

Design e implementação do *whitetopping* na restauração de rodovias

RAFAEL ELER DE SOUZA – MESTRE EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

SEBASTIANA LUIZA BRAGANÇA LANA – PhD EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

GILBERTO HENRIQUE T. ÁLVARES DA SILVA – DOUTOR EM CIÊNCIAS

SELEÇÃO E ANÁLISE DE MATERIAIS, REDE TEMÁTICA DE MATERIAIS – REDEMAT

RESUMO

AS RODOVIAS BRASILEIRAS SÃO RESPONSÁVEIS POR 96% DO TRANSPORTE DE PASSAGEIROS, 62% DO TRANSPORTE DE CARGAS E NECESSITAM DE PAVIMENTAÇÃO DE ALTA DURABILIDADE E BAIXO CUSTO DE MANUTENÇÃO, CAPAZES DE SUPORTAR O TRÁFEGO INTENSO, PESADO E REPETITIVO. UM DOS MÉTODOS QUE REDUZ OS CUSTOS DA CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS, POIS ELIMINA TANTO OS CUSTOS DE REMOVER A ANTIGA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA QUANTO OS DE CONSTRUIR UMA NOVA BASE, É MUNDIALMENTE CONHECIDO COMO *WHITETOPPING*, QUE SE VALE DA GRANDE RESIS-

TÊNCIA À COMPRESSÃO E À ABRASÃO DO CONCRETO PARA AMPLIAR A SOBREVIVÊNCIA DAS VIAS, COM A MÍNIMA MANUTENÇÃO.

NUMA EXTENSA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DISCUTE-SE OS TIPOS, O DIMENSIONAMENTO E AS PRINCIPAIS INOVAÇÕES DESTES MÉTODOS DE PAVIMENTAÇÃO E CONCLUI-SE QUE A MELHOR PERFORMANCE DESTES REVESTIMENTOS FOI ALCANÇADA COM A APLICAÇÃO DE PAINÉIS DE LAJES COM 1,83 M X 1,83 M (6 PÉS X 6 PÉS), DE FORMA A DIMINUIR AS TENSÕES DAS RODAS SOBRE A PAVIMENTAÇÃO E O RISCO DA FALHA POR FADIGA.

Palavras-chave: *whitetopping*, concreto, pavimentação, rodovias, recuperação.

I. INTRODUÇÃO

nas últimas décadas, o peso dos veículos aumentou drasticamente, resultando na deterioração precoce dos pavimentos. Muitos pavimentos de asfalto atingiram prematuramente o fim de sua vida útil ou apresentaram altos níveis de desgaste [1]. As rodovias brasileiras são responsáveis por 96% do transporte de passageiros, 62% do transporte de cargas e necessitam, portanto, de pavimentação de alta durabilidade e baixo custo de manutenção, capazes de suportar o tráfego intenso, pesado e repetitivo [2].

Para suprir essa demanda, as agências rodoviárias têm investido em estratégias de manutenção bem-sucedidas para as redes rodoviárias, apesar dos orçamentos apertados, do aumento do volume de tráfego e das cargas, bem como

do foco crítico que surgiu com a sustentabilidade e conservação do pavimento. Em muitas atividades de conservação de pavimentos, o recapeamento com uma camada de concreto colado pode representar uma solução mais econômica, de

construção rápida e sustentável, do que a reconstrução completa [1, 3].

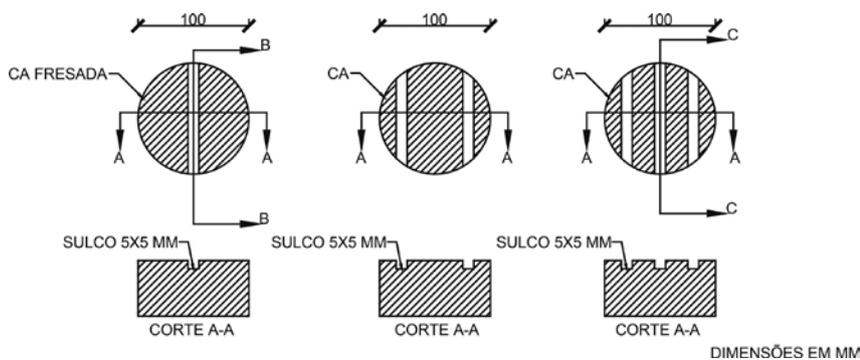
A aplicação de uma camada de concreto de cimento Portland diretamente sobre a superfície do pavimento existente é um dos métodos idealizados para reduzir



► **Figura 1**

Aplicação da camada de concreto sobre a pavimentação existente: (a) lajes sobre o pavimento; (b) lajes em detalhe

Fonte: adaptado de Chen, Won [6]



► **Figura 2**

Superfície fresada com ensaios sobre os tipos de sulcos

Fonte: adaptado de Suresha and Satish [5]

os custos da conservação de pavimentos [4]. Este processo elimina tanto os custos de remover a antiga pavimentação asfáltica quanto aqueles de construir uma nova base (Fig. 1). Este método é mundialmente conhecido como *whitetopping* e vale-se da grande resistência à compressão e à abrasão do concreto, ampliando a sobrevida das vias com a mínima manutenção e permitindo que o composto atue como uma camada monolítica [5].

O *whitetopping*, incluindo “*in lays*” (aplicado em locais de sub-leito fraco), foi amplamente usado nos EUA e na Europa entre os anos 40 e 60 para sobrepor pavimentos flexíveis existentes. Várias espessuras de concreto têm sido usadas dependendo das cargas de tráfego esperadas [7]. É utilizado há mais de 25 anos pelo departamento de rodagens de Nebraska (USA) e, com o passar do tempo, em todo mundo [8-10].

Desde os anos 90, o *whitetopping* ultrafino (WTUF) tem sido amplamente utilizado na reabilitação e reforço de pavimento asfáltico. É registrado que aproximadamente 2.200.000 m² de estrada com WTUF foram construídos nos Estados Unidos até o final de 2000 [11].

O *whitetopping* é classificado em três subcategorias com base na espessura: *whitetopping* convencional (> 200 mm), o fino (100–200 mm) e o ultrafino (50–100 mm). O concreto pode ser aderido sobre o asfalto em três formas: como sobreposições coladas diretamente sobre o asfalto, pinçados ou em sulcos (*in lays*) [4, 12]. Na preparação da pavimenta-

ção existente, o fluxo de trabalho da rodovia e o tipo de compósito a ser empregado na construção é o que determina o tipo de técnica de adesão [13].

Os benefícios do revestimento de concreto colado podem ser alcançados simultaneamente ao mecanismo de colagem. Quando o revestimento e o pavimento existente estiverem bem unidos, este novo pavimento irá comportar-se como uma estrutura monolítica para suportar as tensões do transporte e suas cargas. Portanto, a ligação entre a sobreposição e o pavimento existente é muito importante para evitar problemas iniciais e garantir um bom desempenho [14].

O concreto de alto desempenho com cimento com elevada resistência à compressão (CP V) [15] é, normalmente, o preferido. A alta resistência e bom desempenho do concreto produzido com CP V é alcançado utilizando cimentos aditivados com microssilica para o endurecimento rápido. Neste contexto, dois terços da resistência final do concreto são atingidos em um período de 48 horas. Finalmente, o pavimento pode ser aberto ao tráfego em até 72 horas após sua implantação. Concretos utilizados nos projetos de *whitetopping* ultrafino e fino são geralmente fundamentados a partir da relação água/cimento menor ou inferior a 0,40% [16].

No presente estudo, exploramos a bibliografia em relação ao estado da arte no design da pavimentação e restauração por *whitetopping*. Os processos foram abordados trazendo à luz os mecanismos de funcionamento do *whitetopping*, possí-

veis problemas na implementação e soluções plausíveis.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Métodos

No Brasil, não existe uma normalização atribuída ao *whitetopping* pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No entanto, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) referendou a norma 068/2004 conferida ao pavimento rígido. Ademais, a norma não contempla as informações sobre os concretos com cargas e fibras, resultando numa menor espessura e maior qualidade de pavimentação.

A partir do banco de dados CAPES, foi feita uma busca utilizando as palavras chave “*whitetopping*”, “fadiga em *whitetopping*”, “design implantation of *whitetopping*” e “bond strength of *whitetopping*”. Foi analisado noventa artigos e selecionados vinte e três, baseados nos pontos de interesse bem como nas datas de publicação. Foram também pesquisadas as normalizações pertinentes como as da ABNT e do DNIT.

Foram revisados um total de vinte publicações sobre a recuperação da pavimentação através de um método ainda pouco explorado no Brasil.

2.2 Tipos de *Whitetopping*

O *whitetopping* pode ser classificado em três tipos, com base no grau de ligação entre a camada asfáltica existente (CA) subjacente e a sobreposição do concreto de cimento Portland (CP), bem como a espessura da sobreposição.

► *Whitetopping* convencional (WT): consiste em uma cobertura de CP com espessura de 200 mm ou mais (no topo da camada betuminosa existente). É projetada e construída sem levar em consideração qualquer ligação entre a cobertura de concreto e a camada betuminosa subjacente –



► **Figura 3**

Aplicação do WT sobre a pavimentação e o funcionamento das chaves de cisalhamento: (b-b) concreto sobre sulcos aleatórios; (c-c) concreto atuando como chave de cisalhamento

Fonte: adaptado de Suresha and Satish [5]

ou seja, com uma interface não ligada. O *whitetopping* convencional é projetado e construído como um novo pavimento rígido, sem assumir nenhuma ação composta. Ele trata a superfície betuminosa já existente como uma sub-base de concreto enxuto seco, sendo que a condição da superfície betuminosa existente não importa significativamente, exceto quando a superfície betuminosa possui danos isolados como subsidência [5, 16, 17].

► **Whitetopping fino (WTF):** quando o CP tem espessura maior que 100 mm e menor que 200 mm. Apesar de não ser obrigatória, a ligação entre o CP sobreposto e a camada betuminosa subjacente é muitas vezes realizada frequentemente com interface parcialmente ligada e com concreto de alta resistência. Quando a ligação entre as camadas no projeto for ignorada, o concreto de alta resistência com fibras é comumente usado. As juntas têm espaçamentos menores de 0,6 a 1,25 m [5, 16, 17].

► **Whitetopping ultrafino (WTUF):** quando a camada de CP com interface colada possui espessura igual ou inferior a 100 mm. A sobreposição e fixação da camada de CP sobre uma camada betuminosa subjacente é obrigatória. A ligação entre a superfície betuminosa e a cobertura de CP é estabelecida através de uma fresagem com profundidade média de 25 mm. Uma ligação eficaz é fundamental para um melhor desempenho do WTUF. Essa ligação pode ser fornecida por alguns outros métodos, mas a fresagem é considerada desejável porque a ligação eficaz entre a superfície existente e a sobreposta é absolutamente essencial [5, 16, 17].

2.3 Concreto com fibras no *whitetopping*

O uso de pequenas fibras no WTUF tem se tornado mais popular na

restauração de pavimentos. A distribuição aleatória de fibras dentro da matriz de concreto compartilha tensões através das fissuras iniciais [1]. Além de avaliar o efeito do uso de diferentes tipos e conteúdo das fibras, o WTUF pode também ser usado para comparar diferentes graus de aderência na interface substrato-sobreposição. A resistência da interface pode ser deteriorada devido às diferentes rugosidades (escarificação) ou devido à falta de limpeza do substrato (uma situação de campo comum) [4].

O concreto de alta resistência com fibras é normalmente feito com juntas pouco espaçadas (no intervalo de 0,6 a 1,25 m). O WTUF de 50 mm a 75 mm geralmente não é recomendado quando há gradientes de temperaturas altas e em locais com grande fluxo de tráfego.

Além disso, métodos de aplicação desta técnica podem estar indisponíveis dependendo da localidade. No entanto, para estradas internas de municípios menores, onde o tráfego é restrito e controlado, a aplicação de uma fina camada de *whitetopping* com fibras pode ser considerada [16].

2.4 Dimensionamento do *whitetopping*

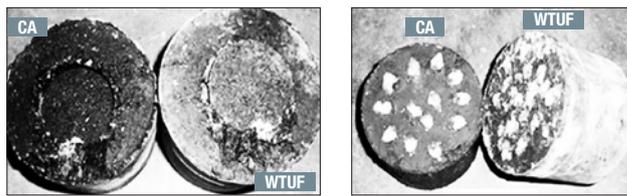
O projeto e a construção de WT e WTF são iguais a um novo pavimento rígido, sem assumir ação composta alguma. No caso da WTUF, a ligação entre a cobertura de concreto e a camada de asfalto subjacente é fundamental para sustentar o período de serviço desejado [5]. Podem ser construídos com lajes de

grande porte de 3,05 m × 3,66 m (10 pés × 12 pés), médio porte, como 1,83 m × 1,83 m (6 pés × 6 pés) e 1,83 m × 1,52 m (5 pés × 6 pés) e lajes menores, com tamanho menor que 1,37 m × 1,37 m (4,5 pés × 4,5 pés) [15].

De acordo com Suresha and Satish [5], pesquisas dos anos 90 usaram técnicas como vassoura mecânica, vassoura mecânica com jato de ar, moagem, cimento e rejantes de baixa densidade e revestimento de aderência por emulsão, para melhorar a ligação entre o concreto e a base asfáltica. Nos estudos, os autores notaram que a seção do pavimento de *whitetopping* com aderência e de resistência tão baixa quanto 0,690 MPa não apresentou desgaste.

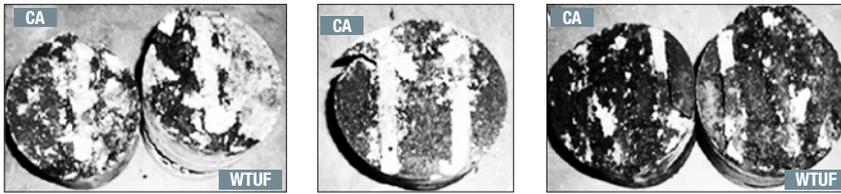
Portanto, eles sugeriram que a superfície asfáltica existente deve ser fresada e limpa antes da colocação do WTUF (Fig. 2). Além do mais, foi enfatizado a necessidade de investigar o papel da resistência ao cisalhamento da interface em relação a possíveis falhas. Um recorte circular na superfície do CA atua como uma chave de cisalhamento (Fig. 3). Isso pode ser criado colocando o colarinho de cisalhamento de dimensão necessária no centro da placa de base do molde Marshall e, subsequentemente, compactando a mistura CA solta (figura 4 a).

Segundo DNER-ME 043/95 [18], o molde Marshall é um molde de compactação de aço, consistido de anéis superior e inferior e de uma placa base. A placa base e o anel superior devem encaixar-se perfeitamente nas extremidades do anel inferior e é utilizada principalmente para determinar a estabilidade e a fluência de



(a) Interface com chave de cisalhamento

(b) Superfície cinzelada



(c) Superfície com sulcos espaçados

► Figura 4

Ensaio sobre os tratamentos superficiais para atestar a ligação entre CA e o WTUF: (a), Colarinho funcionando como chave de cisalhamento; (b), Superfície cinzelada; (c) Superfície com sulcos espaçados

Fonte: adaptado de Suresha and Satish [5]

misturas betuminosas de asfalto que são utilizados na pavimentação de rodovias, estradas e ruas, e podem ser adotados diversos tipos de tratamentos superficiais.

Suresha and Satish [5] compararam alguns tipos de tratamentos e suas respectivas resistências ao cisalhamento. Os tratamentos de interface foram comparados com as de amostras do compósito WTUF-CA com tratamento de superfície plana, no qual o WTUF foi colocado diretamente no asfalto. No primeiro tipo de tratamento de interface (Fig. 4 b), a superfície asfáltica foi cinzelada aleatoriamente. No segundo tipo de tratamento de interface (Fig. 4 c), os corpos de prova compostos foram fornecidos com sulcos. Suas conclusões mostraram que compostos WTUF-CA, sem o tratamento de interface adequado, podem não garantir a ligação entre WTUF e CA e o melhor tratamento de interface para pavimentos WTUF-CA seria sulcos com espaçamento adequado [5].

Segundo o *Indian Roads Congress* [16], a pavimentação por *whitetopping* deve atingir uma resistência à compressão mínima de 40 N/mm² e uma resistência à flexão mínima de 5,0 N/mm². A resistência ou módulo de ruptura

(carregamento do terceiro ponto) do concreto deve ser 4,5 MPa, correspondendo ao grau mínimo do concreto com a resistência à compressão de 40 N / mm² aos 28 dias. No entanto, é preferível ter uma resistência à flexão de 5,0-6,0 MPa. Para isso, as misturas devem ser projetadas de acordo com IRC: 44 [19] ou IS: 10262[20].

A análise via Método dos Elementos Finitos (MEF), conduzida para comparar a tensão na parte inferior da sobreposição para diferentes condições de aderência, demonstrou a importância da ligação das camadas. A Fig. 5 mostra a importância da ligação de interface. Quando a cobertura de concreto e a camada de asfalto são aderidas (Fig. 5 a), a tensão induzida por carga na parte inferior da camada de concreto é menor do que quando as camadas não estão aderidas, como visto na Fig. 5 (b). [17].

Todos os métodos atuais de projeto de WTUF descrevem a razão de tensões totais aplicadas sobre a capacidade do pavimento e dependem do conceito de razão de tensões para determinar a espessura do WTUF. A capacidade do pavimento é calculada

a partir da resistência à flexão (ou seja, módulo de ruptura, MOR) de vigas de concreto representativas, que é determinada pela fórmula elástica (Eq. (1) da ASTM C78. O valor de MOR apresenta o módulo de ruptura do concreto até o aparecimento de fissuras na matriz de concreto. As fibras quando presentes, desempenham um papel significativo e eficaz dentro da matriz do concreto após o aparecimento da fissura inicial durante a fase inelástica [1].

[1]
$MOR = \frac{P_{max} \times L}{b \times d^2}$

Onde:

MOR: módulo elástico para ruptura, MPa ou psi;

P_{max}: carga gravada na primeira quebra, N ou lb;

L: vão da viga, mm ou in;

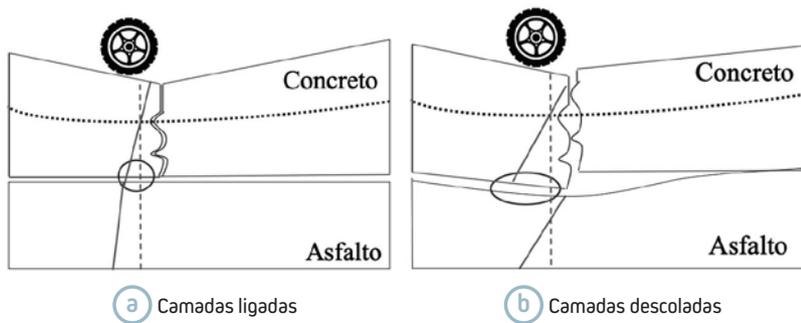
B: largura da viga, mm ou in;

D: altura da viga, mm ou in.

Os quatro fatores de maior influência na implantação do *whitetopping* são: temperatura, idade, tratamento das camadas e tamanho da laje do pavimento [3-6, 11, 17, 21-23].

Independente da espessura da laje, o layout do painel deve ser de 1,83 m x 1,83 m (6 pés x 6 pés). Ao afastar as juntas serradas dos caminhos das rodas, as tensões de carga da roda nas lajes de concreto são reduzidas. Ademais, o aumento das tensões de ondulação devido ao uso deste tamanho de laje em comparação com outras menores parece ser compensado pela redução nas tensões da carga. A espessura não deve ser inferior a 7 cm, sendo recomendado o asfalto com módulo de elasticidade acima de 1.500 MPa como matéria-prima para a cobertura asfáltica. Por fim, a laje WTUF deverá ser limitado entre 1,8 e 1,2 m, enquanto sua espessura de ser mantida entre 7 a 10 cm [11].





► **Figura 5**
Influência da ligação da interface na tensão crítica: (a) camadas ligadas;
(b) as camadas sendo descoladas

Fonte: adaptado de Barman, Vandenbossche [17]

Além do tamanho de laje, matéria prima e juntas já mencionados, a qualidade da base e sua preparação deve ser considerada de forma a adquirir maior atrito e estabilidade entre a base e o *whitotopping*, criando uma estrutura monolítica, sem vazios para não haver acúmulo de tensões e possíveis danos prematuros à estrutura.

3. CONCLUSÕES

Foram expostas as principais técnicas de *whitotopping* que podem reduzir remoção e reconstrução de uma nova pavimentação. Tais métodos já são utilizados países desenvolvidos e podem resultar numa sobrevivência da pavimentação superior a 20 anos, diminuindo a periodicidade da manutenção e se tornando economicamente viável.

No Brasil, mesmo nossa malha viária corresponder a quase 100% do transporte de passageiros e mais de 50% de carga, a normalização do DNIT não aborda técnicas atuais de *whitotopping*, sendo este um método eficiente e rápido na reparação de rodovias.

Problemas no design da preparação da base devem ser minimizado para a criação de uma estrutura monolítica, não criando acúmulos de tensões. Outros fatores, como recalque do solo, capilaridade e possíveis danos sobre os problemas que lavaram fratura da cobertura asfáltica, terão influência no método de WT escolhido, visto que as propriedades físicas da cobertura asfáltica e o concreto são distintas.

Dados mais recentes da literatura indicam que:

- Existem 3 tipos de *whitotopping* que podem ser adotados de acordo com o grau da pavimentação existente;
- A largura dos painéis de lajes deve ser entre 1,2 e 1,8 m [6, 11];
- Ensaios com WTUF utilizaram espessuras de lajes entre 7 e 10 cm [11];
- O WT deve atingir uma resistência à compressão mínima de 40 N/mm² e uma resistência à flexão mínima de 5,0 N/mm² [16];
- O WTUF feito com concreto de alta resistência e fibras é normalmente construído com juntas pouco espaçadas (no intervalo de 0,6 a 1,25 m) [5, 16, 17];
- Compostos WTUF-CA, sem o tratamento de interface adequado, podem não garantir a ligação entre WTUF e CA [11];
- O melhor tratamento de interface para pavimentos WTUF-CA seria com sulcos com espaçamento adequado [12];
- O *whitotopping* ultrafino de 50 mm a 75 mm geralmente não é recomendado para gradientes de temperaturas altas e locais com alto tráfego [16].

AGRADECIMENTOS

A agência de fomento CAPES e a REDEMAT. 🇧🇷

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Suresha, S. and D. Satish, Interface Bond Strength of Ultra-Thin Whitetopping (UTW) and Hot Mix Asphalt (HMA) Composites by Direct Shear. *Journal of Testing and Evaluation*, 2017. 45(6): p. 1999-2008.
- [2] Chen, D.H., et al., Design improvements to enhance the performance of thin and ultra-thin concrete overlays in Texas. *Construction and Building Materials*, 2016. 116: p. 1-14.
- [3] IRC. Guidelines for Conventional and Thin Whitetopping. in *Indian Roads Congress (IRC)*. 2015. New Delhi.
- [4] Lin, D.-F. and H.-Y. Wang, Forensic Investigation of Ultra-Thin Whitetopping Failures in Taiwan. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 2005. 19.
- [5] TÉCNICAS, A.B.D.N., Cimento Portland — Requisitos, 2018. p. 12.
- [6] IRC:SP-76, Tentative Guidelines for Conventional, Thin and Ultra-Thin Whitetopping, in *Indian Roads Congress 2015*: New Delhi, India.
- [7] Barman, M., J.M. Vandenbossche, and Z. Li, Influence of Interface Bond on the Performance of Bonded Concrete Overlays on Asphalt Pavements. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 2017. 143(3): p. 04017008.
- [8] Rodagens, D.N.d.E.d., Misturas Betuminosas a Quente, in *Ensaio Marshall 1995*. p. 11.
- [9] Congress, I.R., Guidelines for Cement Concrete Mix Design for Pavements, in *Third Revision 2017*, India Offset Press: Indian Roads Congress.
- [10] Committee, C.a.C.S., Concrete Mix Proportioning in Guidelines 2009, Bureau of Indian Standards: New Delhi, India.
- [11] Transportes, D.N.d.I.-E.d., Manual de pavimentos rígidos. 2.ed, in 714, IPR, Editor 2005: Rio de Janeiro.