante. A evolução desses problemas podem se agravar podendo comprometer a funcionalidade das RBVTs.

Outro cuidado é com a cura da imprimação, pois quando o ligante é aplicado na base necessita de tempo para que o solvente evapore e a cura da imprimação aconteça. Nesse sentido, é importante entender quando a camada está curada para que as camadas subsequentes possam ser aplicadas ou quando o tráfego momentâneo pode ser permitido (MOHAN, 2011).

Dessa forma, este artigo visa verificar os parâmetros de penetração e desgaste superficial de

uma base arenosa com a aplicação de 3 ligantes alternativos e um de referência, o CM-30, observando o tempo de cura e variações de taxa e umidade de moldagem dos CPs.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Solos e Materiais Betuminosos

Para compreender melhor a interação solo-ligante asfáltico foi ensaiado 01 solo indicado para RBVT, conforme procedimentos e resultados apresentados na Tabela 1. Para se analisar o comportamento da imprimação foram investigados os seguintes ligantes: 01 comercial de referência do tipo ADP CM-30 (nomeado aqui de LR); 01 alternativo (nomeado de LA) e 02 comerciais (nomeados de LC 01 e LC 02).

Tabela 1: Normas usadas para ensaiar o solo e resumo dos resultados obtidos

Ensaio	Normas	Resultados
Solos – Análise Granulométrica por Sedimentação	DNER-ME 051 (1994)	-
Solos – Determinação da Densidade Real	DNER-ME 093 (1994)	2,560 g/cm ³
Solos – Determinação do Limite de Liquidez	DNER-ME 122 (1994)	NL
Solos – Determinação do Limite de Plasticidade	DNER-ME 082 (1994)	NP
Solos – Compactação no Cilindro Proctor	DNER-ME 162 (1994)	1,728 g/cm ³
Solos – CBR e Expansão	DNER-ME 049 (1994)	40% e 0,05%
Solos – Média do Módulo de Resiliência	DNIT-ME 134 (2010)	300 MPa
Highway Research Board	ASTM D3282 (1973)	A-2-4

Com os ligantes alternativos foram realizados alguns ensaios de caracterização básica para compará-los com o ligante de referência, quais sejam: os ensaios de viscosidade Saybolt-Furol (ASTM E102, 2009) e Ponto de Fulgor (ASTM D92, 2005).

2.2. Ensaios de Penetração da Imprimação Betuminosa

A penetração do ligante betuminoso foi apenas um dos parâmetros considerados para qualificar o serviço de imprimação. Por esse motivo se adotou como satisfatório, penetrações que ficaram entre 4,0 e 10,0 mm. Para a avaliação prévia dos ligantes utilizáveis para imprimação na base adotada nesta pesquisa, foi utilizado o método simplificado de laboratório, chamado Método da Cápsula (Almeida *et al.*, 2015), que tem o objetivo de avaliar a penetração da imprimação com menor uso de materiais e o método Marshall (Rabêlo, 2006) para confirmação dos resultados.

2.3. Ensaios de Desgaste Superficial

Para verificação da durabilidade da camada imprimada, simulando o tráfego quando liberado antes da aplicação do revestimento asfáltico, foi avaliado o comportamento da camada imprimada submetida a esse desgaste. Os ensaios utilizados para essa avaliação foram baseados em metodologias adotadas em avaliações de Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF) como é o caso do ensaio WTAT (Wet Track Abrasion Test) e LWT (Loaded Wheel Test). Contudo, foram necessárias algumas modificações para adequação à realidade encontrada na superfície imprimada.

Para o ensaio LWT foram feitas as seguintes modificações: (a) o molde utilizado teve sua altura modificada para 25 mm ao invés de 13 mm; (b) empregou-se um êmbolo de compactação com dimensões de 20 mm de altura, 48 mm de largura e 379 mm de comprimento; (c) foi usado um soquete Marshall para a compactação e (d) o ensaio de adesão de areia não se aplicou à técnica de imprimação e, portanto não foi usada no caso do uso do LWT.

Já para o ensaio WTAT foram feitas as seguintes modificações: (a) foi utilizado um molde composto de moldes menores de 13 mm de altura compondo um cilindro fechado na base nas dimensões internas de 25 mm de altura e 300 mm de diâmetro; (b) foi usado um soquete Marshall para a compactação; (c) o ensaio de cone não foi utilizado no caso da avaliação da imprimação e (d) foi realizado o ensaio de abrasão WTAT sem a presença de água na verificação da imprimação. As características da peça de abrasão foram mantidas.

Os ensaios de desgaste WTAT e LWT foram realizados com base em Duque Neto *et al.* (2004) e utilizados por Vasconcelos (2013) para a confecção de amostras, a fim de criar uma camada de solo com espessura semelhante à superfície de uma base de pavimento de campo. As condições de carregamento, velocidades do equipamento e tipo de superfície de contato foram mantidas conforme os ensaios padronizados pela ABNT (NBR 14746, 2014 e NBR 14841, 2015). Contudo, foi possível verificar que mesmo para os ensaios já estabelecidos foram necessárias algumas adaptações, tais como espessura das amostras e ensaio realizado sem a presença de água, pois como os CPs ensaiados possuem espessuras esbeltas, tais modificações foram essenciais para garantir a adequada avaliação.

Na Figura 1 apresenta-se um resumo do programa experimental para avaliar a penetração da imprimação betuminosa dos ligantes testados com o método da Cápsula e no método Marshall. Para a análise das amostras de ligantes foram moldados três CPs por teor de umidade ($W_{ót}$, $W_{ót+2}$ e $W_{ót-2}$) e para cada taxa de imprimação usada (0,8, 1,0 e 1,2 L/m²).

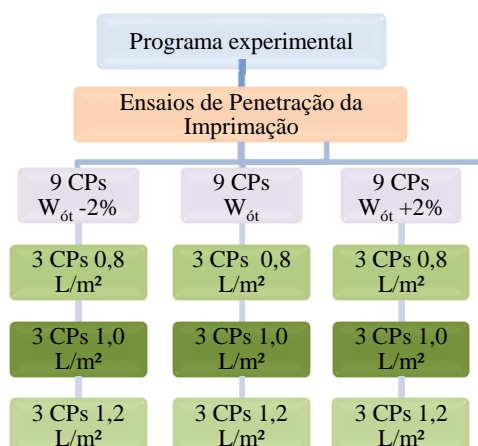


Figura 1: Esquema do programa experimental para avaliar a penetração da imprimação

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Na sequência, são apresentados os resultados dos ensaios de penetração da imprimação em função da variação da taxa de aplicação e do tipo de ligante em diferentes condições de umidade para o solo ensaiado.

3.1. Verificação da penetração da imprimação betuminosa

A Figura 2 apresenta o ranqueamento de todos os ligantes (LR, LA, LC 01 e LC 02) ensaiados com umidades ($W_{ót-2}$, $W_{ót}$ e $W_{ót+2}$) sob as diferentes taxas (0,8, 1,0 e 1,2 L/m²) pelo método da cápsula. Foi estabelecido como faixa de referência o limite de 4 a 10 mm para um comportamento satisfatório da base imprimada conforme encontrado na literatura (Villibor, 1981; Nogami, *et al.*, 1989; Castro, 2003; Duque Neto, 2004; Rabêlo, 2006).

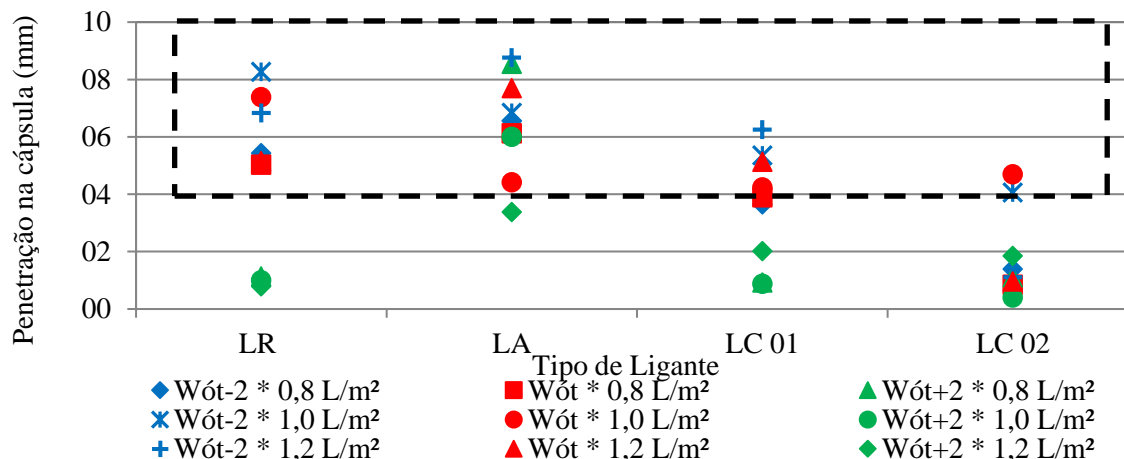


Figura 2: Ranqueamento da penetração dos ligantes pelo método da cápsula

Verifica-se que, nas amostras moldadas na $W_{ót+2}$, quase todos os ligantes testados, inclusive o CM-30, apresentaram penetrações menores que o limite mínimo de 4,0 mm, descrito na literatura como satisfatório. Excetuando-se o LA que mostrou um comportamento adequado mesmo quando a base esteve mais úmida para as taxas de 0,8 e 1,0 L/m².

De acordo com o ranqueamento da Figura 2 é possível perceber que o LR não apresenta penetração mínima (4,0 mm) na umidade 2% acima da ótima em nenhuma das taxas investigadas. Entretanto, nas outras umidades ($W_{ót-2}$ e $W_{ót}$) pode-se indicar como adequada a taxa de 0,8 L/m² para que a penetração mínima seja atingida. Já o LA ficou abaixo de 4,0 mm apenas na taxa de 1,2 L/m² na umidade $W_{ót+2}$. Esse resultado mostra que o LA é o material mais versátil, dentre as amostras investigadas, sendo o que apresenta o melhor comportamento quanto à penetração sob as diversas condições de umidades e de taxas. Pode-se indicar ainda a taxa de 0,8 L/m² como adequada para que o ligante LA apresente uma penetração satisfatória à luz do método da cápsula.

Nesse ranque é possível perceber também que o LC 01 só apresentou um comportamento adequado nas umidades $W_{ót}$ e $W_{ót-2}$ e a partir da taxa de 1,0 L/m² com penetração maior que 4,0 mm. Já o LC 02 apresentou comportamento adequado nas umidades $W_{ót}$ e $W_{ót-2}$ para uma única taxa (1,0 L/m²), mostrando-se extremamente susceptível à variação de taxa do ligante na imprimação.

Foi realizado ainda o ensaio de imprimação no cilindro Marshall modificado. Assim foi possível confirmar a tendência dos ligantes testados no método da cápsula. Nesse experimento verificou-se que as penetrações ficaram abaixo do limite de 4,0 mm para todas as amostras imprimadas na condição mais úmida ($W_{ót+2}$). As amostras LA e o LR tiveram os melhores resultados de penetração (> 4,0 mm), seguidos pelo LC 01 que apresentou menores penetrações, mas atingindo o limite mínimo de 4,0 mm na umidade 2% abaixo da ótima. Já o ligante LC 02 se apresentou inadequado em todas as umidades e taxas de aplicação, mostrando resultados de penetração abaixo de 4,0 mm (Figura 3).

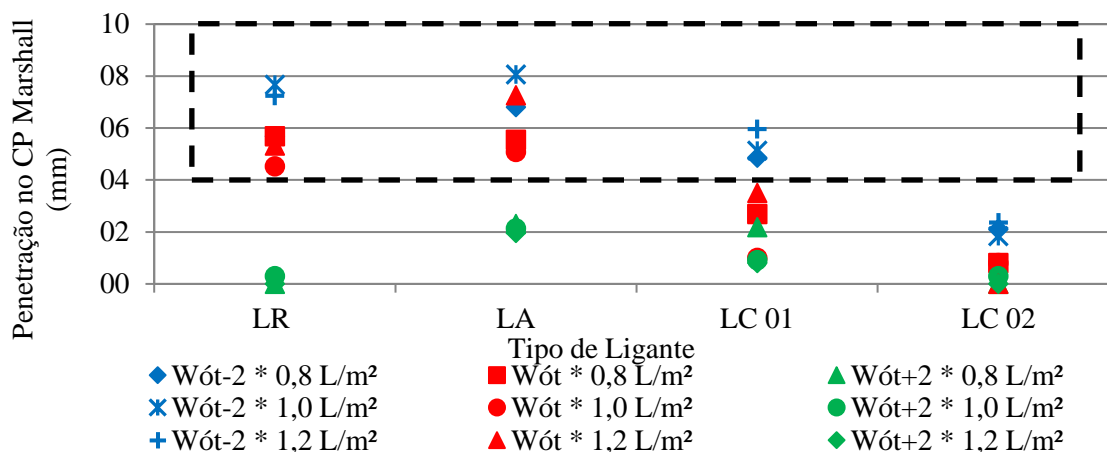


Figura 3: Penetração dos ligantes no cilindro Marshall

3.2. Ensaios de Desgaste Superficial

Os ensaios utilizados para complementar avaliação da imprimação foram o WTAT e LWT. O ensaio de WTAT teve por objetivo verificar a perda por abrasão da superfície imprimada frente à passagem da peça de desgaste que simula a passagem dos veículos. O ensaio de LWT visou aferir, a partir do número de passadas de roda e de um carregamento padrão, o afundamento da camada simulando a ação do tráfego sobre a base imprimada.

3.3. Resultados dos Ensaios WTAT

Na Figura 4 são apresentados os resultados de desgaste superficial das amostras moldadas nas umidades Wót-2 e Wót, com três diferentes ligantes e ainda o ligante de referência, nas taxas de 0,8, 1,0 e 1,2 L/m². Esse ensaio não foi realizado com as amostras na condição mais úmida, pois as penetrações obtidas na Wót+2 (1,0 mm) ficaram abaixo do limite mínimo (4,0 mm) tido como satisfatório, além de ter sido notado a presença de exsudação. Essa diretriz se repetiu para todas as amostras testadas.

Segundo a norma ISSA TB-100 (1990), o limite máximo de desgaste da amostra submetida ao WTAT para o microrrevestimento é de 538 g/m². Observe-se que a maioria dos resultados de desgaste está bem abaixo do limite preconizado por essa norma. Esse limite é considerado muito alto para o caso da avaliação da camada solo + imprimação, tendo em vista que ele foi desenvolvido para serviços de revestimento asfáltico do tipo MRAF. Sendo assim, foi usado o critério de avaliação qualitativo desenvolvido por Duque Neto (2004) visto nas Tabelas 2 e 3.

Na Tabela 4 são apresentados os conceitos das amostras segundo a avaliação de qualificação da base imprimada proposta por Duque Neto (2004) para o ensaio de WTAT. Nota-se que para a maioria dos ligantes os resultados foram satisfatórios seguindo o julgamento qualitativo levado em consideração, principalmente, no caso do desgaste onde foram atribuídas notas para cada resultado obtido.

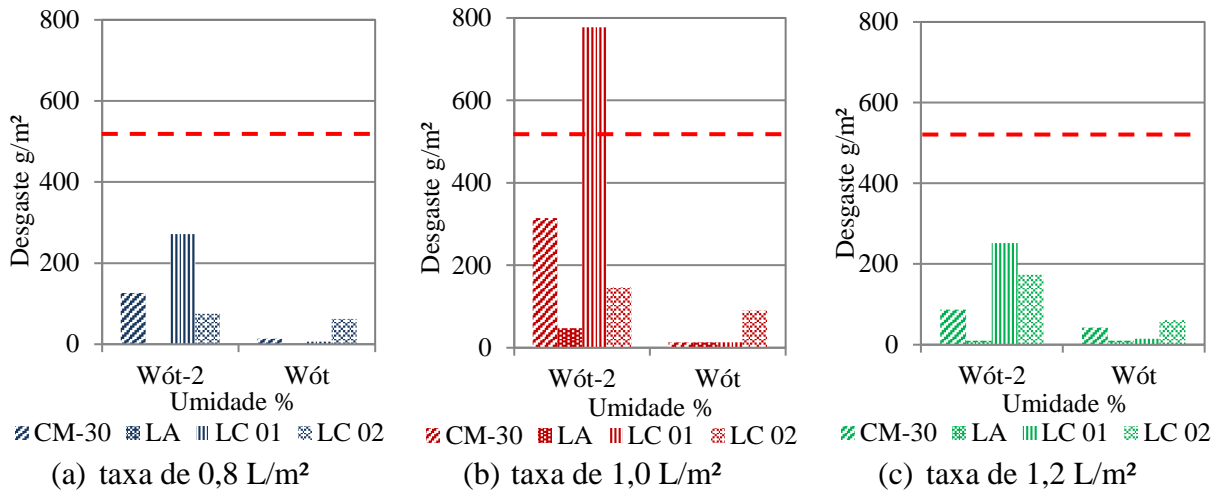


Figura 4: Desgaste superficial nas taxas 0,8, 1,0 e 1,2 L/m² nas umidades Wót-2 e Wót

Tabela 2: Atribuições de notas para a amostra de base imprimada no ensaio WTAT

Notas	Observações visuais	Perda por Abrasão (%)	Deslocamento (mm)
10	Arrancamento de até 10% e ausência de exsudação	< 30	< 0,5
8	Arrancamento de 10% a 20% e pequena exsudação	5 a 10	0,5 a 1,0
5	Arrancamento de 20% a 50% e/ou exsudação	10 a 20	1,0 a 1,5
0	Arrancamento maior que 50% e/ou exsudação	> 20	> 1,5

Tabela 3: Conceitos para qualificação imprimada no ensaio WTAT

Pontuação	28 a 30	23 a 27	16 a 22	0 a 15
Conceito	Muito Bom	Bom	Ruim	Péssimo

Tabela 4: Avaliação qualitativa dos resultados da imprimação para o ensaio WTAT

Ligantes	Notas	Conceitos
LR	9	Muito bom
LA	10	Muito bom
LC 01	10	Muito bom
LC 02	8	Bom

3.4. Resultados dos Ensaio LWT

Buscou-se por meio dos ensaios LWT verificar o comportamento das amostras imprimadas quanto ao Afundamento de Trilha de Roda (ATR). Destaca-se não ter sido possível realizar os ensaios nas amostras submetidas a 2% acima da umidade ótima, pois as placas apresentaram baixas penetrações com exsudação, o que acabava provocando a destruição prematura das placas.

Destaque-se que o ligante LC 03 não foi submetido ao ensaio de LWT, pois essa amostra apresentou exsudação excessiva. Além disso, ao partir a placa para verificar a penetração foi possível notar que não houve penetração. Tal constatação já havia sido feita ainda nos testes preliminares através do método da cápsula e nos ensaios de WTAT.

3.4.1. Avaliação dos Resultados de ATR na Taxa de 0,8 L/m²

Na Figura 5 são apresentados os resultados de ATR das amostras imprimadas na taxa de 0,8 L/m² nas condições Wót-2 e Wót.

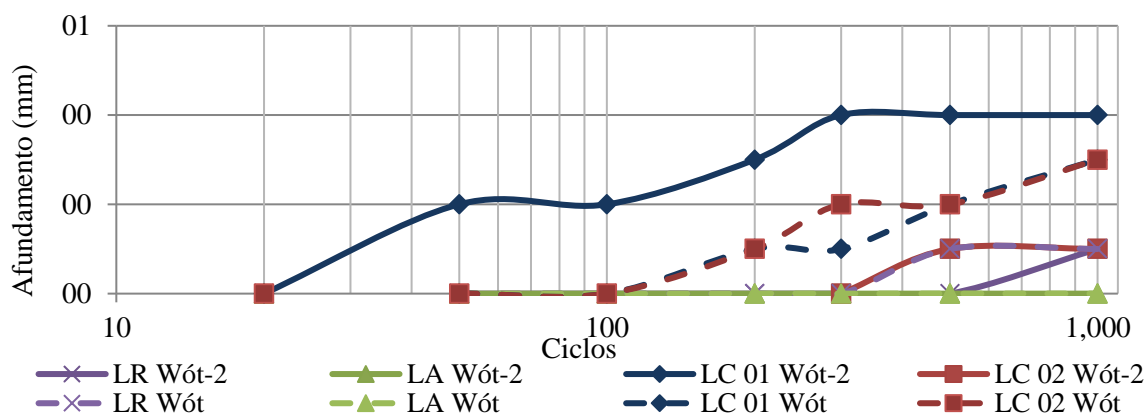


Figura 5: Ensaio de LWT nas umidades $W_{ót-2}$ e $W_{ót}$ à taxa de $0,8 \text{ L/m}^2$

Observou-se que o LR (CM-30) não apresentou ATR significativo, se mantendo estável até o fim do ensaio com um ATR total de aproximadamente $0,1 \text{ mm}$ para a umidade de moldagem $W_{ót-2}$ e $W_{ót}$. Com 1000 ciclos o LC 02 apresentou ATR semelhante ao LR, que apesar de apresentar afundamento no ciclo 500 ($0,100 \text{ mm}$) se manteve estável e chegou ao fim do ensaio. Moreira (2010), ao estudar solo+emulsão, encontrou valores de afundamento de $0,300 \text{ mm}$, atribuindo a esse resultado um conceito satisfatório. Acredita-se que o ligante LC 02 atribuiu a base coesão suficiente para resistir aos esforços imprimidos pelo ensaio.

As placas imprimadas com LA na taxa $0,8 \text{ L/m}^2$ nas umidades $W_{ót-2}$ e $W_{ót}$ não apresentaram ATR, chegando aos 1000 ciclos sem apresentar defeito (Figura 6a). Para verificar o quanto uma placa resistiria, aplicou-se mais 1000 ciclos de carga. Assim, verificou-se ao final do ensaio que a mesma não apresentou afundamento significativo, atestando o bom desempenho em laboratório do LA quando aplicado na taxa de $0,8 \text{ L/m}^2$ nas umidades $W_{ót-2}$ e $W_{ót}$. Esse resultado dá indícios que a base imprimada com esse ligante apresentou elevada rigidez.



Figura 6: Aspecto das placas após o ensaio LWT à taxa de $0,8 \text{ L/m}^2$ na $W_{ót-2}$

No caso das placas imprimadas com o LC 01 na taxa $0,8 \text{ L/m}^2$ nas $W_{ót-2}$, verificou-se ATR logo nos primeiros 50 ciclos, além de desgaste da camada, sendo possível ainda, verificar ao término do ensaio presença de trincas nas placas nos pontos de saída e chegada da roda do equipamento (Figura 6b). As amostras LC 01 e LC 02 avaliadas na taxa de $0,8 \text{ L/m}^2$ e na $W_{ót}$ mostraram ATRs finais semelhantes, porém com maior desgaste nas amostras que utilizaram o LC 02. Ao final, verificando-se a penetração do ligante LC 02 nas placas, notou-se uma penetração descontínua (Figura 6c) que pode ter contribuído para os descolamentos pontuais.

3.4.2. Avaliação dos Resultados de ATR na Taxa de $1,0 \text{ L/m}^2$

Na Figura 7 são apresentados os resultados de ATRs para as bases imprimadas na taxa de 1,0 L/m² nas condições W_{ót-2} e W_{ót}.

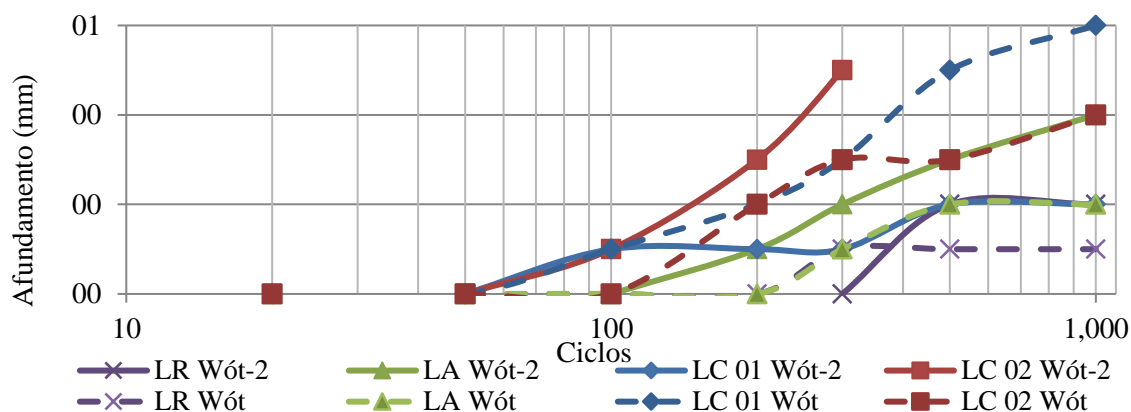


Figura 7: Ensaio de LWT nas umidades W_{ót-2} e W_{ót} na taxa de 1,0 L/m²

As amostras que utilizaram o LR na taxa de 1,0 L/m² na W_{ót-2} apresentaram afundamentos, somente após 500 ciclos, mas chegando ao fim do ensaio com um afundamento total de 0,200 mm. Com 1000 ciclos essa amostra apresentou comportamento semelhante ao LC 01 quando aplicado sob a mesma condição de taxa e umidade que apresentou afundamento já no centésimo ciclo (0,100 mm), mas se manteve estável até o ciclo 500, finalizando o ensaio com afundamento de 0,200 mm. Observou-se ainda que nas amostras com LR na taxa de 1,0 L/m² e W_{ót} o afundamento após 300 ciclos, se manteve estável até o fim do ensaio com ATR total de 0,1 mm. Acredita-se que o ligante de referência apresentou um comportamento satisfatório.

As amostras imprimadas com o LA na base mais seca (W_{ót-2}) e à taxa de 1,0 L/m² apresentaram descolamentos e afundamentos crescentes chegando à ruptura da placa. Acredita-se que penetrações abaixo de 3,0 mm possam ter causado os descolamentos pontuais. Nas amostras com o LA na W_{ót} à taxa de 1,0 L/m², o afundamento ocorreu no ciclo 500 (0,100 mm) se mantendo estável até o fim do ensaio. Acredita-se que para esse ligante a variação de umidade de moldagem da base alterou diretamente esse parâmetro de avaliação.

Nas amostras imprimadas com o LC 02 na W_{ót-2} à taxa de 1,0 L/m², houve um desgaste excessivo da camada, com aparecimento de descolamentos ao longo da placa. Verificou-se, ainda, a ruptura da placa nos pontos de saída e chegada da roda do equipamento, interrompido no ciclo 200, tendo em vista a ruptura da placa (Figura 8a). Entretanto, nas placas imprimadas com o LC 02 na W_{ót} à 1,0 L/m², percebeu-se um afundamento total de 0,400 mm. (Figura 8b). No final desse ensaio também foi possível perceber visualmente descolamentos pontuais ao longo da placa, mas sem que houvesse a ruptura da mesma.



a) LC 02 na W_{ót-2}



b) LC 02 na W_{ót}

Figura 8: Ruptura observada para a amostra LC 02 à taxa de 1,0 L/m² na W_{ót} e W_{ót-2}

3.4.3. Avaliação dos Resultados de ATR na Taxa de 1,2 L/m²

Na Figura 9 são apresentados os resultados de ATR para bases imprimadas na taxa de 1,2 L/m² nas umidades $W_{ót-2}$ e $W_{ót}$.

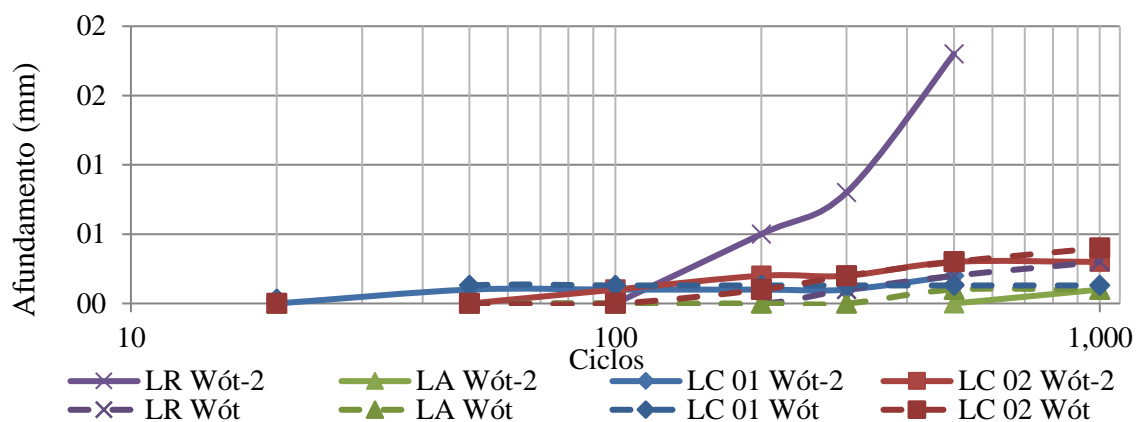


Figura 9: LWT nas umidades $W_{ót-2}$ e $W_{ót}$ na taxa de 1,2 L/m²

Nas amostras com o LR houve afundamentos após 100 ciclos, e para a umidade $W_{ót-2}$ o afundamento se acentuou chegando à ruptura no ciclo 500. Os resultados mostraram que, para amostras moldadas na $W_{ót-2}$ e taxa de 1,2 L/m², o LR se mostrou suscetível à variação da taxa apresentando pontos de exsudação. Já as amostras moldadas na $W_{ót}$ e taxa 1,2 L/m² com o LR apresentaram afundamento constante após 300 ciclos, terminando o ensaio com ATR total de 0,300 mm, indicando que o LR mostra resultados satisfatórios, independentemente da taxa de aplicação, atingindo penetração média dentro do recomendado ($> 4,0$ mm) e com baixos ATRs ($< 0,5$ mm), o que já era esperado. Nas amostras imprimadas com o ligante LA nas umidades $W_{ót-2}$ e $W_{ót}$ com taxa de 1,2 L/m² o ATR médio máximo foi de 0,1 mm com pouco desgaste e se mantendo estável durante o ensaio. Tal comportamento sugere que esse ligante confere um bom comportamento à base mesmo quando imprimada em uma taxa maior.

No caso das amostras imprimadas com o LC 01 e LC 02, os resultados de ATR foram próximos, de 0,100 e 0,300 mm, respectivamente, independentemente das variações de umidade, mas com aparecimento de afundamentos nos locais de saída e chegada da roda. Acredita-se que tal comportamento dá indícios de que em bases mais secas imprimadas com esses ligantes, a coesão da camada não tenha sido satisfatória ao ponto da base não suportar os arranques da roda nos momentos de alternamento do ciclo durante o ensaio.

Por fim, atribuiu-se uma avaliação qualitativa sugerida por Duque Neto (2004) que utilizou o mesmo equipamento LWT da norma aplicada ao MRAF que seguiram as pontuações qualitativas para as medidas de Afundamento de Trilha de Roda (ATR) (Tabelas 5 e 6) relacionando à atribuição de notas a verificação das amostras por observações visuais quanto ao aparecimento de defeitos. Esse autor considerou conceitos de aprovação (muito bom e bom) ou de reprovação (ruim e péssimo) do ensaio. Para finalizar este item, foram atribuídas notas quanto ao comportamento de todos os ligantes (Tabela 7).

Tabela 5: Notas para análise da imprimação através do LWT segundo Duque Neto (2004)

Notas	Observações visuais	ATR (mm)
10	Sem defeitos, pouco desgaste, ausência de exsudação	$< 2,0$
8	Poucos defeitos, arrancamento de até 40% da penetração, pequena exsudação, aparecimento de lombadas sem arrancamento de placas	2,0 a 4,0

5	Arrancamento acima de 40% da penetração, arrancamento nas partidas, exsudação, aparecimento de lombadas com arrancamento de placas	4,0 a 6,0
0	Destruição total pela penetração	> 6,0

Tabela 6: Conceitos para qualificação do ensaio LWT segundo Duque Neto (2004)

Pontuação	18 a 20	15 a 17	8 a 14	0 a 7
Conceito	Muito Bom	Bom	Ruim	Péssimo

Tabela 7: Notas atribuídas ao comportamento dos ligantes no ensaio LWT

Ligantes	Notas	Conceito
LR	9	Muito bom
LA	10	Muito bom
LC 01	7,5	Bom
LC 02	7,5	Bom

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto ao desgaste superficial, verificou-se que a adaptação de alguns procedimentos nos ensaios de WTAT e LWT não interferiu nos resultados. Contudo, foi necessário aguardar mais do que 24 horas de cura para alguns ligantes, indicando que a depender do material de base e do ligante utilizado esse tempo tenha que ser maior, para que a cura ocorra por completo. Para tanto, a norma DNIT 144/2014, que sofreu uma atualização, com a inserção de emulsões especiais para imprimação, não estabelece período mínimo de cura antes da liberação para o tráfego, mas sim sobre a necessidade de se observar a cura da mesma antes dessa liberação, mas não estabelece um tempo mínimo de secagem da base imprimada.

De forma geral, destaca-se que o ligante LA apresentou resultados promissores (penetração e desgaste superficial) quando comparado ao LR (CM-30). Esse ligante se mostrou um material versátil frente às variações de umidade e taxa de aplicação. Observou-se que seu comportamento pode ser considerado como o melhor, dentre os ligantes testados, sobretudo em condições de umidade e taxas mais altas, tidas como críticas.

A comercial nomeada de LC 01 apresentou resultados satisfatórios quanto aos parâmetros avaliados, mas com algumas restrições quanto à aplicação em bases mais úmidas e quanto ao emprego de taxas mais altas. Esse mesmo comportamento foi observado para o LC 02, mas com uma maior suscetibilidade às variações de umidade da base mostrando que seu uso requer um maior controle dessa variável no momento da execução do serviço de imprimação. Diante dos resultados obtidos, observa-se a importância do cuidado com a execução da imprimação quanto: (i) à variação de taxa de aplicação do ligante; (ii) à umidade da camada de base; (iii) ao tempo de cura do ligante; (iv) ao tipo de solo; (v) à taxa de irrigação prévia usada para a base e (vi) tipo de ligante utilizado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da pesquisa fornecido pela Petrobras através da Rede Temática de Asfaltos, bem como todas as empresas que forneceram os ligantes usados para testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D 8-02 *Standard Terminology Relating Materials for Roads and Pavements*. Annual Book of ASTM Standards 2003, Section 4: Construction, Vol.04.03, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken - P.A, 2003.
- ASTM D 92 *Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester*, 2005.
- ASTM E 102– American Society for Testing and Materials (2003) – *Standard Test Method for Saybolt Furol*

- Viscosity of Bituminous Materials at High Temperatures.*
- ABNT NBR 14746 *Microrrevestimentos a frio e lama asfáltica - Determinação de perda por abrasão úmida (WTAT)*. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Comissão de Estudo de Asfalto, 2014.
- ABNT NBR 14841 *Microrrevestimentos a frio - Determinação de excesso de asfalto e adesão de areia pela máquina (LWT)*. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Comissão de Estudo de Asfalto, 2015.
- Almeida, F. D.; Barroso, S. H. A. *Desenvolvimento de um método expedito para avaliação da imprimação betuminosa de rodovias*. Congresso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Bariloche, Argentina, 2015.
- Almeida, F. D.; Barroso, S. H. A. *Avaliação da coesão da imprimação betuminosa de rodovias*. Congresso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Medellin, Colômbia, 2017
- Canestrari, F.; Ferrotti, G.; Partl, M. N.; Santagata, F. A. Advanced testing and characterization of interlayer shear resistance. *Transport Research Record* 1929, pp. 68-78, 2005.
- Castro, C. A. A., *Estudo da técnica de anti-pó com emulsão de xisto em pavimentos para baixo volume de tráfego*. Tese de M. Sc., Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2003.
- Dantas, J. M., *Tratamentos contra o pó, imprimações, pinturas de ligação, tratamentos superficiais, macadames betuminosos*. Curso de Especialização Rodoviária. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1959.
- Duque Neto, F. S. Proposição de metodologia para escolha de solo e dosagem de Antipó com emulsão de xisto. Dissertação de M. Sc. Programa de Engenharia Civil, COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2004.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT ES-144 (2014) *Pavimentação - Imprimação com ligante asfáltico*. Rio de Janeiro, RJ.
- Godoi, L. *Estudo do comportamento dos ligantes asfálticos utilizados na imprimação asfáltica relacionados à emissão de VOC's*. Dissertação de Mestrado. UFPR/PIPE. Curitiba - PR, 2011.
- Ishai, I.; Livneh, M., *Functional and Structural Role of Prime Coat in Asphalt*. Proceedings, The Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 53, Scottsdale - AZ, 1984.
- ISSA TB-100 *WTAT Wet Track Abrasion Test, International Slurry Surfacing Association*, International Slurry Surfacing Association, 1990.
- Larsen, J. (1992) *Tratamento Superficial na Conservação e Construção de Rodovias*. 3ª ed. Rio de Janeiro-RJ.
- Mohan, G (2011) *Evaluation of the Curing Time and Other Characteristics of Prime Coats Applied to a Granular Base*, The University of Texas at Austin, Thesis for the Degree of Master of Science in Engineering.
- Moreira, D. E. (2010) *Desempenho de dois trechos de solo emulsão em vias de baixo volume de tráfego*, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, NUGEO, Núcleo de engenharia de minas.
- Mantilla, C. A.; Buttom J. W. *Prime coat method sand material store place cutback asphalt*. Research Report TTI 0-1334, Texas Transportation Institute Texas A&M University, 1994.
- Rabêlo, A. N. *Contribuição ao estudo da imprimação betuminosa das bases rodoviárias do estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2006.
- Rabêlo, A. N., Barroso, S. H. A., Soares, J. B., *Estudo do Processo Construtivo de Obras Viárias com Acompanhamento da Imprimação Betuminosa*. In: 38ª Reunião Anual de Pavimentação ABPV, 2007, Manaus. 38ª Reunião Anual de Pavimentação ABPV, 2007.
- Santana, H.; Gontijo, R. A., *Uma conceituação moderna de especificações para serviços de pavimentação*. 23ª Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis - SC, 1988.
- USACE, *Standard Practice Manual for Flexible Pavements*, 2001. Disponível em: <https://www.wbdg.org/ccb/DOD/UFC/ufc_3_250_03.pdf> Acesso em 25/01/2016.
- Villibor, D. F., *Pavimentos econômicos – Novas considerações*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 224p., 1981.
- Villibor, D. F.; Nogami, J. S.; Fabbri, G. T. P. *Imprimadura asfáltica em bases de Solo Arenoso Fino Laterítico*. Anais da XV Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis - SC, 1989.
- Villibor, D. F.; Nogami, J. S.; Cincerre, J. S.; Serra, P. R. M.; Neto, A. Z. (2009) *Pavimentos de Baixo Custo para Vias Urbanas - 2ª edição*, São Paulo: Arte & Ciência, 2009.
- The Asphalt Institute (2001) *Construction of Hot Mix Asphalt Institute, Manual Series nº224 (MS-22).Second Edition*.The Asphalt Institute, Lexington, KY.

daciofer@gmail.com

suelly@det.ufc.br

DET - Departamento de Engenharia de Transportes

UFC - Universidade Federal do Ceará.