



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

ELIAS GUILHERME CÂMARA DIAS

**ESTUDO DO SISTEMA DE PAVIMENTAÇÃO *WHITETOPPING* NA
RECUPERAÇÃO DE RODOVIAS.**

Palmas

2016



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Elias Guilherme Câmara Dias

ESTUDO DO SISTEMA DE PAVIMENTAÇÃO *WHITETOPPING* NA RECUPERAÇÃO DE RODOVIAS.

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Fernando Moreno Suarte Junior.

**Palmas - TO
2016**



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

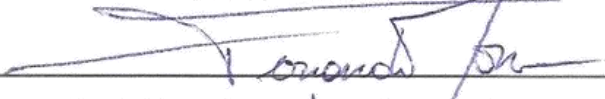
ELIAS GUILHERME CÂMARA DIAS

ESTUDO DO SISTEMA DE PAVIMENTAÇÃO WHITETOPPING NA RECUPERAÇÃO DE RODOVIAS.


Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do Curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Fernando Moreno Suarte Junior.

Aprovada em 18 de maio de 2016.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Msc. Fabrício Bassani dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2016

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Seção transversal típica – pavimento flexível.....	16
Figura 2: Seção transversal típica de uma pista de três faixas de tráfego – parte de uma autoestrada – pavimento rígido.	17
Figura 3: Comparação de distribuição de carga entre pavimentos equivalentes.	18
Figura 4: Conceito de <i>Whitetopping</i>	21
Figura 5: Ilustração de pavimento urbano de asfalto reparado com <i>Whitetopping</i> Ultradelgado.	22
Figura 6: Intervenções prévias no pavimento asfáltico existente para a aplicação do <i>Whitetopping</i> , em função do tipo de defeito.	23
Figura 7: Etapa de lançamento do concreto.....	23
Figura 8: Representação esquemática dos defeitos ocorrentes na superfície dos pavimentos flexíveis.	25
Figura 9: Trinca interligada – tipo jacaré.	26
Figura 10: Placa dividida.	28
Figura 11: Recuperação das juntas – Resselagem.	30
Figura 13: Relação entre índice de Suporte Califórnia (CBR) e coeficiente de recalque (k) do subleito.	38
Figura 14: Aumento de k devido à presença de sub-base granular.	39
Figura 15: Análise de fadiga – número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga (com ou sem acostamento de concreto).....	42
Figura 16: Análise de erosão – número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto)	43
Figura 17: Ciclo de Vida do pavimento de concreto.	45
Figura 18: Metodologias de dimensionamento de pavimento rígido.	46
Figura 19: Equipamento de pequeno porte.	48
Figura 20: Equipamento de formas-trilho.	49
Figura 21: Equipamentos de fôrmas Deslizantes.	50
Figura 22: Fresagem do Asfalto.	51

Figura 23: Instalação do sistema de referência.....	52
Figura 24: Hastes dos sensores.....	53
Figura 25: Lançamento do concreto – Pavimentadora GOMACO 2600.....	54
Figura 26: Lançamento do concreto. (Pavimentadora TEREX CMI SF 3004F – Americana).....	55
Figura 27: Colocação das barras de transferências.....	56
Figura 28: Espalhamento e adensamento do concreto.....	57
Figura 29: Detalhe da pavimentadora.....	58
Figura 30: Colocação das barras de ligação.....	59
Figura 31: Inserção lateral das barras de ligação.....	59
Figura 32: Localização das barra de ligação e transferência.....	60
Figura 33: Acabamento – Desempeno manual.....	61
Figura 34: Acabamento – Desempeno mecânico.....	61
Figura 35: Texturização manual.....	62
Figura 36: Texturização mecânica.....	63
Figura 37: Texturização mecânica.....	63
Figura 38: Cura química manual.....	64
Figura 39: Cura química mecânica.....	65
Figura 40: Cura química – Película protetora.....	65
Figura 41: Serragem das juntas.....	67
Figura 42: Selagem das juntas – colocação do material de enchimento.....	68
Figura 43: Selagem das juntas.....	69
Figura 44: Reabilitação do pavimento da rodovia SP-103/79.....	70
Figura 45: Pavimentadora GOMACO GP 2600.....	71
Figura 46: Pavimentadora equipada com desempenadeira mecânica <i>Auto Float</i>	71
Figura 47: Alargamento de trecho da pista da rodovia BR-290.....	73
Figura 48: Trecho da rodovia BR – 290 <i>Free Way</i> , restaurada com o <i>Whitetopping</i>	74
Figura 49: Trecho da rodovia BR – 290 <i>Free Way</i> restaurada com o <i>Whitetopping</i>	74
Figura 50: Pavimentadora Wirtgen SP- 500.....	75
Figura 51: Pavimentadora TEREX - CMI SF 3004F.....	75
Figura 52: Rodovia BR 163 na altura da Serra de São Vicente e Cuiabá-MT.....	76
Figura 53: Rodovia BR-163 na Serra de São Vicente e Cuiabá-MT.....	77
Figura 54: Rodovia BR-290.....	77
Figura 55: Rodovia BR-290, trecho Porto Alegre - Osório.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fatores de segurança para as cargas (FSC).....	33
Quadro 2: Exemplo de cálculo de eixos totais por classe de carga (20 anos).	34
Quadro 3: Cálculo da espessura de pavimento de concreto.	35
Quadro 4: Tensão equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (Mpa) PSAC (pavimento sem acostamento de concreto).....	36
Quadro 5: Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (Mpa) PSAC (pavimento sem acostamento de concreto).	37
Quadro 6: Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos JSP e PCAC (Junta com barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto). ...	40
Quadro 7: Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos JP e PCAC (Junta com barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto).	41
Quadro 8: Fatores de segurança para as cargas (FSC).....	79
Quadro 9: Tensão equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (Mpa) PSAC (pavimento sem acostamento de concreto).....	33
Quadro 10: Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (Mpa) PSAC (pavimento sem acostamento de concreto).	34
Quadro 11: Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos JSP e PCAC (Junta com barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto). ...	85
Quadro 12: Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos JP e PCAC (Junta com barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto).	86
Quadro 13: Cálculo da espessura de pavimento de concreto.	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland

ASTM: American Society for Testing and Materials

BGTC: Brita Graduada Tratada com Cimento

CA: Concreto Asfáltico

CBUQ: Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CCP: Concreto de Cimento Portland

DER: Departamento de Estradas e Rodagens

DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

NBR: Norma Brasileira de Regulamentação

NR: Norma Regulamentadora

PCA: Portland Cement Association

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO.....	12
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA BRASILEIRA	14
2.2 PAVIMENTO	14
2.2.1 Conceitos	14
2.2.2 Classificação.....	15
2.2.2.1 Pavimento Flexível	15
2.2.2.2 Pavimento Rígido	16
2.3 CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO	17
2.4 CONCRETO	18
2.4.1 Conceitos	18
2.4.2 Materiais.....	19
2.4.3 Controle.....	19
2.5 O <i>WHITETOPPING</i>	19
2.5.1 História	19
2.5.2 Conceitos	20
2.5.3 Classificação.....	20
2.5.4 Procedimento executivo	22
2.5.5 Vantagens	23
2.6 PATOLOGIA.....	24
2.6.1 Pavimento Flexível	24
2.6.2 Pavimento Rígido	26
2.7 MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO	27
2.7.1 Pavimento Flexível	28
2.7.2 Pavimento Rígido	28

3. METODOLOGIA	31
3.1 OBJETO DE ESTUDO	31
3.2 PROCESSOS, MATERIAIS E PROCEDIMENTOS.....	31
3.2.1 Apresentar as características do sistema <i>Whitetopping</i>.....	31
3.2.2 Apresentar rodovias que utilizam o sistema.....	31
3.2.3 Apresentar os critérios adotados no dimensionamento do <i>Whitetopping</i> na rodovia BR-290 trecho Osório-Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul	32
4. RESULTADOS.....	44
4.1 APRESENTAR AS CARACTERÍSTICAS DO <i>WHITETOPPING</i>	44
4.1.1 Métodos de dimensionamento	45
4.1.2 Concreto para o pavimento <i>Whitetopping</i>	47
4.1.3 Equipamentos para execução	48
4.1.4 Procedimento de execução	50
4.2 APRESENTAR RODOVIAS QUE UTILIZAM O SISTEMA.....	69
4.2.1 Rodovia SP-79	69
4.2.2 Rodovia BR-290.....	72
4.2.3 Rodovia BR-163/364	75
4.3 APRESENTAR OS CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO UTILIZADO NA RODOVIA BR-290 TRECHO OSÓRIO-PORTO ALEGRE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	77
4.3.1 Rodovia BR-290	77
4.3.2 Descrição da obra	77
4.3.3 Método de dimensionamento	78
4.3.4 Dimensionamento	79
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS.....	93

RESUMO

DIAS, Elias Guilherme Câmara. **ESTUDO DO SISTEMA WHITETOPPING NA RECUPERAÇÃO DE RODOVIAS**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2016/1. Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas – TO. Professor Orientador Especialista Fernando Moreno Suarte Júnior.

O transporte rodoviário brasileiro ainda é o principal sistema logístico do país, nesse sistema é escoado mais de 50% de todas as cargas movimentadas em seu território, diante disso, são necessários grandes investimentos nas rodovias para que se encontrem em boas condições dando segurança e conforto para quem as utilizam. O uso do pavimento de concreto ao pavimento asfáltico vem crescendo gradativamente em algumas rodovias do Brasil, obtendo satisfação com excelentes resultados. Este projeto é um estudo bibliográfico a partir de materiais já publicados, onde busca apresentar uma técnica de restauração do pavimento asfáltico com aplicação superposta de uma camada de concreto, esse procedimento é denominado *Whitetopping*.

Palavras-chave: Restauração; Rodovias; Pavimento de Concreto; *Whitetopping*.

ABSTRACT

DIAS, Elias Guilherme Câmara. **ESTUDO DO SISTEMA WHITETOPPING NA RECUPERAÇÃO DE RODOVIAS.** Trabalho de Conclusão de Curso. 2016/1. Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas – TO. Professor Orientador Especialista Fernando Moreno Suarte Júnior.

The Brazilian road transport is still the main logistical system of the country, it is this system that is drained over 50 % of all cargo handled in their territory before that, it is necessary large investments in roads that are in good condition giving safety and comfort for those who use them. The use of concrete pavement to asphalt pavement has been growing gradually in major highways in Brazil, getting satisfaction with excellent results. This project is a bibliographical study from material already published, which seeks to present a restoration technique of asphalt pavement with superimposed application of a layer of concrete, this procedure is called Whitetopping.

Keywords: Restoration; highways; Concrete Floor; Whitetopping.

1. INTRODUÇÃO

A pavimentação rodoviária tem sido um fator determinante para o desenvolvimento e a logística de cargas no Brasil. Ao longo de décadas a gestão pública, no que tange ao sistema de transporte nacional, priorizou investimentos no modal rodoviário, tornando, assim, este país cada vez mais dependente das rodovias que o cortam de norte a sul e de leste a oeste.

Em um dos setores que contribui amplamente para a economia, a agricultura corresponde a uma porcentagem relativamente alta do PIB (Produto Interno Bruto) nacional, que segundo a CNA (Confederação Nacional de Agricultura) ultrapassa os 20%, onde quase que na sua totalidade esse transporte da safra acontece pelas rodovias do país, na qual supostamente deveriam estar em perfeitas condições de uso com a devida manutenção sendo realizada periodicamente, a fim de que suportem os esforços impostos pela alta trafegabilidade para o transporte desses produtos até seu destino final, porém, não é o que acontece na grande maioria das estradas pelo país.

A grande solicitação de esforços impostos às rodovias, acompanhado da manutenção precária e da pouca fiscalização das cargas, levou a um encadeamento de problemas que tornou grande parte da malha rodoviária pavimentada já existente, obsoleta, fazendo com que o setor de logística de cargas sofresse atraso, e a segurança dos usuários colocada em risco, entre diversos fatores.

A maior parte das rodovias brasileiras, mesmo as mais solicitadas devido ao grande fluxo de tráfego, são feitas com pavimentação de Concreto Asfáltico (CA), por ter um custo inicial inferior em relação às pavimentadas com Concreto de Cimento *Portland* (CCP), não levando em consideração a maior vida útil do pavimento de concreto que corresponde a duas vezes a do pavimento asfáltico, o que diminui consideravelmente as manutenções, acarretando uma economia maior aos cofres públicos e diminuindo eventuais transtornos. Com isso se faz necessário a busca de soluções e técnicas viáveis para a manutenção destas rodovias.

O pavimento de concreto do tipo *Whitetopping*, é uma técnica de recuperação de pavimentos asfálticos, visto que é um pavimento implantado superposto ao pavimento asfáltico já danificado, que após alguns pequenos reparos recebe uma camada de concreto sem armação, reabilitando aquele pavimento e o

tornando apto às novas trafegabilidades. Para estradas com grande fluxo de tráfegos pesados, é uma técnica que condiz com a atual necessidade de reabilitação da extensa malha rodoviária brasileira (DNIT, 2004).

Por ser um pavimento de concreto, o *Whitetopping* possui maiores benefícios se comparado ao concreto asfáltico. Possui capacidade de receber tráfegos de veículos de cargas pesadas, pela sua cor clara, possibilita maiores economias de energia elétrica e maior visibilidade contribuindo com a segurança, sujeito a menores patologias e vida útil superior em duas vezes, o que consequentemente diminui frequentes manutenções (CARVALHO, 2012).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem por objetivo geral apresentar a técnica de recuperação de pavimento asfáltico utilizando placas de concreto de cimento *Portland* denominada *Whitetopping*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar as características do sistema *Whitetopping* bem como seus métodos para o dimensionamento, o concreto utilizado neste sistema, os equipamentos para execução e o passo a passo do procedimento de execução;
- Apresentar rodovias que utilizam o sistema;
- Apresentar os critérios adotados no dimensionamento do *Whitetopping* na rodovia BR-290 trecho Osório-Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul;

1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A escolha do presente tema se dá como uma alternativa ao uso do pavimento asfáltico, uma inovação tecnológica com um custo benefício melhor, diante das técnicas utilizadas atualmente. Levando em consideração as principais rodovias do país, onde há um grande fluxo de transporte de cargas e em grande parte delas há a ausência de fiscalização no que diz respeito à obediência dos limites de cargas a serem transportadas, acarretando uma sobrecarga sobre o pavimento e um desgaste mais acelerado, reduzindo sua vida útil.

O tipo da pavimentação a ser implantada poderá influenciar diretamente no custo social de acordo com as condições da via, podendo elevar os custos operacionais dos veículos, aumento no consumo de combustíveis, aumento no tempo de viagem, além dos riscos de acidentes. Esta técnica representa, além de uma maior resistência e economia, uma maior qualidade, segurança e conforto aos usuários, visto que o concreto utilizado permite também melhor aderência, evitando problemas como a aquaplanagem.

Para o autor a escolha do tema se justifica pela admiração da área de pavimentação rodoviária, e por obter um conhecimento mais aprofundado com a elaboração deste projeto, sendo a área pela qual almeja seguir carreira.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, os quais os descrevemos neste item do trabalho.

O primeiro capítulo é introdutório, com a finalidade de contextualizar o tema em estudo, esclarecendo os objetivos gerais e específicos, apresentando a justificativa e importância do trabalho.

O segundo capítulo textualiza todo o referencial teórico, onde são abordados e analisados os conceitos e classificações de pavimento, as características do tráfego, os conceitos, materiais e o controle para o concreto, a história, conceitos, classificação, procedimento executivo e as vantagens do *Whitetopping*, as patologias nos pavimentos rígido e flexível, e a manutenção e recuperação para estes pavimentos.

O terceiro capítulo aborda toda a metodologia descrita pelo autor, a qual é necessária para a compreensão dos procedimentos, levantamentos e análises feita para o estudo.

O quarto capítulo aborda os resultados e discussões com relação às teorias propostas na metodologia, para o desenvolvimento do estudo.

O quinto capítulo apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros com relação ao estudo realizado.

Por fim, as referências bibliográficas, onde são apresentadas as consultas realizadas para a elaboração deste trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA BRASILEIRA

A ABCP (2015) relata que, a qualidade das estradas brasileiras é constantemente apontada como um dos maiores entraves ao crescimento do país. O escoamento da produção, o transporte de mercadorias por buracos, ausência de acostamento e pavimentação inadequada. Os dados são preocupantes. De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT), de um total de 1,7 milhão de quilômetros de extensão da rede rodoviária nacional, pouco mais de 165 mil quilômetros são pavimentados, sendo que 24% se encontram em péssimo estado de conservação.

Conforme Sian (apud FORTES, 1999) nas últimas décadas, o poder público, na gestão da malha viária, norteou suas decisões no que diz respeito à implantação de novas vias de tráfego, assim como na restauração das já existentes, no menor custo do pavimento asfáltico em relação ao pavimento de concreto de cimento *Portland*, não sendo levada em conta a maior durabilidade do segundo, dentre outras vantagens. Hoje em dia, com o desenvolvimento de concretos de alto desempenho (CAD), é possível a execução de pavimentos de concreto com espessura reduzida, o que o torna uma alternativa mais competitiva.

2.2 PAVIMENTO

2.2.1 Conceitos

Senço (1997) define que pavimento é a estrutura construída sobre a terraplanagem e destinada, técnica e economicamente, a:

- Resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los;
- Melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais.

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. (PETROBRÁS, 2006).

Conforme o DNIT (2006), o pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito – a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito.

2.2.2 Classificação

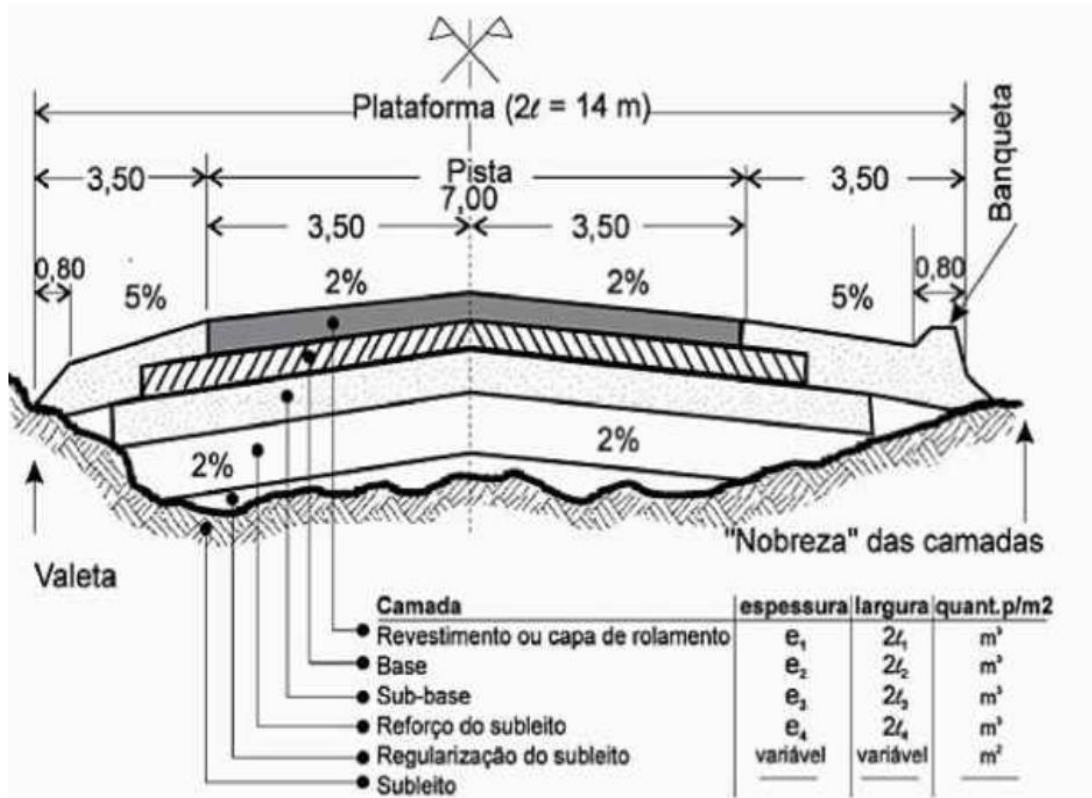
De acordo a (PETROBRÁS, 2006) o pavimento rodoviário classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos: *rígidos* e *flexíveis*. Mais recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland (ou simplesmente concreto-cimento) e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento.

2.2.2.1 Pavimento Flexível

Pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações, até certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga. (SENÇO, 1997).

O (DNIT, 2006) classifica o pavimento flexível como sendo aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.

Figura 1: Seção transversal típica – pavimento flexível.



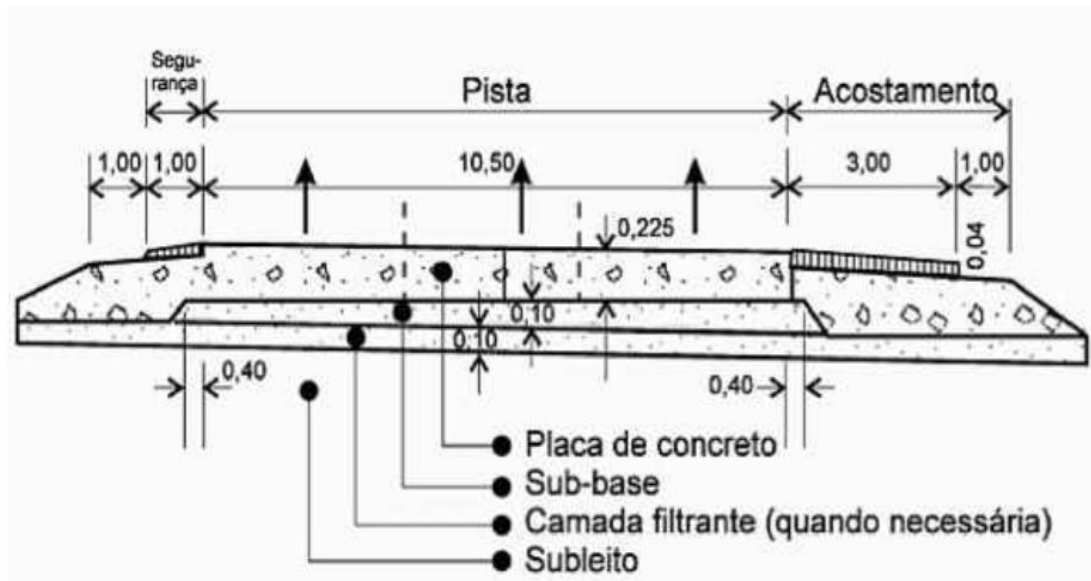
Fonte: Senço (1997).

2.2.2.2 Pavimento Rígido

Segundo Senço (1997), pavimentos rígidos são aqueles pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações.

O pavimento rígido, conforme a classificação do (DNIT, 2006) é aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento *Portland*.

Figura 2: Seção transversal típica de uma pista de três faixas de tráfego – parte de uma autoestrada – pavimento rígido.

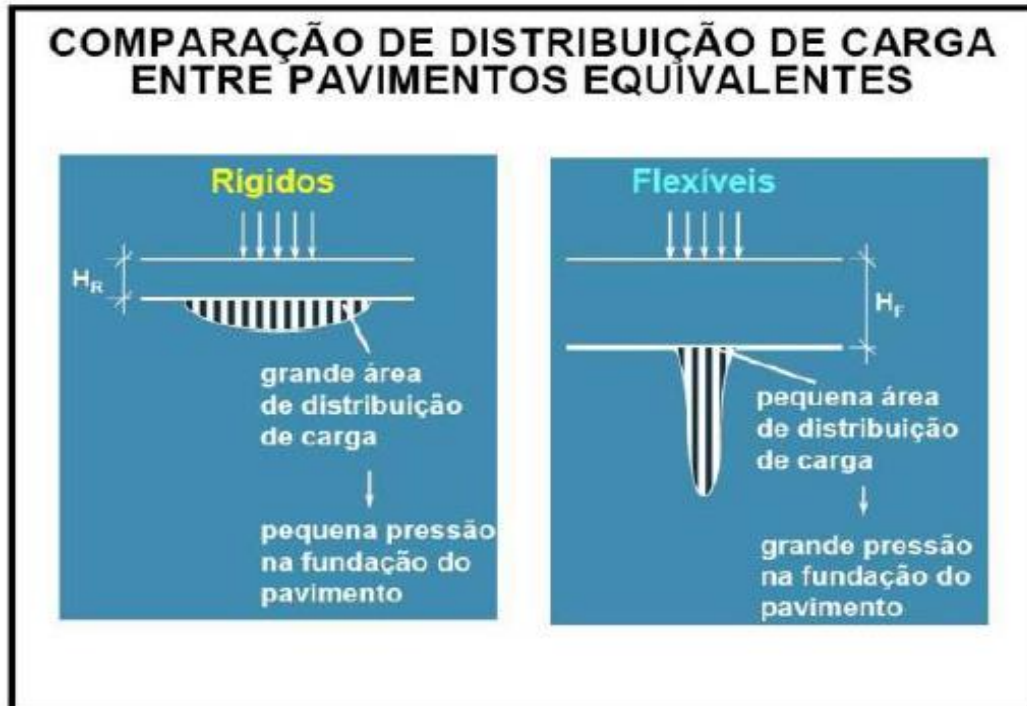


Fonte: Senço (1997).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO

Mais especificamente, destaca-se que, no pavimento rígido, o concreto absorve grande parte dos esforços que são exercidos sobre o pavimento e acaba desempenhando um papel de base e revestimento, enquanto no pavimento flexível uma parte destes esforços é transmitida às camadas inferiores, como pode ser observado na Figura 3. (SILVA, 2008)

Figura 3: Comparação de distribuição de carga entre pavimentos equivalentes.



Fonte: Andrade (2007)

2.4 CONCRETO

2.4.1 Conceitos

Senço (1997) conceitua que concreto é uma mistura convenientemente dosada e uniformizada de agregados, areia, cimento e água nas dimensões previstas em projeto. É a base que mais se caracteriza como rígida, e seu dimensionamento obedece a estudos baseados na teoria de *Westergaard*, podendo ou não ser armada com barras metálicas.

De acordo a NBR 12655 (2015) concreto de cimento *Portland* é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

2.4.2 Materiais

A NBR 12655 (2015) especifica quanto aos requisitos para os materiais componentes do concreto que não podem conter substâncias prejudiciais em quantidades que possam comprometer a durabilidade do concreto ou causar corrosão da armadura e devem ser adequados para o uso pretendido do concreto.

Ainda segundo a NBR:

A composição do concreto e a escolha dos materiais componentes devem satisfazer as exigências estabelecidas nesta norma. Dentre os materiais que podem compor o concreto são:

- Cimento;
- Agregados;
 - Agregados miúdos;
 - Agregados graúdos;
 - Agregados recuperados.
- Água;
- Aditivos;
 - Sílica ativa
 - Metacaulim
 - Outros materiais pozolânicos.

2.4.3 Controle

Conforme a NBR 12655 (2015) para cada tipo e classe de concreto a ser colocado em uma estrutura, devem ser realizados os ensaios de controle previstos na norma, além de ensaios e determinações para o controle das propriedades especiais conforme a seguir:

- Ensaio de consistência;
- Ensaios de resistência à compressão.

2.5 O WHITETOPPING

2.5.1 História

De acordo com Silva (2001), o reforço de pavimento asfáltico com concreto de cimento *Portland-Whitetopping* tem seus primeiros registros em 1918, quando a Sétima Avenida em Terre Haute, Indiana, recebeu um *Whitetopping* com 75 a 100mm de espessuras. Ao longo dos anos 1960 e 1970, a Califórnia usou reforço de

concreto não armado de 175mm e 225mm de espessura sobre diversas seções de pavimentos asfálticos. Estes trechos foram avaliados em 1977 e 1981 e concluiu-se que o comportamento destes *Whitetopping* foi excelente, sendo que muitos deles continuaram em serviço por mais de 20 anos. Aproximadamente 100 projetos de *Whitetopping* com espessuras variando de 100mm a 200mm e cerca de 80 com 6 espessuras maiores que 200mm foram executados nos Estados Unidos na década de 1980 e início de 1990. Este crescimento do uso do *Whitetopping* a partir de 1980, segundo sugere a literatura (TRB-NCHRP, 1994), é devido ao aumento de afundamento de trilha de roda e outros defeitos do pavimento asfáltico provocados pelo aumento do volume e peso do tráfego.

2.5.2 Conceitos

Segundo o DNIT (2004, p. 3) *Whitetopping* é um pavimento de concreto de cimento *Portland* superposto a um pavimento flexível existente, tendo este último a função de sub-base. Como nos pavimentos de concreto simples usuais, as tensões solicitantes são combatidas tão somente pelo próprio concreto, não havendo nenhum tipo de armadura distribuída.

Whitetopping é a consagrada técnica de reabilitação de pavimentos asfálticos com o emprego de concreto de cimento *Portland*. Consiste na aplicação do pavimento de concreto sobre o pavimento flexível existente, ampliando a durabilidade e a capacidade de carga da estrutura (CARVALHO, 2015).

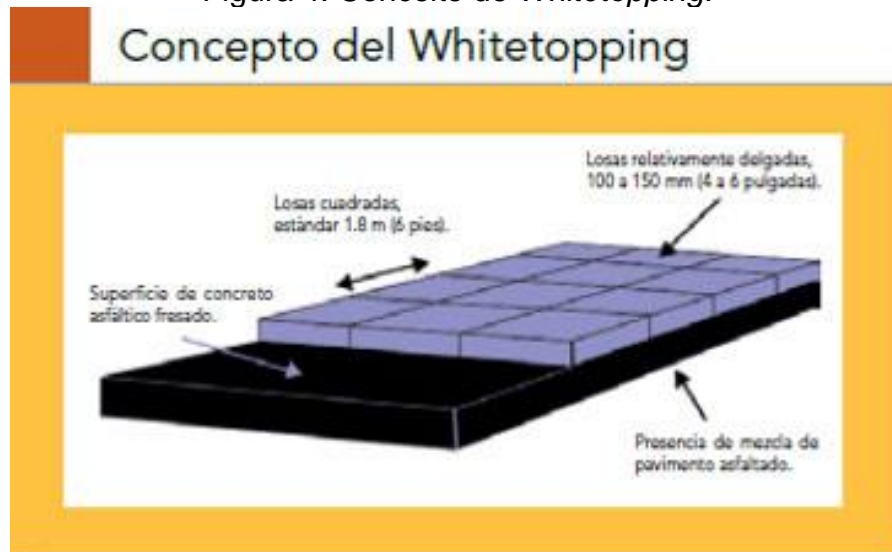
De acordo com Santos (2015), *Whitetopping* é uma tecnologia que permite agregar pavimento rígido ao asfalto. Trata-se da técnica de reabilitação de pavimentos com revestimento asfáltico (flexíveis, invertidos ou semirrígidos) em que o pavimento de concreto é aplicado diretamente sobre eles, com ou sem camadas de nivelamento, conforme os procedimentos clássicos de projeto e construção dos pavimentos rígidos.

2.5.3 Classificação

Atualmente, a engenharia rodoviária possui três tipos de *Whitetopping*: 1) Tradicional, com espessura mínima de até 10 centímetros que pode ser aplicado em qualquer estado de degradação do pavimento flexível; 2) Ultradelgado, com

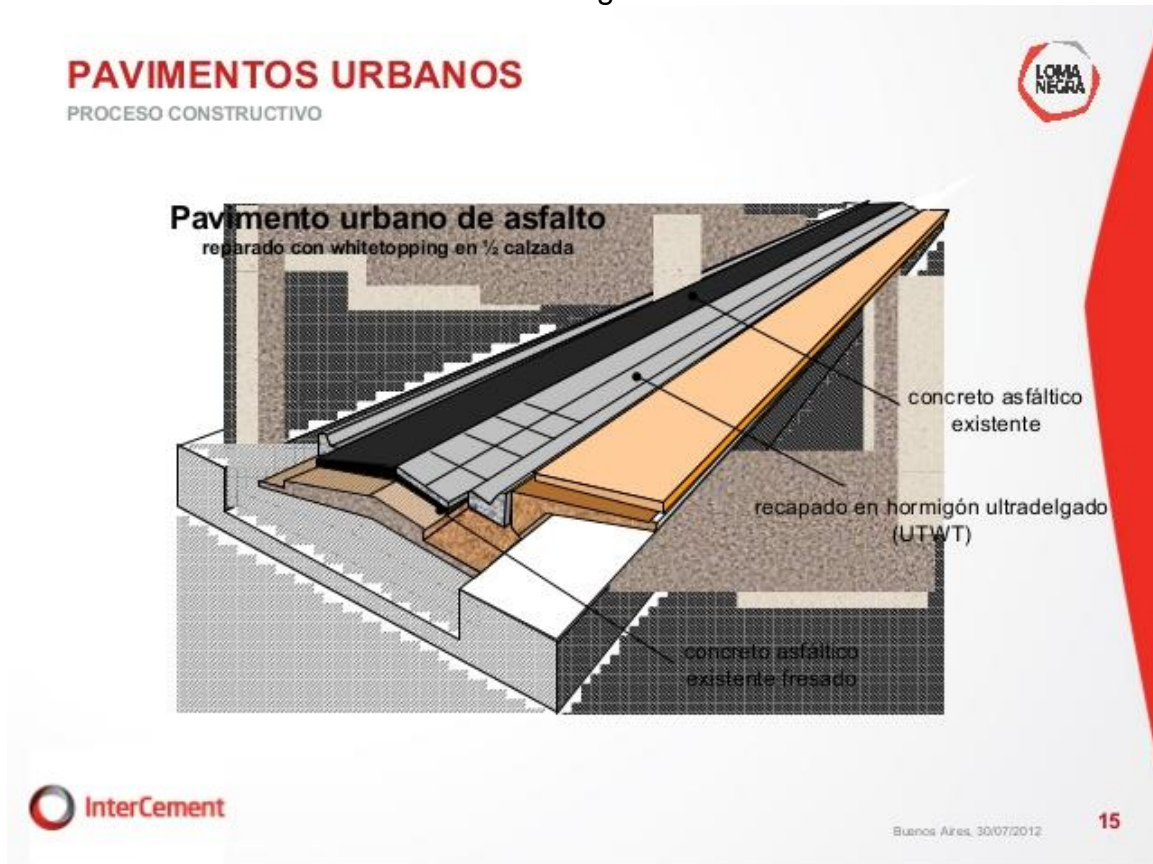
espessuras entre 10 centímetros a 5 centímetros, que se presta para reforçar estruturalmente o pavimento existente; 3) Delgado composto, que é uma estrutura que mescla vantajosamente as características dos dois primeiros tipos, permitindo espessuras entre as que resultariam entre a do *Whitetopping* tradicional e a do Ultradelgado, (SANTOS, 2015).

Figura 4: Conceito de *Whitetopping*.



Fonte: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Figura 5: Ilustração de pavimento urbano de asfalto reparado com *Whitetopping* Ultradelgado.



Fonte: Becker, Edgardo. (2015).

2.5.4 Procedimento executivo

Pitta (2002) descreve que o *Whitetopping* pode ser colocado diretamente sobre a superfície do antigo pavimento, somente requerendo preparo prévio caso haja deterioração funcional ou estrutural – veja quais são os tratamentos na figura 6 de defeitos e preparos requeridos. Em qualquer situação o pavimento asfáltico existente é considerado como uma excelente camada de fundação, incorporando-se estruturalmente ao *Whitetopping*. O concreto empregado no *Whitetopping* é o tradicionalmente usado em pavimentos comuns: resistência característica a tração na flexão da ordem de 45Mpa, abatimento do tronco de cone máximo de 60mm e consumo de cimento acima dos 320kg/m³ de concreto.

Figura 6: Intervenções prévias no pavimento asfáltico existente para a aplicação do *Whitetopping*, em função do tipo de defeito.

INTERVENÇÕES PRÉVIAS NO PAVIMENTO ASFÁLTICO EXISTENTE, EM FUNÇÃO DO TIPO DE DEFEITO	
TIPO DE DEFEITO	PREPARO PRÉVIO REQUERIDO
Trilha-de-roda > 50mm	Fresagem ou nivelamento
Trilha-de-roda < 50mm	Nenhum
"Painéis"	Enchimento
Falha de subleito	Remoção / Reparação
Trincas em geral	Nenhum
Exsudação	Nenhum
Desagregação superficial	Limpeza

Fonte: Pitta (2015)

Figura 7: Etapa de lançamento do concreto.



Fonte: Portal Soluções para Cidades.

2.5.5 Vantagens

Carvalho (2015) relata sobre, a vantagem da técnica do *Whitetopping*, além de reaproveitar toda a infraestrutura do pavimento existente, é o comportamento do pavimento restaurado quanto à sua durabilidade: idêntica a um pavimento de concreto novo, com expectativa de vida de serviço de 30 anos no mínimo, com

mínimas necessidades de manutenção. A solução em *Whitetopping* ainda é vantajosa porque, com o emprego do concreto como revestimento e base, as camadas inferiores ficam sujeitas a esforços muito reduzidos em comparação a um pavimento asfáltico, o que garante sua preservação por longos anos.

Segundo a ABCP (2015):

Os diferenciais, entre as vantagens do uso do *Whitetopping*, se destacam as seguintes:

- Aplicado diretamente sobre o pavimento asfáltico existente;
- Requer preparação apenas da superfície em estágios avançados de degradação;
- Aplicação favorecida no caso de restrições orçamentárias e tráfego pesado;
- Usa concreto comum, sem armaduras;
- Evita a reflexão de trincas;
- Aumenta a segurança de rolamento;
- Substitui com vantagem a construção “por etapas”;
- Amplia a vida útil e a capacidade de carga dos pavimentos;
- A preparação da superfície deteriorada é mínima, reparando principalmente “panelas” existentes ou fresando a superfície (no caso de existência de trilhas de roda consideráveis);
- Vida útil acima de 20 anos;
- Como todo pavimento de concreto, economiza energia elétrica de iluminação e combustível. (ABCP, 2015)

2.6 PATOLOGIA

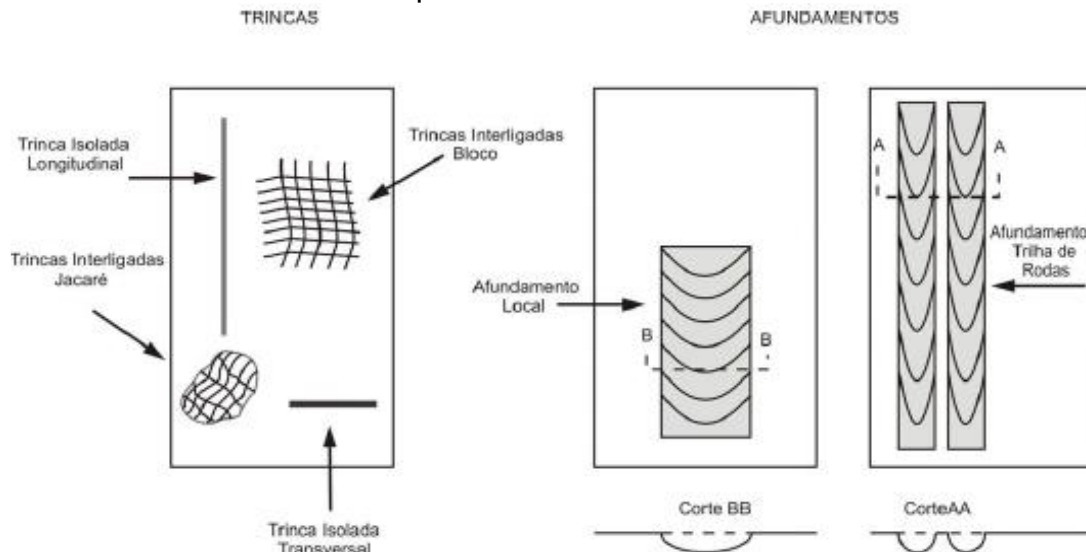
DNIT (2004) define que defeito é uma anomalia observada no pavimento, decorrente de problemas na fundação, de má execução ou do uso do pavimento.

Segundo Sian (apud BALBO, 1993), em termos funcionais, a diferença principal entre o pavimento flexível e o pavimento rígido reside no fato de que as cargas aplicadas no primeiro tendem a criar um campo de tensões mais concentrado junto ao ponto de aplicação das mesmas, enquanto que no pavimento rígido, o campo de tensões é mais disperso, sendo distribuído por toda a extensão da placa, atenuando assim os esforços sobre o subleito.

2.6.1 Pavimento Flexível

O DNIT (2003) define que nos pavimentos flexíveis são observadas as seguintes patologias:

Figura 8: Representação esquemática dos defeitos ocorrentes na superfície dos pavimentos flexíveis.



Fonte: DNIT (2003).

- Fenda: Qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas, conforme adiante descrito.
- Fissura: Fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível a vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m.
- Trinca: Fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada.
 - ◆ Trinca isolada:
 - Trinca transversal;
 - Trinca longitudinal;
 - Trinca de retração.
 - ◆ Trinca interligada:
 - Trinca tipo “couro de Jacaré”;
 - Trinca tipo “Bloco”.
- Afundamento: Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação.
 - ◆ Afundamento plástico;
 - ◆ Afundamento de consolidação;
- Ondulação ou Corrugação: Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais, na superfície do pavimento.
- Exsudação: Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.
- Desgaste: Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.
- Panela ou buraco: Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.

- Remendo: Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”. Podendo ser de duas formas.
- ◆ Remendo profundo;
- ◆ Remendo superficial. (DNIT, 2003)

Figura 9: Trinca interligada – tipo jacaré.



Fonte: DNIT (2003).

2.6.2 Pavimento Rígido

De acordo com o DNIT (2004):

Os tipos de defeitos observados no pavimento rígido são:

- Alçamento de placas: desnivelamento das placas nas juntas ou nas fissuras transversais e eventualmente, na proximidade de canaletas de drenagens ou de intervenções feitas no pavimento;
- Fissura de canto: é a fissura que intercepta as juntas a uma distância menor ou igual à metade do comprimento das bordas ou juntas do pavimento (longitudinal e transversal), medindo-se a partir do seu canto. Esta fissura geralmente atinge toda a espessura da placa;
- Placa dividida: é a placa que apresenta fissuras dividindo-a em quatro ou mais partes;
- Escalonamento ou degrau nas juntas: caracteriza-se pela ocorrência de deslocamentos verticais diferenciados e permanentes entre uma placa e outra adjacente, na região da junta;
- Falha na selagem das juntas: é qualquer avaria no material selante que possibilite o acúmulo de material incompressível na junta ou que permita a infiltração de água;
- Desnível pavimento – acostamento: é o degrau formado entre o acostamento e a borda do pavimento, geralmente acompanhado de uma separação dessas bordas;
- Fissuras lineares: são fissuras que atingem toda a espessura da placa de concreto, dividindo-a em duas ou três partes. Quando as fissuras dividem a placa em quatro ou mais partes, o defeito é denominado de “placa dividida”;
- Grandes reparos: entende-se como “grande reparo” uma área do pavimento original maior que 0,45m², que foi removida e posteriormente preenchida com um material de enchimento;

- Pequenos reparos: entende-se como “pequeno reparo” uma área do pavimento original menor ou igual a $0,45\text{m}^2$, que foi removida e posteriormente preenchida com um material de enchimento;
- Desgaste superficial: caracteriza-se pelo deslocamento da argamassa superficial, fazendo com que os agregados aflorem na superfície do pavimento, e com o tempo fiquem com a sua superfície polida;
- Bombeamento: consiste na expulsão de finos plásticos existentes no solo de fundação do pavimento, através das juntas, bordas ou trincas, quando da passagem das cargas solicitantes;
- Quebras localizadas: são áreas das placas que se mostram trincadas e partidas em pequenos pedaços, tendo formas variadas, situando-se geralmente entre uma trinca e uma junta ou entre duas trincas próximas entre si (em torno de $1,5\text{m}$);
- Passagem de nível: são defeitos que ocorrem em passagens de nível, consistindo de depressões ou elevações próximas aos trilhos;
- Fissuras superficiais (rendilhado) e escamação: as fissuras superficiais (rendilhado) são fissuras capilares que ocorrem apenas na superfície da placa, tendo profundidade entre 6mm e 13mm , que apresentam a tendência de se interceptarem, formando ângulos de 120° . A escamação caracteriza-se pelo deslocamento da camada superficial fissurada, podendo, no entanto, ser proveniente de outros defeitos, tal como o desgaste superficial;
- Fissuras de retração plástica: são fissuras pouco profundas (superficiais), de pequena abertura (inferior a $0,5\text{mm}$) e de comprimento limitado. Sua incidência costuma ser aleatória e elas se desenvolvem formando ângulo de 45° a 60° com o eixo longitudinal da placa;
- Esborcinamento ou quebra de canto: são quebras que aparecem nos cantos das placas, tendo forma de cunha, que ocorrem em uma distância não superior a 60cm de canto. Este defeito difere da fissura de canto, pelo fato de interceptar a junta num determinado ângulo (quebra em cunha), ao passo que a fissura de canto ocorre verticalmente em toda a espessura da placa;
- Esborcinamento de juntas: o esborcinamento das juntas se caracteriza pela quebra das bordas da placa de concreto (quebra em cunha) nas juntas, com o comprimento máximo de 60cm , não atingindo toda a espessura da placa;
- Placa bailarina: é a placa cuja movimentação vertical é visível sob a ação do tráfego, principalmente na região das juntas;
- Assentamento: caracteriza-se pelo afundamento do pavimento, criando ondulações superficiais de grande extensão, podendo ocorrer que o pavimento permaneça íntegro;
- Buracos: são reentrâncias côncavas observadas na superfície da placa, provocadas pela perda de concreto no local, apresentando área e profundidade bem definidas. (DNIT, 2004)

Figura 10: Placa dividida.



Fonte: DNIT (2010).

2.7 MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO

2.7.1 Pavimento Flexível

O DNIT (2006) com o objetivo específico de unificar a terminologia de manutenção rodoviária, apresenta a seguir:

Principais atividades (ou tarefas) e problemas típicos de conservação:

- Conservação preventiva periódica;
- Conservação corretiva rotineira;
- Remendos;
- Recuperações superficiais (recargas);
- Reforço estrutural;
- Reconstrução;
- Melhoramentos;
- Ações emergenciais;
- Serviços eventuais; (DNIT, 2006)

2.7.2 Pavimento Rígido

De acordo o DNIT (2010) a manutenção de um pavimento rígido pode ser preventiva, através de procedimentos que preservem a sua condição estrutural, retardando o processo de deterioração (a selagem de juntas e fissuras situa-se nesta categoria), ou pode consistir de reparações localizadas, capazes de restaurar

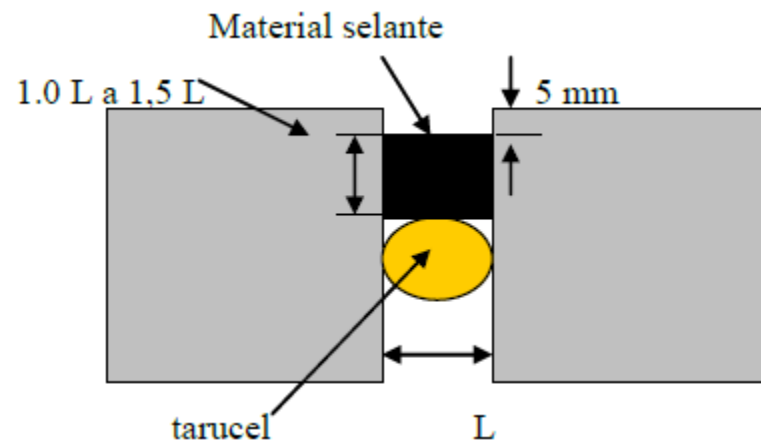
a condição estrutural do pavimento. São considerados reparos localizados a reparação de juntas ou cantos esborcinados, os reparos parciais (abrangendo ou não toda a espessura da placa) e a substituição total da placa.

Ainda segundo o DNIT (2010):

As relações dos defeitos para fins de recuperação existentes em uma placa de concreto de pavimentação podem ser classificadas das seguintes formas:

- Defeitos que não requerem a remoção da placa:
 - ◆ Recuperação de juntas:
 - Resselagem;
 - Esborcinamento.
 - ◆ Tratamento de fissuras:
 - Fissuras lineares que não atravessem toda a espessura da placa;
 - Fissuras lineares que atravessam toda a espessura da placa;
 - Fissuras do tipo rendilhado;
 - Fissuras de retração plástica.
 - ◆ Defeitos existentes na superfície da placa:
 - Desgaste superficial e escamação acentuada;
 - Esborcinamento ou quebra de canto;
 - Buracos de pequena extensão (<0,45m²);
 - Recuperação de pequenos reparos já deteriorados.
- Defeitos que, dependendo da condição existente no pavimento, podem requerer ou não a remoção parcial da placa:
 - Placa bailarina;
 - Bombeamento;
 - Escalonamento ou degraus;
 - Assentamentos;
 - Desnível pavimento/acostamento;
 - Alçamento.
- Defeitos que requerem a remoção parcial ou total da placa e, eventualmente, o tratamento da fundação:
 - Fissuras com abertura maior que 1,0 mm;
 - Fissuras transversais no interior da placa;
 - Fissura transversal próxima da junta transversal de contração;
 - Fissuras de canto;
 - Placa dividida;
 - Grandes reparos em estado de desagregação;
 - Buracos em grandes quantidades e de grande profundidade; (DNIT, 2010)

Figura 11: Recuperação das juntas – Resselagem.



Fonte: DNIT (2010).

3. METODOLOGIA

O estudo consistiu em uma pesquisa bibliográfica, no qual foi desenvolvido por meio de análises de outras literaturas, onde buscou-se estabelecer uma alternativa a pavimentação.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo foi a técnica de recuperação de pavimentos asfálticos com a utilização de concreto do tipo *Whitetopping* Convencional. Onde através de uma pesquisa bibliográfica buscou-se apresentar suas características, modelos de rodovias que utilizam o sistema e a metodologia de dimensionamento.

3.2. PROCESSOS, MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

3.2.1. Apresentar as características do sistema *Whitetopping*

Através de referências bibliográficas a partir de materiais científicos já publicados, bem como: normas, livros, manuais, teses e artigos, realizou-se uma pesquisa buscando verificar as características do *Whitetopping* convencional bem como seus métodos de dimensionamento, o concreto adequado para este pavimento, os equipamentos para a execução e o procedimento de execução separado por etapas.

3.2.2. Apresentar rodovias que utilizam o sistema

Estudou-se bibliograficamente através de artigos, trabalhos de conclusão de curso, teses, entre outros, abordando diferentes rodovias nacionais que utilizam o pavimento rígido do tipo *Whitetopping* convencional, como a primeira experiência com o sistema no Brasil dentre outras aplicações.

3.2.3. Apresentar os critérios adotados no dimensionamento do *Whitetopping* na rodovia BR-290 trecho Osório-Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul.

Esta apresentação teve como base os trabalhos apresentados na V Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias (2006), realizado pelos engenheiros Mestre Carlos Roberto Giublin e o Especialista Alexander Maschio, ambos engenheiros civis pela Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP), com o objetivo de apresentar os critérios adotados no projeto de dimensionamento do pavimento de concreto utilizando a técnica de *Whitetopping* na recuperação da BR-290, pista norte, no sentido Osório – Porto Alegre. E também no 4º Encontro Técnico (2007) DER/PR “Restauração de Pavimentos com Soluções a Base de Cimento: *Whitetopping* – O concreto como solução para recuperação de vias de alto tráfego – BR-290 – *Free-Way*”, também do Mestre Engenheiro Civil Carlos Roberto Giublin.

A análise do dimensionamento da camada de concreto teve como referência o Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura) de 2005, utilizando o método para pavimentos de concreto simples – Método da *Portland Cement Association* – PCA – 1984.

Roteiro utilizado para o dimensionamento da espessura do pavimento de acordo com DNIT (2005):

- a) Definição dos parâmetros de dimensionamento:
 - Tipo de acostamento e adoção ou não de barras de transferência;
 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias;
 - Coeficiente de recalque;
 - Fator de segurança;
 - Tráfego esperado para cada nível de carga e de acordo com a vida de projeto do pavimento. (Quadro 02). (DNIT, 2005)

Para o dimensionamento da espessura das placas, foram considerados os fatores de segurança para as cargas (FSC) apresentados no Quadro 1. (DNIT, 2005)

Quadro 1: Fatores de segurança para as cargas (FSC).

Tipo de Pavimento	FSC
– para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1,0
– para estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
– para altos volumes de caminhões	1,2
– pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal	Até 1,5

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 2: Exemplo de cálculo de eixos totais por classe de carga (20 anos).

EXEMPLO DE CÁLCULO DE EIXOS TOTAIS POR CLASSE DE CARGA (20 ANOS)							
Faixa da Carga (tf)	Ônibus (T = 723)		Caminhões de 2 eixos (T = 460)		Caminhões de mais de 2 eixos (T = 1113)		Total de Eixos Solicitantes
	Eixos por 1000 veículos	Nº de Eixos	Eixos por 1000 veículos	Nº de Eixos	Eixos por 1000 veículos	Nº de Eixos	
Eixos Simples							
< 5	1348	974.604	1452	667.920	1463	1.628.319	3.270.843
5 - 6	130	93.990	50	23.000	78	86.814	203.804
6 - 7	174	124.802	65	29.900	122	135.786	290.488
7 - 8	130	93.920	57	26.220	106	117.978	238.118
8 - 9	87	62.901	57	26.220	138	153.594	242.715
9 - 10	87	62.901	77	35.420	191	212.583	310.904
10 - 11	43	31.089	96	44.160	186	207.018	282.267
11 - 12			77	35.420	186	207.018	242.438
12 - 13			50	23.000	165	183.645	206.645
13 - 14			15	6.900	53	58.989	65.889
14 - 15			8	3.680	32	35.616	39.296
15 - 16					5	5.565	5.565
Eixos Tandem Duplos							
< 13					164	182.532	182.532
13 - 14					5	5.565	5.565
14 - 15					11	12.243	12.243
15 - 16					11	12.243	12.243
16 - 17					16	17.808	17.808
17 - 18					27	30.051	30.051
18 - 19					21	23.373	23.373
19 - 20					16	17.808	17.808
20 - 21					16	17.808	17.808
21 - 22					11	12.243	12.243
22 - 23					5	5.565	5.565
23 - 24					5	5.565	5.565
Eixos Tandem Triplos							
< 24					27	30.051	30.051
24 - 26					16	17.808	17.808
26 - 28					11	12.243	12.243
28 - 30					17	18.921	18.921

Fonte: DNIT (2005).

b) adoção de uma espessura tentativa de concreto e preenchimento dos dados da folha-tipo de trabalho. (Quadro 3). (DNIT, 2005)

Quadro 3: Cálculo da espessura de pavimento de concreto.

Projeto: Pesquisa IPR / Pavimentos Rígidos

Espessura-tentativa: 25 cm

Juntas com BT:

sim

não x

K_{sb} 100 MPa/m

Acostamento de concreto:

sim

não x

Resistência característica à tração na flexão 4,8 Mpa

Período de projeto 20 anos

Fator de segurança de cargas, F_{sc} 1,2

EXEMPLO DE CÁLCULO DE EIXOS TOTAIS POR CLASSE DE CARGA (20 ANOS)						
Cargas por eixo (tf)	Cargas por eixo x F_{sc} (tf)	Nº de repetições previstas	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROSIÃO	
			nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Eixos Simples			(8) Tensão equivalente 1,14		(10) Fator de Erosão 2,72	
			(9) Fator da fadiga 0,238			
< 5	6,0	3.270.843	ilimitado	-	ilimitado	-
5 - 6	7,2	203.804	ilimitado	-	ilimitado	-
6 - 7	8,4	290.488	ilimitado	-	ilimitado	-
7 - 8	9,6	238.118	ilimitado	-	21.200.000	1,1
8 - 9	10,8	242.715	ilimitado	-	8.500.000	2,9
9 - 10	12,0	310.404	ilimitado	-	4.000.000	7,8
10 - 11	13,2	282.267	ilimitado	-	2.500.000	11,3
11 - 12	14,4	242.438	ilimitado	-	1.430.000	17,0
12 - 13	15,6	206.645	ilimitado	-	825.000	25,0
13 - 14	16,8	65.889	6.000.000	1,1	555.000	11,9
14 - 15	18,0	39.296	750.000	5,3	365.000	10,8
15 - 16	19,2	5.565	227.000	2,5	265.000	2,1
Eixos Tandem Duplos			(11) Tensão equivalente 0,99		(12) Fator de erosão 2,89	
			(13) Fator de fadiga 0,206			
< 13	15,6	182.532	ilimitado	-	24.500.000	0,7
13 - 14	16,8	5.565	ilimitado	-	13.000.000	-
14 - 15	18,0	12.243	ilimitado	-	7.500.000	0,2
15 - 16	19,2	12.243	ilimitado	-	5.100.000	0,2
16 - 17	20,4	17.808	ilimitado	-	3.400.000	0,5
17 - 18	21,6	30.051	ilimitado	-	2.700.000	1,1
18 - 19	22,8	23.373	ilimitado	-	1.800.000	1,3
19 - 20	24,0	17.808	ilimitado	-	1.300.000	1,4
20 - 21	25,2	17.808	ilimitado	-	970.000	1,8
21 - 22	26,4	12.243	ilimitado	-	750.000	1,6
22 - 23	27,6	5.565	ilimitado	-	700.000	0,8
23 - 24	28,8	5.565	ilimitado	-	460.000	1,2
Eixos Tandem Triplos			(14) Tensão equivalente 0,99		(15) Fator de erosão 2,89	
			(16) Fator de fadiga 0,206			
< 24	9,6	30.051	ilimitado	-	3.000.000	1,0
24 - 26	10,4	17.808	ilimitado	-	2.100.000	0,8
26 - 28	11,2	12.243	ilimitado	-	1.500.000	0,8
28 - 30	12,0	18.921	ilimitado	-	900.000	2,1
TOTAL				8,90%	TOTAL	105,4%

Fonte: DNIT (2005)

c) Determinou-se a Tensão Equivalente nos Quadros 04 e 05, para um pavimento sem acostamento, para eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, (DNIT, 2005):

- A espessura estimada da placa, H;
- O coeficiente de recalque do sistema, $k^{(*)}$.

Quadro 4: Tensão equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (Mpa) PSAC
(pavimento sem acostamento de concreto).

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		180	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	4,30	3,56	3,78	3,01	3,51	2,81	3,31	2,68	3,17	2,57	2,91	2,43	2,74	2,35
13	3,84	2,33	3,38	2,73	3,14	2,53	2,97	2,40	2,84	2,30	2,61	2,16	2,46	2,08
14	3,46	2,96	3,05	2,49	2,83	2,29	2,68	2,16	2,56	2,08	2,37	1,94	2,23	1,85
15	3,14	2,72	2,27	2,29	2,57	2,09	2,44	1,97	2,33	1,88	2,16	1,75	2,04	1,67
16	2,87	2,52	2,53	2,12	2,35	1,93	2,23	1,81	2,13	1,73	1,97	1,60	1,87	1,52
17	2,63	2,35	2,33	1,97	2,16	1,79	2,05	1,67	1,96	1,60	1,81	1,47	1,72	1,39
18	2,43	2,20	2,15	1,84	1,99	1,66	1,89	1,55	1,81	1,48	1,68	1,36	1,59	1,28
19	2,25	2,07	1,99	1,72	1,85	1,56	1,75	1,45	1,68	1,38	1,56	1,26	1,48	1,19
20	2,10	1,95	1,85	1,62	1,72	1,46	1,64	1,36	1,56	1,29	1,45	1,18	1,38	1,11
21	1,96	1,85	1,73	1,53	1,61	1,38	1,52	1,29	1,46	1,22	1,36	1,11	1,28	1,04
22	1,83	1,75	1,62	1,45	1,50	1,31	1,42	1,22	1,37	1,15	1,28	1,05	1,20	0,98
23	1,72	1,67	1,52	1,38	1,41	1,24	1,33	1,15	1,28	1,09	1,20	0,99	1,13	0,92
24	1,62	1,59	1,43	1,31	1,33	1,18	1,25	1,10	1,21	1,04	1,13	0,94	1,07	0,88
25	1,53	1,52	1,35	1,25	1,26	1,12	1,19	1,05	1,14	0,99	1,07	0,89	1,01	0,83
26	1,45	1,45	1,28	1,20	1,19	1,07	1,13	1,00	1,08	0,94	1,01	0,85	0,95	0,80
27	1,83	1,39	1,21	1,15	1,13	1,03	1,07	0,95	1,03	0,90	0,95	0,81	0,90	0,76
28	1,31	1,34	1,15	1,10	1,07	0,99	1,02	0,91	0,98	0,86	0,90	0,78	0,86	0,73
29	1,25	1,29	1,10	1,06	1,02	0,95	0,97	0,88	0,93	0,83	0,86	0,75	0,82	0,69
30	1,19	1,24	1,05	1,02	0,97	0,91	0,92	0,85	0,89	0,80	0,82	0,72	0,78	0,66
31	1,13	1,20	1,00	0,99	0,93	0,88	0,88	0,81	0,84	0,77	0,78	0,69	0,74	0,64
32	1,09	1,16	0,96	0,95	0,89	0,85	0,84	0,78	0,80	0,74	0,75	0,67	0,71	0,62
33	1,04	1,12	0,92	0,92	0,85	0,82	0,80	0,76	0,77	0,71	0,72	0,64	0,68	0,60
34	1,00	1,08	0,88	0,89	0,81	0,79	0,77	0,73	0,73	0,69	0,69	0,62	0,66	0,58

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 5: Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (Mpa) PSAC (pavimento sem acostamento de concreto).

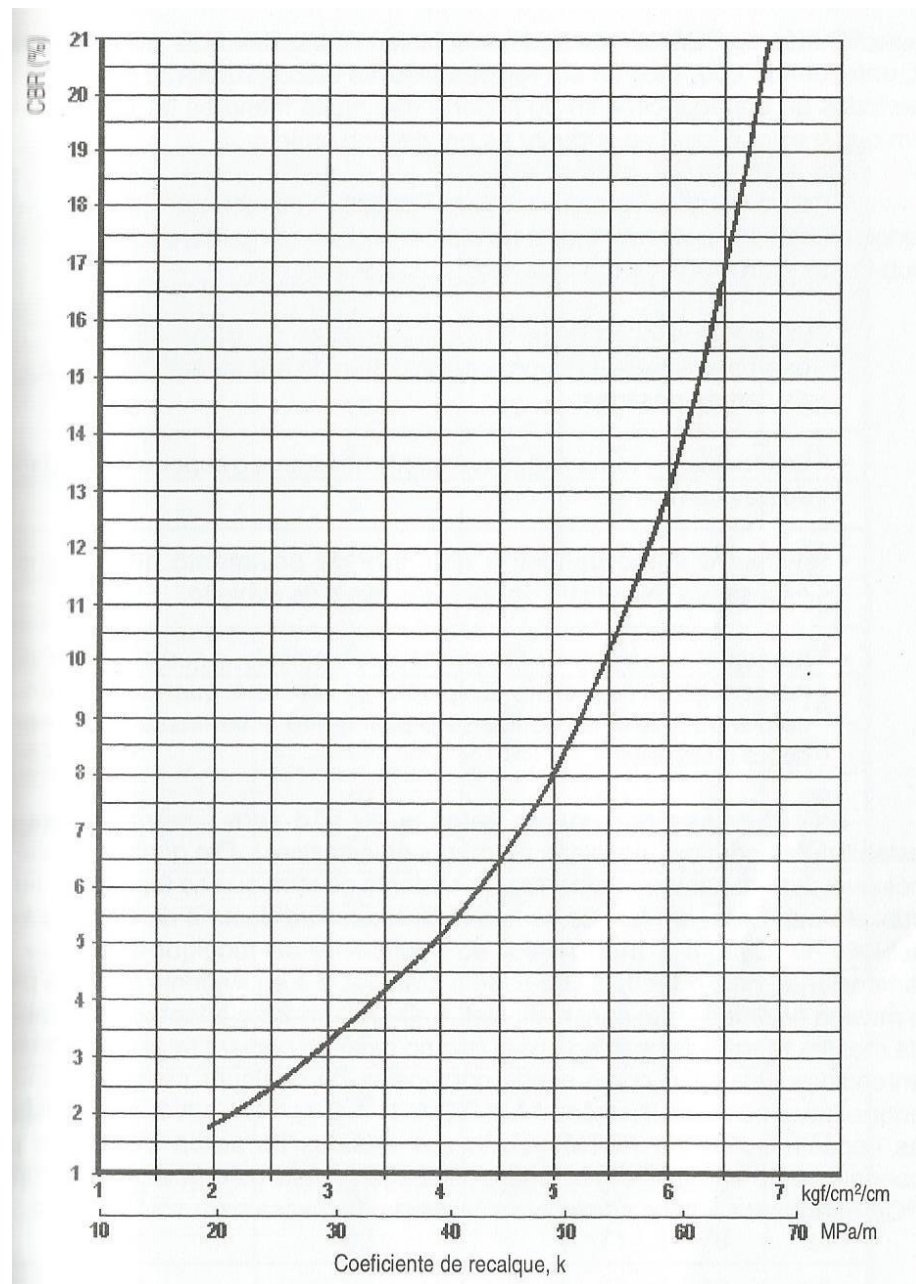
Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	2,60	2,30	2,20	2,14	2,08	2,07
13	2,35	2,04	1,93	1,87	1,80	1,78
14	2,15	1,83	1,72	1,65	1,58	1,55
15	1,99	1,67	1,55	1,48	1,40	1,37
16	1,85	1,54	1,41	1,34	1,25	1,23
17	1,73	1,43	1,30	1,23	1,14	1,11
18	1,62	1,34	1,21	1,14	1,04	1,01
19	1,53	1,26	1,13	1,06	0,96	0,92
20	1,45	1,19	1,07	0,99	0,89	0,85
21	1,37	1,13	1,01	0,93	0,83	0,79
22	1,30	1,07	0,95	0,88	0,78	0,74
23	1,24	1,02	0,91	0,84	0,73	0,70
24	1,18	0,97	0,87	0,80	0,69	0,66
25	1,13	0,93	0,83	0,76	0,66	0,62
26	1,07	0,89	0,79	0,73	0,63	0,59
27	1,02	0,86	0,76	0,70	0,60	0,57
28	0,98	0,82	0,73	0,67	0,58	0,54
29	0,93	0,79	0,71	0,65	0,55	0,52
30	0,89	0,76	0,68	0,63	0,53	0,50
31	0,85	0,73	0,66	0,60	0,51	0,48
32	0,81	0,70	0,63	0,58	0,50	0,46
33	0,77	0,68	0,61	0,56	0,48	0,45
34	0,73	0,65	0,59	0,55	0,46	0,43

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005).

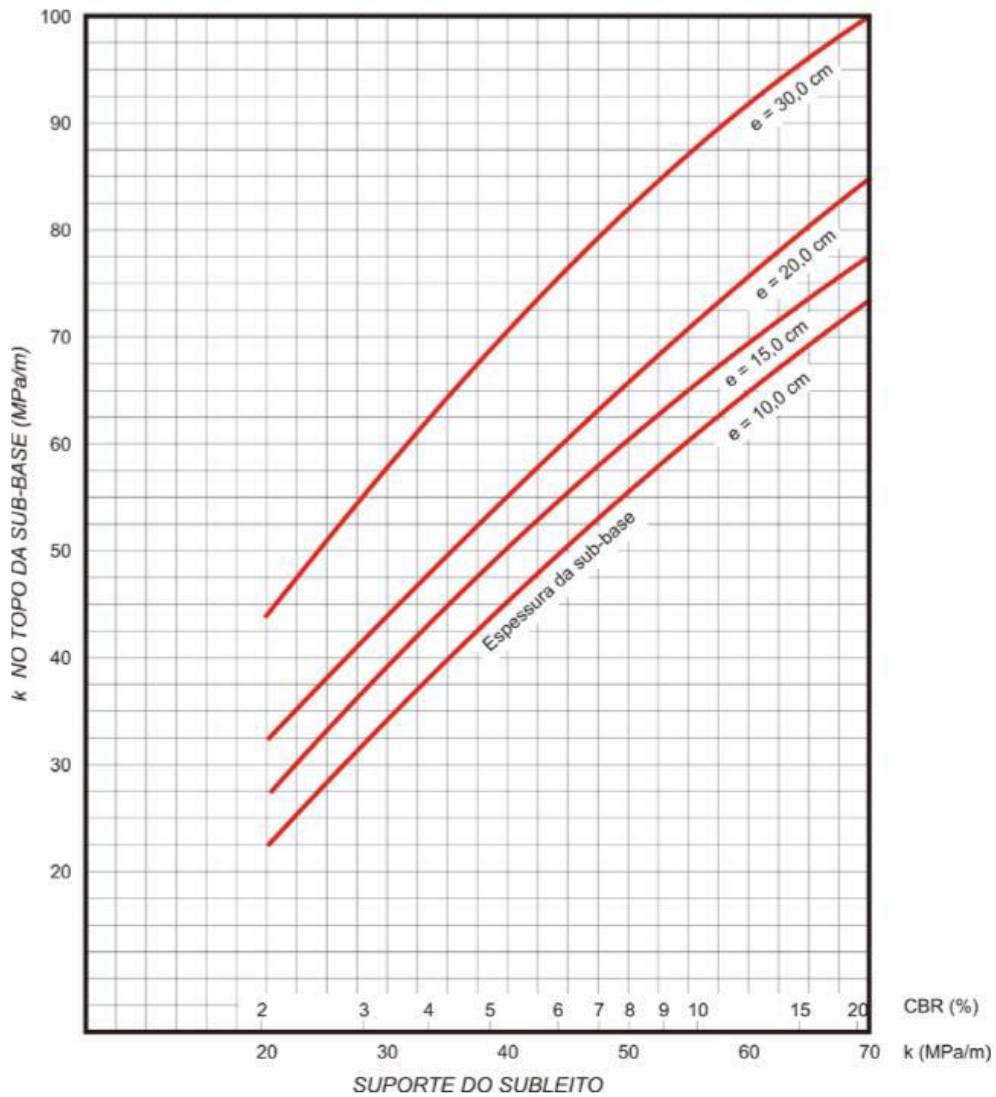
(Para a avaliação do coeficiente de recalque do sistema, k, foram utilizadas as figuras 12 e 13). (DNIT, 2005)

Figura 12: Relação entre índice de Suporte Califórnia (CBR) e coeficiente de recalque (k) do subleito.



Fonte: DNIT (2005).

Figura 13: Aumento de k devido à presença de sub-base granular.



Fonte: DNIT (2005).

d) Determinou-se nos Quadros 06 e 07 os fatores de erosão, de acordo com o tipo de junta considerada e o tipo de acostamento;

- Entrou-se com a espessura H e o k do sistema;
- Determinou-se os fatores de erosão para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos;
- Transportou-se respectivamente estes valores para os espaços 10, 12 e 15 do formulário do Quadro 03. (DNIT, 2005)

Quadro 6: Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos JBT e PSAC (Junta com barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto).

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		200	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	3,51	3,61	3,50	3,57	3,49	3,54	3,48	3,52	3,48	3,51	3,47	3,49	3,45	3,47
13	3,41	3,53	3,39	3,48	3,39	3,45	3,38	3,43	3,38	3,41	3,37	3,39	3,35	3,37
14	3,32	3,45	3,30	3,39	3,29	3,36	3,28	3,34	3,28	3,33	3,27	3,30	3,25	3,28
15	3,23	3,45	3,21	3,31	3,20	3,28	3,19	3,26	3,19	3,24	3,18	3,22	3,16	3,20
16	3,15	3,37	3,12	3,24	3,12	3,21	3,10	3,18	3,10	3,17	3,09	3,14	3,08	3,12
17	3,07	3,30	3,05	3,17	3,04	3,14	3,02	3,11	3,02	3,10	3,01	3,07	3,00	3,04
18	2,99	3,24	2,97	3,11	2,96	3,07	2,95	3,05	2,94	3,03	2,93	3,00	2,92	2,97
19	2,93	3,18	2,90	3,05	2,89	3,01	2,88	2,98	2,87	2,97	2,86	2,93	2,85	2,91
20	2,86	3,12	2,83	3,00	2,83	2,95	2,81	2,92	2,80	2,91	2,79	2,87	2,79	2,84
21	2,80	3,06	2,77	2,93	2,76	2,89	2,74	2,86	2,74	2,85	2,73	2,81	2,72	2,78
22	2,74	3,01	2,71	2,88	2,70	2,84	2,68	2,81	2,68	2,80	2,67	2,76	2,66	2,73
23	2,68	2,96	2,65	2,83	2,64	2,79	2,62	2,76	2,62	2,74	2,61	2,70	2,59	2,67
24	2,63	2,91	2,60	2,78	2,59	2,74	2,57	2,71	2,56	2,69	2,55	2,65	2,54	2,62
25	2,58	2,87	2,54	2,74	2,54	2,69	2,52	2,67	2,51	2,65	2,50	2,60	2,49	2,57
26	2,53	2,83	2,50	2,70	2,49	2,65	2,47	2,62	2,46	2,61	2,45	2,56	2,44	2,53
27	2,48	2,79	2,45	2,66	2,44	2,61	2,42	2,58	2,41	2,57	2,40	2,52	2,39	2,49
28	2,43	2,75	2,40	2,63	2,39	2,57	2,37	2,54	2,37	2,53	2,35	2,48	2,34	2,45
29	2,39	2,72	2,36	2,59	2,35	2,54	2,33	2,51	2,32	2,49	2,31	2,44	2,30	2,41
30	2,43	2,69	2,31	2,56	2,30	2,50	2,28	2,47	2,28	2,45	2,26	2,41	2,25	2,37
31	2,30	2,65	2,27	2,52	2,26	2,47	2,24	2,43	2,24	2,43	2,22	2,37	2,21	2,34
32	2,26	2,62	2,23	2,49	2,22	2,43	2,20	2,40	2,19	2,38	2,18	2,33	2,17	2,30
33	2,22	2,59	2,19	2,46	2,18	2,40	2,16	2,37	2,15	2,35	2,14	2,30	2,13	2,27
34	2,18	2,56	2,15	2,43	2,14	2,37	2,12	2,33	2,12	2,32	2,10	2,27	2,09	2,24

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005)

Quadro 7: Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos JP e PCAC (Junta com barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto).

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)					
	20	40	60	80	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	3,68	3,60	3,56	3,52	3,45	3,40
13	3,60	3,51	3,47	3,44	3,37	3,33
14	3,53	3,43	3,39	3,36	3,29	3,26
15	3,47	3,36	3,31	3,28	3,22	3,19
16	3,41	3,30	3,25	3,21	3,15	3,12
17	3,35	3,24	3,19	3,15	3,08	3,05
18	3,30	3,19	3,13	3,09	3,02	2,99
19	3,25	3,14	3,08	3,04	2,96	2,93
20	3,21	3,09	3,03	2,99	2,91	2,88
21	3,16	3,05	2,99	2,94	2,86	2,83
22	3,12	3,01	2,94	2,90	2,82	2,78
23	3,08	2,97	2,90	2,86	2,77	2,74
24	3,05	2,93	2,86	2,82	2,73	2,69
25	3,01	2,89	2,83	2,78	2,69	2,65
26	2,98	2,86	2,79	2,74	2,66	2,62
27	2,94	2,82	2,76	2,71	2,66	2,58
28	2,91	2,79	2,72	2,68	2,59	2,55
29	2,88	2,76	2,69	2,65	2,55	2,51
30	2,85	2,73	2,66	2,62	2,52	2,48
31	2,82	2,70	2,63	2,59	2,49	2,45
32	2,80	2,68	2,61	2,56	2,46	2,42
33	2,77	2,65	2,58	2,53	2,44	2,40
34	2,74	2,62	2,55	2,50	2,41	2,37

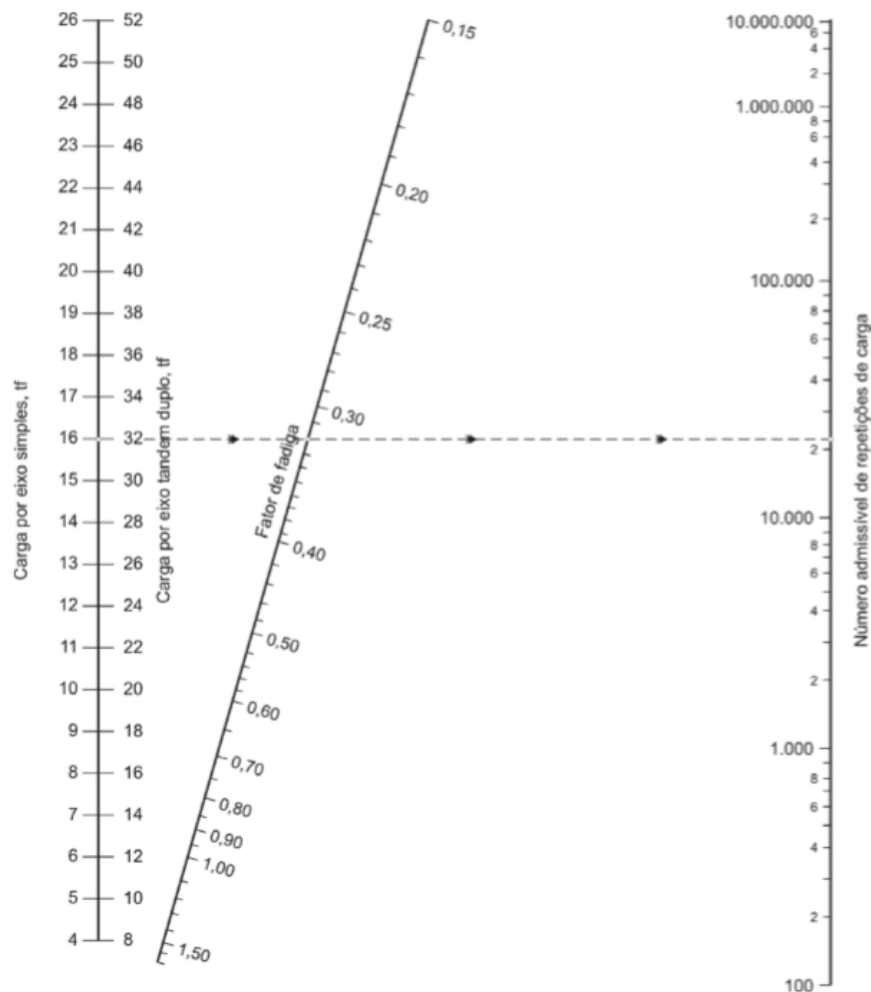
ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005)

e) Calculou-se os Fatores de Fadiga dos Campos 9, 13 e 16 do formulário do Quadro 03, para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, dividindo as Tensões Equivalentes pela resistência de projeto. (DNIT, 2005)

f) Com o Fator de Fadiga e as cargas por eixos simples e tandem duplos, determinou-se as Repetições Admissíveis na coluna 4, do Quadro 03, pela Figura 14 (Análise por Fadiga). (DNIT, 2005)

Figura 14: Análise de fadiga – número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga (com ou sem acostamento de concreto).



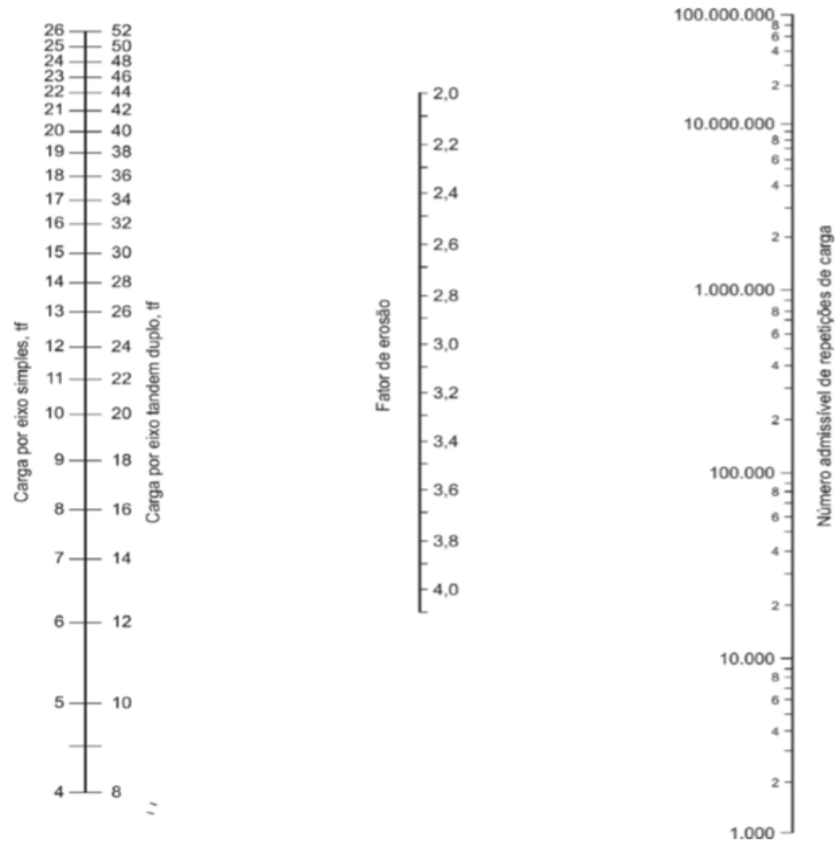
Fonte: DNIT (2005)

Os eixos tandem triplos são considerados para a determinação das Repetições Admissíveis como 3 eixos simples, cada um com um terço da carga total. Esta é uma simplificação que apenas facilita o cálculo; deve ser levado em conta, entretanto, que as Tensões Equivalentes que aparecem nos Quadros, correspondem a ação do conjunto formado originalmente pelos 3 eixos, ou seja, pelo próprio eixo tandem triplo.

g) Com o Fator de Erosão e as cargas por eixo simples e tandem duplos, determinou-se as Repetições Admissíveis no ábaco da figura 16 (para um pavimento sem acostamento de concreto) que são lançadas na coluna 6 do Quadro 03.

No caso dos eixos tandem triplos, como foi dito no item (f), eles são considerados, na determinação das Repetições Admissíveis, como sendo 3 eixos simples, cada um com um terço da carga total; esta é uma simplificação que apenas facilita o cálculo; deve entretanto, ser levado em conta, que os fatores de erosão que aparecem nos Quadros, correspondem à ação do conjunto formado originalmente pelos 3 eixos, ou seja, pelo próprio eixo tandem triplo. (DNIT, 2005)

Figura 15: Análise de erosão – número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto).



Fonte: DNIT (2005)

h) Dividiu-se as repetições esperadas pelas respectivas repetições admissíveis, determinadas tanto na Análise por Fadiga como na Análise por Erosão, determinando-se as porcentagens de resistência à fadiga consumida e o dano por erosão; transportou-se os valores calculados para as colunas 5 e 7, respectivamente, do Quadro 03.

i) Somou-se a coluna 5 (porcentagem de fadiga) e a coluna 6 (porcentagem de erosão) do Quadro 01; verificou-se a espessura estimada cumpre os requisitos solicitados, isto é, nenhuma das somas destas colunas, ultrapassou 100%.

Caso a espessura tentada seja insuficiente, deve-se repetir o cálculo com uma espessura maior.

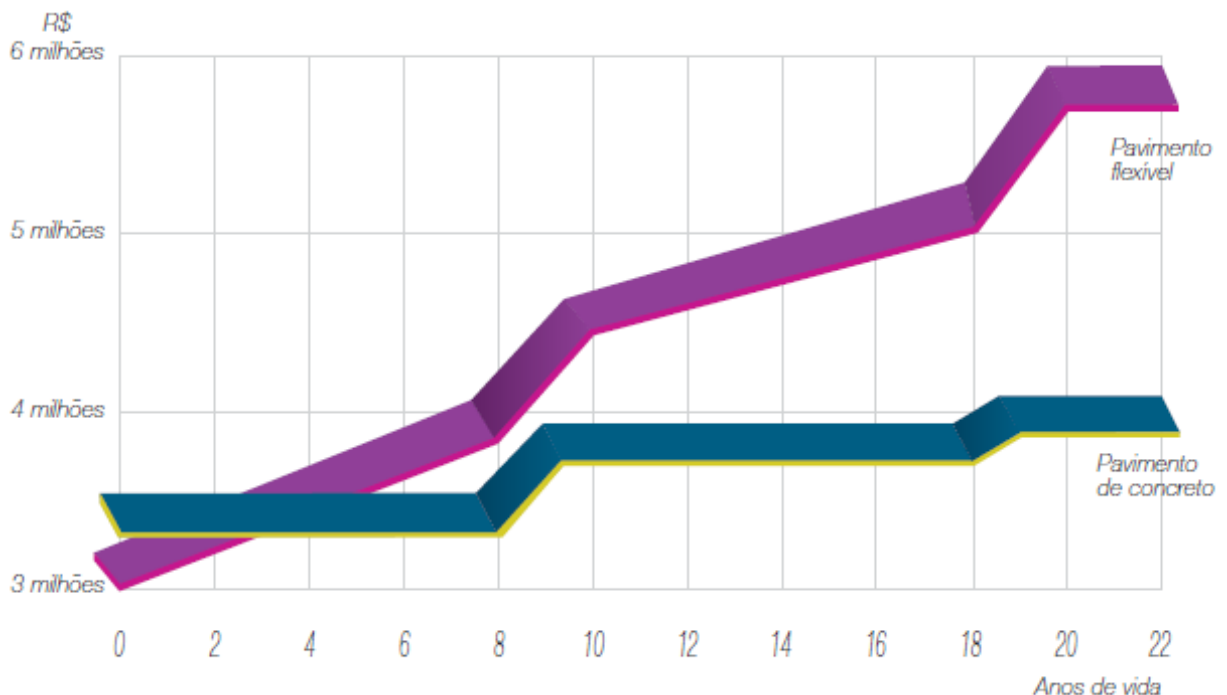
Se a porcentagem de resistência à fadiga consumida ou a porcentagem de dano por erosão ficarem próximas de zero, as condições estão satisfeitas, mas a placa estará superdimensionada, devendo-se, portanto, diminuir a espessura do pavimento, para buscar obter porcentagens o mais perto possível de 100%. (DNIT, 2005)

4. RESULTADOS

4.1. APRESENTAR AS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA “WHITETOPPING”

Quando se compara o concreto com uma estrutura equivalente de pavimento flexível, principalmente em rodovias de tráfego pesado, obtém-se um melhor desempenho da opção de pavimento de concreto, em função do seu custo construção (custo inicial) ser competitivo, requerer quase nenhuma manutenção e oferecer ao usuário baixo custo de operação durante sua vida útil, como mostra o gráfico 01. (ABCP, 2010)

Gráfico 01: Ciclo de vida dos pavimentos.

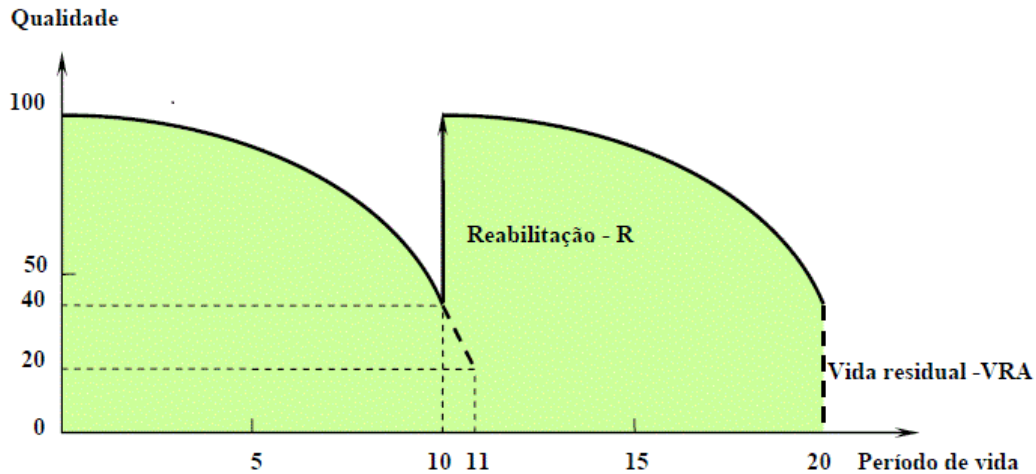


Fonte: ABCP (2010)

O pavimento asfáltico somente terá desempenho satisfatório se forem cumpridas rigorosamente intervenções de manutenção, sendo prevista para a estrutura a restauração com Fresagem e recapeamento com CBUQ, nos anos 7, 14 e 20 na espessura de 5 cm. Além desses serviços e considerada a manutenção

rotineira (50% de remendos e 50% de tapa-buracos) em 2% da área de pavimento, a partir do terceiro ano após a construção do pavimento ou do recapeamento. (ABCP, 2010)

Figura 17: Ciclo de Vida do pavimento de concreto



Fonte: http://1.bp.blogspot.com/_bLBfYPtZTnl/S-Cf-oT435l/AAAAAAAAADmQ/zCt1CfXWFvU/s1600/ciclodevida.gif, acesso em: 19/03/2016.

4.1.1. Métodos de dimensionamento

Para o dimensionamento de pavimentos de concreto simples, são apresentados dois métodos elaborados pela *Portland Cement Association* (PCA) (como mostra a figura 18), sendo um deles mais tradicional, apresentado em 1966 e largamente adotado no Brasil e outro mais atual, de 1984, que engloba novos conceitos no dimensionamento de pavimentos rígidos e que tem sido muito usado entre nós.

O método da *Portland Cement Association* – PCA – versão 1984, introduz os progressos e conhecimentos obtidos nos dois últimos decênios nas áreas de cálculo de tensões, projeto geométrico, construção e gerência desse tipo de pavimento, acrescentando novos enfoques e modificando profundamente o método adotado desde 1966.

Ele se aplica tanto a pavimentos de concreto simples e com barras de transferência, como naqueles dotados de armadura distribuída, descontínua ou contínua, sem função estrutural.

Neste método, emprega-se um modelo de análise estrutural de elementos finitos, ao contrário do método anterior, de 1966, que é da família dos modelos estruturais de placas com suporte contínuo.

Outros tópicos que este método leva em conta são:

- a) O tipo e o grau da transferência de carga nas juntas transversais,
- b) Os efeitos da existência ou não de acostamentos de concreto,
- c) A contribuição estrutural das sub-bases de concreto pobre rolado ou convencional, ou então sub-bases tratadas com cimento,
- d) A ação dos eixos tandem triplos,
- e) Introduz um modelo de ruína por erosão da fundação do pavimento (no qual se embute um modelo de ruína por formação de “degraus” ou escalonamento “*faulting*” nas juntas transversais), usando-o concomitantemente com o modelo modificado de fadiga. (DNIT, 2005).

Figura 18: Metodologias de dimensionamento de pavimento rígido.

Classificação	Metodologia	Dados Base
Concreto Simples	Portland Cement Assosiation – P.C.A. (Versão de 1966)	<ul style="list-style-type: none"> • Extensa experiência prática; • Modelo de fadiga de concreto; • Sistema de análise estrutural (placas elásticas em fundação contínua.
	Portland Cement Assosiation – P.C.A. (Versão de 1984)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de fadiga de concreto (modificado); • Modelo de erosão; • Escalonamento; • Análise estrutural por Elementos Finitos.
Concreto Armado	Modelo proposto por Westergaard	<ul style="list-style-type: none"> • Tensões atuantes; • Momentos fletores; • Cartas de influência de Pickett e Ray; • Norma NBR 6118.

Fonte: DNIT, 2005.

4.1.2. Concreto para o pavimento tipo *Whitetopping*

A produção, o transporte, o lançamento, o adensamento, a terminação superficial, a cura e a selagem de juntas do concreto do *Whitetopping* são idênticos às operações da mesma natureza executadas na construção dos pavimentos tradicionais de concreto. O uso de concreto pré-misturado é quase obrigatório nas pavimentações urbanas, em regiões em que esse recurso estiver disponível, dadas às facilidades que traz e à qualidade do concreto fornecido. (DNIT, 2005)

Para a execução de reforços com *Whitetopping* não são feitas exigências especiais (além das usuais para qualquer pavimento de concreto) quanto ao tipo de concreto. Entretanto, em situações em que o tráfego precisa ser liberado o mais rápido possível, para evitar, por exemplo, congestionamento, pode-se usar o concreto de liberação rápida (*fast-track*) que permite a liberação do trânsito de veículos em poucas horas (de 24 a 36 horas) após a concretagem. O *fast-track* requer um concreto especial obtido através de um estudo criterioso de dosagem que considere principalmente: tipo de cimento, conteúdo de água, tipos de aditivos e métodos de cura. Silva, (2001).

Os tipos de cimento *Portland* considerados adequados à pavimentação de concreto simples são: CP-I (*Portland* Comum – NBR 5732:1991), CP-II (*Portland* Composto – NBR 11578:1991), CP-III (*Portland* de Alto Forno – NBR 5735:2011) e CP-IV (*Portland* Pozolânico – NBR 5736:1991). Outro tipo de cimento *Portland* pode ser empregado, desde que comprovada a sua adequação à obra em questão. (DNIT, 2013)

O concreto empregado na execução de pavimentos rígidos deve apresentar a resistência característica à tração na flexão definida no projeto, que geralmente é da ordem de 4,5 MPa ou, como no caso dos pavimentos estruturalmente armados, uma resistência característica à compressão axial, que geralmente é de 30 MPa. (DNIT, 2005)

O concreto do pavimento deve atender aos requisitos seguintes:

- a) Consumo mínimo de cimento:

$$C_{min} = 350 \text{ kg/m}^3$$

- b) Relação água / cimento:

A/C: 0,50 l/kg

- c) Abatimento determinado conforme a norma NBR NM 67:1998, no máximo igual a 60 mm, a ser definido em função do equipamento vibroacabador.
- d) A dimensão máxima característica do agregado no concreto não deve exceder 1/3 da espessura da placa do pavimento e 38 mm, obedecido ao menor valor.
- e) O teor de ar incorporado, determinado, determinado conforme a norma NBR NM 47:2002, deve ser inferior ou igual a 4%.
- f) Exsudação do concreto, medida conforme a norma ABNT NM 102 deverá ser:

$\leq 1,5\%$

4.1.3. Equipamentos para execução

4.1.3.1. Equipamento de Pequeno Porte

- Réguas vibratórias;
- Treliças vibratórias (figura 19).

As réguas e treliças vibratórias trabalham em conjuntos com a bateria de vibradores de imersão, com diâmetro externo de no máximo 40 mm, e frequência igual ou superior a 60Hz (3600 rpm). (DNIT, 2004)

Figura 19: Equipamento de pequeno porte – ABCP.



Fonte: ABCP (2007)

4.1.3.2. Equipamento de Fôrma-Trilho

- Pavimentadora de rolo vibratório (figura 20)

As vibroacabadoras de bitola ajustável, possuem frequência de no mínimo 3500 vibrações/min, são guiadas por fôrmas metálica que também possuem função de conter o concreto fresco e também servir como guias para a movimentação das unidades de distribuição e adensamento do concreto. (DNIT, 2004)

Figura 20: Equipamento de formas-trilho – ABCP.



Fonte: ABCP (2007)

4.1.3.3. Equipamento de Fôrmas deslizantes

- Pavimentadora com fôrmas deslizantes (*slipform*) (figura 21)

As vibroacabadoras de fôrmas deslizantes, de bitola regulável, de tração própria e constituída fundamentalmente de:

1. Estrutura montada sobre chassis de rodas pneumáticas ou esteiras;
2. Bitola regulável, de largura variável;
3. Dispositivo de distribuição frontal de concreto, abrangendo toda a largura de trabalho, provido de pá-distribuidora inferior ou parafuso de rosca sem fim;
4. Sistema vibrador: bateria de vibradores de imersão de alta frequência (superior a 60 Hz), hidráulicos ou elétricos, fixados numa barra de altura adequada, com controle individual de vibração;
5. Régua regularizadora oscilante, pré-acabadora;
6. Desempenadeira mecânica ou mesa acabadora;
7. Fôrmas deslizantes;
8. Sistema de controle eletrônico para o alinhamento e o nivelamento da pavimentadora por meio de linha guia, apoiado lateralmente em hastes metálicas reguláveis, para caminho dos apalpadores eletrônicos. (DNIT, 2013)

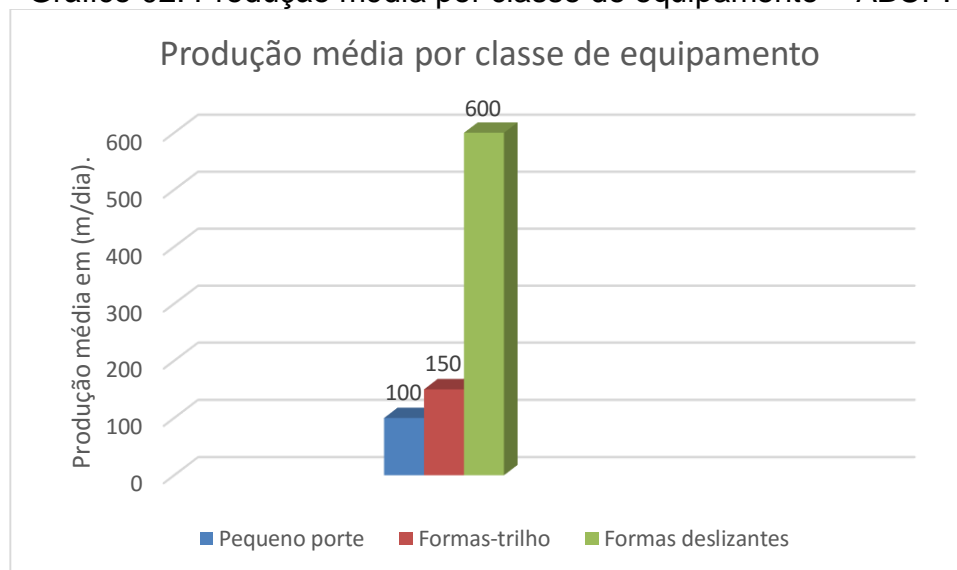
Figura 21: Equipamentos de fôrmas Deslizantes – ABCP.



Fonte: ABCP (2007)

O gráfico 02 mostra a produção média diária de acordo a classe de equipamentos, sendo separados por equipamentos de Pequeno Porte, Fôrmas Trilho e Fôrmas Deslizantes.

Gráfico 02: Produção média por classe de equipamento – ABCP.



Fonte: ABCP, adaptado pelo Autor (2016)

4.1.4. Procedimento de execução

O subleito deverá ser refeito nos locais em que o pavimento flexível, que funcionará como Sub-Base, apresentar defeitos decorrente de falta de suporte, bombeamento ou outras anomalias.

O pavimento flexível existente deverá ser reparado nos locais onde apresenta defeitos tais como painéis, fissuras, deslocamentos e outros tipos de

defeitos que possam vir a prejudicar o futuro desempenho do pavimento tipo *Whitetopping*. (DNIT, 2004).

4.1.4.1. Fresagem do asfalto ou camada de nivelamento

A fresagem (como mostra a figura 22) é empregada quando as trilhas de roda são de profundidade maior do que 50 mm, ou quando há ondulações muito acentuadas. A profundidade típica de fresagem vai de 25 mm a 75 mm. Uma solução usual é o emprego combinado da fresagem com a colocação direta, o que pode, em obras extensas, reduzir o custo de construção. Quando há restrições quanto a uma eventual elevação do greide, um recurso técnico é fresar uma espessura maior do pavimento existente e construir o *Whitetopping* encaixado (*inlay*), de forma que as restrições de cota sejam obedecidas. (PINI, 2016)

Figura 22: Fresagem do Asfalto.



Fonte: ABCP (2007).

Fresagem em pontos localizados.

A aplicação de uma camada de nivelamento, geralmente uma mistura betuminosa usinada a quente com 25 a 50 mm de espessura, é uma opção nos casos em que as distorções superficiais sejam de, pelo menos, 50 mm. É pacífico que esse método de preparação prévia à colocação do *Whitetopping* seja o de mais elevado custo inicial dentre os três procedimentos disponíveis, além de exigir maior diversidade de equipamentos, materiais diferentes e maior tempo de execução. Comparando o custo de construção da camada de nivelamento com o da opção de

Fresagem, este também resulta inferior – cerca de um terço do valor daquele. (DNIT,2005)

4.1.4.2. Instalação do sistema de referência

É necessário prover plataforma uniforme, resistente e o mais nivelado possível para a movimentação da vibroacabadora de fôrmas deslizantes, com largura suficiente para a instalação das linhas guias.

A linhas sensoras devem ser assentadas nas duas laterais do equipamento de fôrmas deslizantes, de acordo com os alinhamentos e cotas de projeto, instaladas sobre suportes metálicos apropriados, adequadamente esticadas, tensionadas e sem catenárias. (DNIT, 2013)

A instalação do sistema de referência se dá com a utilização de dois cabos de aço nas laterais ao equipamento, a pavimentadora possui quatro sensores sendo dois em cada lateral (como mostram as figuras 23 e 24), estes sensores são equipados com hastes que próximo aos cabos de aço permitem uma rigorosa precisão para que a pavimentadora não saia do seu eixo de construção. (ABCP, 2007)

Figura 23: Instalação do sistema de referência.



Fonte: ABCP (2007)

Figura 24: Hastes dos sensores



Fonte: ABCP (2007)

Hastes

4.1.4.3 Lançamento do concreto

Antes da construção da camada de *Whitetopping*, é necessário observar a temperatura da superfície do pavimento asfáltico para evitar que a absorção dos raios solares cause gradientes de temperatura e umidade durante a cura do concreto, que por sua vez provocarão deformações nas placas de concreto. Se a temperatura do revestimento asfáltico existente ultrapassar 43°C na época de construção do *Whitetopping*, recomenda-se que seja aplicada uma pintura sobre a superfície asfáltica (*whitewash*), de modo a reduzir sua temperatura e assim minimizar a retração volumétrica do concreto. Esta pintura é, geralmente, de um produto químico que forma uma película plástica, o mesmo usado na cura do concreto, ou também, pode ser uma aguada de cal hidratada. (SILVA, 2001)

O período máximo entre a mistura (a partir da adição de água) e o lançamento deverá ser de 30 minutos, sendo proibida a redosagem sob qualquer forma. Quando for usado caminhão betoneira e houver agitação do concreto durante o transporte e a sua descarga, este período poderá ser ampliado para 90 minutos. (DNIT, 2004)

O lançamento do concreto pode ser feito por descarga lateral ou frontal ao equipamento vibroacabador como mostram as figuras 25 e 26. No caso de descarga frontal, a sub-base deve ter resistência suficiente para suportar o tráfego dos caminhões basculantes, sem que sua qualidade seja afetada. Em qualquer dos casos, devem ser formadas pilhas de pequenas alturas, a fim de reduzir o trabalho de espalhamento e evitar a segregação do concreto. (DNIT, 2013)

O concreto é basculado da caçamba do caminhão para a caçamba da distribuidora, que o espalha em descargas sucessivas, preenchendo a fôrma até o nível superior. Nessa operação, deve-se ter o tempo limitado em 30 minutos, desde o fim do amassamento e do espalhamento. (SENÇO, 2007).

Figura 25: Lançamento do concreto – Pavimentadora GOMACO 2600.



Fonte: GOMACO (2016)

Figura 26: Lançamento do concreto. (Pavimentadora TEREX CMI SF 3004F – Americana).



Fonte: ABCP (2007)

Concreto sem adensamento.

Concreto sendo adensado por meio de vibradores de alta frequência.

4.1.4.4. Colocação das barras de transferências

As barras de transferência de carga devem ser utilizadas quando o tráfego previsto for superior a 5 milhões de solicitações do eixo padrão de 80kN. (SILVA, 2001)

As barras de transferência devem ser obrigatoriamente lisas e retas, de aço tipo CA-25, com o diâmetro, espaçamento e comprimento definidos no projeto.

Admite-se sua instalação tanto previamente, por meio de dispositivos de suporte (como mostra a figura 27), quanto durante a concretagem, no caso das vibroacabadoras dotadas de insertores automáticos de barras de transferência.

Estas barras devem ter metade do seu comprimento mais 2,0 cm pintados e engraxados, de modo a permitir a livre movimentação da junta.

No alinhamento destas barras são admitidas as tolerâncias seguintes:

- a) O desvio máximo das extremidades de uma barra, em relação à posição prevista no projeto, deve ser de $\pm 1\%$ do comprimento da barra;
- b) Em pelo menos dois terços das barras de uma junta o desvio máximo deve ser de $\pm 0,7\%$. (DNIT, 2013)

A tabela 01 mostra detalhes de barras de transferência em função das espessuras da placa de concreto. A regra é distribuir mais de 20 cm para cada placa não é obedecida para placas com 16 ou menos centímetros de espessura.

Figura 27: Colocação das barras de transferências de carga.



Fonte: ABCP (2007)

Tabela 01: Barras de transferência: dimensões - ABCP

Espessura da placa (cm)	Diâmetro (mm)	Comprimento (cm)	Espaçamento (cm)
10,0	12,5	25	30
11,0 - 13,0	16,0	30	30
14,0 - 16,0	20,0	35	30
17,0 - 22,0	25,0	40	30
23,0 - 26,0	32,0	40	30
27,0 - 30,0	40,0	50	30

Fonte: SENÇO (2001)

4.1.4.5. Espalhamento e adensamento do concreto

O espalhamento final, o adensamento por vibração e o nivelamento podem ser feitos pela vibro-acabadora, máquina que produz entre 3.600 e 4.000 vibrações

por minuto, o que enseja o adensamento conveniente além de propiciar aumento na resistência do concreto. (SENÇO, 2001)

No espalhamento do concreto também podem ser usadas, além da pá-distribuidora do sistema de fôrmas deslizantes, rosca sem-fim (como mostra a figura 28), pá triangular móvel ou caçamba que receba o concreto, distribuindo-o por toda a largura da pista. Esta distribuição deve ter uma altura uniforme, relevante para a operação de vibração (DNIT, 2013)

Os vibradores da máquina devem mergulhar na massa do concreto, tomando-se cuidado para que eles não atinjam a sub-base. A profundidade desses vibradores deve ser tal que permita um espaço livre para segurança de, no mínimo, 5 cm. (SENÇO, 2001)

O adensamento do concreto deve ser realizado por vibradores hidráulicos ou elétricos fixados em barras de altura variável, que possibilitem executar a pista na espessura projetada. (DNIT, 2013)

Para garantir a qualidade do adensamento, o equipamento de fôrmas deslizantes deverá possuir uma cortina metálica, que controlará o volume do concreto a ser vibrado. (DNIT, 2004)

A figura 29 mostra detalhe da pavimentadora como os vibradores de alta frequência e o distribuidor helicoidal (rosca sem fim).

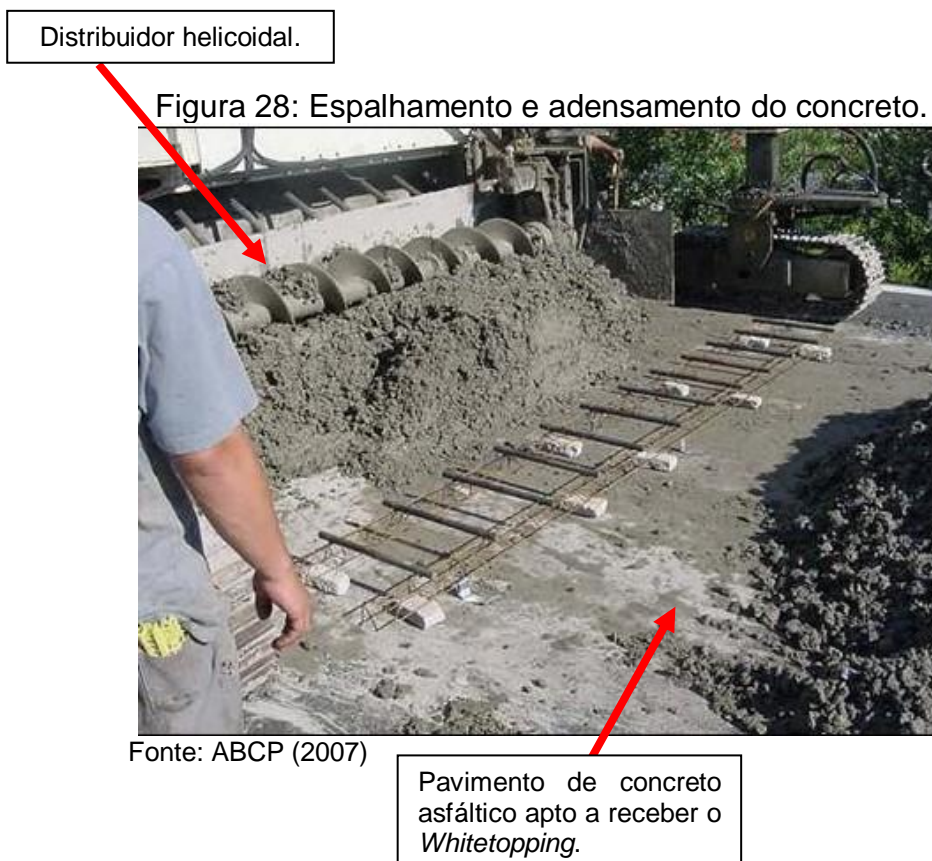


Figura 29: Detalhe da pavimentadora.



Fonte: ABCP (2007)

Distribuidor helicoidal
(rosca sem fim)

Vibradores de alta frequência

Cortina metálica

4.1.4.6. Colocação das barras de ligação

Devem ter o diâmetro, espalhamento e comprimento definidos no projeto e estarem limpas e isentas de óleo ou de qualquer substância que prejudique sua aderência ao concreto.

As barras de ligações externas, instaladas nas juntas longitudinais de construção, devem ser inseridas preferencialmente de forma automática pela vibroacabadora (como mostram as figuras 30 e 31), devendo ser obedecidas as posições previstas em projeto.

As barras de ligações centrais, instaladas nas juntas longitudinais de articulação, podem ser pré-colocadas manualmente ou pela vibroacabadora, desde que aprovado previamente pela Fiscalização, devendo ser obedecidas as posições previstas em projeto. (DNIT, 2013)

Figura 30: Colocação das barras de ligação.



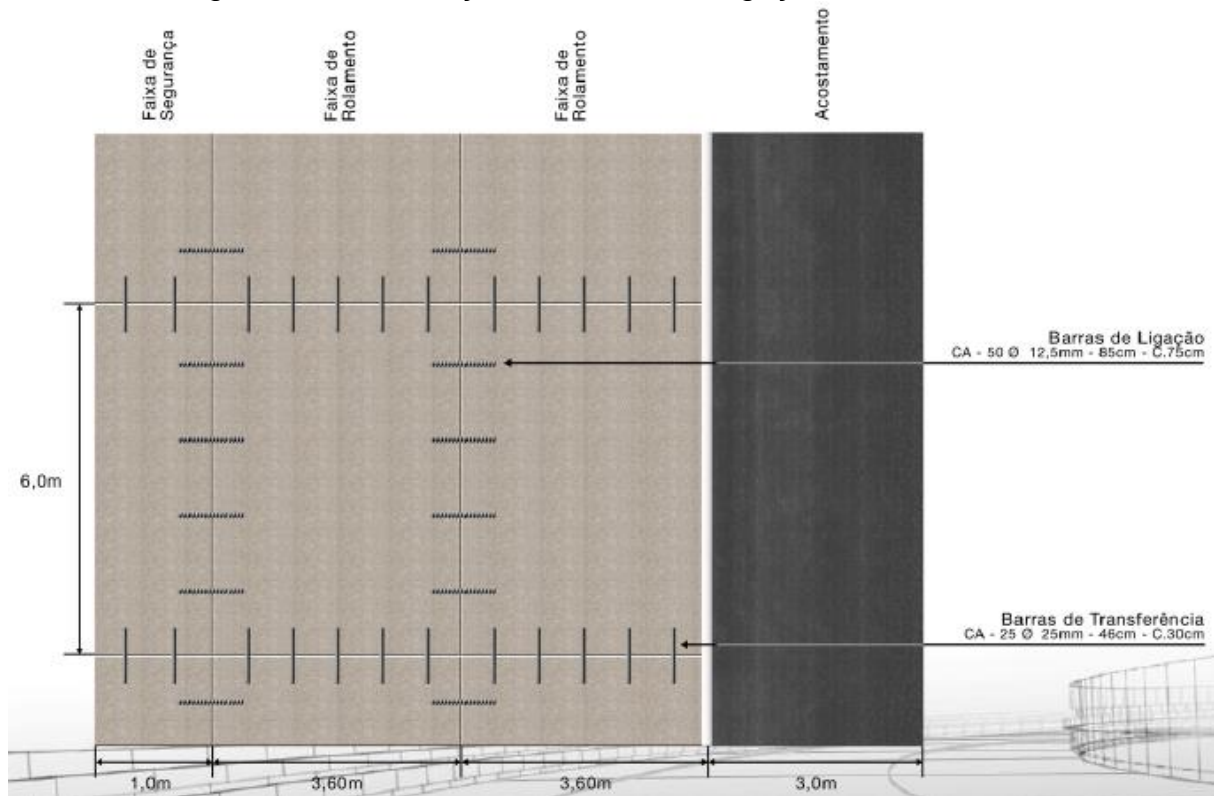
Fonte: ABCP (2007)

Figura 31: Inserção lateral das barras de ligação



Fonte: ABCP (2007)

Figura 32: Localização das barras de ligação e transferência



4.1.4.7. Acabamento

Imediatamente após o adensamento deverá ser iniciada a operação de acabamento, que constará inicialmente da passagem da régua acabadora em deslocamentos longitudinais, com movimento de vaivém; em seguida deverá proceder-se ao acabamento final que será dado com tiras de lona ou com vassouras de fios de nylon, que provocarão ranhuras na superfície da placa. (DNIT, 2004)

A forma final do concreto deve ser dada pelos moldes horizontais e verticais do equipamento vibroacabador, sendo que alguns equipamentos são dotados de mesa acabadora flutuante (*float pan*), ou de régua metálicas acabadoras oscilantes transversais e longitudinais, ou apenas longitudinais (*Auto floats*), deixando-o praticamente acabado como mostra as figuras 33 e 34.

Nessa fase devem ser empregadas manualmente desempenadeiras metálicas de cabo longo, de 3 m de comprimento, geralmente de seção retangular, comumente conhecidas como “rodos de corte”, na direção transversal à pista. Na sequência, utilizam-se as desempenadeiras metálicas de base larga (*floats*), para o

acabamento final, concomitantemente com as desempenadeiras de cabo curto, tipo “pedreiro”, para acabamentos localizados. (DNIT, 2013)

Figura 33: Acabamento – Desempeno manual.



Fonte: ABCP (2007)

Figura 34: Acabamento – Desempeno mecânico.



Fonte: ABCP (2007)

4.1.4.8. Texturização

No acabamento final executam-se ranhuras na superfície do pavimento como (mostram as figuras 35 e 36), aumentando sua aderência com os pneumáticos dos veículos.

Essa operação deve ser realizada imediatamente após a perda do brilho superficial do pavimento acabado.

Nos pavimentos a serem construídos em áreas críticas, por exemplo, com curvas acentuadas e interligações, é necessário incrementar a segurança à derrapagem. Para tal, deve-se obrigatoriamente adotar dispositivos que aumentem significativamente a segurança a superfície de contato dos pneumáticos com o pavimento. Em tais casos, esta norma recomenda usar, pela ordem decrescente de eficácia:

- a) Pentes de fios metálicos;
- b) Vassouras de fios metálicos;
- c) Vassouras de fios de náilon;
- d) Vassouras de piaçava. (DNIT, 2013)

A texturização é obtida com uma única passagem de um equipamento de texturização transversal de operação mecânica como mostra a figura 37. Esse equipamento consiste de um conjunto alinhado de fios de molas de aço temperado (pentas de fios metálicos), ligeiramente flexíveis, espaçados de no mínimo 13 mm e no máximo 25 mm de centro a centro.

A texturização é aplicada quando o concreto ainda estiver suficientemente plástico, de modo a se obter uma profundidade de pelo menos 3 mm, mas não mais do que 6,5 mm.

A texturização longitudinal é cumprida com os mesmos materiais, equipamento e cuidados básicos da texturização transversal, exceto pelo sentido da passagem do pente de fios, que é segundo uma linha paralela ao eixo central do pavimento. (VIAS CONCRETAS, 2016)

Figura 35: Texturização manual.



Fonte: ABCP (2007)

Figura 36: Texturização mecânica.



Fonte: ABCP (2007)

Figura 37: Texturização mecânica.



Fonte: GOMACO (2016)

4.1.4.9. Cura química

O período total de cura será de 7 dias, compreendendo um período inicial de aproximadamente 24 horas, contando a partir do término do acabamento do pavimento, seguido de um período final, até o concreto atingir a idade de 7 dias. (DNIT, 2004)

Para a cura do concreto devem ser utilizados produtos químicos capazes de formar película plástica (como mostra a figura 30) que atendam à norma ASTM C309-11, numa taxa variando entre 0,35 l/m² e 0,50 l/m², definida pelo fabricante e aprovada pela Fiscalização.

A aplicação pode ser realizada manualmente ou com equipamento autopropelido (como mostram as figuras 38 e 39), constituído de bomba e barra espargidora em toda a largura da faixa, devendo ser iniciada logo após o término das operações de texturização, assim que o concreto tenha perdido o brilho superficial e realizado o acabamento final. (DNIT, 2013)

Os produtos utilizados para a cura química geralmente são resinas ou borracha clorada. Devem apresentar um coeficiente de proteção superior a 90%, a 6 horas, e superior a 85%, a sete dias. (SENÇO, 2007)

Os materiais para cura química deverão chegar na pista prontos para o emprego, não se devendo fazer nenhuma diluição antes da aplicação. No caso de muitas baixas temperaturas que possam afetar a viscosidade ideal do material, este deve ser aquecido em banho-maria a 35°C. (SENÇO, 2007)

O material para cura química deverá ser aplicado em toda superfície do pavimento, inclusive das bordas. A aplicação deverá ser feita logo que o pavimento tenha perdido o brilho pelo desaparecimento da água da superfície. (SENÇO, 2007)

Quando a temperatura ambiente exceder 30°C, a própria película de cura deverá ser protegida, aspergindo-se água sobre ela, em forma de neblina, logo que esteja seca. (SENÇO, 2007).

Figura 38: Cura química manual.



Fonte: ABCP (2007)

Figura 39: Cura química mecânica.



Fonte: ABCP (2007)

2 (dois) minutos após a aplicação do produto químico para a cura em uma temperatura ambiente acima de 30 graus, forma-se uma película protetora (como mostra a figura 40) para que a água não evapore antecipadamente antes do

processo final de hidratação do concreto e o mesmo não venha a sofrer nenhuma patologia causada por retrações.

Figura 40: Cura química – Película protetora.



Fonte: ABCP (2007)

4.1.4.10. Serragem das juntas

Todas as juntas devem estar em conformidade com as posições indicadas no projeto, não se permitindo desvios de alinhamento superiores a 5mm. (DNIT, 2004). O espaçamento das juntas transversais no *Whitetopping* é menor do que no pavimento comum de concreto, pois é função da espessura da placa, que no *Whitetopping* é menor do que nos pavimentos tradicionais de concreto. Como regra prática, pode-se adotar, segundo Pitta (1997), comprimentos de placa iguais a 25 vezes (em metros) a espessura (em metros) de *Whitetopping*; por exemplo, um *Whitetopping* de 12cm de espessura terá um espaçamento máximo entre juntas de 3m. Ressalta-se entretanto, que o espaçamento de juntas pode também ser determinado baseado na experiência local de pavimentos que apresentaram bom desempenho. A ABCP salienta sobre a espessura mínima recomendada ser de 10 cm e a profundidade de junta igual a 1/3 da espessura do *Whitetopping*. (SILVA, 2001)

Juntas longitudinais

As juntas longitudinais de articulação devem ser serradas no concreto semi-endurecido, num prazo máximo de 24 horas após o término do acabamento

superficial. As juntas longitudinais de construção devem ter a seção transversal definida em projeto, podendo ser de topo ou de encaixe macho-fêmea. (DNIT adaptado pelo autor, 2013)

Juntas Transversais

A abertura das juntas transversais serradas (como mostra a figura 41), exige um concreto semi-endurecido, ao qual se deve aplicar um plano de corte em que a idade do concreto no momento do corte esteja entre 6 e 12 horas. As juntas transversais de construção devem ser executadas sempre que a concretagem tiver de ser interrompida por mais de 30 minutos, cuja a posição deve coincidir com uma junta transversal indicada no projeto. (DNIT, 2013)

Figura 41: Serragem das juntas.



Fonte: ABCP (2007)

4.1.4.11. Selagem das juntas

Antes do preenchimento das juntas com material selante (como mostra a figura 42), deve-se tomar o cuidado de verificar se a superfície aberta não contém umidade. Em caso positivo, ou mesmo como medida de prevenção, deve-se secar essa superfície ou com escova de aço, ou com ar comprimido.

Os materiais utilizados, como selos para as juntas (como mostra a figura 43), deverão ter propriedades que permitam perfeita aderência com as paredes da

abertura e dar a ela flexibilidade e impermeabilidade, para que as finalidades de seu projeto e sua execução sejam plenamente atingidas. (SENÇO, 2001)

Podem ser utilizados os selantes de juntas em pavimentos de concreto vazados no local a quente ou frio, ou selantes pré-moldados.

Os selantes a quente são alcatrões, asfaltos e compostos de asfalto e borracha, conhecidos também como termoplásticos, e os mástiques, associação entre um líquido viscoso (por exemplo, emulsões, óleo não secativos, asfaltos de baixa penetração) e um fíler (como fibras de amianto, cimento Portland, cal apagada, areia fina), em proporções variáveis.

Os mástiques a quente têm sido largamente utilizados em nosso país, sob a forma de produtos industrializados ou não.

Em geral, os termoplásticos não são recomendáveis em selagem de juntas de pavimentos modernos de concreto, pelas dificuldades de aplicação e sua pequena durabilidade.

Os selantes vazados a frio incluem como bases resinas epóxicas, polissulfetos orgânicos, uretanos, silicones e polimercaptanos. Compõem-se, em regra, da mistura de uma dessas bases e de um agente de cura, os quais reagem de modo a formar o selante propriamente dito, um elastômero, ou polímero. São todos produtos industrializados, aplicáveis à temperatura ambiente e necessitam quase sempre de um produto acessório de imprimação da junta, que deverá estar limpa e seca antes da vedação. (DNIT, 2005)

Figura 42: Selagem das juntas – colocação do material de enchimento.



Fonte: ABCP (2007)

Figura 43: Selagem das juntas.



Fonte: ABCP (2007)

4.2. APRESENTAR RODOVIAS QUE UTILIZAM O SISTEMA.

4.2.1. Rodovia SP-103/79

A primeira experiência brasileira com o *Whitetopping*, foi na rodovia SP-103/79 (como mostra a figura 44) na cidade de Votorantim, noroeste do estado de

São Paulo. Devido à presença ali de uma indústria de cimento, existe um grande fluxo frequente de caminhões no qual demandava reparos constantes na pista, sendo assim a ABCP foi convidada a propor uma solução, que foi uma aplicação do *Whitetopping* em 4,5 km da rodovia. (PINI, 2000)

Figura 44: Reabilitação do pavimento da rodovia SP-103/79.



Fonte: Vias concretas (2010)

Para implantar a segunda pista da duplicação do trecho da SP-103/79, executou-se um pavimento de concreto simples sobre uma sub-base de concreto compactado com rolo. Já no recapeamento da pista existente, aplicou-se o *Whitetopping*.

O processo de recuperação da rodovia consistiu na execução de um pavimento de concreto, de 23 cm de espessura, sobre o pavimento existente, que serve de sub-base. A nova pista tem 7,2 m de largura, com placas de 3,6 m por 5,0 de comprimento. A profundidade das juntas é de 1/3 da espessura do concreto, o selante utilizado nas juntas é um alcatrão polimerizado aplicado a quente. O concreto emprega uma média de 370 quilos de cimento por m³ de concreto. O

pavimento executado tem resistência característica à tração na flexão ($f_{ctm,k}$) de 4,5 MPa aos 28 dias.

Com a utilização da pavimentadora GOMACO GP 2600 (figura 45) que tem capacidade de execução de até 700 m/dia e bitola variando de 3 m a 9 m, equipada com desempenadeira mecânica tipo “*auto float*” (figura 46), o concreto apresenta um acabamento uniforme e de alta qualidade de desempenho superficial. A texturização com pequenos sulcos transversais, executada com auxílio de vassouras de piaçava ou outro instrumento, ajuda a melhorar a drenagem e aumenta a rugosidade do pavimento, condições consideradas ideais para elevar a aderência na frenagem.

O pavimento de concreto simples não tem armadura estrutural, mas contém barras de ligação longitudinal entre placas e barras de transferência de carga nas juntas transversais. Por se tratar de área urbana, o pavimento possui sistema de drenagem superficial com bocas-de-lobo e sarjeta, entre outros componentes. (PINI, 2000)

Figura 45: Pavimentadora GOMACO GP 2600.



Fonte: *Direct Industry*, (2016)

Figura 46: Pavimentadora equipada com desempenadeira mecânica *Auto Float*.



Fonte: GOMACO (2016)

4.2.2. Rodovia BR-290

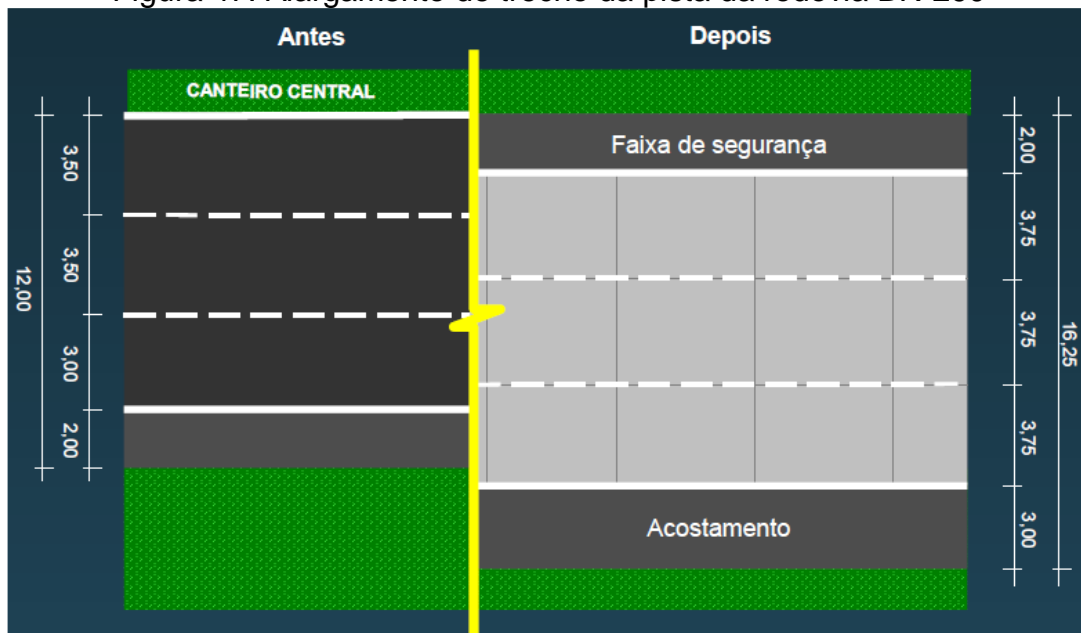
Os baixos custos de manutenção e operação, os aspectos de durabilidade e segurança, são algumas das vantagens que levaram a Concepa, concessionária da rodovia Osório-Porto Alegre (BR-290), a *Free Way*, a aplicar *Whitetopping* em mais 15 km. Em dezembro de 2000 a movimentada autopista recebeu pavimentação de concreto num trecho de 2,5 km, em caráter experimental. Motivada pelos excelentes resultados, a Concepa decidiu-se pela utilização do *Whitetopping* em todo o trecho entre os Km 35 e 54. (PINI, 2001)

A pista que antes tinha no total 12 m de largura com 3,50 m para cada faixa de rolamento e 2 m para o acostamento, passou por um alargamento tanto nas faixas de rolamento quanto para o acostamento externo e a criação da faixa central de segurança que antes era inexistente, após a obra cada faixa de rolamento passou a ter 3,75 m e o acostamento externo e faixa central de segurança com 3,00 m e 2,00 m respectivamente, como mostra a figura 47.

As três faixas de rolamento foram divididas em faixas central e interna, e faixa externa. As faixas central e interna foram dimensionadas para absorver 30% do carregamento, onde o maior fluxo seria para veículos leves e de passeio, sendo assim as placas de concreto ficaram com dimensões de 3,75 m de largura por 4,75 m de comprimento e 19 cm de espessura com acostamento de concreto na faixa central. A faixa externa foi dimensionada para absorver 100% do carregamento,

onde o maior fluxo seria voltado para o tráfego de caminhões pesados, com isso as placas de concreto ficaram com as mesmas dimensões de 3,75 m de largura por 4,75 m de comprimento e a espessura da placa com 24 cm, o dimensionamento não considerou acostamento de concreto.

Figura 47: Alargamento de trecho da pista da rodovia BR-290



Fonte: ABCP (2007)

Transcorridos cinco anos desde a execução dos primeiros trechos com placas de concreto de cimento Portland (*Whitetopping*), o comportamento estrutural e a serventia do pavimento nestes trechos mostram-se plenamente satisfatório, pois não há registro de bombeamento de finos e os poucos defeitos observados, são decorrentes do aprendizado na execução desta tecnologia com os equipamentos importados pela ABCP sul.

Neste período, não foi verificada a ocorrência de aquaplanagem de veículos, pois a texturização da superfície executada quando da construção das placas direcionam as águas pluviais para fora da pista com maior velocidade, eliminando lâminas de água sobre a pista bem como aumentando o atrito entre pneu e pavimento, melhorando assim a frenagem dos veículos.

Outro importante benefício obtido foi a clareza que o pavimento de concreto proporciona (como mostram as figuras 48 e 49), permitindo ao usuário melhor visibilidade principalmente nas viagens noturnas.

A planicidade da superfície obtida na execução do pavimento de concreto se mantém inalterada, em decorrência do material concreto não se deformar com o tráfego. Este fator permite uma maior segurança ao tráfego.

Por fim, em virtude da adoção desta solução e dos poucos problemas apresentados, há uma menor periodicidade de serviços de manutenção e conservação, reduzindo as interrupções de tráfego e, conseqüentemente, tornando a rodovia mais eficaz para os usuários, garantindo-lhes segurança e conforto durante suas viagens. (GIUBLIN; MASCHIO, 2006)

Figura 48: Trecho da rodovia BR – 290 *Free Way*, restaurada com o *Whitetopping*.



Fonte: ABCP (2007)

Figura 49: Trecho da rodovia BR – 290 *Free Way* restaurada com o *Whitetopping*.



Fonte: ABCP (2007)

As pavimentadoras que foram utilizadas (como mostram as figuras 50 e 51) nessa obra são os modelos Wirtgen SP-500 com capacidade de execução de 500

m/dia com bitola variando de 2 m a 6 m, e o modelo TEREX – CMI SF 3004F com capacidade de execução de 700 m/dia com bitola variando de 3 m a 9,2 m.

Figura 50: Pavimentadora *Wirtgen SP- 500*.



Fonte: ABCP (2007)

Figura 51: Pavimentadora *TEREX - CMI SF 3004F*



Fonte: ABCP (2007)

4.2.3. Rodovia BR-163/364

Uma das mais recente obra entregue com a aplicação do *Whitetopping* foi um trecho da rodovia BR-163/364 no estado do Mato Grosso, entre os municípios de Cuiabá e Rondonópolis, na serra de São Vicente em 2010 (como mostram as figuras 52 e 53).

O pavimento de concreto foi adotado na construção em função do fluxo intenso e do grande impacto de cargas pesadas que a rodovia recebe diariamente, as outras alternativas em pouco tempo já apresentavam problemas, o piso de asfalto

durou apenas dois anos de uso e não resistiu ao grande volume de veículos pesados que trafegam no local.

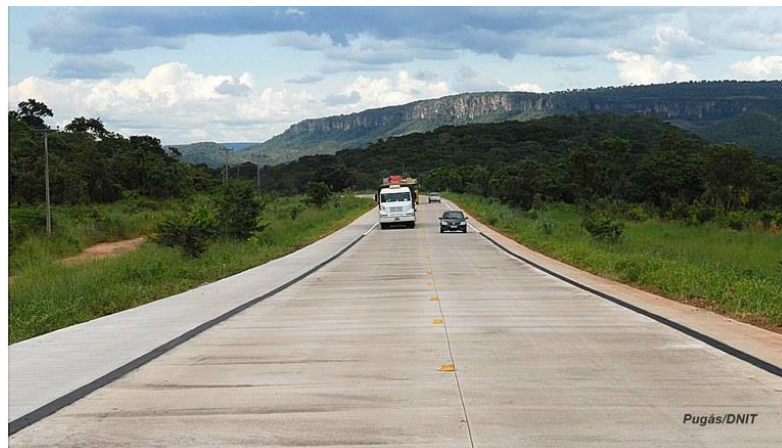
A ABCP sugeriu aos consultores da obra que o pavimento fosse refeito, desta vez, em concreto com a aplicação de *Whitetopping*, com 24 centímetros de espessura, aplicado numa extensão de 27,5 km para uma durabilidade de cerca de 20 anos. Por essa via, acontece o escoamento da produção de grãos, como milho e soja, além de madeira e gado, desde o Mato Grosso até as principais regiões portuárias do País. (ABCP, 2010)

Figura 52: Rodovia BR 163 na altura da Serra de São Vicente e Cuiabá-MT.



Fonte: WIKIMAPIA, link: <<http://wikimapia.org/3990721/pt/Serra-de-S%C3%A3o-Vicente#/photo/3515331>>, acesso em: 17/03/2016.

Figura 53: Rodovia BR-163 na Serra de São Vicente e Cuiabá-MT.



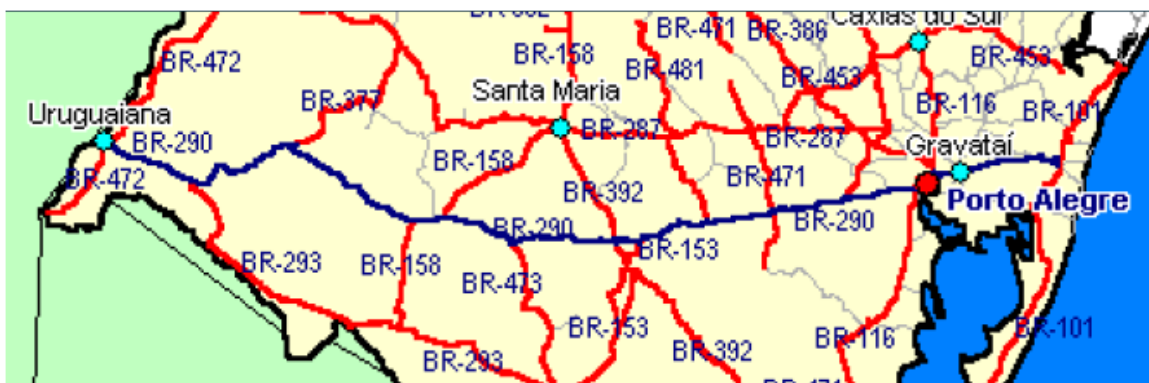
Fonte: DNIT, link: <http://www.dnit.gov.br/copy_of_sala-de-imprensa/imagens-noticias/br-163-abertura-da-variante-serra-de-sao-vicente-2592.jpg/view>, acesso em 17/03/2016.

4.3. APRESENTAR OS CRITÉRIOS ADOTADOS NO DIMENSIONAMENTO DO *WHITETOPPING* NA RODOVIA BR-290 TRECHO OSÓRIO-PORTO ALEGRE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.

4.3.1. Rodovia BR-290

A rodovia BR-290 é uma rodovia transversal que corta o estado do Rio Grande do Sul desde a cidade de Uruguaiiana localizada na BR-472 passando pela capital Porto Alegre, até Osório na BR-101, possuindo uma extensão total de 725 km observada na figura 54.

Figura 54: Rodovia BR-290

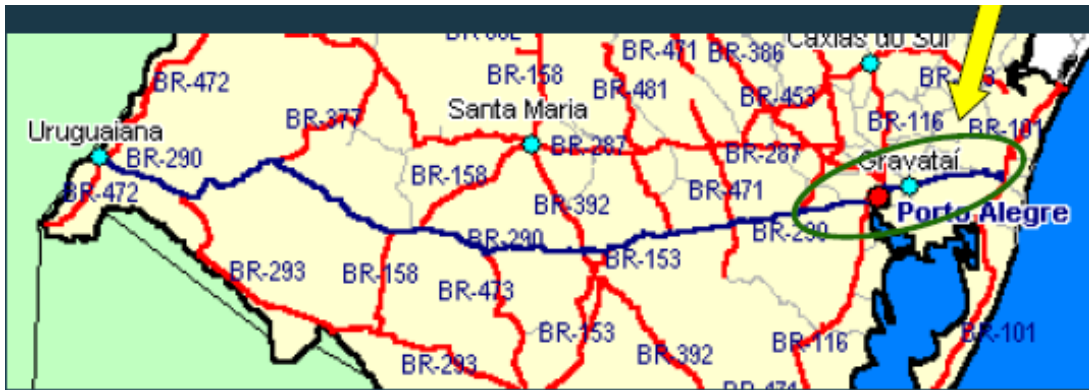


Fonte: ABCP (2007)

4.3.2 Descrição da Obra

O trecho em estudo refere-se a *Freeway* que faz interligação das rodovias BR-101 e BR-116 num trecho de 96 km. Refere-se aos trechos recuperados compreendidos entre os km 23+160 e km 25+800; km 32+310 e km 39+760 e km 48+000 até km 54+545, da pista norte, sentido Osório – Porto Alegre, (como mostra a figura 55) utilizando-se da técnica de *Whitetopping*.

Figura 55: Rodovia BR-290, trecho Osório – Porto Alegre



Fonte: ABCP (2007)

Nestes locais, o pavimento remanescente era constituído pelas seguintes camadas:

- Revestimento asfáltico (com diversos recapeamentos);
- Base de brita graduada tratada com 4% de cimento *Portland* (BGTC), 15 cm de espessura;
- Sub-base de solo residual (jovem) de arenito da Formação Botucatu (eólico), com características texturais de uma areia siltosa, na espessura de 33 cm;
- O subleito era constituído por argila laterítica compactada.

4.3.3 Método de Dimensionamento

O método utilizado para o projeto do pavimento de concreto foi o da Portland Cement Association (PCA/1984), que se baseia em quatro pontos:

- Estudos teóricos sobre o comportamento das placas de concreto (*Westergaard, Pickett et al*) e modernas análises computacionais empregando elementos finitos (*Tayabji e Colley*);
- Ensaio de laboratório e em modelos, sobre o comportamento e influência de juntas, sub-bases e acostamentos no desempenho de pavimentos de concreto;
- Pistas experimentais, especialmente da AASHO (hoje, AASHTO), além de estudos levados a efeito por diversos órgãos rodoviários e aeroportuários;

- Observação metódicas de pavimentos em serviço. (DNIT, 2005)

4.3.4 Dimensionamento

Dados:

- Coeficiente de recalque do sistema: $k = 80 \text{ MPa/m}$;
- Resistência característica a tração na flexão: $f_{tck} = 4,5 \text{ MPa}$;
- Fator de segurança de carga: $FSC = 1,2$;

Como mostra a figura 56 o fator de segurança para as cargas é adotado de acordo ao tipo de pavimento a ser dimensionado.

Quadro 8: Fatores de segurança para as cargas (FSC)

Tipo de Pavimento	FSC
– para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1,0
– para estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
– para altos volumes de caminhões	1,2
– pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal	Até 1,5

Fonte: DNIT (2005)

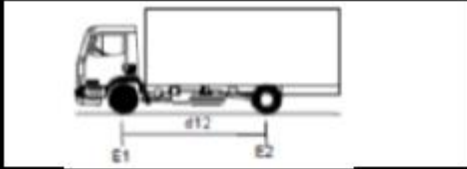
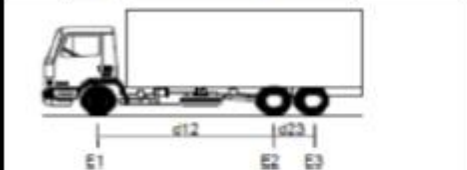
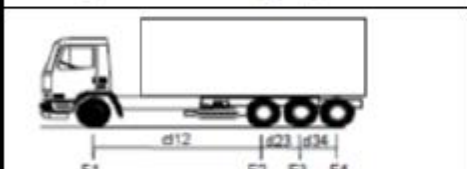
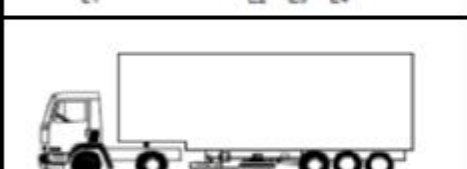
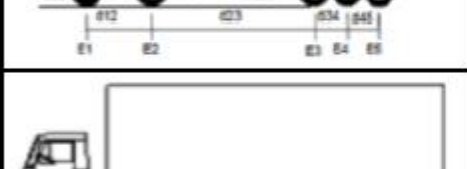
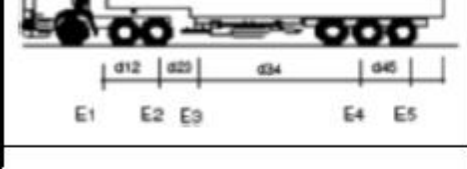
- Pavimento sem acostamento de concreto e juntas com barras de transferência;
- Vida de projeto: 20 anos;
- A projeção do tráfego esperada para a via está indicada na figura 57 de acordo com os tipos de veículos indicados na figura 58.

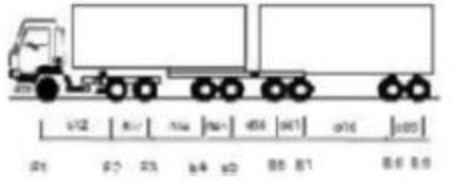
Figura 56: Projeção do tráfego

CONTAGEM DE TRÁFEGO (PROJEÇÃO P/ 20 ANOS - 4% a.a.)				
CATEGORIA	TIPO	Nº DE EIXOS	VOLUME (ano 0)	VOLUME (20º ano)
2	2C	2	257.495	542.503
4	3C	3	236.364	497.983
6	4C	4	56.390	118.805
7	2S3	5	115.417	243.166
8	3S3	6	32.059	67.543
10	3D4	7	1.336	2.815
11	-	8	79	166
12	3T6	9	4	8
TRÁFEGO ANO ZERO (Vo)			699.144	(Só veículos comerciais)
TRÁFEGO MÉDIO (Vm)			1.086.067	(Médio projetado)
TRÁFEGO TOTAL (Vt)			21.721.340	
<p>Fonte: Posto de Pedágio P2 - km 78+000 Pista Norte Setembro/1.999 - Agosto/2.000</p>				

Fonte: ABCP (2007)

Figura 57: Quadro de fabricantes de veículos – DNIT

SILHUETA	GRUPO/ Nº DE EIXOS	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	(2 / 2)	CAMINHÃO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12 > 3,50$ m	2C
	(2 / 3)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23 \leq 2,40$ m	3C
	(2 / 4)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23, d34 \leq 2,40$ m	4C
	(3 / 5)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3E4E5 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. $d12, d23 > 2,40$ m $1,20$ m $< d34, d45 < 2,40$ m	2S3
	(3 / 6)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO+SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5E6 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. $d12, d34 > 2,40$ m $1,20$ m $< d23, d45, d56 < 2,40$ m	3S3
	(4 / 7)	ROMEU E JULIETA (caminhão trucado + reboque) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d12, d34, d56 > 2,40$ m $1,20$ m $< d23, d45, d67 < 2,40$ m	3D4

 <p>The diagram shows a truck with a tractor and two trailers. The tractor has two axles labeled d1 and d2. The first trailer has two axles labeled d3 and d4. The second trailer has four axles labeled d5, d6, d7, and d8. Below the truck, there are two rows of labels: the first row contains d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, and the second row contains d9, d10.</p>	(5 / 9)	<p>RODOTREM (caminhão trator trucado + semi-reboques + reboque com dolly) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E8E9 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56, d78 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67, d89 < 2,40 m</p>	3T6
--	---------	--	-----

Fonte: DNIT (2012)

Seguindo o roteiro apresentado pelo Manual de Pavimento Rígido de 2005 do DNIT, tem-se que:

- a) Definição dos parâmetros de dimensionamento – O.K.
- b) Espessura-Tentativa: 24 cm
- c) Tensões equivalentes:

Por ser o pavimento sem acostamento de concreto, utilizam-se os Quadro 8 e 9, com $h = 24$ cm e $k = 80$ MPa/m.

A tensão equivalente será:

- Eixo Simples: 1,25 MPa
- Eixo tandem duplo: 1,10 MPa
- Eixo tandem triplo: 0,80 MPa

Esses valores são transportados para os números 8, 11 e 14 do Quadro 12.

A carga por eixo dos eixos tandem triplos, que se entra no Quadro 12, é igual a um terço desta carga.

Quadro 9: Tensão equivalente para Eixos Simples e Tandem Duplo (Mpa) PSAC
(pavimento sem acostamento de concreto).

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		180	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	4,30	3,56	3,78	3,01	3,51	2,81	3,31	2,68	3,17	2,57	2,91	2,43	2,74	2,35
13	3,84	2,33	3,38	2,73	3,14	2,53	2,97	2,40	2,84	2,30	2,61	2,16	2,46	2,08
14	3,46	2,96	3,05	2,49	2,83	2,29	2,68	2,16	2,56	2,08	2,37	1,94	2,23	1,85
15	3,14	2,72	2,27	2,29	2,57	2,09	2,44	1,97	2,33	1,88	2,16	1,75	2,04	1,67
16	2,87	2,52	2,53	2,12	2,35	1,93	2,23	1,81	2,13	1,73	1,97	1,60	1,87	1,52
17	2,63	2,35	2,33	1,97	2,16	1,79	2,05	1,67	1,96	1,60	1,81	1,47	1,72	1,39
18	2,43	2,20	2,15	1,84	1,99	1,66	1,89	1,55	1,81	1,48	1,68	1,36	1,59	1,28
19	2,25	2,07	1,99	1,72	1,85	1,56	1,75	1,45	1,68	1,38	1,56	1,26	1,48	1,19
20	2,10	1,95	1,85	1,62	1,72	1,46	1,64	1,36	1,55	1,29	1,45	1,18	1,38	1,11
21	1,96	1,85	1,73	1,53	1,61	1,36	1,52	1,29	1,46	1,22	1,36	1,11	1,28	1,04
22	1,83	1,75	1,62	1,45	1,50	1,31	1,42	1,22	1,37	1,15	1,28	1,05	1,20	0,98
23	1,72	1,67	1,52	1,38	1,41	1,24	1,33	1,15	1,28	1,09	1,20	0,99	1,13	0,92
24	1,62	1,59	1,43	1,31	1,33	1,19	1,25	1,10	1,21	1,04	1,13	0,94	1,07	0,88
25	1,53	1,52	1,35	1,25	1,26	1,12	1,19	1,05	1,14	0,99	1,07	0,89	1,01	0,83
26	1,45	1,45	1,28	1,20	1,19	1,07	1,13	1,00	1,08	0,94	1,01	0,85	0,95	0,80
27	1,83	1,39	1,21	1,15	1,13	1,03	1,07	0,95	1,03	0,90	0,95	0,81	0,90	0,76
28	1,31	1,34	1,15	1,10	1,07	0,99	1,02	0,91	0,98	0,86	0,90	0,78	0,86	0,73
29	1,25	1,29	1,10	1,06	1,02	0,95	0,97	0,88	0,93	0,83	0,86	0,75	0,82	0,69
30	1,19	1,24	1,05	1,02	0,97	0,91	0,92	0,85	0,89	0,80	0,82	0,72	0,78	0,66
31	1,13	1,20	1,00	0,99	0,93	0,88	0,88	0,81	0,84	0,77	0,78	0,69	0,74	0,64
32	1,09	1,16	0,96	0,95	0,89	0,85	0,84	0,78	0,80	0,74	0,75	0,67	0,71	0,62
33	1,04	1,12	0,92	0,92	0,85	0,82	0,80	0,76	0,77	0,71	0,72	0,64	0,68	0,60
34	1,00	1,08	0,88	0,89	0,81	0,79	0,77	0,73	0,73	0,69	0,69	0,62	0,66	0,58

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005)

Quadro 10: Tensão Equivalente para Eixos Tandem Triplos (Mpa) PSAC (pavimento sem acostamento de concreto).

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)					
	20	40	60	80	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	2,60	2,30	2,20	2,14	2,08	2,07
13	2,35	2,04	1,93	1,87	1,80	1,78
14	2,15	1,83	1,72	1,65	1,58	1,55
15	1,99	1,67	1,55	1,48	1,40	1,37
16	1,85	1,54	1,41	1,34	1,25	1,23
17	1,73	1,43	1,30	1,23	1,14	1,11
18	1,62	1,34	1,21	1,14	1,04	1,01
19	1,53	1,26	1,13	1,06	0,96	0,92
20	1,45	1,19	1,07	0,99	0,89	0,85
21	1,37	1,13	1,01	0,93	0,83	0,79
22	1,30	1,07	0,95	0,88	0,78	0,74
23	1,24	1,02	0,91	0,84	0,73	0,70
24	1,18	0,97	0,87	0,80	0,69	0,66
25	1,13	0,93	0,83	0,76	0,66	0,62
26	1,07	0,89	0,79	0,73	0,63	0,59
27	1,02	0,86	0,76	0,70	0,60	0,57
28	0,98	0,82	0,73	0,67	0,58	0,54
29	0,93	0,79	0,71	0,65	0,55	0,52
30	0,89	0,76	0,68	0,63	0,53	0,50
31	0,85	0,73	0,66	0,60	0,51	0,48
32	0,81	0,70	0,63	0,58	0,50	0,46
33	0,77	0,68	0,61	0,56	0,48	0,45
34	0,73	0,65	0,59	0,55	0,46	0,43

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005).

d) Fator de Erosão:

Como a junta é com barra de transferência e o pavimento não tem acostamento de concreto, utilizam-se os Quadros 10 e 11; com $h = 24$ cm e $k = 80$ MPa/m, o que resulta em:

- Eixo Simples: 2,57 MPa
- Eixo tandem duplo: 2,71 MPa
- Eixo tandem triplo: 2,82 MPa

Transportam-se esses valores para os números 10, 12 e 15 do Quadro 11

Quadro 11: Fator de Erosão para Eixos Simples e Tandem Duplos JBT e PCAC (Junta com barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto).

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (MPa/m)													
	20		40		60		80		100		150		200	
	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD	ES	ETD
12	3,51	3,61	3,50	3,57	3,49	3,54	3,48	3,52	3,48	3,51	3,47	3,49	3,45	3,47
13	3,41	3,53	3,39	3,48	3,39	3,45	3,38	3,43	3,38	3,41	3,37	3,39	3,35	3,37
14	3,32	3,45	3,30	3,39	3,29	3,36	3,28	3,34	3,28	3,33	3,27	3,30	3,25	3,28
15	3,23	3,45	3,21	3,31	3,20	3,28	3,19	3,26	3,19	3,24	3,18	3,22	3,16	3,20
16	3,15	3,37	3,12	3,24	3,12	3,21	3,10	3,18	3,10	3,17	3,09	3,14	3,08	3,12
17	3,07	3,30	3,05	3,17	3,04	3,14	3,02	3,11	3,02	3,10	3,01	3,07	3,00	3,04
18	2,99	3,24	2,97	3,11	2,96	3,07	2,95	3,05	2,94	3,03	2,93	3,00	2,92	2,97
19	2,93	3,18	2,90	3,05	2,89	3,01	2,88	2,98	2,87	2,97	2,86	2,93	2,85	2,91
20	2,86	3,12	2,83	3,00	2,83	2,95	2,81	2,92	2,80	2,91	2,79	2,87	2,79	2,84
21	2,80	3,06	2,77	2,93	2,76	2,88	2,74	2,86	2,74	2,85	2,73	2,81	2,72	2,78
22	2,74	3,01	2,71	2,88	2,70	2,84	2,68	2,81	2,68	2,80	2,67	2,76	2,66	2,73
23	2,68	2,96	2,65	2,83	2,64	2,79	2,62	2,76	2,62	2,74	2,61	2,70	2,59	2,67
24	2,63	2,91	2,60	2,78	2,59	2,74	2,57	2,71	2,56	2,69	2,55	2,65	2,54	2,62
25	2,58	2,87	2,54	2,74	2,54	2,69	2,52	2,67	2,51	2,65	2,50	2,60	2,49	2,57
26	2,53	2,83	2,50	2,70	2,49	2,65	2,47	2,62	2,46	2,61	2,45	2,56	2,44	2,53
27	2,48	2,79	2,45	2,66	2,44	2,61	2,42	2,58	2,41	2,57	2,40	2,52	2,39	2,49
28	2,43	2,75	2,40	2,63	2,39	2,57	2,37	2,54	2,37	2,53	2,35	2,48	2,34	2,45
29	2,39	2,72	2,36	2,59	2,35	2,54	2,33	2,51	2,32	2,49	2,31	2,44	2,30	2,41
30	2,43	2,69	2,31	2,56	2,30	2,50	2,28	2,47	2,28	2,45	2,26	2,41	2,25	2,37
31	2,30	2,65	2,27	2,52	2,26	2,47	2,24	2,43	2,24	2,43	2,22	2,37	2,21	2,34
32	2,26	2,62	2,23	2,49	2,22	2,43	2,20	2,40	2,19	2,38	2,18	2,33	2,17	2,30
33	2,22	2,59	2,19	2,46	2,18	2,40	2,16	2,37	2,15	2,35	2,14	2,30	2,13	2,27
34	2,18	2,56	2,15	2,43	2,14	2,37	2,12	2,33	2,12	2,32	2,10	2,27	2,09	2,24

ES: Eixos Simples

ETD: Eixos Tandem Duplos

Fonte: DNIT (2005)

Quadro 12: Fator de Erosão para Eixos Tandem Triplos JP e PCAC (Junta com barras de transferência e pavimento sem acostamento de concreto).

Espessura da Placa (cm)	k - Coeficiente de recalque (Mpa/m)					
	20	40	60	80	140	180
	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT	ETT
12	3,68	3,60	3,56	3,52	3,45	3,40
13	3,60	3,51	3,47	3,44	3,37	3,33
14	3,53	3,43	3,39	3,36	3,29	3,26
15	3,47	3,36	3,31	3,28	3,22	3,19
16	3,41	3,30	3,25	3,21	3,15	3,12
17	3,35	3,24	3,19	3,15	3,08	3,05
18	3,30	3,19	3,13	3,09	3,02	2,99
19	3,25	3,14	3,08	3,04	2,96	2,93
20	3,21	3,09	3,04	2,99	2,91	2,88
21	3,16	3,05	2,99	2,94	2,86	2,83
22	3,12	3,01	2,94	2,90	2,82	2,78
23	3,08	2,97	2,90	2,86	2,77	2,74
24	3,05	2,93	2,86	2,82	2,73	2,69
25	3,01	2,89	2,83	2,78	2,69	2,65
26	2,98	2,86	2,79	2,74	2,66	2,62
27	2,94	2,82	2,76	2,71	2,66	2,58
28	2,91	2,79	2,72	2,68	2,59	2,55
29	2,88	2,76	2,69	2,65	2,55	2,51
30	2,85	2,73	2,66	2,62	2,52	2,48
31	2,82	2,70	2,63	2,59	2,49	2,45
32	2,80	2,68	2,61	2,56	2,46	2,42
33	2,77	2,65	2,58	2,53	2,44	2,40
34	2,74	2,62	2,55	2,50	2,41	2,37

ETT: Eixos Tandem Triplos

Fonte: DNIT (2005)

e) Fator de fadiga: a partir dos valores obtidos na tensão equivalente dividiu-se pela resistência a tração na flexão (ftck):

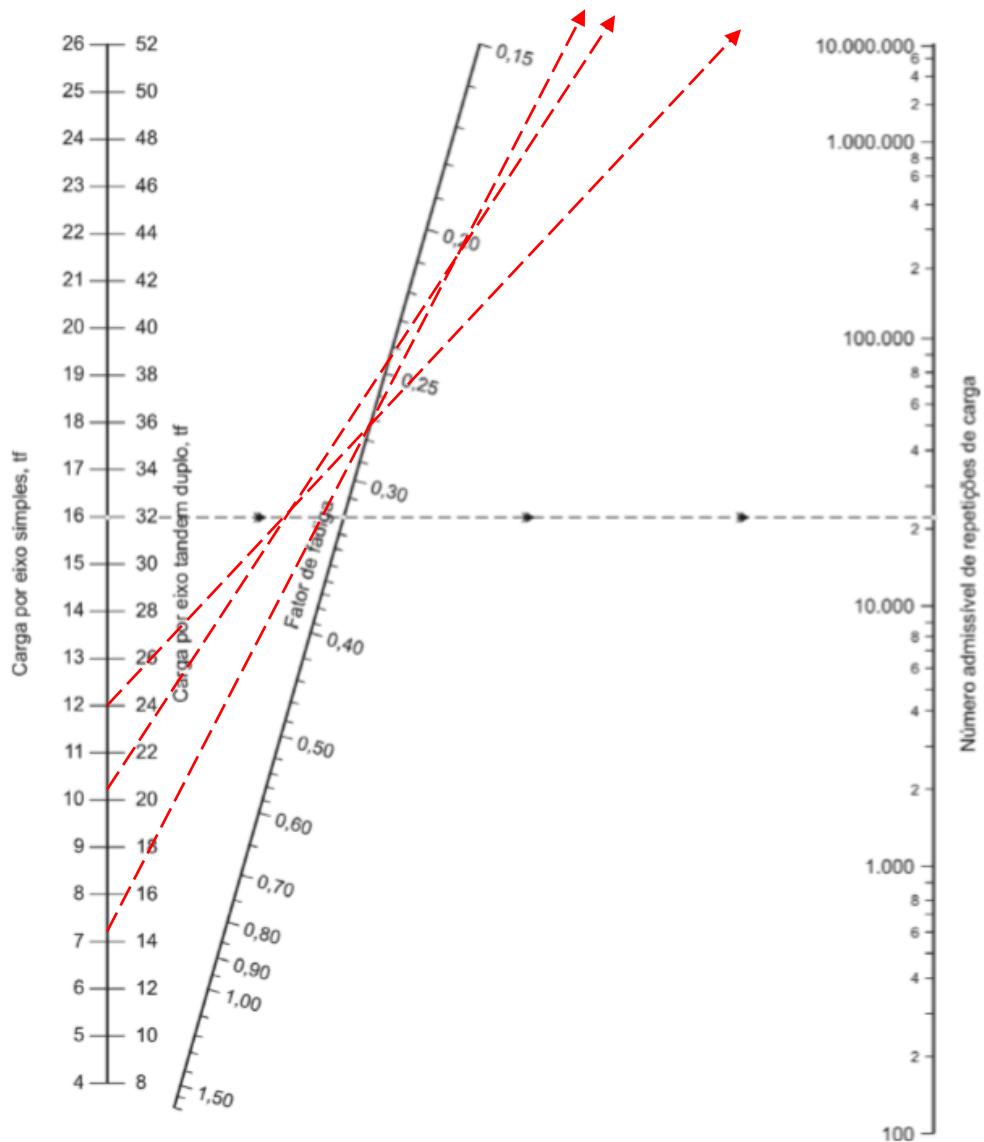
- Eixo simples $1,25/4,5 = 0,278$
- Eixo Tandem Duplo $1,10/4,5 = 0,244$
- Eixo Tandem Triplo $0,80/4,5 = 0,178$

Transportam-se esses valores para os números 9, 13 e 16, respectivamente, do Quadro 12.

f) Determinação das repetições admissíveis, segundo a análise por fadiga:

Na figura 59, com os fatores de fadiga calculados em (e) e as cargas corrigidas na coluna 2 do Quadro 12, determinam-se as repetições admissíveis da coluna 4 deste Quadro, para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos, utilizando-se para estes últimos eixos, o ábaco de eixos simples.

Figura 59: Análise de fadiga – número de repetições admissíveis em função do fator de fadiga (com ou sem acostamento de concreto).



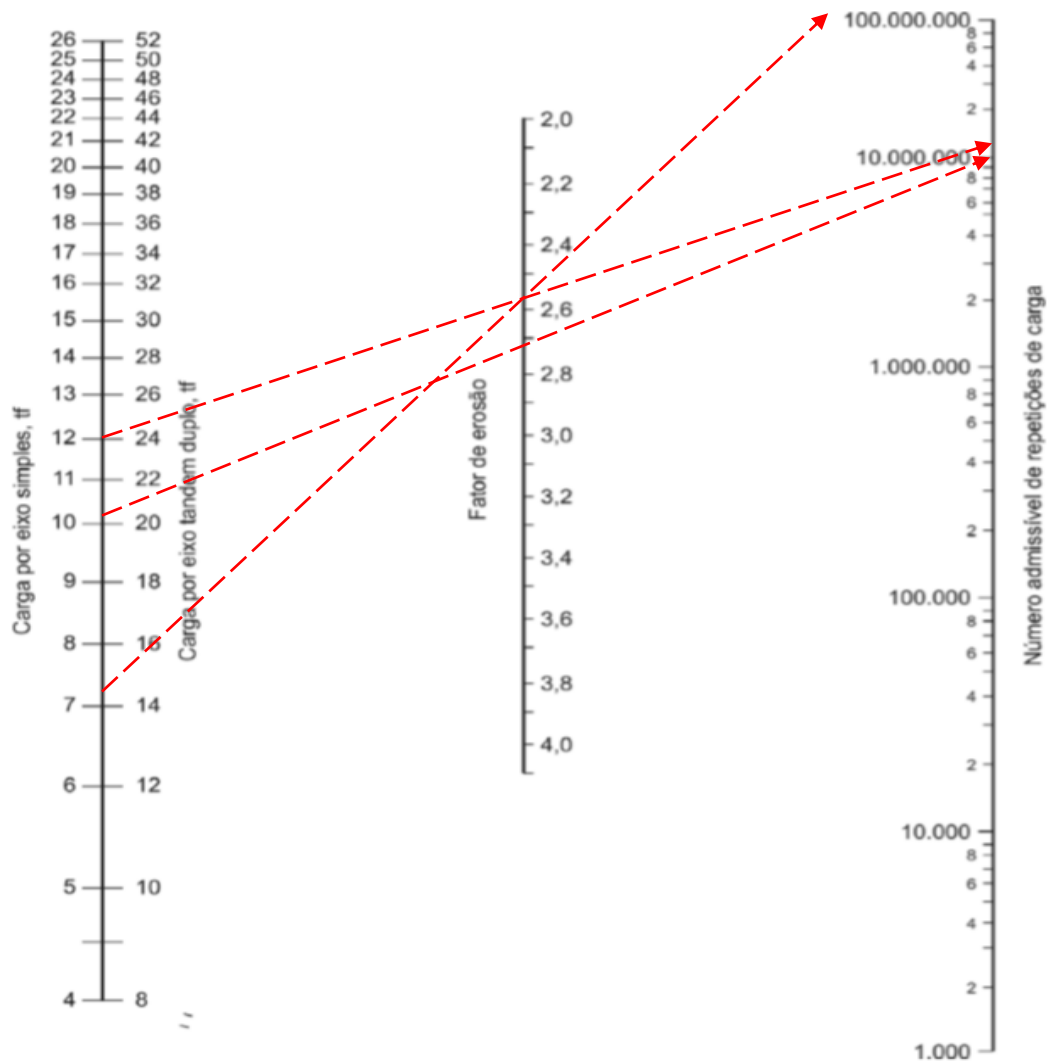
Fonte: DNIT (2005)

g) Determinação das repetições admissíveis, segundo o dano por erosão:

Como o pavimento não tem acostamento de concreto, utiliza-se a figura 60.

Com os fatores de erosão obtidos em (d) e com as cargas corrigidas, determinam-se as repetições admissíveis da coluna 6 do Quadro 12, para os eixos simples, tandem duplos e tandem triplos; utilizando-se, para estes últimos, o ábaco dos eixos simples, entrando-se com a carga multiplicada pelo fator de segurança e dividindo por três.

Figura 60: Análise de erosão – número admissível de repetições de carga com base no fator de erosão (sem acostamento de concreto).



Fonte: DNIT (2005)

- h) Calculam-se as porcentagens de resistência à fadiga consumida e os danos por erosão, dividindo-se as repetições esperadas pelas admissíveis, e multiplicam-se estas por 100; esses valores são colocados nas colunas 5 e 7 do Quadro 12.

- i) Como não houve consumo de fadiga na coluna 5 do Quadro 12, obtêm-se a porcentagem total da fadiga igual a 0% (menor que 100%); logo, a espessura estimada cumpre com a análise de fadiga.
- j) Ao somar-se os danos por erosão da coluna 7 do Quadro 12, obtêm-se um valor igual a 51%, não ultrapassando os 100%, portanto esta espessura indicada atende aos requisitos do projeto.

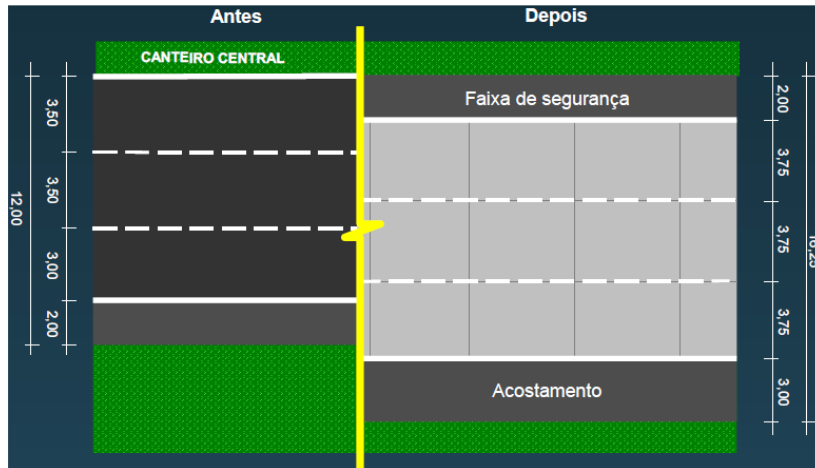
Quadro 13: Cálculo da espessura de pavimento de concreto

Cálculo da espessura de pavimento de concreto						
Projeto: Freeway BR-290		Juntas com BT: <u>sim</u>				
Espessura-tentativa: <u>24 cm</u>		Acostamento de concreto: <u>não</u>				
Ksb: <u>80 MPa/m</u>		Período de projeto: 20 anos				
Resistência característica à tração na flexão:		4,5 MPa				
Fator de segurança de cargas, Fsc: 1,2						
CÁLCULO DE EIXOS TOTAIS POR CLASSE DE CARGA (20 ANOS)						
Cargas por eixo (tf)	Cargas por eixo x Fsc (tf)	Nº de repetições previstas	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROÇÃO	
			nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)	nº de repetições admissíveis	Consumo de Fadiga (%)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
Eixos Simples		[8] Tensão equivalente 1,25			[10] Fator de Erosão 2,57	
-		[9] Fator de fadiga 0,278				
6	7,2	3568985	ilimitado	-	ilimitado	-
10	12	3368954	ilimitado	-	10500000	32%
Eixos Tandem Duplos		[8] Tensão equivalente 1,10			[10] Fator de Erosão 2,71	
-		[9] Fator de fadiga 0,244				
17	20,4	1897456	ilimitado	-	10000000	19%
Eixos Tandem Triplos		[8] Tensão equivalente 1,80			[10] Fator de Erosão 2,82	
-		[9] Fator de fadiga 0,178				
25,5	30,6	28654	ilimitado	-	ilimitado	-
			TOTAL	0%	TOTAL	51%

Fonte: o autor

Nas figuras 61, 62 e 63 mostram com detalhes o pavimento tipo *Whitetopping* analisado.

Figura 61: Alargamento da pista



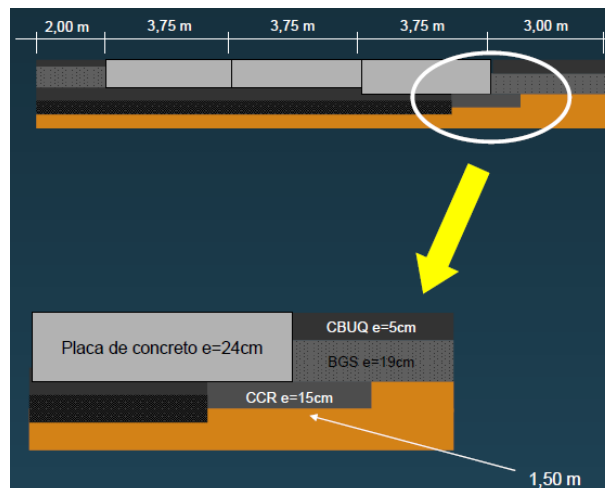
Fonte: ABCP (2007)

Figura 61: Seção típica do pavimento



Fonte: ABCP (2007)

Figura 62: Detalhe do alargamento da pista



Fonte: ABCP (2007)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como finalidade apresentar a técnica de recuperação de pavimento asfáltico com a aplicação de placas de concreto de cimento *Portland* denominado *Whitetopping*, onde buscou-se apresentar as suas características, bem como os seus métodos para o dimensionamento, o concreto adequado para este tipo de pavimento, os equipamentos necessários para a execução, o procedimento executivo detalhado por etapas, apresentar modelos de rodovias brasileiras que utilizam esse sistema e detalhar a metodologia de dimensionamento utilizada em uma rodovia nacional que possui pavimento do tipo *Whitetopping*.

Sendo um trabalho composto por um estudo inteiramente teórico, os objetivos foram atendidos utilizando-se de referências bibliográficas a partir de materiais científicos já publicados, como: normas, livros, manuais, teses, artigos, trabalhos de conclusão de cursos entre outros. A norma consultada pertinente a este tipo de pavimento é a norma do DNIT 068/2004, onde possibilitou analisar as principais características do *Whitetopping* juntamente com artigos e materiais de estudos da Associação Brasileira de Cimento *Portland*, com isso foi possível verificar o tipo de concreto que é utilizado, analisando-se que o concreto tanto para o pavimento tipo *Whitetopping* quanto para os outros tipos de pavimentos tradicionais de concreto são idênticos, desde a produção, transporte, lançamento, adensamento, terminação superficial, cura e selagem de juntas, observou-se que há uma diferença apenas no corte das juntas que neste pavimento é de no máximo 1/3 da altura.

O procedimento executivo foi detalhado em etapas desde a preparação do pavimento asfáltico até a selagem das juntas de acordo as normas do DNIT 068/2004 e 049/2013, o Manual de Pavimento Rígido do DNIT (2005) dentre outros materiais. Notou-se que este procedimento possibilita em todas as etapas a execução completamente manual quanto mecânica, podendo haver uma opção a ser escolhida de acordo com o projeto.

Foram apresentadas três rodovias brasileiras, sendo uma estadual, uma federal e uma federal/estadual que utilizam atualmente o pavimento tipo *Whitetopping* atendendo com satisfação a todos os requisitos e aos grandes

esforços impostos para as quais foram projetadas, as rodovias apresentadas vão desde a primeira experiência no Brasil em um trecho curto de quatro quilômetros e meio no estado de São Paulo ligando uma grande indústria cimenteira a uma rodovia estadual, a segunda rodovia apresentada foi uma rodovia federal no estado do Rio Grande do Sul sendo a primeira autoestrada brasileira também conhecida como *free-way*, fazendo a interligação entre duas grandes e movimentadas rodovia federais, neste trecho possui mais de 19 quilômetros com o pavimento tipo *Whitetopping*, até a mais recente experiência com este pavimento que encontra-se no estado do Mato Grosso em um trecho de vinte e sete quilômetros e meio na principal e mais movimentada rodovia federal deste estado. Observa-se que as rodovias estudadas, são estradas de grande fluxo de caminhões com cargas pesadas, estando este pavimento de acordo com a necessidade de cada via.

Podemos observar ainda que os critérios adotados no dimensionamento da BR-290 no estado do Rio Grande do Sul atenderam a norma do DNIT 068/2004 e o Manual de Pavimento Rígido do DNIT (2005) onde tanto a Análise de Fadiga quanto na Análise de Erosão não superaram os 100%, estando este pavimento de acordo com os requisitos para o qual foi projeto.

Conclui-se que o pavimento do tipo *Whitetopping* possui análise satisfatória nas rodovias no qual foi utilizado, por possuir algumas vantagens sobre o pavimento asfáltico, obtendo um custo-benefício melhor, pois apesar de ainda o pavimento de concreto ter um custo inicial pouco superior ao pavimento asfáltico este pavimento demanda menos intervenções como reparo e manutenções ao longo da sua vida útil de projeto.

REFERÊNCIAS

A.B.C.P. – Associação Brasileira de Cimento *Portland*. **Whitetopping – Praticidade e economia na recuperação de rodovias**. 2010. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/whitetopping-praticidade-e-economia-na-recuperacao-de-rodovias>>. Acesso em 03 set. 2015.

ANDRADE, M.H., **Projetos de Pavimentos Rígidos: notas de aula**. UFPR, 2007. Disponível em: <<http://www.geoties.com/pavimentacao2005/projeto>>. Acesso em 27 set. 2015.

BECKER, Edgardo. Conference sobre pavimentos y pisos industriales. Disponível em: <<http://es.slideshare.net/EdgardoBecker/e-becker-presentacin-sobre-pavimentos-y-pisos-industriales>>. Acesso em 05 out. 2015.

BERNUCCI. Liedi Bariani... [et al.]. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504 f.: il. Inclui bibliografias.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentos rígidos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2005. 234p. (IPR. Publ., 714).

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719).

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de recuperação de pavimentos rígidos**. Rio de Janeiro, 2010. 140p. (IPR. Publ., 737).

BRUNO LOTURCO. Editora Pini. **Pavimento rígido**. 2005. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/102/artigo286026-1.aspx>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

CARLOS ROBERTO GIUBLIN (Paraná). Associação Brasileira de Cimento Portland. **Restauração de Pavimentos com Soluções a Base de Cimento**: Curitiba, 2007. 105 slides, color, 25,4 cm x 19 cm.

CARVALHO, M. D. DE. Pavimento de concreto: reduzindo o custo social. **Vias Concretas**, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://viasconcretas.com.br/biblioteca/artigos/pavimento-de-concreto-reduzindo-o-custo-social/>>. Acesso em 11 set. 2015.

CARVALHO, M. D. DE. Vantagens e benefícios do *Whitetopping* e do *Inlay* na reabilitação de pavimentos. **Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)**, São Paulo, 2012.

CONCRETO sobre pavimento asfáltico. 2016. Disponível em: <<http://viasconcretas.com.br/tecnologia/whitetopping/>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 068 – ES – Pavimento Rígido – Execução de camada superposta de concreto do tipo *Whitetopping* por meio mecânico – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2004, 17p.

_____. **DNIT 005 – TER – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003, 12p.

_____. **DNIT 047 – ES – Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2004, 14p.

_____. **DNIT 048 – ES – Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-trilho – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2004, 15p.

_____. **DNIT 049 – ES – Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2013, 15p.

_____. **DNIT 061 – TER – Pavimento rígido – Defeitos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2004, 13p.

_____. **DNIT 067 – ES – Pavimento rígido – Reabilitação – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2004, 9p.

_____. **DNIT 12655 – PRO – Concreto de cimento *Portland* – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015, 29p.

_____. **DNIT 154 – ES – Pavimentação asfáltica – Recuperação de defeitos em pavimentos asfálticos – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2010, 8p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Infraestrutura Rodoviária. Coordenação Geral de Operações Rodoviárias. **Quadro de Fabricantes de Veículos, 2012**. 166 p.

GP-2600. Disponível em: <http://www.gomaco.com/Resources/international/new_04_07/gp2600_spanish.html>. Acesso em: 02 abr. 2016.

MARTÍNEZ, Víctor Hugo. Construcción y tecnología en concreto. Pavimentos. Disponível em: <<http://www.imcyc.com/revistacyt/feb11/pavimentos.htm>>, acesso em 28 set. 2015.

MASCHIO, A.; GIUBLIN, C. R. BR-290 – Reabilitação estrutural com pavimento de concreto – *Whitetopping*. In: V JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE PAVIMENTOS: POLÍTICAS E TECNOLOGIAS, 2006, Recife. **Trabalho...** Recife, 2006. p. 1-14.

PEDRO BAYEUX (Ed.). *Whitetopping*. 2000. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/whitetopping-84342-1.aspx>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

PITTA, M. R. *Whitetopping: a nova forma de recuperar pavimentos asfálticos*. **Website do eng. Luiz Fernando Dias Costa**. Montes Claros, 2002. Disponível em: <<http://costa.orgfree.com/DICASCON/Whitetopping.htm>>. Acesso em 13 set. 2015.

PROJETO Soluções Para Cidades. Passo a Passo *Whitetopping*. Disponível em: <<http://solucoesparacidades.com.br/mobilidade/1-apoio-a-execucao-mobilidade/passo-a-passo-whitetopping/>>. Acesso em 17 set. 2015.

RODOVIA Serra de São Vicente é inaugurada no MT. 2010. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/rodovia-serra-de-sao-vicente-e-inaugurada-no-mt>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

SANTOS, Altair. Conferência debate novos conceitos e aplicações de tecnologias mistas para estradas federais, a partir das concessões que tem sido viabilizadas. 2014. **Rodovias do futuro tendem a unir concreto e asfalto**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/rodovias-do-futuro-tendem-a-unir-concreto-e-asfalto/>>. Acesso em 28 ago. 2015.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. volume 1. 2. ed. ampl. São Paulo: Ed. Pini, 2007. ISBN 978-85-7266-199-7.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. Volume II. 1. ed. São Paulo: Ed. Pini, 2001. ISBN 85-7266-125-5.

SIAN, Sérgio Valmir. Recuperação de Pavimento In: **Recuperação de pavimento asfáltico com aplicação de *Whitetopping***. São Paulo, 2007. p. 8.

SILVA, P. D. E. A. DA. *Whitetopping* In: **Estudo do reforço de concreto de cimento (*Whitetopping*) na pista circular experimental do Instituto de Pesquisas Rodoviárias**. Rio de Janeiro, 2001. 358 p., 29,7 cm. p. 5, 6.

SILVA, C. E. P. da. **Pavimento de concreto simples: dimensionamento, execução e controle tecnológicos**. Relatório apresentado à Comissão de Supervisão de Estágio do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, RS, Brasil, 2008.