

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

**Reforços delgados em concreto sobre
pavimentos asfálticos existentes**

Carolina de Medeiros Miranda

Marcelo Toshio Otsubo

São Paulo

(2018)

Resumo

O presente trabalho tratou de abordar questões relativas aos tipos de reforços delgados de concreto, conhecidos como: Whitetopping, Whitetopping Delgado e Whitetopping Ultradelado; além dos métodos construtivos, o dimensionamento dos sistemas e as vantagens quando comparados aos revestimentos asfálticos. Para tanto, utilizou-se livros de autores consagrados, normas técnicas e artigos presentes em revistas especializadas. Por meio dessas pesquisas foi possível perceber que existem diferenças significativas entre os três modelos de camadas delgadas, onde destacam-se a espessura das camadas, a aderência entre o concreto e o revestimento asfáltico existente e o espaçamento entre as juntas. Assim, além das diferenças entre as camadas, foi possível notar vantagens significativas em relação recobrimento com material asfáltico, onde destacam-se a questão da durabilidade e do atrito pneu-pavimento, que garante melhor condição de rolamento.

1. Introdução

A qualidade de um pavimento indica e implica em serventia e em baixa irregularidade longitudinal, segundo a AASHTO(1993) serventia é:

[...] habilidade apresentada por um pavimento de servir aos usuários, com conforto e segurança de rolamento, considerando o tráfego misto e as condições climáticas vigentes no momento, na opinião dos usuários.

E, segundo a ASTM E 867-82, irregularidade longitudinal é:

São os desvios da superfície a partir de uma superfície plana original do pavimento, com dimensões características que afetam a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento, a dinâmica das cargas e a drenagem superficial.

No Brasil, de 105.814 km de rodovias pavimentadas avaliadas pela Confederação Nacional de Transportes(CNT) em 2017, 50,0% tiveram seus pavimentos avaliados como regular, ruim ou péssimo. Além da baixa qualidade nas vias interurbanas, as vias urbanas pavimentadas muitas vezes também não propiciam uma qualidade de rolamento básica ou necessária para o tráfego que ocorre.

As causas para essa baixa qualidade variam entre má execução; má qualidade de mão de obra e/ou materiais; erros de projeto; aumento da demanda de veículos, implicando em solicitações acima do dimensionado; falta de manutenção preventiva; entre outros.

Para solucionar esses problemas e adequar as vias a novas cargas e a uma serventia mínima, é preciso reforçar os pavimentos. O texto apresentado a seguir trata sobre um conjunto de possíveis soluções para o caso de pavimentos asfálticos. O *Whitetopping* (WT) e *Whitetopping* ultradelgado (WTUD) são soluções de reabilitação alternativas às soluções usuais de reforço do pavimento asfáltico, que utilizam uma camada de concreto aderida ou não sobre o pavimento antigo. Segundo RASMUSSEN (2004), sua popularidade se deve à uma nova demanda de recuperações mais duradouras, mas ainda assim de bom custo benefício.

O WT não é uma tecnologia nova e foi desenvolvido em 1918 nos EUA, o interesse comercial sobre ele voltou a ser grande nos EUA a partir da metade dos anos 70(SILVA, 2001) e teve enfoque especial em aeroportos (BALBO, 2009). A adesão intencional dos pavimentos de concreto aconteceu em meados da década de 80 na Europa (RASMUSSEN,2004) e a solução WTUD surgiu em meados da década de 90(SILVA, 2001) e teve seu primeiro experimento no Brasil em 1997, na BR-280(BALBO, J. T.; RODOLFO, M. P., 1999?).

2. Reforços delgados em concreto sobre pavimentos asfálticos existentes

2.1. Definições do sistema

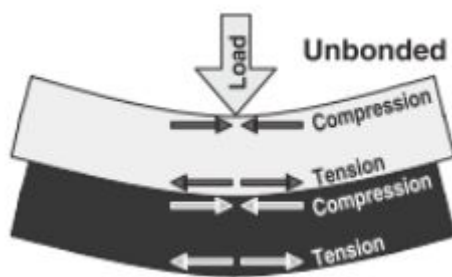
2.1.1. Whitetopping (WT)

Segundo a norma DNIT 068/2004 - ES: “Whitetopping é um pavimento de concreto de cimento portland superposto a um pavimento flexível existente, tendo este último a função de sub-base [...]”. Além disso, geralmente são utilizadas espessuras iguais ou maiores do que 20 centímetros e não há aderência entre as camadas de concreto e asfalto.

Nesse tipo de solução as tensões solicitantes são combatidas pelo próprio concreto, não havendo o uso de armaduras distribuídas. Entretanto, são utilizadas barras de transferência de cargas entre as placas limitadas pelas juntas transversais e longitudinais e armaduras para combater a fissuração por retração.

Diferente da solução WTUD (será visto com detalhes no próximo item), o modelo WT não conta com a aderência entre as camadas de concreto de cimento portland e o concreto asfáltico danificado, com isso a camada de concreto trabalha com as funções de revestimento e base, enquanto que o concreto asfáltico funciona como sub-base do sistema.

Imagem 1: Configuração das solicitações com as camadas não aderidas - solução WT.



Fonte: RASMUSSEN(2004, pg. 6).

Essa solução vem se popularizando devido às péssimas condições das vias do País, sendo que seu emprego se justifica em locais onde as deformações permanentes no pavimento asfáltico são problemas recorrentes. Por esse motivo, empregou-se essa solução, por exemplo, para recuperar o corredor de ônibus da avenida 9 de Julho, na região central de São Paulo.

De modo complementar, Carvalho (*apud* NAKAMURA, 2011), coordenador do núcleo de pavimentação de Cimento Portland (ABCP), apresenta o seguinte argumento:

A solução é vantajosa porque, com o emprego do concreto com funções de revestimento e base, as camadas inferiores ficam sujeitas a esforços muito reduzidos em comparação a um pavimento asfáltico. Isso garante sua preservação e maior durabilidade.

Dessa forma, quando bem dimensionada e executada, a solução WT pode chegar a uma expectativa de vida de até 30 anos com necessidades mínimas de

manutenção, como a troca do selante das juntas uma vez a cada 10 anos (NAKAMURA, 2011).

2.1.2. Whitetopping ultradelgado (WTUD)

O WTUD pode ser definido como uma cobertura de concreto com espessura que varia de 5 a 10 centímetros, com juntas pouco espaçadas e aderido ao pavimento asfáltico existente (GOEL; DAS, 2004).

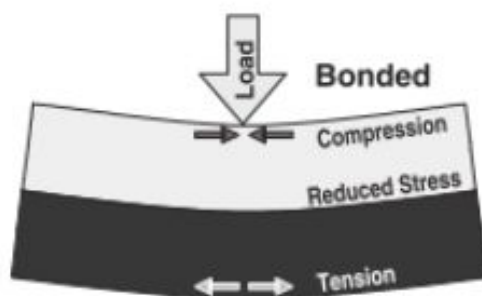
Por apresentar uma camada com espessura inferior ao WT, ele possui uma menor resistência aos esforços de tração e compressão provenientes do tráfego.

Dessa forma, torna-se fundamental o uso do concreto de alta resistência que geralmente está associado ao emprego de fibras no concreto. De modo complementar, essas fibras ainda garantem maior resistência à abrasão e quebra, além da redução da permeabilidade do pavimento.

Em relação à aderência das camadas de concreto de cimento portland (CCP) e concreto asfáltico (CA) ela é geralmente obtida por meio da fresagem da mistura asfáltica, com posterior limpeza para a retirada do pó e de agregados soltos (LEE; BENEDET; FORTES, 2011).

Com isso, a linha neutra é deslocada do meio da camada de concreto em direção ao fundo, o que gera um menor esforço de tração nesta região, de tal forma que o próprio concreto consiga resistir a essas solicitações. Por outro lado, é possível perceber que as tensões máximas ocorrem geralmente no canto e no topo das placas o que, de modo recorrente, leva o concreto ultradelgado a apresentar defeitos de trincas no canto (MACK *et al*, 1998).

Imagem 2: Configuração das solicitações com as camadas aderidas, caso da solução WTUD.



Fonte: RASMUSSEN (2004, pg.6).

Já em relação às juntas, o espaçamento entre elas é feito propositalmente pequeno, pois do contrário o pavimento trabalharia como um elemento rígido convencional. Dessa forma, busca-se um espaçamento que seja suficiente para resistir às solicitações no concreto, de modo que seja usual valores entre 0,6 e 1,5 metros (GOEL; DAS, 2004).

Por fim, a solução WTUD não apresenta uso considerável no País, limitando-se principalmente ao campo de pesquisas para aprimoramento da tecnologia (NAKAMURA, 2011).

Já no cenário internacional, SILVA (2001, pg.14) destaca que essa solução tem sido usada, por exemplo:

[...] na reabilitação de rampas de entrada e saída de estradas interestaduais, rodovias rurais de baixo volume de tráfego, baias de ônibus em ruas, áreas de estacionamento de aeroportos e automóveis.

2.1.3. Whitetopping delgado (WTD)

O WTD pode ser definido como uma camada de concreto portland superposta a uma camada de pavimento flexível existente, que possui espessura variando entre 10 e 20 centímetros, com juntas pouco espaçadas e geralmente com aderência entre as camadas de reforço e o pavimento flexível.

Dessa forma, esse modelo entra em uma classificação intermediária entre o reforço ultradelgado e o convencional, podendo em muitas literaturas ser considerado como um ou o outro, dependendo principalmente da aderência entre as camadas do pavimento.

2.2. Comparação do reforço delgado de concreto e o reforço com asfalto

Dentre as vantagens que são comuns à todos os reforços delgados de concreto citado, temos:

- Aumenta a segurança ao rolamento, devido à texturização do concreto, o que garante maior aderência pneu-pavimento;
- Minimiza formação de poças, também devido à texturização, pois forma-se uma microdrenagem pelas ranhuras do revestimento que

consegue escoar parte da água, o que evita problemas de aquaplanagem;

- Melhor distribuição das cargas, o que aumenta a vida útil e faz com que ela seja superior a 20 anos;
- Concreto resiste melhor a óleos que caem na via;
- Melhor visibilidade para os condutores que trafegam a noite, devido à camada ser mais clara do que o pavimento asfáltico;
- Maior conforto térmico, a camada clara reflete muito a luz o que diminui a temperatura do pavimento e favorece o microclima da região, onde pode ser minimizada a questão de ilhas de calor.

Por sua vez o WT apresenta vantagens associadas à não propagação das fissuras, devido à não aderência com a camada asfáltica existente e a possibilidade de emprego em locais de tráfego pesado.

Já o WTUD apresenta fácil manutenção, devido à cobertura que consiste de pequenas placas e possui um emprego com grande potencial, uma vez que as tensões de tração na camada de concreto são muito reduzidas pelo fato das camadas de concreto e o revestimento antigo estarem aderidas.

2.3. Dimensionamentos

O dimensionamento de WT é semelhante ao dimensionamento usual de um pavimento de concreto e não será tratado neste texto. Já o dimensionamento de WTUD, segundo Balbo e Rodolfo :

Tendo em vista a exigência de aderência plena entre o WTUD e a camada de mistura asfáltica existente não é razoável o emprego de teorias convencionais para o cálculo de tensões para estas placas delgadas de concreto; além desse fato, os WTUD exigem o emprego de concretos de elevada resistência capazes de suportar níveis de tensão geralmente superiores aos pavimentos de concreto tradicionais.

Segundo RASMUSSEN (2004), os modelos utilizados para dimensionar WTUD são de natureza mecânica-empírica, sendo usado o método dos elementos finitos em três dimensões (3D) para considerar a geometria não usual dos WTUD. A ACPA em 1997, desenvolveu um método de dimensionamento de WTUD

inicialmente baseada em 3D, mas por conta de um grande volume de processamento necessário para desenvolver os trabalhos alterou os planos, criando uma forma de se converter as tensões para o 2D.

Em 1998, um trabalho conjunto entre ABCP e LME-EPUSP desenvolveu, com o emprego do programa de elementos finitos FEACONS versão 4.1, um modelo estatístico de tensões para WTUD para placas de dimensões planas de 1,2m, cuja equação está disposta a seguir:

$$\log_{10}^{\sigma_w} = I + X_1 \cdot e_w + X_2 \cdot \log_{10}^Q \quad (1)$$

Em que σ_w é a tensão de tração na flexão de canto em topos da placa de WTUD, e_w a espessura da placa e Q a carga total sobre o eixo de rodas duplas, sendo I, X_1, X_2 as constantes de regressão múltipla para a melhor função encontrada.

Foi então, realizado por Balbo e Pitta uma expansão de tal modelo para uma faixa de juntas entre 0,6m e 1,2m.

Na tabela a seguir são representadas as constantes a serem utilizadas na equação (1) para várias espessuras remanescentes do concreto asfáltico(CA) após sua fresagem.

Tabela 1: Constantes para uso na equação de tensões.

Espessura de CA (m)	k (MPa/m)	I	X ₁	X ₂
0,07	30	0,024820	-6,231075	0,462327
	60	0,008586	-5,789584	0,446956
	90	0,015457	-5,520703	0,426781
	120	0,023645	-5,378814	0,412213
	150	0,029726	-5,178959	0,397300
	180	0,035303	-5,120979	0,387623
0,08	200	0,035823	-5,047217	0,381851
	30	-0,088997	-5,514213	0,468917
	60	-0,076598	-5,244558	0,446388
	90	-0,076024	-5,001487	0,4313349
	120	-0,071549	-4,837353	0,418613
	150	-0,061891	-4,738900	0,405714
0,09	180	-0,063641	-4,644628	0,399173
	200	-0,053714	-4,540121	0,387677
	30	-0,191848	-4,908032	0,474510
	60	-0,172026	-4,790005	0,454847
	90	-0,160687	-4,586312	0,436733
	120	-0,166944	-4,360725	0,427317
0,10	150	-0,155392	-4,307448	0,415500
	180	-0,147842	-4,192171	0,403758
	200	-0,142022	-4,156120	0,397578
	30	-0,271880	-4,407561	0,472716
	60	-0,266092	-4,259487	0,459712
	90	-0,249722	-4,164994	0,444047
0,11	120	-0,241413	-4,026299	0,430537
	150	-0,234525	-3,947564	0,420810
	180	-0,242902	-3,871266	0,418526
	200	-0,221639	-3,805094	0,403570
	30	-0,350883	-4,002271	0,474847
	60	-0,337178	-3,932713	0,461068
0,12	90	-0,346685	-3,835554	0,458646
	120	-0,331815	-3,701668	0,442883
	150	-0,308358	-3,602103	0,424165
	180	-0,302876	-3,542466	0,416461
	200	-0,305207	-3,490703	0,413964
	30	-0,427128	-3,708646	0,480530
0,12	60	-0,418931	-3,569332	0,467474
	90	-0,402576	-3,514176	0,454205
	120	-0,391515	-3,468629	0,443637
	150	-0,388613	-3,339188	0,434909
	180	-0,368314	-3,333692	0,421764
	200	-0,365914	-3,267390	0,416329

Fonte: BALBO, J. T.; PITTA, M. R. (1999?, P.6).

2.4. Métodos Construtivos

Ambos os sistemas apresentados possuem métodos construtivos que são bastante semelhantes, onde inicialmente deve ser feito um estudo sobre os defeitos no pavimento flexível existente. A tabela 2 sintetiza as ações que devem ser tomadas no caso do WT de acordo com o tipo de defeito do pavimento.

Tabela 2: Tipos de defeitos e preparos prévios para a solução WT.

Tipos de Defeito	Preparo Prévio
trilha de roda <5cm	nenhum
trilha de roda >5cm	fresagem e nivelamento
panela	enchimento
falhas de subleito	remoção e reparação
trincas em geral	nenhum
deformação plástica excessiva	fresagem
exsudação	nenhum
desagregação superficial	limpeza

Fonte: PITTA (1997).

Vale ressaltar que esses preparos prévios são o suficiente para a execução do WT, pois essa camada de reforço não se configura como um elemento aderido ao pavimento flexível existente e pode ser executada sem outras medidas adicionais.

Assim, o WT pode ser construído diretamente sobre a camada do pavimento, após um processo de fresagem ou, na pior situação, sobre uma camada de nivelamento de 2,5 a 5 centímetros de espessura geralmente com CBUQ (SILVA, 2001. pg.10).

Entretanto no caso de modelos aderidos, além dos cuidados apresentados acima é necessário corrigir defeitos estruturais provenientes, por exemplo, de fissuras e painéis, pois como as camadas são aderidas isso pode levar a uma propagação de fissuras, o que não ocorre no WT (RASMUSSEN, 2004).

Soma-se a isso que é fundamental o emprego de fresagem, seguida pela limpeza superficial com jato d'água - para a retirada do pó e dos agregados soltos - e a secagem da superfície do pavimento. É importante destacar que a concretagem deve ser feita após essa limpeza, pois boa parte dos agregados do pavimento flexível fica exposto o que favorece a aderência das camadas.

Uma das questões que devem ser levadas em consideração quando se pensa no uso da cobertura de concreto é em relação à elevação do greide da pista. Dessa forma, uma das técnicas utilizadas na prática para evitar esse problema é a "construção encaixada" (*inlay*), onde é feita a fresagem do pavimento existente até

uma cota que garanta a espessura da cobertura de concreto e resulte na não elevação do greide do pavimento (NAKAMURA, 2011).

Outro cuidado importante tem relação com a temperatura do revestimento asfáltico, se ela for superior a 43°C (110°F) na etapa de concretagem é necessário o uso de medidas para reduzir a sua temperatura e minimizar a retração volumétrica do concreto. Assim, temos:

- a) para coberturas de concreto que não serão aderidas, ou seja, para WT e alguns casos de WTD, recomenda-se a pintura da superfície do pavimento (*whitewash*) com produtos químicos que levem a formação de uma película plástica (SILVA, 2001. pg.11).
- b) para coberturas de concreto que serão aderidas, ou seja, para os casos de WTUD e alguns casos de WTD, recomenda-se umedecer a superfície do pavimento com jatos de vapor d'água sem que ocorra a formação de poças (RASMUSSEN, 2004. pg.23).

Posteriormente a essas etapas é feito o posicionamento das linhas guias que servirão como um sistema de referência para as vibroacabadoras de formas deslizantes (obras de grande porte) ou para as réguas vibratórias com o uso de formas fixas (obras de médio ou pequeno porte).

Com isso, é feita a concretagem, seguida do espalhamento e da vibração do concreto. Posteriormente posicionam-se as barras de transferência para as coberturas do tipo WT - no caso da camada WTUD não há necessidade do emprego. Dessa forma, faz-se o acabamento e a texturização superficial, este que leva a uma maior aderência pneu-pavimento e proporciona uma microdrenagem superficial, o que minimiza a formação de poças d'água e o efeito de aquaplanagem dos veículos.

Após esse processo é necessário esperar o período de cura de alguns dias. Entretanto, em casos especiais onde a liberação da via deve ser feita em curto período de tempo, pode ser empregada a tecnologia *fast track*, ou seja, o uso de concreto com alta resistência inicial, que permite a liberação ao tráfego em um período de 24 a 36 horas após a concretagem (SILVA, 2001. pg. 11).

Outra ressalva que se faz quanto ao período de cura do concreto é em relação às coberturas de pequena espessura, uma vez que há uma grande área

superficial em comparação ao volume da placa, pode ocorrer uma perda demasiada de água por evaporação. Por esse motivo, recomenda-se o uso do dobro da quantidade normal dos componentes de cura em pavimentos concreto, no whitetopping ultradelgado (RASMUSSEN, 2004.pg.17).

Por fim é necessário fazer o corte adequado das juntas transversais e longitudinais, selagem das juntas, de modo que:

- a) Whitetopping convencional - A serragem das juntas é feita com o concreto semi-endurecido até uma profundidade de $\frac{1}{3}$ da espessura da cobertura de concreto. A selagem pode ser feita com material flexível que impeça a entrada de água e outros componentes pelas juntas. Em relação ao espaçamento entre as juntas ela pode ser determinada como 25 vezes a espessura da camada de concreto (PITTA, 1997);
- b) Whitetopping ultradelgado - A serragem das juntas deve ser feita o mais rápido possível, com o uso de serras leves. Por sua vez a profundidade de corte deve ser de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ da espessura da camada de concreto (MACK *et al.*, 1998) . Nesse tipo de pavimentação muitas vezes não é utilizado material selante, uma vez que os painéis são muito compactos, não tendo grandes benefícios com o seu emprego. O espaçamento das juntas por sua vez pode ser estimada como um valor de 12 a 15 vezes a espessura da camada WTUD.

3. Considerações Finais

Neste projeto, buscou-se inicialmente fazer uma análise dos problemas de serventia recorrentes nas vias brasileiras e mostrar um pouco a necessidade de buscar soluções alternativas em relação aos modelos tradicionais de reabilitação de pavimentos, ou seja, do recobrimento com material asfáltico. Nesse sentido, o uso de reforços delgados de concreto vem apresentando resultados bastante satisfatórios.

Dessa forma, foram apresentadas as soluções whitetopping nos modelos convencional, delgado e ultradelgado, de modo a caracterizá-los e mostrar sua

importância, bem como as formas de dimensionamento e os métodos construtivos dos sistemas.

Quanto ao uso dessas soluções é possível observar um largo emprego da cobertura whitetopping convencional, em especial em locais de tráfego pesado, como em corredores de ônibus e um uso limitado das soluções delgadas e ultradelgadas, que estão ainda em fase de aperfeiçoamento da tecnologia no Brasil e com seu uso voltado para vias com tráfego mais leve.

Em relação às vantagens desses sistemas, quando comparados com pavimentos flexíveis comuns, podemos destacar questões voltadas para a elevada vida útil e a melhor distribuição de cargas, o que evita problemas de deformações permanentes. Além disso, ocorre uma maior aderência do contato pneu-pavimento e uma microdrenagem garantida pela texturização do concreto, o que reduz efeitos de aquaplanagem e garante maior segurança para os usuários da via.

Como uma sugestão para futuras pesquisas, podemos destacar a questão da transição do revestimento de concreto de uma obra localizada de reabilitação e a junção dessa camada com pavimentos flexíveis, que podem levar a eventuais problemas estruturais e funcionais.

4. Referências Bibliográficas

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto**. Oficina de Textos, São Paulo, 2009 472 pgs ISBN 978-85-86238-90-1 eISBN978- 97-8857-975-1

BALBO, J. T.; PITTA, M. R. **Resultados de Recentes Pesquisas sobre Whitetopping Ultradelgado no Brasil**. São Paulo: USP, [1999?]

BALBO, J. T.; RODOLFO, M. P. **Concrete requirements for ultra-thin concrete overlays (whitetopping) for flexible pavements**. São Paulo: USP, [1999?]

BRAZ, D. *et al.* **Study of the concrete overlay (whitetopping) in paving using computed tomographic system**. Artigo publicado na *Science Direct*. 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT 068/2004. **Pavimento Rígido - Execução da camada superposta de concreto do tipo whitetopping por meio mecânico - Especificação de serviço**. 2004.

GOEL, A.; DAS, A. **Ultra-thin concrete overlays**. Artigo publicado na *Conference Paper*. 2004.

LEE, M.G.; BENEDET, S.B; FORTES, R.M; **Estudo da aderência entre placa de concreto e pavimento asfáltico**. In: Congresso de Infraestrutura de transportes (CONINFRA), 5., 2011, São Paulo.

LI, X.; WEN, H. **Performance Evaluation of Whitetopping and Ultrathin Whitetopping pavements**. In: *Transportation research record journal of the Transportation Research Board*. 2001.

MACK, J.W.; HAWBAKER, L.D.; COLE, L.W. **Ultra-thin whitetopping (UTW): the state-of-the-practice for the thin concrete overlays of asphalt**. In: *Transportation Research Board Annual Meeting, paper n.980445*, Washington, D.C., 1998.

NAKAMURA, J. **Whitettopping: para reabilitar pavimentos**. In: *Revista infraestrutura urbana 17 - PINI edição 13*. 2011

PITTA, M. R., **Whitetopping - A inversão de um conceito**. Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, boletim técnico n. 156.1997

RASMUSSEN, O.R.; **Thin and ultra-thin whitetopping: A synthesis of highway practice**. In: *Nacional Cooperative Highway Research Program - NCHRP*. Washington, D.C. 2004.

RYU, S.W. *et al.* **Continuously reinforced bonded concrete overlay of distressed jointed plain concrete pavements**. In: *Construction and Building Materials*. 2012.

SILVA, P.D.E.A. **Estudo do reforço de concreto de cimento portland (whitetopping) na pista circular experimental do instituto de pesquisas rodoviárias**. Tese de doutorado em Engenharia Civil – Escola de Engenharia da universidade federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2001.