

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JACKSON NERY JUNIOR

**RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS COM A
UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA WHITETOPPING**

LAGES/SC

2020

JACKSON NERY JUNIOR

**RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS COM A
UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA WHITETOPPING**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Centro Universitário
UNIFACVEST, como requisito parcial para
a obtenção do título de graduado em
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor MSc. Aldori Batista
dos Anjos

LAGES/SC

2020

JACKSON NERY JUNIOR

**RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS COM A
UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA WHITETOPPING**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Centro Universitário
UNIFACVEST, como requisito parcial para
a obtenção do título de graduado em
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor MSc. Aldori Batista
dos Anjos

Aprovado em: ____/____/____.

Nota: ____.

Prof.

(Orientador)

Prof.

(Examinador)

Prof.

(Examinador)

LAGES/SC

2020

RESUMO

Tendo em vista que a qualidade de vida também está relacionada a boas condições nas vias de transporte e que o número de veículos circulando aumenta cada vez mais, é de enorme importância uma boa manutenção dos pavimentos. O presente trabalho tem como objetivo principal o estudo dos defeitos que ocorrem nos pavimentos rígidos e as técnicas de manutenção adequadas. Para isso são expostos conceitos sobre pavimentos, focando nos pavimentos rígidos, defeitos que ocorrem nos pavimentos rígidos e suas classificações, além das técnicas de manutenção adequadas para cada defeito. As noções aqui expostas foram baseadas principalmente nas normas do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) e em bibliografias especializadas.

Palavras-chave: Pavimento rígido. Defeitos. Manutenção.

ABSTRACT

As the quality of life is also available under good conditions on the roads and the number of vehicles in circulation is increasing, good road maintenance is of utmost importance. The present work has as main objective the study of defects that occur in hard pavements and their maintenance techniques. For this, concepts about pavements are exposed, focusing on hard pavements, defects that occur in hard pavements and their skills, as well as the maintenance techniques required for each defect. The notions presented here were the main standards of the DNIT (National Department of Transport Infrastructure) and the bibliographies used.

Keywords: Hard pavement. Defects. Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pavimento Rígido e suas camadas.....	13
Figura 2 - Cargas das rodas dos veículos.....	20
Figura 3 - Whitetopping lançado pavimento já existente	21
Figura 4 - Whitetopping pavimento de concreto de cor cinza claro.....	30
Figura 5 - Execução da obra (1).....	31
Figura 6 - Execução da obra (2).....	31
Figura 7 - Execução da obra (3).....	32
Figura 8 - Execução da obra (4).....	32
Figura 9 - Execução da obra (5).....	32
Figura 10 - Execução da obra (6).....	32
Figura 11 - Execução da obra (7).....	33
Figura 12 - Execução da obra (8).....	33
Figura 13 - Circulação de veiculos.....	34
Figura 14 – Pavimento em serviço.....	34
Figura 15 - Placa.....	35
Figura 16 - Placa dividida sub-base irregular.....	35
Figura 17 - Buracos.....	36
Figura 18 - Assentamento.....	36
Figura 19 - Deterioração de reparos.....	36
Figura 20 - Corte pavimento para reparo.....	37
Figura 21 - Fissuras.....	37
Figura 22 - Perfuração.....	38
Figura 23 - Preparo para colocação das barras.....	38
Figura 24 - Preparo para colocação da malha.....	38

Figura 25 - Malha metálica.....	38
Figura 26 - Concreto colocado.....	39
Figura 27 - Cura química.....	39
Figura 28 - SLUMP TEST.....	40
Figura 29 - SLUMP TEST.....	41

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
2	JUSTIFICATIVA	10
3	PROBLEMA A SER PESQUISADO	11
4	OBJTIVO GERAL	11
5	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
6	HIPÓTESE.....	12
7	METODOLOGIA.....	12
8	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
8.1	TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	12
8.2	CONCRETO SIMPLES DE CIMENTO PORTLAND	12
8.3	WHITETOPPING.....	19
9	MÉTODO EXECUTIVO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	244
9.1	CONCRETO SIMPLES DE CIMENTO PORTLAND	24
10	VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA	26
10.1	DURABILIDADE DA PAVIMENTAÇÃO	26
10.2	ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	26
10.3	SEGURANÇA NAS ESTRADAS.....	27
10.4	ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL.....	27
10.5	MEIO AMBIENTE	28
10.6	CUSTO INICIAL E FINAL	28
10.7	CUSTO SOCIAL	29
11	MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO RÍGIDO COM A UTILIZAÇÃO DE WHITETOPPING.....	34
11.1	MÉTODO EXECUTIVO DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO	34
11.2	DETERMINAÇÃO DO CONCRETO A SER UTILIZADO	40
12	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

Entende-se por pavimento a estrutura construída sobre um terreno de fundação (subleito), a qual deverá resistir à ação das cargas de roda dos veículos e às ações do tempo (variação térmica e higrométrica). O pavimento é composto de várias camadas, com finalidades específicas, as quais podem ser: Camada de Revestimento (CR), de Base (B), de Sub-base (SB) e Reforço de Subleito (Ref.) (SILVA, 2005)

Pavimentar significa revestir um piso ou chão com uma cobertura. No âmbito da engenharia, pavimentação constitui uma base horizontal composta por uma ou mais camadas sobrepostas, elevando sua durabilidade e facilitando o fluxo de veículos e pessoas. Conceituação parecida é utilizada para se referir especificamente à pavimentação asfáltica. Trata-se da mesma definição utilizada pelos engenheiros, mas observando as propriedades de resistência ao tráfego contínuo, proporcionando condições ideais ao rolamento (SENÇO, 1997).

Como estrutura, o pavimento deve ser elaborado levando em conta variáveis como a base do terreno, fluxo esperado, clima e outras pertinentes. Devem ser considerados, ainda, possíveis impactos causados por intempéries e a natural deterioração da superfície. Embora seja comum relacionar pavimentação a asfalto, o termo também designa os tipos de cobertura de chão para pedestres, como calçamento, e pisos interiores (SILVA, 2005).

Os pavimentos rígidos são aqueles cuja base é o concreto/cimento, pouco deformáveis e são indicados para vias em que haja tráfego pesado. Caracterizam-se por oferecer resistência às cargas empregadas, não cedendo a pressões externas, absorvendo quase toda a tensão. Apresentam pouca ou nenhuma deformação (SENÇO, 1997).

O pavimento Semi-Rígido é aquele em que a camada de revestimento é de asfalto, a base é material cimentício e a sub-base é de material granular ou solo. A resistência à compressão axial mínima da base Cimentada deverá ser de 4,6 MPa, conforme estudos realizados no Texas. Caso contrário poderemos ter ruptura precoce do topo da base à compressão. A tensão especial deverá ser dada na dosagem e execução da base cimentada, a fim de minimizar a formação de trincas transversais de retração hidráulica, bem como sua reflexão na camada asfáltica (SILVA, 2005).

São uma modalidade intermediária entre pavimentos rígidos e flexíveis, já que sua base de cimento é recoberta de asfalto. Da mesma forma, apresenta propriedades intermediárias em relação à resistência, deformação e absorção das tensões (SENÇO, 1997).

A manutenção de rodovias consiste na manutenção de rotina, realizada diariamente e em manutenção especial, realizada por intervalos adequados com equipes treinadas especialmente - quanto melhor a manutenção de rotina, menos geralmente, a manutenção especial. As operações de manutenção de rotina consistem principalmente em rachaduras e juntas de vedação contra a infiltração de sujeira e água e a manutenção dessa vedação (SILVA, 2005).

As operações variam de acordo com os tipos de juntas e condições climáticas e de subleito. Procedimento de manutenção para juntas de expansão preenchidas com material sem extrusão e extrusão, juntas de contração, juntas de construção e rachaduras, os itens de manutenção especial são cobertos em detalhes consideráveis, pois geralmente requerem mais supervisão de engenharia. A melhor maneira de remendar os pavimentos de concreto é porque, quando feito corretamente, as manchas são integradas ao pavimento e não inferiores à laje original. Procedimento e métodos de construção (SENÇO, 1997).

Diante do que foi exposto, tem-se que o objetivo deste estudo é realizar uma abordagem bibliográfica acerca dos pavimentos rígidos, bem como dos principais procedimentos de manutenção inerentes aos mesmos. Para tanto, será realizado um estudo bibliográfico, de caráter qualitativo e descritivo, onde buscou-se por materiais que abordassem o assunto dentro da abordagem aqui proposta.

2 JUSTIFICATIVA

Diversos fatores têm feito com que cada vez mais veículos circulem nas vias, exigindo cada vez mais esforços dos pavimentos. Por isso é de suma importância manter os pavimentos em bom estado, afim de preservar ao máximo suas características de projeto, aumentando o tempo de vida da estrutura.

A escolha do tema se justifica pela falta de recuperação e manutenção visível

em alguns trechos de vias de pavimentos rígidos. O reconhecimento dos defeitos existentes na pavimentação é parte essencial para o processo de escolha da técnica de recuperação e manutenção adequada.

O foco principal do trabalho é apresentar método de recuperação de pavimentos rígidos com a utilização da tecnologia whitetopping, discutindo ainda possíveis soluções, visando tratar o tema de forma simples, reforçando a importância de uma boa recuperação e manutenção das vias afim de aumentar a qualidade de vida dos ocupantes.

3 PROBLEMA A SER PESQUISADO

O presente trabalho tem como finalidade realizar uma revisão bibliográfica sobre os defeitos de pavimentos rígidos e técnica de recuperação e manutenção. Analisando uma abordagem geral sobre as técnicas de recuperação e manutenção em pavimentos, quais são os principais defeitos ocorrentes em pavimentos do tipo rígido, e a aplicação método de recuperação de pavimentos rígidos com a utilização da tecnologia whitetopping.

4 OBJTIVO GERAL

Aprofundar o conhecimento sobre tecnologia whitetopping e defeitos ocorrentes em pavimentos rígidos e suas técnicas de recuperação e manutenção, estudando todo o processo de reconhecimento de cada defeito para posterior aplicação do método de reparo.

5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar as normas do DNIT e bibliografias especializadas em pavimentos rígidos;
- Reconhecer dos defeitos que ocorrem nos pavimentos rígidos;
- Analisar quando são necessários reparos parciais ou totais nas placas;
- Identificar técnicas recuperação e de manutenção para pavimentos rígidos;

- Emprego da tecnologia whitetopping.

6 HIPÓTESE

Com base nos estudos teóricos e analisando como a tecnologia whitetopping na manutenção de pavimentos rígidos é empregada atualmente foi possível chegar a seguinte hipótese: Com o reconhecimento dos defeitos para posterior aplicação da técnica de recuperação e de manutenção é possível se garantir a tarefa de aumentar a vida útil dos pavimentos rígidos.

7 METODOLOGIA

Para se chegar aos objetivos propostos, esse trabalho teve seu desenvolvimento baseado em uma revisão bibliográfica focada principalmente nas normas do DNIT referentes a pavimentos rígidos e também em bibliografias especializadas, artigos, monografias, boletins técnicos, e publicações de revistas.

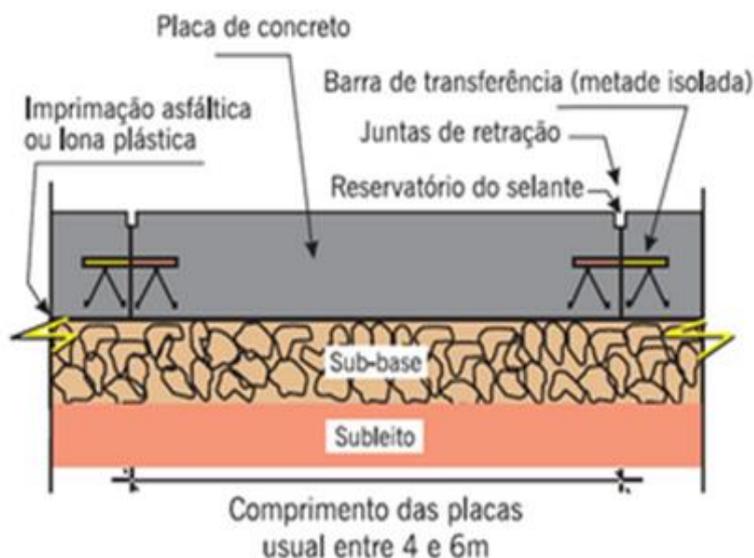
8 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

8.1 TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

8.2 CONCRETO SIMPLES DE CIMENTO PORTLAND

Os pavimentos de concreto de cimento Portland (PCC) (ou pavimentos rígidos) consistem em uma laje de PCC que geralmente é suportada por uma base granular ou estabilizada e uma sub-base. Em alguns casos, a laje de PCC pode ser revestida com uma camada de concreto asfáltico (MESQUITA, 2001).

Figura 1: Pavimento Rígido e suas camadas.



Fonte: Bernucci, 2010.

O concreto de cimento Portland é produzido em uma planta central e transportado para o local da obra em misturadores de trânsito ou em lotes diretamente nos misturadores de caminhão e depois misturados no local do projeto. Em ambos os casos, o PCC é então despejado, espalhado, nivelado e consolidado, geralmente usando equipamento de pavimentação de concreto (IBRACON, 2010).

Os componentes básicos do PCC incluem agregado grosso (pedra britada ou cascalho), agregado fino (geralmente areia natural), cimento Portland e água. O agregado funciona como um material de enchimento, que é unido pela pasta de cimento Portland endurecida, formada por reações químicas (hidratação) entre o cimento Portland e a água. Além desses componentes básicos, materiais cimentícios suplementares e aditivos químicos são frequentemente usados para aprimorar ou modificar as propriedades do concreto fresco ou endurecido (NETO, 2011).

Os agregados grossos e finos utilizados no PCC compreendem cerca de 80 a 85 por cento da mistura em massa (60 a 75 por cento da mistura em volume). Classificação agregada adequada, resistência, durabilidade, resistência, forma e

propriedades químicas são necessárias para a resistência e o desempenho da mistura de concreto (OLIVEIRA, 2000).

Os cimentos Portland são cimentos hidráulicos que endurecem e reagem reagindo com a água, através da hidratação, para formar uma massa de pedra. O cimento Portland compõe tipicamente cerca de 15% da mistura de PCC em peso. O cimento Portland é fabricado por britagem, moagem e mistura de matérias-primas selecionadas, contendo proporções apropriadas de cal, ferro, sílica e alumina. A maioria das partículas de cimento Portland tem menos de 0,045 mm (peneira nº 325) de diâmetro (FORTES, 1999).

O cimento Portland combinado com a água forma o componente de pasta de cimento da mistura de concreto. A pasta normalmente constitui cerca de 25 a 40% do volume total do concreto. O ar também é um componente da pasta de cimento, ocupando de 1 a 3 por cento do volume total de concreto, até 8 por cento (5 a 8 por cento típico) no concreto arrastado por ar. Em termos de volume absoluto, os materiais de cimentação representam entre 7 e 15 por cento da mistura, e a água representa 14 a 21 por cento (PEREIRA; PURETZ; NUNES; JESUS; PULIDO, 2015).

Às vezes, materiais cimentícios suplementares são usados para modificar ou aprimorar as propriedades de cimento ou concreto. Eles normalmente incluem materiais pozolânicos ou autocimentantes. Materiais pozolânicos são materiais compostos de silício amorfo ou silício e aluminoso em uma forma finamente dividida (em pó), semelhante em tamanho às partículas de cimento Portland, que, na presença de água, reagem com um ativador, normalmente hidróxido de cálcio e álcalis, formar compostos com propriedades cimentícias. Materiais autocercantes são materiais que reagem com a água para formar produtos de hidratação sem nenhum ativador (DNIT, 2005).

Materiais cimentícios suplementares podem afetar a trabalhabilidade, o calor liberado durante a hidratação, a taxa de ganho de força, a estrutura dos poros e a permeabilidade da pasta de cimento endurecida. As cinzas volantes de carvão que são produzidas durante a combustão de carvões betuminosos exibem propriedades pozolânicas. A fumaça de sílica também é um material pozolânico que consiste quase inteiramente (85% ou mais) de partículas muito finas (100 vezes menores que o cimento Portland) que são altamente reativas (PITTA, 2020).

As cinzas volantes de carvão produzidas durante a combustão do carvão subbituminoso exibem propriedades de autocimentação (não são necessários ativadores adicionais, como hidróxido de cálcio). Da mesma forma, a escória granulada do alto-forno moída reage com a água para formar produtos de hidratação que fornecem à escória propriedades cimentícias. As cinzas volantes de carvão e as escórias granuladas do alto forno podem ser misturadas com cimento Portland antes da produção de concreto ou adicionadas separadamente a uma mistura de concreto (mistura). A sílica ativa é usada exclusivamente como uma mistura (KALLOUSH; RODEZNO, 2011).

Uma mistura é um material, que não seja cimento Portland, água e agregado, usado no concreto quando misturado para modificar as propriedades do concreto fresco ou endurecido. As misturas químicas se enquadram em três categorias básicas. Eles incluem agentes redutores de água, agentes de retenção de ar e agentes de presa (DNIT, 2006).

Agentes redutores de água são produtos químicos usados para reduzir a quantidade de água que precisa ser adicionada à mistura, produzindo ao mesmo tempo uma força e trabalhabilidade equivalentes ou aprimoradas. O arrastamento de ar aumenta a resistência do concreto à desintegração quando exposto ao congelamento e descongelamento, aumenta a resistência à descamação (desintegração da superfície) resultante de produtos químicos de degelo, aumenta a resistência ao ataque de sulfato e reduz a permeabilidade. A entrada de ar pode ser realizada adicionando-se uma mistura de entrada de ar durante a mistura. Existem numerosos aditivos comerciais de retenção de ar fabricados (PITTA, 1989).

Agentes de endurecimento podem ser utilizados para retardar ou acelerar a taxa de endurecimento do concreto. Às vezes, retardadores são usados para compensar o efeito acelerador do clima quente ou para atrasar o conjunto quando a colocação do concreto pode ser difícil. Os aceleradores são usados quando é desejável ganhar força o mais rápido possível para suportar as cargas de projeto. O cloreto de cálcio é um material ativo mais usado como acelerador (CARVALHO, 2008).

Como os agregados usados em misturas de concreto compreendem aproximadamente 80 a 85% da mistura de concreto em massa (60 a 75% da mistura de concreto em volume), os materiais agregados utilizados têm uma profunda

influência nas propriedades e desempenho da mistura, tanto nos estados plásticos e endurecidos. A seguir, com os conhecimentos de Pitta (1996) e Carvalho (2012), tem-se uma lista e um breve comentário sobre algumas das propriedades mais importantes para agregados usados em misturas de pavimentação de concreto:

- Gradação - a distribuição de tamanho das partículas agregadas afeta as proporções relativas, materiais de cimentação e necessidades de água, trabalhabilidade, bombeabilidade, economia, porosidade, retração e durabilidade. A distribuição de tamanho das partículas agregadas deve ser uma combinação de tamanhos que resulta em um mínimo de espaços vazios.
- Absorção - a condição de absorção e umidade da superfície dos agregados deve ser determinada para que o conteúdo líquido de água do concreto possa ser controlado.
- Forma das partículas e textura da superfície - a forma das partículas e a textura da superfície dos agregados grossos e finos têm uma influência significativa nas propriedades do concreto plástico. Partículas ásperas, texturizadas, angulares ou alongadas requerem mais água para produzir concreto viável do que agregados lisos, arredondados e compactos e, como resultado, esses agregados exigem mais materiais de cimentação para manter a mesma proporção água-cimento. Agregados angulares ou pouco graduados podem resultar na produção de concreto mais difícil de bombear e também mais difícil de terminar. A resistência do concreto endurecido geralmente aumenta com o aumento da angularidade agregada grossa, e as partículas agregadas grossas planas ou alongadas devem ser evitadas. As partículas agregadas finas arredondadas são mais desejáveis devido ao seu efeito positivo na trabalhabilidade do concreto plástico.
- Resistência à abrasão - a resistência à abrasão de um agregado é frequentemente usada como um índice geral de sua qualidade.
- Durabilidade - a resistência ao congelamento e degelo é necessária para agregados de concreto e está relacionada à porosidade, absorção, permeabilidade e estrutura dos poros do agregado.
- Materiais deletérios - os agregados devem estar livres de materiais potencialmente deletérios, como pedaços de argila, folhelhos ou outras

partículas friáveis e outros materiais que possam afetar sua estabilidade química, resistência a intempéries ou estabilidade volumétrica.

- Resistência às partículas - para pavimentos de concreto normais, a resistência agregada raramente é testada. Geralmente é muito maior do que e, portanto, não é um parâmetro tão crítico quanto a resistência da pasta ou a ligação de agregado de pasta. A resistência das partículas é um fator importante em misturas de concreto de alta resistência.

Embora compreenda entre apenas 7 a 15% do volume absoluto da mistura de concreto, é a pasta endurecida que é formada pela hidratação do cimento após a adição de água que une as partículas agregadas para formar uma massa semelhante a uma pedra. Portanto, as propriedades do concreto no estado plástico e endurecido são grandemente influenciadas pelas propriedades do material de cimentação, que pode consistir apenas no cimento Portland ou em misturas de cimento Portland com materiais cimentícios suplementares. De acordo com Senço (1997) e Silva (2005), algumas das propriedades mais importantes do ligante de cimento incluem:

- Composição química - as diferenças na composição química, particularmente com materiais cimentícios suplementares que podem ser menos uniformes que o cimento Portland, podem afetar as forças iniciais e finais, o calor liberado, o tempo de endurecimento e a resistência a materiais prejudiciais.
- Finura - a finura do cimento ou de materiais cimentícios suplementares afeta a liberação de calor e a taxa de hidratação. Materiais mais finos reagem mais rapidamente, com um aumento correspondente no desenvolvimento inicial de força, principalmente durante os primeiros 7 dias. A finura também influencia a trabalhabilidade, pois quanto mais fino o material, maior a área da superfície e a resistência ao atrito do concreto plástico.
- Solidez - refere-se à capacidade da pasta de cimento em reter seu volume após a endurecimento e está relacionada à presença de quantidades excessivas de cal ou magnésia livre no cimento ou em material cimentício suplementar.
- Tempo de endurecimento - o tempo de endurecimento para a pasta de cimento é uma indicação da taxa na qual as reações de hidratação estão ocorrendo e a resistência está se desenvolvendo e pode ser usado como um indicador para

determinar se a pasta está passando ou não por reações de hidratação normais.

- Conjunto falso - o conjunto falso ou o endurecimento precoce da pasta de cimento são indicados por uma perda significativa de plasticidade sem a evolução do calor logo após a mistura do concreto.
- Resistência à compressão - a resistência à compressão é influenciada pela composição e finura do cimento. As resistências à compressão para diferentes cimentos ou misturas de cimento são estabelecidas por testes de resistência à compressão de cubos de argamassa preparados usando uma areia graduada padrão.
- Gravidade específica - a gravidade específica não é uma indicação da qualidade do cimento, mas é necessária para os cálculos do projeto da mistura de concreto. A gravidade específica do cimento Portland é de aproximadamente 3,15.

As proporções de mistura para misturas de pavimentação de concreto são determinadas em laboratório durante os testes de projeto da mistura. Isso envolve a determinação das características ideais da mistura nos estados plástico e endurecido, para garantir que a mistura possa ser colocada e consolidada adequadamente, finalizada com a textura e suavidade necessárias, e terá as propriedades desejadas necessárias para o desempenho do pavimento. Para a Canadian Cement Association (2000) e Calda (2007), as misturas de pavimentação de concreto adequadamente projetadas, colocadas e curadas devem ser avaliadas pelas seguintes propriedades:

- Queda - queda é uma indicação da consistência relativa do concreto plástico. O concreto de consistência plástica não desmorona, mas flui lentamente, sem segregação.
- Trabalhabilidade - trabalhabilidade é uma medida da facilidade de colocação, consolidação e acabamento de concreto recém-misturado. O concreto deve ser viável, mas não segregado ou sangrar excessivamente.
- Tempo de endurecimento - é importante o conhecimento da taxa de reação entre os materiais cimentados e a água (hidratação) para determinar o tempo de endurecimento e o endurecimento. Os tempos de endurecimento das misturas de concreto não se correlacionam diretamente com os tempos de

endurecimento da pasta de cimento devido à perda de água e às diferenças de temperatura.

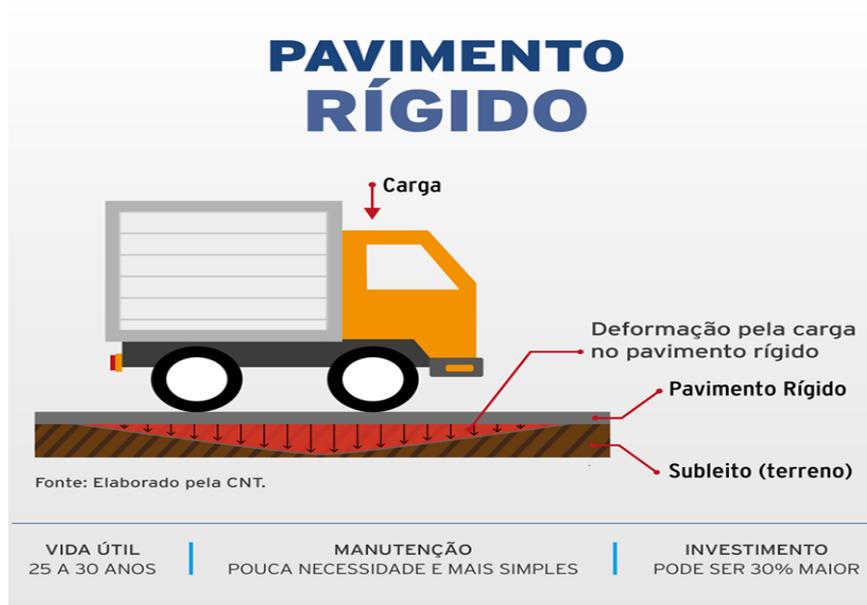
- Conteúdo do ar - a quantidade de ar aprisionado ou arrastado no concreto plástico pode influenciar a trabalhabilidade da mistura de concreto e reduzir sua propensão a sangramentos.
- Resistência - os pavimentos de concreto devem ter resistência à flexão adequada para suportar as cargas de tráfego do projeto (repetições de eixos carregados) que serão aplicadas durante a vida útil da instalação. Embora a resistência à compressão também possa ser medida, a resistência à flexão é mais relevante para o projeto e desempenho de pavimentos de concreto.
- Densidade - a densidade das misturas de pavimentação de concreto varia dependendo da quantidade e densidade relativa do agregado, da quantidade de ar que é arrastada ou aprisionada e do conteúdo de água e materiais de cimentação do concreto.
- Durabilidade - o pavimento de concreto endurecido deve ser capaz de resistir a danos causados por congelamento e descongelamento, umedecimento e secagem e ataques químicos (por exemplo, de cloretos ou sulfatos em sais de degelo).
- Conteúdo do ar - o concreto acabado e curado deve ter ar arrastado adequado na pasta de cimento endurecida para suportar ciclos de congelamento e descongelamento.
- Resistência ao atrito - para segurança do usuário, a superfície de um pavimento de concreto exposto deve fornecer resistência ao atrito adequada e resistir ao polimento sob tráfego. A resistência ao atrito é uma função dos agregados utilizados e da resistência à compressão do concreto.
- Estabilidade de volume - as misturas de pavimentação de concreto devem ser volumetricamente estáveis e não devem se expandir devido à reatividade do agregado alcalino. As misturas de concreto para pavimentação não devem encolher excessivamente após a secagem.

8.3 WHITETOPPING

As superfícies pavimentadas para estradas, tanto concreto como asfalto, devem suportar condições muito adversas. As cargas das rodas dos veículos em

movimento causam tensões e desvios na superfície pavimentada e no leito da estrada subjacente. Além disso, o pavimento deve suportar efeitos ambientais. As mudanças climáticas causam variações de temperatura através da profundidade do pavimento, induzindo tensões internas (SOUSA; FREITAS, 2014).

Figura 2: Cargas das rodas dos veículos.



Fonte: CNT, 2020.

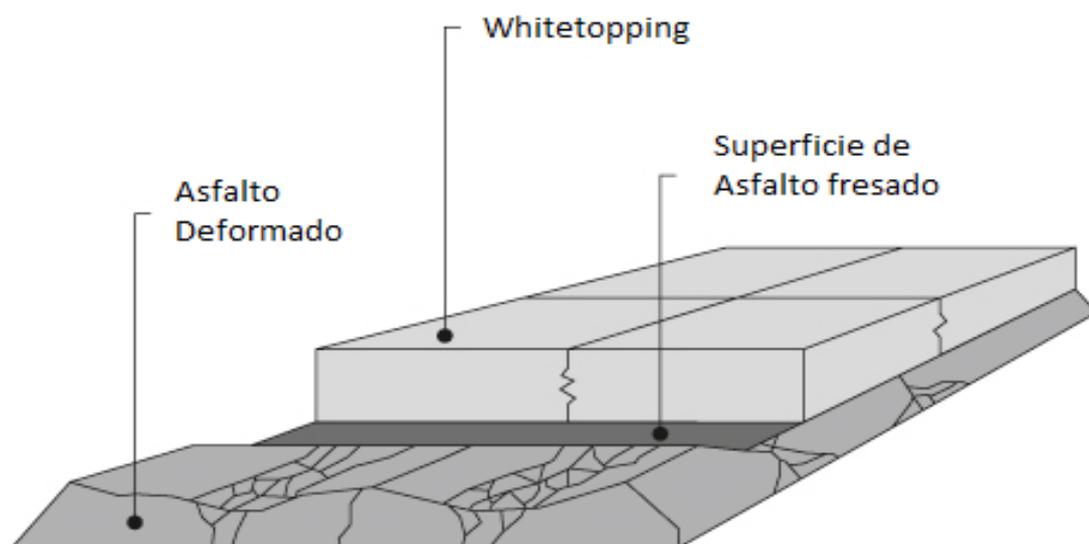
As propriedades do asfalto, particularmente a rigidez, mudam com a temperatura. As variações de umidade causam alterações no suporte da fundação. Em muitas áreas, os ciclos de temperatura de congelamento e descongelamento causam variações no suporte da fundação e adicionam tensões adicionais à superfície pavimentada, principalmente quando a umidade também está presente (BALBO, 2009).

Eventualmente, um pavimento exibe angústia e requer reabilitação. Uma variedade de técnicas de reabilitação foi desenvolvida. Quando aplicadas adequadamente no momento apropriado, as técnicas de reabilitação prolongam significativamente a vida útil total de pavimentos de concreto e asfalto. Uma técnica para reabilitar pavimentos asfálticos angustiados é uma sobreposição de concreto,

onde a mesma é frequentemente chamada de "whitetopping" (VIEIRA; VIZZONI, 2005).

O whitetopping é um método comprovado de reabilitação de pavimentos. Um novo método de reabilitação de pavimentos asfálticos foi desenvolvido no início dos anos 90. Essa técnica requer a ligação de uma camada relativamente fina de concreto ao asfalto subjacente para criar uma seção de pavimento composto. Essa técnica é chamada de "whitetopping ultra-fino". Enquanto a tecnologia ainda está em desenvolvimento, foram construídas mais de 200 seções ultra-finas de whitetopping, principalmente em estradas de baixo volume (AASHTO, 1993).

Figura 3: Whitetopping lançado pavimento já existente.



Fonte: Beton.org, 2019.

As sobreposições de concreto oferecem imenso potencial como estratégia de reabilitação para estradas indianas, escreve Binod Kumar, cientista sênior do Instituto Central de Pesquisa Rodoviária. O concreto é um material muito durável para a construção de estradas e rodovias. Várias vias rápidas, vias expressas e estradas da cidade foram construídas com concreto de cimento no passado recente na Índia. O concreto de cimento também foi utilizado para a reabilitação de pavimentos betuminosos angustiados existentes (MESQUITA, 2001).

O sulco do pavimento betuminoso é um problema real em clima quente, como na Índia, com cargas pesadas de caminhões operando sob condições frequentes de partida / parada. É comumente aplicado quando o sulco de pavimentos betuminosos é um problema recorrente. As sobreposições de concreto oferecem o potencial de vida útil prolongada, capacidade estrutural e funcional aumentada, requisitos de manutenção reduzidos e custos de ciclo de vida mais baixos quando comparados com a alternativa de sobreposição betuminosa (NETO, 2011).

As sobreposições de concreto foram usadas para reabilitar o pavimento betuminoso (flexível) existente desde 1918 e o pavimento de concreto existente desde 1913. As whitetopping em suas várias formas foram usadas nos EUA e na Europa em aeroportos, estradas interestaduais, rodovias primárias e secundárias, local estradas, ruas e estacionamentos para melhorar o desempenho, a durabilidade e a qualidade de condução de superfícies betuminosas deterioradas do pavimento. Houve um interesse renovado na whitetopping, particularmente na whitetopping fina e ultrafina durante a última década (FORTES, 1999).

Isso vem sendo possível devido a vários projetos de alto nível executados nos EUA e na Europa. Sua eficácia renovou ainda mais o interesse neles, porque satisfazem a demanda causada pelas estradas em rápida deterioração, confrontadas com a disponibilidade limitada de fundos. Whitetopping de todos os tipos oferecem imenso potencial como uma estratégia de reabilitação para estradas (DNIT, 2005).

Whitetopping é definido como uma sobreposição de concreto de cimento Portland (PCC) construída no topo de um pavimento betuminoso existente. O whitetopping é, portanto, o recapeamento do PCC (sobreposição) como uma alternativa de reabilitação ou fortalecimento estrutural em pavimentos betuminosos. A sobreposição de PCC pode ou não estar ligada à camada abaixo. O whitetopping envolve a colocação de uma sobreposição de concreto em um pavimento betuminoso angustiado (KALOUSH; RODEZNO, 2011).

O whitetopping em pavimentos betuminosos existentes oferece muitos benefícios adicionais em comparação com a alternativa de revestimento betuminoso convencional. Para Pitta (1989) e Carvalho (2008), alguns dos benefícios são:

- Longa vida útil, baixa manutenção, baixo custo do ciclo de vida, segurança aprimorada e benefícios ambientais.
- As sobreposições betuminosas exibem uma perda mais rápida da capacidade de manutenção em comparação com a whitetopping de concreto em alguns locais críticos. As vidas de sobreposições betuminosas sucessivas tornam-se progressivamente mais curtas após a primeira sobreposição.
- Deformações como sulcos e trincas predominantes no caso de pavimentos betuminosos normalmente estão ausentes nas superfícies de concreto da whitetopping. Isto é particularmente verdade em um clima quente.
- O Whitetopping convencional melhora a capacidade estrutural do pavimento betuminoso existente, se construído sobre um curso base forte, e impede problemas estruturais.
- O whitetopping requer muito menos manutenção e, como tal, envolve fechamentos de pista muito menos frequentes, em comparação com superfícies betuminosas.
- O whitetopping é bastante rentável para lidar com restrições orçamentárias anuais e altos níveis de tráfego.
- O whitetopping pode preencher uniformemente sulcos no caminho da roda de pavimentos betuminosos de maneira mais eficaz, porque o concreto é muito mais rígido e consistente em alta temperatura do que as misturas betuminosas. De maneira geral, por razões semelhantes, a ocorrência de rachaduras também é relativamente menor no caso de whitetopping.
- O concreto é de cor relativamente leve e, portanto, a superfície do concreto reflete mais a luz, absorve menos calor e reduz o efeito de ilha de calor urbano. O reflexo aprimorado das luzes dos veículos aumenta a segurança e reduz os requisitos de energia da iluminação externa.
- Verifica-se que o consumo de combustível em estradas de concreto é menor que nas estradas betuminosas.

9 MÉTODO EXECUTIVO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

9.3 CONCRETO SIMPLES DE CIMENTO PORTLAND

Desde que a primeira faixa de pavimento de concreto foi concluída em 1893, o concreto tem sido amplamente utilizado na pavimentação de rodovias e aeroportos, além de ruas comerciais e residenciais. Para Balbo (2009), existem quatro tipos de pavimento de concreto:

- Pavimentos lisos com buchas que usam buchas para fornecer transferência de carga e evitar falhas;
- Pavimentos lisos sem cavilhas, nos quais o intertravamento agregado transfere cargas pelas juntas e evita falhas;
- Pavimentos convencionalmente reforçados que contêm reforço de aço e usam cavilhas nas juntas de contração;
- Pavimentos continuamente reforçados, sem juntas de contração e reforçados com aço longitudinal contínuo.

Para preparar a pavimentação, o subleito - o solo nativo no qual o pavimento é construído - deve ser graduado e compactado. A preparação do subleito é geralmente seguida pela colocação de uma sub-base - uma camada de material que fica imediatamente abaixo do concreto. A função essencial da sub-base é impedir o deslocamento do solo por baixo do pavimento (CARVALHO, 2008).

As sub-bases podem ser construídas de materiais granulares, materiais tratados com cimento, concreto magro ou materiais altamente permeáveis de grau aberto, estabilizados ou não estabilizados. Uma vez que a sub-base tenha endurecido o suficiente para resistir a estragos ou distorções pelo tráfego de construção, buchas, barras de amarração ou aço de reforço são colocados e alinhados adequadamente na preparação para a pavimentação (IBRACON, 2010).

Existem dois métodos para pavimentar com concreto - slipform e forma fixa. Na pavimentação por deslizamento, uma máquina anda sobre a área a ser pavimentada - semelhante a um trem que se move em um conjunto de trilhos. O concreto fresco é depositado em frente à máquina de pavimentação, que depois se espalha, molda, consolida, betonilha e flutua, finalizando o concreto em uma operação contínua. Esta

operação requer uma coordenação estreita entre a colocação do concreto e a velocidade de avanço da pavimentadora (NETO, 2011).

Na pavimentação de formas fixas, as formas metálicas estacionárias são definidas e alinhadas sobre uma base sólida e apostadas rigidamente. A preparação e modelagem finais do subleito ou sub-base são concluídas após a definição dos formulários. Os formulários são limpos e oleados primeiro para garantir que sejam liberados do concreto após o endurecimento do concreto. Depois que o concreto é depositado próximo à sua posição final no subleito, a dispersão é concluída por um espalhador mecânico montado sobre as formas predefinidas e o concreto. A máquina espalhadora é seguida por uma ou mais máquinas que moldam, consolidam e flutuam no acabamento do concreto. Depois que o concreto atinge a resistência necessária, as formas são removidas e a cura das arestas começa imediatamente (PEREIRA; PURETZ; NUNES; JESUS; PULIDO, 2015).

Após a colocação e o acabamento do pavimento de concreto, são criadas juntas para controlar rachaduras e proporcionar alívio da expansão do concreto causada por mudanças de temperatura e umidade. As juntas são normalmente criadas por serragem (SILVA, 2005).

Após a inserção das juntas, a superfície deve ser texturizada. Para obter a quantidade desejada de resistência à derrapagem, a texturização deve ser feita logo após o desaparecimento do brilho da água e antes do concreto se tornar não plástico. A texturização é feita com arrasto de serapilheira, arrasto de relva artificial, vassoura de arame, ranhurar o concreto plástico com um rolo ou pente equipado com dentes de aço ou uma combinação desses métodos (MESQUITA, 2001).

O método escolhido de texturização depende do ambiente e da velocidade e densidade do tráfego esperado. A cura começa imediatamente após as operações de acabamento e assim que a superfície não é danificada pelo meio de cura. Os métodos de cura comuns incluem o uso de compostos de cura por membrana líquida pigmentada branca. Ocasionalmente, a cura é realizada através de capas impermeáveis de papel ou plástico, como folhas de polietileno, tapetes ou estopa de algodão úmido (SOUSA; FREITAS, 2014).

À medida que o pavimento de concreto endurece, ele se contrai e racha. Se as juntas de contração foram projetadas e construídas corretamente, as rachaduras ocorrerão abaixo das juntas. À medida que o concreto continua a se contrair, as juntas abrirão espaço para que o concreto se expanda em clima quente e em condições úmidas. Quando o pavimento endurece, as juntas são limpas e seladas para excluir materiais estranhos que danificariam o concreto quando ele se expandisse. O pavimento é aberto ao tráfego após o período de cura especificado e quando os testes indicam que o concreto atingiu a resistência necessária. Imediatamente antes de o pavimento ser aberto ao tráfego público, os ombros são finalizados e o pavimento é limpo (KALOUSH; RODEZNO, 2011).

10 VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DA PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA

10.3 DURABILIDADE DA PAVIMENTAÇÃO

O pavimento de concreto possui uma elevada resistência mecânica e ao desgaste, não oxida, não deforma plasticamente, não forma buracos nem trilha de rodas, garantindo assim, elevada durabilidade da estrutura. Hoje em dia com o custo de construção competitivo, a pavimentação de concreto tem grande durabilidade, requerendo baixíssima manutenção e diminuindo significativamente o risco de acidentes relacionados à condição da rodovia (PITTA, 1996).

Estudos de viabilidade demonstram que a pavimentação em concreto é a solução ideal para vias públicas e rodovias submetidas a tráfego intenso e pesado de veículos comerciais. Alguns exemplos como: BR 101 NE, Rodoanel, Imigrantes, BR-232, BR-290 e MT-130, sem contar a Rodovia Itaipava – Teresópolis, construída em 1928, ou seja, há mais de 70 anos, a qual encontra-se em operação até hoje, sem nenhum tipo de recapeamento (CALDA, 2007).

10.4 ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A vantagem da coloração clara do concreto está no fato da maior capacidade de reflexão de luz, conseqüentemente uma grande melhora na visibilidade dos motoristas, principalmente em dias chuvosos e a noite. A grande capacidade de reflexão de luz de pavimentos em concreto transforma-se em economia de iluminação

pública. Conforme pesquisa feita na Argentina verifica-se uma redução de consumo energético de 5,35 kWh/m² para 3,35 kWh/m² (SENÇO, 1997).

10.5 SEGURANÇA NAS ESTRADAS

Uma questão muito importante em relação ao uso da pavimentação em concreto vem do fato de que este tem uma resistência à derrapagem muito maior do que do pavimento asfáltico. Isso se deve a inclinação da secção transversal que é de 2 a 3 vezes menor do que o pavimento flexível, o que resulta em menor possibilidade de derrapagem e tombamento do veículo. Na pavimentação em concreto a velocidade de escoamento da água também é muito superior à da pavimentação asfáltica, resultando numa melhor resistência à derrapagem causada por hidroplanagem (SOUSA; FREITAS, 2014).

Ainda, como benefício do pavimento de concreto, a aderência dos pneus à superfície de rolamento é bastante elevada, permitindo considerável redução na distância de frenagem (VIEIRA; VIZZONI, 2005).

A distância de frenagem de um veículo, a 95 km por hora, em condição de pista molhada, foi reduzida de 134 m, na pista de asfalto com trilha de roda, para 96 m, na pista de concreto, correspondendo a significativos 40%. Essa diferença na frenagem pode causar uma grande diferença em uma situação de emergência, talvez até mesmo evitar ou diminuir o número de acidentes (AASHTO, 1993).

10.6 ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL

Quanto à economia de combustível, um estudo feito pelo Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá afirma que caminhões chegam a economizar cerca 11% de combustível trafegando em rodovias de concreto. A razão para essa economia, que pode chegar até 17%, está no fato da superfície em concreto ser rígida e não deformar. Isso cria menor resistência ao rolamento, exigindo menor esforço da parte mecânica dos veículos. Portanto, como é possível economizar combustível, a pavimentação de concreto também contribui para o meio ambiente, diminuindo a emissão de gases poluentes na atmosfera, como por exemplo, o monóxido de carbono (BALBO, 2009).

Outro estudo realizado nos EUA, pelo Prof. Zaniewski, J. P., da Arizona State University, mostra em seu trabalho “Effect of pavement surface type on fuel consumption”, a significativa redução no consumo de combustível de caminhões quando trafegando sobre pavimentos de concreto, podendo essa redução chegar a 20%, para o caso de veículos pesados (CALDA, 2007).

10.7 MEIO AMBIENTE

Com a superfície clara do concreto a temperatura do ambiente torna-se mais baixa do que a temperatura no asfalto, minimizando os gastos com ar condicionado e reduzindo a poluição ambiental nas cidades, conforme demonstram os estudos desenvolvidos e publicados pelo “Heat Island Group”, dos EUA, relacionados às “Cool Communities”. O benefício do concreto é relatado ainda no artigo “Concrete roads may help cities reduce the heat”, publicado pelo “The Salt Lake Tribune”, dos EUA, em que mostra uma redução de até 14°C na temperatura medida na superfície do pavimento de concreto em relação àquelas medidas na superfície de pavimentos de cor mais escura (CANADIAN CEMENT ASSOCIATION, 2000).

Enfim, a inexistência do fenômeno de lixiviação no concreto aumenta a sua condição de ambientalmente amigável, pois não promove a ocorrência de águas percoladas capazes de contaminar o lençol freático ou de águas superficiais capazes de contaminar cursos d’água (CARVALHO, 2012).

10.8 CUSTO INICIAL E FINAL

O custo inicial de construção da pavimentação de concreto está cada vez mais competitivo fazendo com que custo final da pavimentação em concreto seja muito inferior ao custo da pavimentação asfáltica com introdução de novas tecnologias, equipamentos de ponta. Por exemplo, as vibro acabadoras de formas deslizantes de alta produtividade e usinas dosadoras e misturadoras transportáveis de concreto. A produção é capaz de executar 1,5 km de estrada por dia. Essa tecnologia está cada vez mais avançada, sendo que ainda pode melhorar muito (CARVALHO, 2008).

Vale lembrar que cada tipo de material tem sua aplicação específica na pavimentação, de acordo com a comprovação técnica. O custo do pavimento não inclui apenas sua colocação no leito da estrada, mas também o que se gastará no futuro para mantê-lo, conservá-lo e, eventualmente, reconstruí-lo. Calculando-se o

valor do investimento, considerando o custo de construção e o de manutenção, vê-se que o custo final do pavimento de concreto é 61% inferior ao de alternativa (DNIT, 2006).

10.9 CUSTO SOCIAL

É importante salientar o valor total investido na malha rodoviária, ou seja, o custo não é somente o custo de construção, manutenção e operação da rodovia, mas também o custo social, aqueles que correspondem aos custos do usuário, relacionados a acidentes, tempo de viagem, poluição e custo operacional dos veículos. A condição das rodovias influi muito no custo operacional dos veículos, ou seja, no custo de manutenção. O índice de irregularidade promoverá o aumento de manutenções nos veículos que circularem nela (PITTA, 2020).

A pavimentação rígida tem uma variação muito pequena no decorrer de sua utilização, portanto o custo para manutenções dos veículos cairia bastante se só trafegassem em rodovias executadas em concreto. O Brasil é um país rodoviário, pois o transporte rodoviário compreende a movimentação de 95% dos passageiros e 60% das cargas transportadas. É importante se atentar para redução desse custo (PEREIRA; PURETZ; NUNES; JESUS; PULIDO, 2015).

A malha viária brasileira tem aproximadamente 1.700.000 km de extensão, sendo que somente cerca de 165.000 km são pavimentados, isso significa, menos de 10%. Do total pavimentado, o pavimento de concreto corresponde a 2,4%. De acordo com Oliveira (2000) e Ibracon (2010), as más condições das nossas vias geram grande custo social, pois seu aumento:

- Elevam os custos dos fretes;
- Aumenta o custo operacional dos veículos;
- Aumento no consumo de combustíveis;
- Aumento no número de acidentes;
- Aumento do tempo de viagem.

11 MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO RÍGIDO COM A UTILIZAÇÃO DE WHITETOPPING

Segundo Carvalho (2012), o uso do Whitetopping é recapeamento de pavimentos asfálticos com concreto de cimento Portland e o termo Whitetopping, “cobertura branca” refere-se à execução da camada de pavimento de concreto, de cor cinza claro, com a função de base e revestimento, colocada sobre um revestimento asfáltico existente, que tem cor escura. Araújo e Neto (2016) mencionam que o Whitetopping vem para substituir a prática atual que inclui a demolição e construção de um novo pavimento.

Figura 4: Whitetopping pavimento de concreto de cor cinza claro.



Fonte: abcp.org, 2019.

Expressa Balbo (2009), que o emprego do concreto para a restauração de superfícies de pavimentos, como nova camada de rolamento, seja sobre pavimentos asfálticos ou de concreto, teve sua evolução desde a década de 1920, porém a realidade é que em pleno século XXI o mesmo ainda não atrai a atenção dos profissionais pela falta de conhecimento e tem-se a necessidade de tecnologias eficientes e sustentáveis. Segundo o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte), o manual de pavimentos rígidos (2005) foi integralmente reformulado

não só para aperfeiçoar metodologias como para incluir novas tecnologias que estão sendo adotadas na pavimentação rígida, uma delas é o Whitetopping.

Com a necessidade de incorporar novos meios de reabilitação dos pavimentos deteriorados, enxerga-se no Whitetopping uma saída economicamente viável. Para Pereira et al. (2015), o uso do Whitetopping gera um aumento no seu custo inicial de até 30% em relação ao recapeamento comum, no entanto, seu custo de manutenção é baixo e sua durabilidade maior se comparado com o tradicional.

Ainda, segundo os autores supracitados, o conforto e segurança do Whitetopping, pavimento de concreto, em relação ao acabamento asfáltico são maiores. Um exemplo pode ser relacionado à superfície, onde o pavimento de concreto possui uma capa mais lisa e assim minimiza os ruídos dos pneus, não causa valetas ou poças de água, que iriam causar aquaplanagem, e por não precisar de reformas, evita vias bloqueadas e todo o transtorno de manutenção, por ter uma cor mais clara auxilia em uma maior segurança ao condutor, que tem mais visibilidade e reflexo na pista (PEREIRA et al., 2015).

Figura 5: Execução da obra (1).



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 6: Execução da obra (2).



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 7: Execução da obra (3).



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 8: Execução da obra (4).



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 9: Execução da obra (5).



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 10: Execução da obra (6).



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 11: Execução da obra (7).

Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 12: Execução da obra (8).

Fonte: Carvalho, 2016.

Segundo Carvalho (2012), dados da Safety Consideration of Rutted and Washboarded Asphalt Road (SCRWAR), nos pavimentos de concreto pode ocorrer uma redução na distância de frenagem de até 40%, gerando um aumento na segurança dos usuários das vias. Além disso, a economia de energia elétrica ocasionada pela cor mais clara aumenta a eficiência da iluminação pública e também diminui a absorção de calor, a uniformidade das vias ocasiona uma melhora considerável na eficiência dos veículos, gerando uma economia de combustível (PEREIRA et al., 2015).

Figura 13: Circulação de veículos.

Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 14: Pavimento em serviço.

Fonte: Carvalho, 2016.

Além das várias vantagens atribuídas a esta tecnologia, tem-se dois tipos de aplicação e métodos variados de execução. Sousa e Freitas (2015) evidenciam que o pavimento mencionado acima pode ser do tipo overlay, que consiste na aplicação do concreto sobre um pavimento flexível já existente, e inlay, quando o concreto for encaixado em partes do pavimento existente, demolindo parcialmente o pavimento flexível antigo.

11.3 MÉTODO EXECUTIVO DO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

Segundo Pitta (2002), o Whitetopping é uma tecnologia de recuperação que pode ser lançada diretamente sobre a superfície do pavimento existente, o mesmo só requer reparos ou tratamentos prévios caso haja deterioração funcional ou estrutural da pista. Independentemente da situação que o pavimento flexível existente esteja ele é sempre considerado como uma excelente camada de fundação, incorporando-se estruturalmente ao Whitetopping.

O DNIT (2005) expõe que o pavimento de Whitetopping possibilita ampliar a vida de serviço de qualquer tipo de pavimento asfáltico, independente da condição estrutural que se encontre, fazendo com que essa tecnologia se torne prática e eficiente. Para trilhas de roda maiores que 50 mm se faz necessário a aplicação de fresagem ou nivelamento. Patologias como “panelas”, requerem enchimento antes da

aplicação do Whitetopping e se o pavimento existente apresentar desagregação apenas a limpeza do mesmo é requerida. Por fim, se o pavimento apresentar falhas de subleito se faz necessário a remoção da camada de pavimento flexível deteriorada e posteriormente sua reparação, antes do lançamento do concreto pelo meio de Whitetopping.

Figura 15: Placa



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 16: Placa dividida sub-base irregular.



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 17: Buracos

Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 18: Assentamento.

Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 19: Deterioração de reparos.

Fonte: Carvalho, 2016.

Antes de iniciar o processo de aplicação do Whitetopping, análises estruturais devem ser realizadas para que os procedimentos corretos sejam tomados, conforme o tipo de defeito que o pavimento flexível existente apresente. Ao identificar os defeitos

da pista adota-se o método de execução apropriado, o qual está em função do grau de degradabilidade do pavimento existente.

Conforme o Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON), a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), e a Norma Brasileira de Pavimentos Rígidos, encontram-se três métodos de execução, sendo eles a colocação direta, precedida de umedecimento da superfície que consiste na colocação direta do concreto sobre o pavimento flexível existente não exigindo qualquer preparação prévia do pavimento existente.

Figura 20: Corte pavimento feito para reparo.



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 21: Fissuras.



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 22: Perfuração.



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 23: Preparo para colocação barras.



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 24: Preparo para colocação da malha.



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 25: Malha metálica.



Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 26: Concreto colocado.

Fonte: Carvalho, 2016.

Figura 27: Cura química.

Fonte: Carvalho, 2016.

O mesmo deve ser preparado quando as trilhas de roda, se existentes no revestimento asfáltico, sejam inferiores a 50 mm de profundidade. As deformações superficiais, trincas e outras patologias semelhantes serão preenchidas pelo próprio concreto do Whitetopping, cita Vieira e Vizzoni (2005), a Fresagem compreende cortes por movimentos contínuos e rotativos, de camadas do pavimento flexível existente por meio de processo mecânico. Sousa e Freitas (2015) resumem como sendo a remoção controlada de uma camada do pavimento flexível, sendo assim a fresagem tem a finalidade de remover partes deterioradas do pavimento flexível antes da execução do revestimento.

Com a remoção das áreas com defeitos há a melhora da qualidade do serviço, assim como a melhora do coeficiente de atrito entre as camadas. Esse método é utilizado quando as trilhas-de-roda são superiores a 50 mm ou se os pavimentos flexíveis existentes apresentam ondulações muito acentuadas.

Segundo Pitta (2002), a profundidade média de fresagem vai de 25 mm a 75 mm. É comum o emprego combinado dessa solução com a colocação direta, o que pode, em grandes extensões, aperfeiçoar o custo da obra. E por fim a construção de uma camada de nivelamento onde neste método executa-se uma camada de nivelamento no pavimento flexível existente.

Essa camada é geralmente uma mistura betuminosa usinada à quente possuindo de 25 mm a 50 mm de espessura que é precedida a aplicação do Whitetopping (PITTA, 2002). Adota-se essa opção de execução quando as distorções superficiais ultrapassam os 50 mm (SOUSA E FREITAS, 2015). Conforme Pitta (2002) esse reparo prévio antes da colocação do Whitetopping, além de ser o mais elevado em relação ao custo inicial dentre os outros procedimentos, ainda requer de diversidade de equipamentos, materiais diferentes (asfalto e concreto) e maior tempo para a execução.

11.4 DETERMINAÇÃO DO CONCRETO A SER UTILIZADO

O concreto usado para a construção do pavimento rígido pelo método do Whitetopping deve ter a mesma característica do tradicionalmente usado nos pavimentos comuns. Pitta (2002), assim como DNIT (2005), descrevem que o concreto deve apresentar resistência característica a tração na flexão na ordem de 4,5 MPa, abatimento de tronco de cone, também conhecido como SLUMP TEST, máximo de 60 mm. O consumo de cimento deve ser acima dos 320 Kg/m³ de concreto, afirma Pitta (2002), e a resistência a compressão axial, normalmente na faixa de 30 MPa, traz o DNIT (2005), se for um pavimento estruturalmente armado.

Figura 28: SLUMP TEST

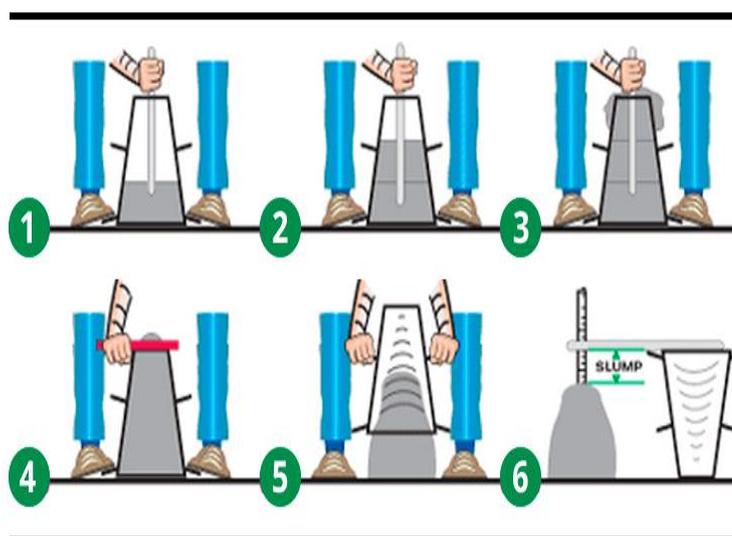


Figura 29: SLUMP TEST

Fonte: Mapa da obra, 2020.

Para a determinação da altura do pavimento rígido a ser aplicado, o fundamental é examinar a camada de pavimento flexível existente, pois ela será o suporte para a nova estrutura, essa análise consiste em determinar o Coeficiente de Recalque (k). O coeficiente (k) está ligado diretamente à capacidade do subleito e é diretamente proporcional à pressão que pode ser exercida sem que haja deslocamento da fundação do pavimento (SOUZA E FREITAS, 2015).

A análise é feita através de provas de cargas que determinam o valor do recalque (k) e através desse valor é possível dimensionar a altura do pavimento, de acordo com a norma do DNIT 068/04. Com a análise da estrutura e com suporte de ábacos, tabelas e métodos consagrados como o da American Association of Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1993) e da Portland Cement Association (PCA, 1984), é possível dimensionar a espessura do novo pavimento.

Segundo Kaloush e Rodezno (2011), a diferença entre os métodos consiste na análise dos dados, sendo o método da AASHTO baseado em observações empíricas da pista experimental da AASHTO e o método PCA fundamentado na teoria e nos ábacos de Pickett e Ray, sendo considerado um método de análise mecânica.

O PCA abrange estudos de tensões e deflexões em juntas, cantos e bordas, modelagem da transmissão de carga por barras de transferência e o entrosamento entre os agregados, sendo este o mais utilizado (CARVALHO, 2008; DNIT, 2005). Com a realização dos cálculos necessários chega-se à altura necessária da camada de concreto, a mesma fica entre 10 cm e 30 cm de altura, sendo 10 cm a altura mínima, para pavimentos rígidos armados.

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a pesquisa, diversos assuntos relacionados com o tema foram elencados e encontrados, observa-se que o assunto mesmo pouco difundido, vem ganhando espaço no mercado e sendo reconhecido como tecnologia inovadora.

Pode-se concluir que independente do grau de deterioração que está o pavimento flexível e da situação a que será submetido, o uso do pavimento de concreto de cimento Portland pelo processo de Whitetopping pode ser vantajoso em todos os requisitos, inclusive no setor econômico, de segurança e conforto. Ao optar por esse processo diminui-se drasticamente o tempo de execução e de manutenção.

Mesmo com um possível aumento do investimento inicial o uso do Whitetopping se torna viável. O mesmo possui grande vida útil, vindo a diminuir custos de manutenção, possui alta resistência e desempenho, o que acarreta em segurança para os usuários gerando menos acidente e economia, tanto de combustível e manutenção de veículos como em economia nos gastos em acidentes.

O pavimento rígido é sustentável, gerando economia de energia por ser claro e refletir a luminosidade e ainda por absorver menos calor que o pavimento flexível. As vantagens da utilização do mesmo mostram que mesmo sendo um processo requerente de cuidados especiais e de mão de obra qualificada sua construção gera benefícios muito maiores.

Com a pesquisa nota-se que o falta de investimento está diretamente ligada no crescimento do uso de tecnologia do Whitetopping, pois pouco se investe nas rodovias do nosso país, o que se faz são manutenções rotineiras de rodovias que estão em condições degradáveis. O uso de Whitetopping beneficiaria a população e toda a

economia do país, que conseqüentemente gira em torno das rodovias e do escoamento de materiais e serviços.

Com isso, fica alcançado o objetivo de contribuir para a difusão do Whitetopping, e para uma melhor condição de desenvolver esse tema e expandi-lo, seria de grande importância o seguimento deste artigo/tema. Pesquisas com variáveis para dimensionamento, com alturas dos pavimentos e ensaios específicos com os pavimentos flexíveis que iram servir de sub-base auxiliariam quem deseja aplicar esse método.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. **Design of pavement structures**. Washington: AASHTO, 1993.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Signer, 2009.

Beton, 2019. disponível em: <https://www.beton.org/wissen/infrastruktur/dba-whitetopping/>. Acesso em: 30/05/2020.

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M. G.; CERATTI, Jorge A. P.; SOARES, Jorge B. **Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros**. 3ª Edição. Rio de Janeiro, Imprinta, 2010.

CALDA, A. G. B. **Juntas em pavimentos de concreto**. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2007.

CANADIAN CEMENT ASSOCIATION. **The benefits of concrete roads**. Ottawa, Canadá, 2000.

CARVALHO, M. **Vantagens e benefícios do whitetopping e do inlay na reabilitação de pavimentos**. 2012. Associação Brasileira de Cimento Portland. Disponível em: <abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/whitetopping-em-cinco-passos/>. Acesso em 13 maio 2020.

CARVALHO, M. **Pavimentação com Sustentabilidade. Premissas de projeto do pavimento de concreto**. UNESP, Universidade Estadual Paulista. Bauru- SP. Vias Concretas. Seminário de Pavimentos Urbanos. Publicado em agosto de 2008.

CARVALHO, M. D. **Técnicas de restauração de pavimentos rígidos**. Apresentação PowerPoint. 2016. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/GabriellaRibeiro7/tcnicas-de-restaurao-de-pavimentos-rgidos>. Acesso em: 10/06/2020.

Cimento Mauá, 2019. Disponível em: <https://cimentomaua.com.br/blog/conheca-trabalhabilidade-e-outras-propriedades-do-concreto-fresco/>. Acesso em: 20/05/2020.

CNT, 2020. disponível em: <https://www.cnt.org.br/>. Acesso em: 06/05/2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE – DNIT.
Manual de pavimentação. Rio de Janeiro. 2006

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE – DNIT.
Manual De Pavimentos Rígidos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. Pavimentos rígidos - manual. I.Serie II. Título.

FORTES, R. M. **Estudo da aderência entre o concreto de cimento Portland e concretos asfálticos para fins de reforço ultradelgados de pavimentos.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

IBRACON. Instituto Brasileiro do Concreto. 2010. **Pavimento de Concreto: segurança, durabilidade e conforto nos corredores de ônibus da Linha Verde de Curitiba.** Ano XXXVIII Abr. JUNHO 2010

KALOUSH, K. E. RODEZNO, M. C. **Diretrizes para implementação do guia de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos (mepdg) para a concessionária nova dutra.** ANTT. Pós Doutorado. Ira A. Fulton Schools of Engineering School of Sustainable Engineering and the Built Environment Civil, Environmental and Sustainable Engineering 95 pag. Outubro 2011.

Mapa da obra, 2020. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/traco-de-concreto-controle-de-qualidade-do-concreto/>. Acesso em: 05/06/2020.

MESQUITA, J. C. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária – Estudo de caso: Rodovia BR-262, Miranda – Morro do Azeite–MS.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

NETO, G. L. G. **Estudo comparativo entre a pavimentação flexível e rígida.** Universidade da Amazônia. Belém, 2011.

OLIVEIRA, P. L. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto.** Tese (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000

PEREIRA, M. A. A., PURETZ, V., NUNES, G. K., JESUS, D. W., PULIDO, A. C., **whitetopping reabilitação de pavimentos asfáltico com o uso do concreto. 2015. Anais do VI CONCCEPAR: Congresso Científico da Região Centro-Ocidental do Paraná / Faculdade Integrado de Campo Mourão.** Campo Mourão, PR. 2015. Disponível em <conccepar.grupointegrado.br/> acesso em 15 maio 2020.

PITTA, M. R. **Whitetopping. A nova forma de recuperar pavimentos asfálticos. Coordenador do comitê técnico do Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON) e Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).** Disponível em: <costa.orgfree.com/DICASCON/Whitetopping04.htm>. Acesso em 16 maio de 2020.

PITTA, M. R. **Construção de pavimentos de concreto simples.** São Paulo, ABCP, 1989.

PITTA, M. R. **Whitetopping – A evolução de um conceito.** Congresso Brasileiro de Cimento, São Paulo, 1996.

SENÇO, W. D. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** São Paulo: Pini, 1997.

SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos.** São Paulo: Pini, 2005.

SOUSA, L. G.; FREITAS, A. **Recuperação de pavimentos flexíveis com concreto: o método Whitetopping.** Universidade Federal Da Bahia. Inovação, Produtividade E A Empreendedorismo Na Engenharia Civil. São Paulo, 2014.

Vias de concreto, 2007. Disponível em: http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2013/02/2007_Artigo_Pavimento-de-concreto_Reduzindo-o-custo-social.pdf. Acesso em: 03/06/2020.

VIEIRA, G., VIZZONI, R. **Whitetopping. Como Construir**. Revista Técnica. Edição 102 - setembro de 2005.