



***WHITETOPPING* – CONCRETO SOBRE PAVIMENTO ASFÁLTICO
TÉCNICA UTILIZADA PARA RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO
ASFÁLTICO REMANESCENTE DA RODOVIA ESTADUAL SC-114**

CURITIBA

2018



GEOVANA SUCHARA DO NASCIMENTO

NÍCOLAS NEGRI

THAÍS BAVARESCO ABATTI

**WHITETOPPING – CONCRETO SOBRE PAVIMENTO ASFÁLTICO
TÉCNICA UTILIZADA PARA RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO
ASFÁLTICO REMANESCENTE DA RODOVIA ESTADUAL SC-114**

Projeto de pesquisa desenvolvido para apresentação de Trabalho de Conclusão do Curso de Pós Graduação em Pavimentação Rodoviária para obtenção do grau de especialista.

Prof. Orientador: Prof. Msc. Paulo Sergio Peterlini.

CURITIBA

2018

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos permitido chegar até aqui e pela oportunidade de estarmos sempre em constante evolução.

Às nossas famílias e companheiros pela compreensão e apoio mesmo nas ausências necessárias para que chegássemos ao fim.

Agradecemos ao engenheiro civil e orientador Prof. Paulo Peterlini por gentilmente ter nos ajudado e nos guiado no decorrer deste trabalho, nos dando todo suporte necessário.

Ao engenheiro da ABCP Sr. Dejalma Frasson Junior pelo fornecimento de materiais importantes para que este trabalho pudesse ser concluído com excelência.

Aos nossos amigos e colegas pela troca de conhecimentos nas discussões produtivas no decorrer do curso.

Agradecemos também a todos os funcionários e colaboradores do Grupo IDD pelo tratamento recebido e agilidade ao resolver nossas solicitações.

Enfim, um muito obrigado a todos que nos apoiaram em mais esta jornada!

FOLHA DE APROVAÇÃO

***WHITETOPPING* – CONCRETO SOBRE PAVIMENTO ASFÁLTICO TÉCNICA UTILIZADA PARA RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO REMANESCENTE DA RODOVIA ESTADUAL SC-114**

Por

GEOVANA SUCHARA DO NASCIMENTO

NÍCOLAS NEGRI

THAÍS BAVARESCO ABATTI

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA, DO
INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS PROFESSORES A
SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR), 28 de janeiro de 2018.

Engº M.Sc. Paulo Sergio Peterlini

Engº D.Sc Assis Rodrigues Abbud Villela

Engº Esp. João Boechat Filho

RESUMO

O aumento do tráfego de veículos e a crescente carga de transporte nas últimas décadas têm contribuído fortemente para a degradação da malha viária. Devido a estas circunstâncias e a necessidade de restauração das vias, surgiu como uma alternativa que aproveita as vantagens do pavimento de concreto de cimento *Portland*, porém, com um custo aparentemente inferior por afirmar-se economizar recursos utilizando o pavimento existente como base, e com liberação parcialmente acelerada ao tráfego, fatores considerados desde que haja uma boa execução. Trata-se do *Whitetopping*, que consiste na aplicação de uma camada de concreto sobre um pavimento asfáltico existente e com certos limites de deterioração, que passa a ter a função de base para o novo pavimento.

Esta técnica foi aplicada na Rodovia Estadual SC-114, entre o município de Otacílio Costa e o entroncamento com a BR-282 (acesso ao município de Lages - ambos os municípios localizados no estado de Santa Catarina) compreendendo uma extensão de 32,832 km, de uma forma razoavelmente mais rápida devido à utilização de pavimento asfáltico no trecho citado acima.

Palavras-chave: *Whitetopping*, pavimento asfáltico, pavimento de concreto, restauração.

ABSTRACT

The increase in vehicular traffic and the increasing transport load in the last decades have contributed strongly to the degradation of the road network. Due to these circumstances and the need for road restoration, it emerged as an alternative that takes advantage of the benefits of Portland cement concrete pavement, but at a lower cost because it claims to save resources using the existing floor as a base, and with partially accelerated release to traffic, factors considered provided that there is a good execution. This is Whitetopping, which consists of the application of a layer of concrete on an existing asphalt pavement and with certain limits of deterioration, which becomes the base for the new pavement. This technique was applied in the State Highway SC-114, between the Otacílio Costa city and the junction with the BR-282 (access to Lages city - both cities located in the state of Santa Catarina) comprising an extension of 32,832 km, of a reasonably faster form due to the use of asphalt pavement in the aforementioned section.

Keywords: Whitetopping, asphalt pavement, concrete pavement, restoration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - VISTA DA CALÇADA DE LORENA	19
FIGURA 2– VISTA DO CAMINHO DO MAR.....	20
FIGURA 3- SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA DE UM PAVIMENTO.....	22
FIGURA 4- RESPOSTA MECÂNICA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL – PRESSÕES CONCENTRADAS.....	26
FIGURA 5- RESPOSTA MECÂNICA DO PAVIMENTO RÍGIDO – PRESSÕES DISTRIBUÍDAS	26
FIGURA 6 – PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES – PLANTA E CORTE LONGITUDINAL	27
FIGURA 7– PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES – 3D	27
FIGURA 8 – PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES - COMPORTAMENTO ..	28
FIGURA 9 – PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA – PLANTA E CORTE LONGITUDINAL.....	29
FIGURA 10– PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA – 3D.....	29
FIGURA 11– PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA - COMPORTAMENTO.....	29
FIGURA 12– PAVIMENTO DE CONCRETO COM ARMADURA DISTRIBUÍDA DESCONTÍNUA – PLANTA E CORTE LONGITUDINAL	30
FIGURA 13– PAVIMENTO DE CONCRETO COM ARMADURA DISTRIBUÍDA DESCONTÍNUA – 3D.....	30
FIGURA 14 – PAVIMENTO DE CONCRETO COM ARMADURA CONTÍNUA – PLANTA E CORTE LONGITUDINAL	31
FIGURA 15– EXECUÇÃO DE PAVIMENTO DE CONCRETO COM ARMADURA CONTÍNUA NA BÉLGICA.....	31
FIGURA 16 – PAVIMENTO DE CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO – PLANTA E CORTE LONGITUDINAL	32
FIGURA 17– PAVIMENTO DE CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO – 3D	32
FIGURA 18– PISO DE CONCRETO PROTENDIDO NO PÁTIO DO AEROPORTO AFONSO PENA – CURITIBA/PR.....	33

FIGURA 19 – TRECHO DA BR-390 – OSÓRIO/RS	37
FIGURA 20 - LOCALIZAÇÃO DO SUBTRECHO DA SC-114.....	40
FIGURA 21 – EXECUÇÃO DE CAMADA DE NIVELAMENTO NO ACOSTAMENTO DA SC-114.....	55
FIGURA 22 – JUNTA SENDO SERRADA NA SC-114.....	57
FIGURA 23 – ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DE K NO TOPO DA SUB-BASE DE BRITA GRADUADA.....	60
FIGURA 24 – ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DE K NO TOPO DA FUNDAÇÃO.....	61
FIGURA 25 – COLOCAÇÃO DE FILME (LONA) SOBRE O REVESTIMENTO ASFÁLTICO DA SC-114.....	64
FIGURA 26 – CONCRETAGEM DA RODOVIA SC-114.	65
FIGURA 27 – COLOCAÇÃO DE BARRAS DE TRANSFERÊNCIA NA RODOVIA SC-114.....	65
FIGURA 28 – EXECUÇÃO CCR NA RODOVIA SC-114, KM 199.	66
FIGURA 29 –ESQUEMA DETALHANDO SOLUÇÃO ADOTADA.....	67
FIGURA 30 – EXECUÇÃO DE REMENDO PROFUNDO EM MACADAME SECO NA SC-114, KM 211.....	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- MALHA RODOVIÁRIA BRASILEIRA EM OUTUBRO DE 2017	21
TABELA 2- ESTRUTURA DAS CAMADAS DO PAVIMENTO EXISTENTE.....	43
TABELA 3 - CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO.....	45
TABELA 4 - SEGMENTOS HOMOGÊNEOS PARA FINS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL	46
TABELA 5 - CRITÉRIOS PARA O ESTABELECIMENTO DAS DIRETRIZES DE PROJETO.	48
TABELA 6 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DNER-PRO 11/79.....	49
TABELA 7 - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS DA 3ª CAMADA DE REFERÊNCIA QUANTO À RESILIÊNCIA.....	50
TABELA 8 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DNER-PRO 269/94 (TECNAPAV)	53
TABELA 9– EXIGÊNCIAS PARA PREPARAÇÕES PRÉVIAS.	56
TABELA 10 – DISTRIBUIÇÃO DO TRÁFEGO	58
TABELA 11– NÚMERO DE REPETIÇÕES POR EIXO X CARGA.....	59
TABELA 12– VALOR DE SUPORTE DO SUBLEITO.....	60
TABELA 13- DIMENSIONAMENTO MECANÍSTICO PARA OS SEGMENTOS COM RECICLAGEM PROFUNDA	64
TABELA 14– ORÇAMENTO PROVISÓRIO.	69
TABELA 15 - CUSTOS EM UMA PROJEÇÃO DE 20 ANOS.	70

LISTA DE EQUAÇÕES

(1) EQUAÇÃO DO QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI)	45
(2) DEFLEXÃO ADMISSÍVEL	47
(3) ESPESSURA DE REFORÇO (H).....	47
(4) ESPESSURA EFETIVA.....	51
(5) DEFLEXÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL.....	51
(6) ESPESSURA DE REFORÇO (HR)	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. PROBLEMA DA PESQUISA.....	13
1.2. OBJETIVOS.....	13
1.3. HIPÓTESE	14
1.4. JUSTIFICATIVAS.....	14
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
1.6. APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1. HISTÓRIA DA PAVIMENTAÇÃO	18
2.2. PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL	19
2.3. DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO	21
2.4. COMPOSIÇÃO DOS PAVIMENTOS	22
2.5. CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS	24
2.6. <i>WHITETOPPING</i>	35
3. MÉTODO DE PESQUISA	40
3.1. PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO/RESTAURAÇÃO	41
3.2. IMPLANTAÇÃO E PAVIMENTAÇÃO DA RODOVIA.....	41
3.3. SONDAGENS NO PAVIMENTO EXISTENTE	42
3.4. AVALIAÇÃO FUNCIONAL	44
3.5. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	45
3.6. METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS DE REFORÇO	46
3.7. SOLUÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO	54
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
4.1. CUSTOS.....	68
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1. INTRODUÇÃO

Considerando a situação deteriorada da malha viária nacional e a necessidade de recuperação ao longo dos anos, surgiu uma alternativa que aproveita as características do pavimento de concreto de cimento *Portland*, porém, com um custo a longo prazo inferior e com aparente liberação acelerada ao tráfego. Trata-se do *Whitetopping*, que consiste na aplicação de uma camada de concreto sobre um pavimento asfáltico existente e deteriorado (sob pena de avaliação prévia), que passa a ter a função de base para o novo pavimento. O termo *Whitetopping* refere-se à cor mais clara do novo pavimento em relação ao anterior (SIAN, 2007).

Aplicado pela primeira vez em 1918, esse processo de recuperação de pavimentos passou a ser utilizado em diversos países e, mais recentemente, também no Brasil, em algumas rodovias e corredores de ônibus como, por exemplo, em Curitiba, município do Paraná e Caxias do Sul localizado no Rio Grande do Sul. Essa técnica quando comparada à pavimentação asfáltica, é mais eficiente, sendo possível obter melhores resultados com o funcionamento desejado aliado a uma maior economia de recursos e tempo (SIAN, 2007). Levando em consideração a boa execução e a agilidade no tempo de trabalho, esta técnica promete agilidade levando em consideração que a base é a reutilização do pavimento existente, gerando economia de tempo.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) trata de um estudo de caso onde se deu enfoque na aplicação dessa técnica na Rodovia Estadual SC-114, entre o município Otacílio Costa e o entroncamento com a BR-282 (acesso para o município de Lages). A restauração do subtrecho da rodovia em questão inicia-se no km 188,160 e finaliza-se no km 224,313, contemplando uma extensão total de 36,153 km. Porém, a utilização do *Whitetopping* está sendo realizada somente entre os segmentos do km 191,481 ao km 224,313, extensão de 32,832 km, pois o trecho restante foi restaurado utilizando pavimento flexível devido às condições de tráfego e carga, abordado de forma mais profunda no decorrer do trabalho.

1.1. PROBLEMA DA PESQUISA

Para uma rodovia de tráfego pesado, é possível apresentar o *Whitetopping* como alternativa de restauração de um pavimento asfáltico remanescente?

1.2. OBJETIVOS

O TCC tem como objetivo apresentar uma técnica de recuperação de pavimentação muito utilizada nos Estados Unidos. Trata-se de uma solução que utiliza o pavimento flexível existente como base, e por cima, é aplicada uma camada de concreto de cimento *Portland* (armado ou não) com um processo de aditivos, tratamento de juntas, entre outros, formando assim uma estrutura composta por um pavimento asfáltico remanescente, resgatado devido a solicitações impostas anteriormente pelo tráfego e a nova placa de concreto de cimento *Portland*.

1.2.1. Objetivo geral

Apresentar quais as diferenças da técnica de aplicação de placas de concreto de cimento *Portland* sobre um pavimento asfáltico existente.

1.2.2. Objetivos específicos

- a. Esclarecer os diferentes tipos de pavimentos rígidos que podem ser executados sobre pavimentos flexíveis.
- b. Elencar as vantagens da aplicação da técnica do *Whitetopping*, comparado ao reforço com pavimento flexível tradicional.
- c. Demonstrar os detalhes construtivos e formas de execução dessa técnica.

1.3 HIPÓTESE

Sabe-se que o custo de reparo de um pavimento flexível deteriorado é alto e que algumas vezes essa é uma medida paliativa visando a fiscalização precária de peso em veículos de transporte em nosso país, a drenagem inexistente ou mal projetada, o clima em determinadas regiões, os projetos mal feitos e/ou executados, etc; considerando esses e outros fatores não citados, ele pode apresentar danos em pouco tempo. O *Whitetopping* pode surgir como solução duradoura para estes casos, onde é necessário um pavimento estruturado e resistente no seu topo que possa resistir à cargas elevadas, levando em consideração que seja bem executado, ele possibilita resistir mais às cargas comparado ao flexível.

1.4 JUSTIFICATIVAS

Neste item, serão apresentadas as justificativas tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas para a elaboração da pesquisa.

1.4.1 Tecnológicas

A malha rodoviária brasileira é o principal meio responsável pela distribuição de mercadorias e transporte da população na maior parte do território nacional, que suporta muitas e diferentes cargas. Muitas rodovias estão deterioradas e tão importante quanto a execução de novas rodovias, é a preocupação em restaurar as já existentes. Dessa forma, a técnica de utilização do *Whitetopping* pode surgir como uma alternativa técnica.

1.4.2 Econômicas

Em relação ao fator econômico, segundo Pereira (2001), os custos iniciais para construção de pavimentos em CCP – Concreto de Cimento Portland, têm sido reduzidos para o caso de rodovias de elevado tráfego e cargas, tornando-o competitivo,

ainda mais se observados os baixos custos de manutenção necessários durante sua vida de serviço.

Isso se deve ao fato de que um dos principais motivos da deterioração do pavimento flexível é o tráfego intenso de pesados veículos transportadores de cargas, permitidos legalmente no Brasil, o excesso de peso não fiscalizado e omitido; substituir o pavimento existente por um de mesmo tipo, pode não solucionar o problema, pois em um curto período de tempo, a vida útil desse pavimento vai necessitar de novas reabilitações em função das patologias típicas do mesmo, e/ou o projeto mal efetivado ou executado. Neste caso, o *Whitetopping* pode ser uma solução economicamente viável, pois segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), sua vida útil pode ser maior que a dos pavimentos flexíveis.

1.4.3 Sociais

As boas condições de uma rodovia (seja ela de pavimento flexível ou rígido) atende as projeções e necessidades dos usuários. A melhoria nas condições de tráfego nas rodovias é de suma importância para o desenvolvimento do país. A recuperação dos pavimentos das rodovias nacionais, com a aplicação da técnica em questão, pode proporcionar maior conforto e segurança aos usuários, devido a sua manutenção tardia que pode gerar uma melhor trafegabilidade. Sendo assim, é uma alternativa técnica a ser considerada nos projetos rodoviários.

1.4.4 Ecológicas

Segundo Carvalho (2012), o *Whitetopping*, por utilizar cimento *Portland*, possui uma coloração clara, reduzindo a absorção de calor pelo pavimento e minimizando a temperatura ambiente (emitindo as mesmas para o meio ambiente, levando em consideração as estações do ano e regiões secas ou chuvosas). Também devido a sua coloração, propicia melhor visibilidade por reflexão, reduzindo o consumo de energia elétrica e sinalização horizontal na iluminação das vias. Diferente dos revestimentos asfálticos, o concreto apresenta menor custo de manutenção, desde que bem executado.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método de pesquisa se baseará na realização de uma análise da técnica de *Whitetopping* aplicada em um trecho da Rodovia Estadual SC-114. De posse dos projetos executivos, realizadas entrevistas verbais não documentadas com engenheiros envolvidos, feitas visitas a campo e pesquisas relacionadas ao assunto, foi possível a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

As etapas seguidas foram:

- Levantamento de dados gerais;
- Pesquisa sobre o local escolhido (trecho da Rodovia Estadual SC-114);
- Levantamento de projetos executivos;
- Entrevistas com engenheiro Daniel e pessoas envolvidas na execução e projeto;
- Visitas a campo no dia 10/06/2017 e 23/09/2017 para acompanhamento da técnica in loco;
- Análise do material fornecido;
- Pesquisas bibliográficas relacionadas ao assunto;
- Análise com base em teorias relacionada a técnica e a maneira da qual foram conduzidos projeto e execução;
- Conclusões acerca da técnica *Whitetopping*.

1.6 APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS

O **Capítulo 1 – Introdução** apresenta um breve histórico do *Whitetopping* no Brasil e no mundo, o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como apresenta uma breve justificativa para a realização do presente estudo e os procedimentos metodológicos que serão adotados.

O **Capítulo 2 – Fundamentação Teórica** apresenta uma revisão bibliográfica acerca do histórico da pavimentação, composição de um pavimento, classificações dos

pavimentos de concreto, aborda o tema *Whitetopping* e suas aplicações, vantagens, desvantagens baseadas em estudos e experimentos.

O **Capítulo 3 – Método de Pesquisa**, capítulo onde se encontra a localização e descrição do projeto em questão (trecho da Rodovia Estadual SC-114), a apresentação do projeto de pavimentação e restauração, a execução de *Whitetopping* realizada no trecho. Também são apresentadas as avaliações funcionais e estruturais.

No **Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados**, são indicados os resultados verificados de posse das informações e das análises previamente realizadas.

O **Capítulo 5 – Considerações Finais** apresenta as conclusões a respeito de toda a pesquisa realizada.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo, será apresentado um breve histórico da pavimentação, bem como a definição de pavimento, mediante alguns conceitos básicos como a sua estrutura e classificação, dando uma ênfase ao uso do concreto na qual é o tema central da pesquisa.

2.1. HISTÓRIA DA PAVIMENTAÇÃO

Segundo Bernucci *et al.* (2008), percorrer a história da pavimentação nos remete à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento. Como os pavimentos, a história também foi construída em camadas e, frequentemente, as estradas formam um caminho para examinar o passado, daí ser uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas.

Com o objetivo de obter melhor acesso às áreas cultiváveis e às fontes das principais matérias-primas da época como madeira, rochas, minerais e água, além do desejo de expansão territorial, foi criado o que se chama de estrada, cuja lembrança mais remota provém da China, país que às inventou. Bem mais tarde, os romanos aperfeiçoaram as estradas, instalando pavimentos, utilizando pedras e casca de árvores como revestimento e sistema de drenagem básico, com o intuito de torná-las duradouras.

Segundo autores alemães, durante a fase áurea de Roma, mais de oitenta mil quilômetros de estradas foram construídos, permitindo aos dominadores o transporte de legiões militares e o acesso a bens disponíveis nos longínquos territórios dominados. Os romanos também procuraram estabelecer rotas por terras mais racionais, para galgar montanhas e atingir os principais portos no Mediterrâneo, combinando meios de transporte da maneira mais eficiente que seus estrategistas poderiam conceber (BALBO, 2007).

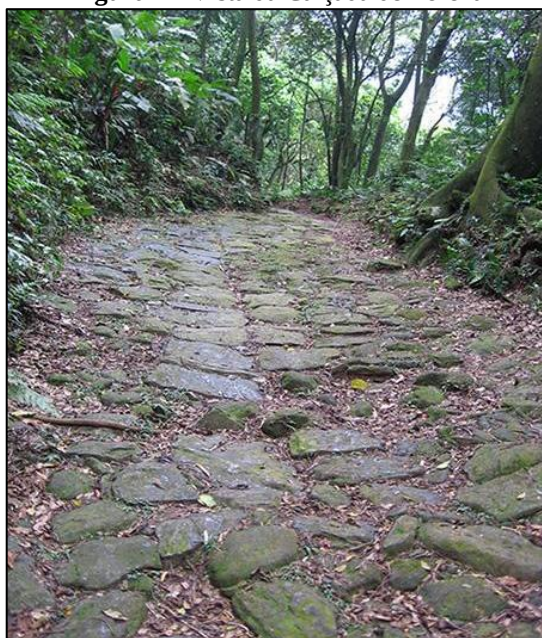
No que diz respeito à geometria, as vias romanas eram traçadas geralmente em linhas retas. Embora fosse comum que seguissem o curso de um riacho ou rio, as vias não possuíam o traçado suave como é usual nos dias de hoje, sendo

compostas por pequenos trechos retos que mudavam de direção com a forma do terreno (BERNUCCI *et al*, 2008, *apud* MARGARY, 1973).

2.2. PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL

As técnicas de construção praticadas pelos romanos em seus domínios foram também muito utilizadas em outros países, inclusive no Brasil, onde o primeiro emprego foi a “Calçada de Lorena”, construída em 1792, entre Riacho Grande e Cubatão, no estado de São Paulo conforme é mostrada na foto da Figura 1.

Figura 1 - Vista da Calçada de Lorena



Fonte: Balbo, 2007.

Segundo Bernucci *et al*. (2008) *apud* Prego (2001), durante o Império (1822-1889) foram poucos os desenvolvimentos nos transportes do Brasil, principalmente o transporte rodoviário.

A primeira experiência de expressivo porte no País durante o século XX, consideradas as extensões pavimentadas e as condições geométricas gerais da rodovia, bem como a existência de registros precisos sobre a obra, ocorreu na construção do Caminho do Mar, de São Paulo a Cubatão, conduzida pela então Diretoria de Estradas de Rodagem da Secretaria de Viação e Obras Públicas do Estado de São Paulo. Tal

estrada de rodagem empregou amplamente misturas asfálticas em sua maior extensão (BALBO, 2007).

Em 1922, um segmento da estrada que liga a região metropolitana de São Paulo com o litoral, chamado de Caminho do Mar, conforme Figura 2, entre o Marco do Lorena e o Rancho da Maioridade (8 km de pista simples), local mais íngreme da Serra do Mar, foi pavimentado com concreto de cimento *Portland*. Trata-se do registro mais antigo documentado de pavimentação em concreto de uma estrada no país (BALBO, 2007).

Figura 2– Vista do Caminho do Mar



Fonte: Balbo, 2007.

Segundo Reis (1995) *apud* Balbo (2007), em 1924, o governo do Estado de São Paulo concluiu a construção de 334,0km de novas estradas, com emprego de vários tipos de pavimentos (asfáltico, concreto de cimento *Portland*, paralelepípedo), além de concluir revestimentos primários com cascalho em 357 km de estradas. Era governador de São Paulo, Washington Luiz, que também foi presidente da República de 1926 a 1930, sendo sua a célebre frase “governar é abrir estradas”.

O grande impulso na construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, graças à criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos. Destaque-se ainda a criação da Petrobras em 1953 (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Segundo Bernucci *et al.*, (2008) em 1958 e 1959, foram criados, respectivamente, o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), atuando em colaboração

com o antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), e a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv).

De acordo com o Boletim Estatístico atualizado em outubro de 2017, disponível no site da Confederação Nacional do Transporte (CNT), o Brasil possui uma malha rodoviária com cerca de 1.735.606 quilômetros de extensão, entre rodovias federais, estaduais e municipais, pavimentadas, não pavimentadas e planejadas (em andamento ou em fase de projeto), sob administração do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), concessões e convênios. A Tabela 1 detalha esses dados.

Tabela 1- Malha rodoviária brasileira em outubro de 2017

Ano	2016				
Jurisdição	Não-pavimentada		Pavimentada		Total
	(km)	(%)	(km)	(%)	(km)
Federal	10.839	14,2%	65.615	85,8%	76.454
Estadual e Municipal	1.353.782	90,14%	148.061	9,86%	1.501.843
Rede Planejada	-	-	-	-	157.309
Total	1.364.621	87,7%	213,676	12,3%	1.735.606

Fonte: Confederação Nacional do Transporte, 2016. <<http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>>

2.3. DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO

Segundo Santana (1993), o pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície do leito, após os serviços de terraplanagem, por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade, cuja principal função é fornecer segurança e conforto ao usuário.

Segundo a NBR-7207 (ABNT, 1982), as principais funções de um pavimento são:

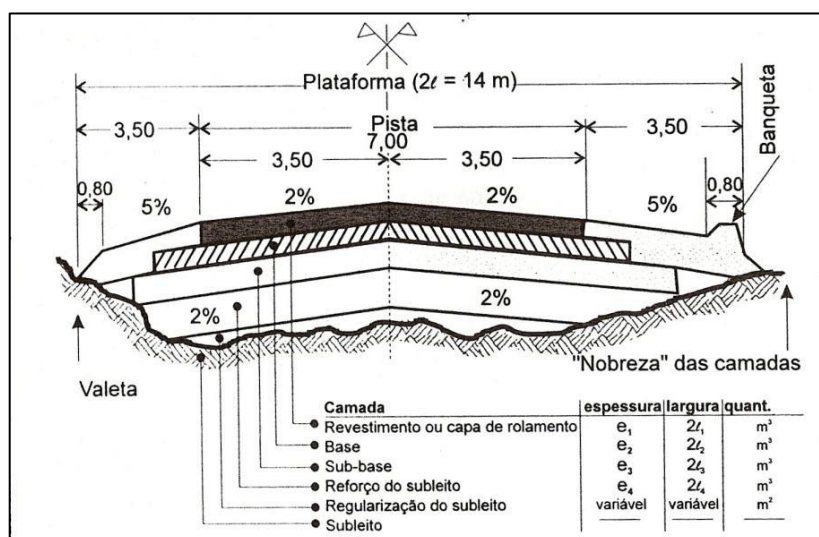
- resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais provenientes do tráfego;
- melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; e
- resistir aos esforços horizontais tornando o mais durável possível a superfície de rolamento.

2.4. COMPOSIÇÃO DOS PAVIMENTOS

Os pavimentos são constituídos de diversas camadas onde cada uma possui uma ou mais funções específicas, que devem proporcionar aos veículos as condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer condição climática (BALBO, 2011).

De uma forma mais completa possível, o pavimento possui as seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, sendo este último a fundação e parte integrante da estrutura conforme ilustração da Figura 3 (BALBO, 2007).

Figura 3- Seção transversal típica de um pavimento



Fonte: Senço, 2001.

2.4.1. Subleitos

Segundo Balbo (2007), os esforços impostos sobre a superfície do subleito, serão aliviados em sua profundidade (normalmente se dispersam no primeiro metro). Deve-se, portanto, ter maior preocupação com seus estratos superiores, onde os esforços solicitantes atuam com maior magnitude. O subleito será constituído de material natural consolidado e compactado, por exemplo, nos cortes do corpo estradal, ou por um material transportado e compactado, no caso dos aterros.

2.4.2. Reforços do subleito

O reforço do subleito é executado normalmente nos pavimentos em que o subleito é composto de solo com pequena resistência aos esforços verticais (de cisalhamento) que ocorreriam sobre sua superfície (BALBO, 2011).

Os solos ou outros materiais escolhidos para reforço de subleito devem, assim, atender às condições de resistir às pressões aplicadas na interface entre a sub-base e o reforço, que são menores que as pressões aplicadas na interface entre a base e a sub-base, mas que são maiores que as pressões aplicadas na interface entre o reforço e o subleito (SENÇO, 2001).

2.4.3. Bases e sub-bases

A base e sub-base são camadas que têm como função aliviar as pressões sobre as camadas inferiores e desempenham um importante papel na drenagem superficial dos pavimentos.

Quando a camada de base exigida para desempenhar tal função (distribuir os esforços para camadas inferiores) é muito espessa, procura-se, por razões de natureza construtiva e econômica, dividi-la em duas camadas, criando-se assim, uma sub-base, geralmente de menor custo (BALBO, 2007).

Tanto a base quanto a sub-base podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, mistura de solos e brita, brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico, concretos, entre outros materiais (BALBO, 2007).

2.4.4. Imprimação entre camadas

Entre as diversas camadas de pavimentos, é necessária a aplicação da “pintura de ligação”, que tem função de aderir uma camada na outra e também a “imprimação impermeabilizante”, com função de impermeabilizar uma camada de solo antes do lançamento da camada superior (BALBO, 2007).

A pintura de ligação é aplicada com emulsão asfáltica entre qualquer camada de revestimento, já a imprimação impermeabilizante é aplicada com asfalto diluído.

2.4.5. Revestimentos asfálticos

Na visão de Balbo (2007), o revestimento asfáltico deve, entre outras funções, receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou, ainda, perda de compactação. Necessita, portanto, ser composto de materiais bem aglutinados ou dispostos de maneira a evitar sua movimentação horizontal.

Segundo Bernucci *et al.*, (2008), o revestimento asfáltico pode ser composto por camadas de rolamento em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, por vezes denominadas de *binder*, embora essa designação possa levar a uma certa confusão, uma vez que esse termo é utilizado na língua inglesa para designar o ligante asfáltico.

Os revestimentos asfálticos são os mais comuns no Brasil, porém por se tratar de material derivado de petróleo, seu custo é elevado, tornando a camada mais nobre do pavimento, é evidente que a adoção da espessura não implica em qualquer problema técnico, porque estará sendo tomada parte da espessura total, com o melhor material disponível, sendo de preço unitário mais elevado que as demais camadas, o revestimento torna necessário que sejam usados critérios bem definidos quanto à escolha de espessura (FERRARA, 2006).

2.5. CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Em linhas gerais, os pavimentos são classificados em três tipos: flexível, rígido e semi-rígido, conforme detalhado (DER/SP, 2006):

- O pavimento flexível é constituído de uma camada de material asfáltico, que tem a função de revestimento, sobre uma ou mais camadas de material granular ou de solos estabilizados, que funcionam como base;
- O pavimento rígido constitui-se de placas de concreto de cimento *Portland* sobre uma base de material granular ou cimentada;

- O pavimento semi-rígido é constituído de uma camada de material asfáltico sobre uma base de material estabilizado com cimento.

Apesar do pavimento semi-rígido, do tipo direto, cuja base é cimentada e sub-base granular ou o do tipo invertido, cuja base é granular e sub-base cimentada, ter um revestimento flexível, segundo Balbo (1993), apresenta comportamento diferenciado ao pavimento flexível, no que concerne à transmissão de pressões para o subleito.

Muito embora o pavimento semi-rígido atenda tecnicamente ao tráfego elevado, para efeito da presente pesquisa, o foco se dará apenas nos pavimentos flexíveis e rígidos.

2.5.1. Pavimentos flexíveis

Os pavimentos flexíveis são aqueles cujas deformações, até certo limite, não levam à ruptura, constituído principalmente por materiais asfálticos. Poderá ser composto por diversas camadas como subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (SENÇO, 2001).

Em sua maioria, esses são associados às misturas asfálticas, compostas basicamente de agregados e ligantes asfálticos. Em diversos países a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. No Brasil, a maior parte das estradas foi pavimentada com material asfáltico. São diversas as razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação. O concreto asfáltico proporciona forte união dos agregados, permite flexibilidade controlável, é impermeável, de fácil aplicação e manuseio quando aquecido. Entre outras inúmeras aplicações que trazem grande versatilidade na utilização desta opção.

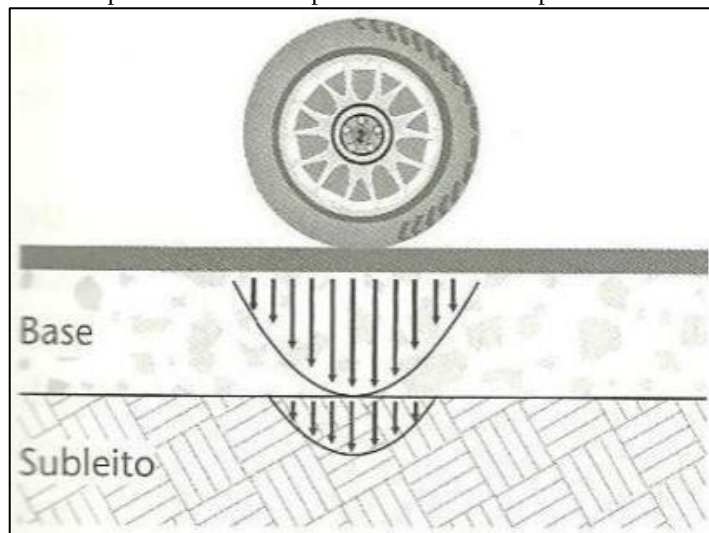
2.5.2. Pavimentos rígidos

Segundo Senço (2001), pavimento rígido é caracterizado pela inaptidão à deformação, o qual sofre estruturalmente pela tração na flexão quando deformado. Ao exemplo deste, têm-se os pavimentos constituídos principalmente de concreto de

cimento. No Pavimento Rígido, a camada de rolamento funciona também como estrutura, redistribuindo os esforços e diminuindo a tensão imposta à fundação.

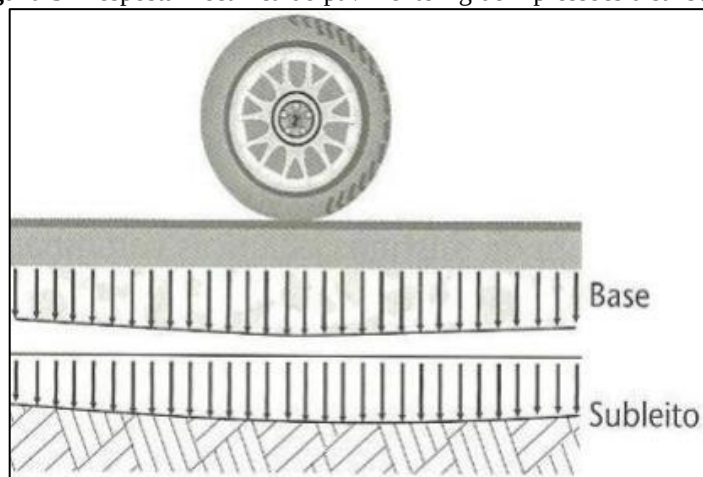
As ilustrações das Figura 4 e Figura 5 mostram a distribuição de cargas nos dois tipos de pavimentos.

Figura 4- Resposta mecânica do pavimento flexível – pressões concentradas



Fonte: Balbo, 2007.

Figura 5- Resposta mecânica do pavimento rígido – pressões distribuídas



Fonte: Balbo, 2007.

Observa-se a diferença em que os esforços são recebidos pelos dois tipos de pavimentos, tendo o rígido uma distribuição em uma área maior, transmitindo uma carga menor para as camadas inferiores que acabam por não serem tão solicitadas.

2.5.2.1. Principais tipos de pavimentos rígidos

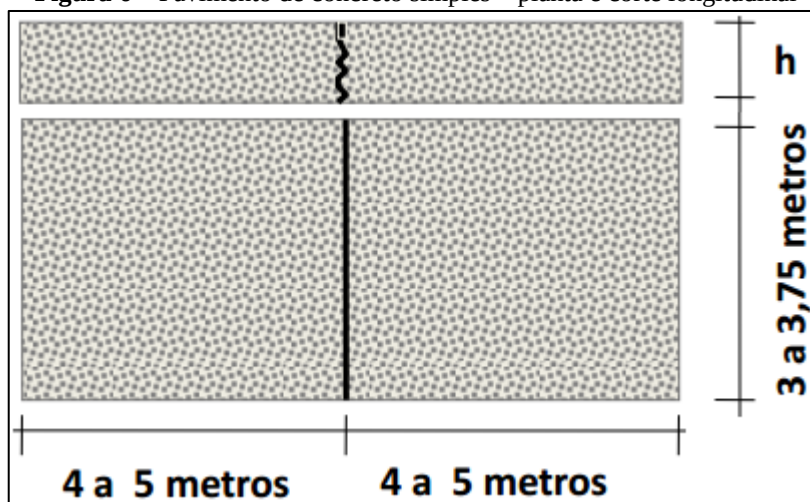
Neste item, apresentamos uma breve descrição para cada um dos seis tipos de pavimento rígidos mais comuns. Todos os pavimentos rígidos apresentados a seguir, podem fazer uso da técnica *Whitetopping*, ou seja, é possível executá-los sobre o pavimento flexível.

A) Pavimento de concreto simples

É o tipo de pavimento de concreto que não possui em sua estrutura qualquer tipo de armadura, tanto no interior das placas, como nas juntas, e tem a entrosagem de agregados como única maneira de transferência de carga entre as placas (DNIT, 2004).

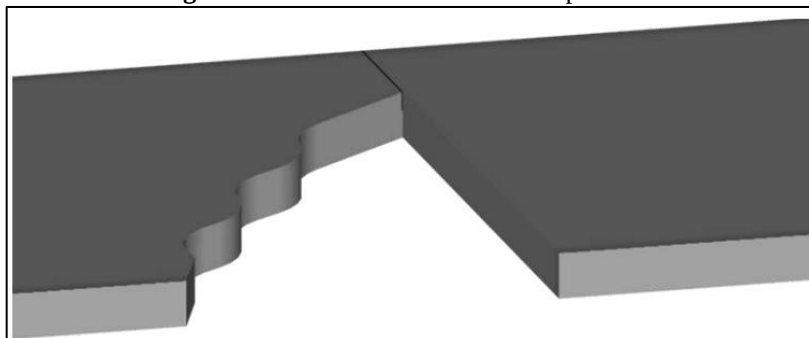
A Figura 6 apresenta o pavimento em planta e corte longitudinal, já na Figura 7, pode-se observar a estrutura do pavimento em uma visualização em três dimensões (3D).

Figura 6 – Pavimento de concreto simples – planta e corte longitudinal



Fonte: Giublin, 2016.

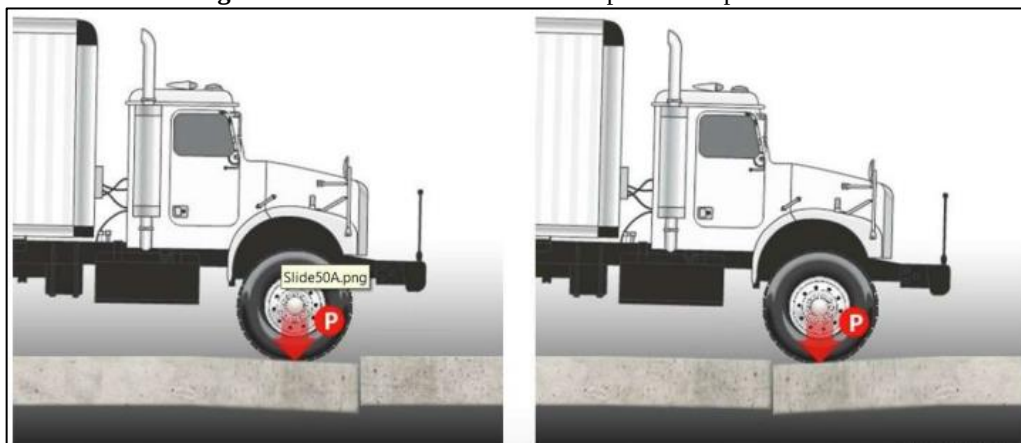
Figura 7 – Pavimento de concreto simples – 3D



Fonte: Giublin, 2016.

Na Figura 8, é possível visualizar o comportamento das placas de concreto mediante carregamento.

Figura 8 – Pavimento de concreto simples - Comportamento



Fonte: Giublin, 2016.

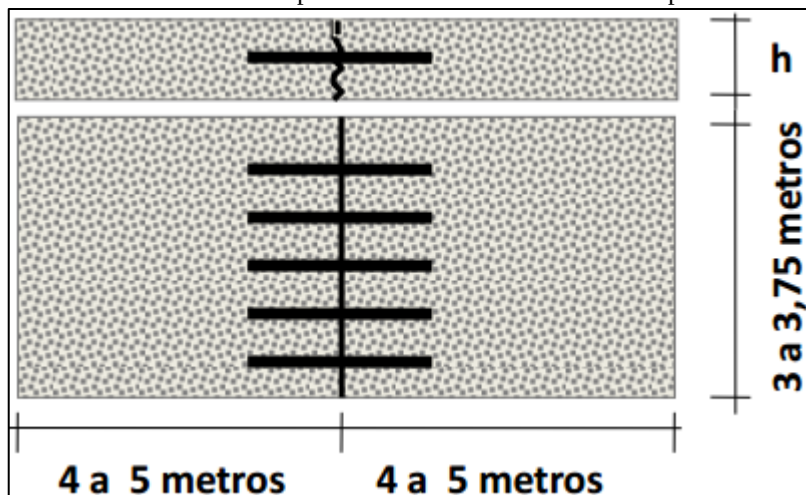
Observa-se também na ilustração da Figura 8, que o pavimento de concreto simples, submetido ao tráfego, pode apresentar danos ao longo do tempo, pois as placas de concreto sofrem pequenas deformações podendo fazer com que as bordas das placas, paralelas as juntas, sejam danificadas ao decorrer dos anos. Sendo assim, o uso de barras de transferências se tornou mais comum na execução desse tipo de pavimento. (OLIVEIRA, 2008)

B) Pavimento de concreto simples com barras de transferência

É o pavimento que é dotado de sistema artificial de transferência de carga formado por barras curtas de aço liso, postadas na meia-seção das juntas transversais (DNIT, 2008). Este é o tipo de pavimento que está sendo utilizado na recuperação da SC-114, tema deste trabalho.

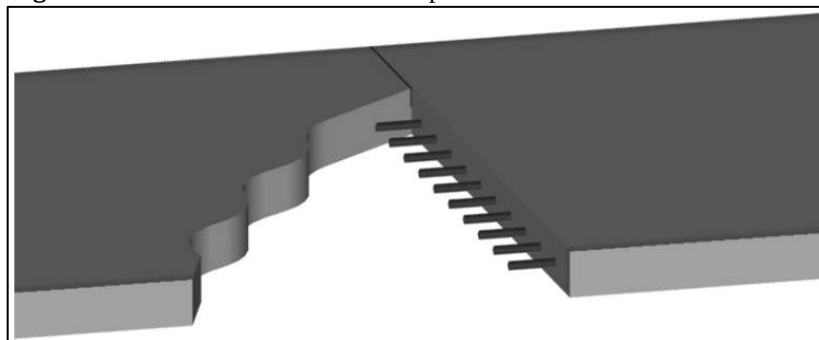
A Figura 9 apresenta o pavimento em planta e corte longitudinal, já na Figura 10, pode-se observar a estrutura do pavimento em uma visualização em três dimensões (3D).

Figura 9 – Pavimento de concreto simples com barras de transferência – planta e corte longitudinal



Fonte: Giublin, 2016

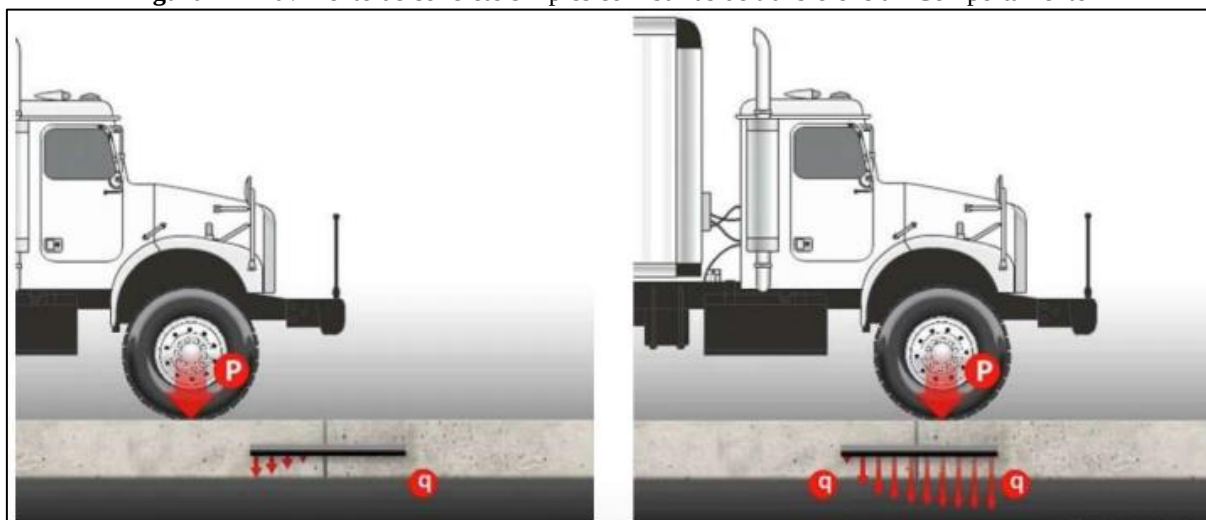
Figura 10– Pavimento de concreto simples com barras de transferência – 3D



Fonte: Giublin, 2016.

Na Figura 11, é possível visualizar o comportamento das placas de concreto com barras de transferência mediante carregamento.

Figura 11– Pavimento de concreto simples com barras de transferência - Comportamento



Fonte: Giublin, 2016.

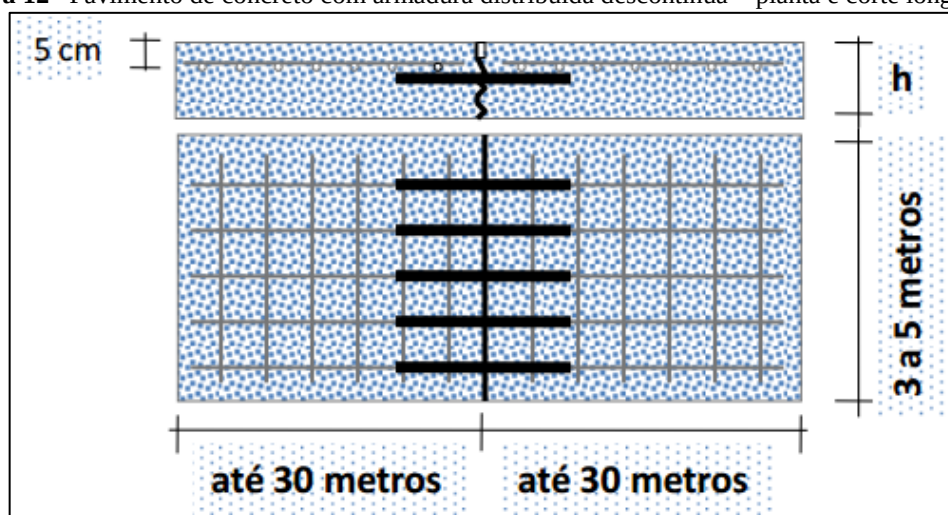
Também na ilustração da Figura 11, pode-se observar que com o uso de barras de transferência, a deformação das placas de concretos é reduzida, diminuindo também os danos ao pavimento.

C) Pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua

É o pavimento de concreto que tem armadura distribuída descontínua, que se detém antes de cada junta transversal e não tem função estrutural, ou seja, não contribui para aumentar a resistência da placa à flexão. (DNIT, 2008).

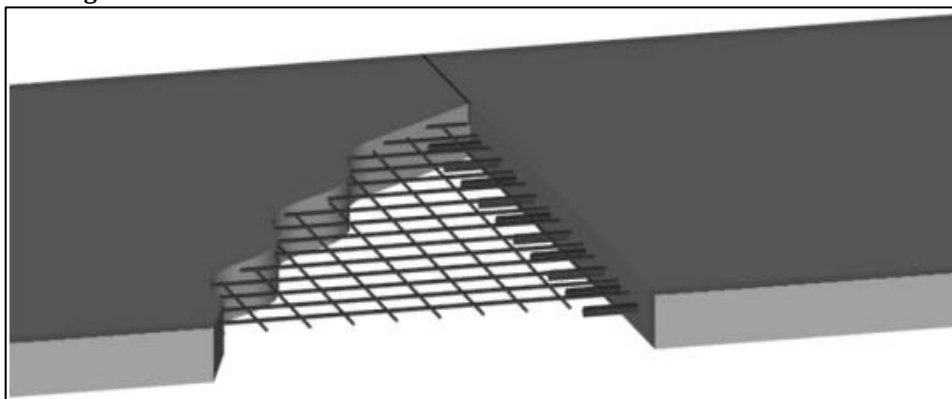
A Figura 12 apresenta o pavimento em planta e corte longitudinal, já na Figura 13, pode-se observar a estrutura do pavimento em uma visualização em três dimensões (3D).

Figura 12– Pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua – planta e corte longitudinal



Fonte: Giublin, 2016.

Figura 13– Pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua – 3D



Fonte: Giublin, 2016.

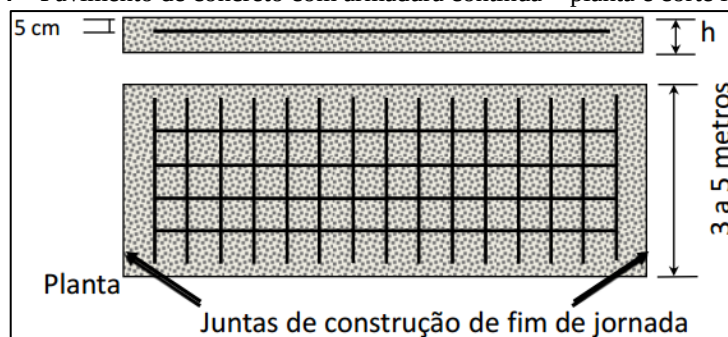
Segundo Giublin (2016), a função da armadura é manter fortemente ligadas as fissuras que acaso se formem entre as duas juntas transversais seguidas, já que, neste tipo de pavimento, as placas são de grande comprimento – até 30 m (é mais usual de 12 a 15 m). É obrigatório o uso de barras de transferência. É utilizado principalmente em pisos industriais e em algumas situações específicas de projeto (placas irregulares).

D) Pavimento de concreto com armadura contínua

É o pavimento de concreto que não tem juntas transversais, e a armadura, bastante pesada, faz com que se tenha boa transmissão de carga nas fissuras que se formam em todo o pavimento. O comprimento das placas é igual à extensão diária construída (DNIT, 2008).

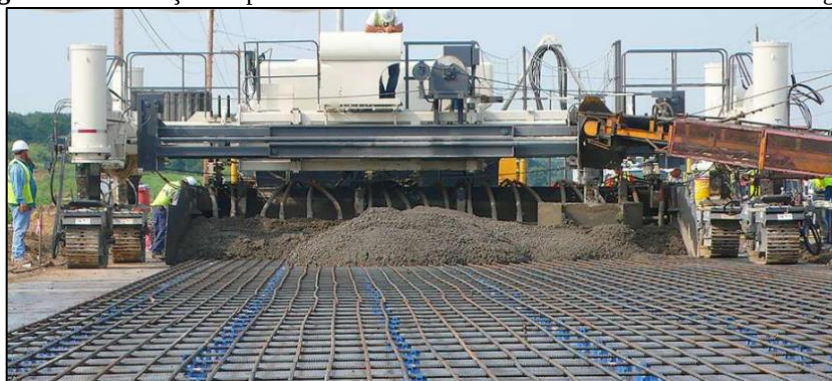
A Figura 14 apresenta o pavimento em planta e corte longitudinal, já na Figura 15, pode-se observar a execução desse tipo de pavimento em Bruxelas, na Bélgica.

Figura 14 – Pavimento de concreto com armadura contínua – planta e corte longitudinal



Fonte: Giublin, 2016.

Figura 15– Execução de pavimento de concreto com armadura contínua na Bélgica.



Fonte: Giublin, 2016.

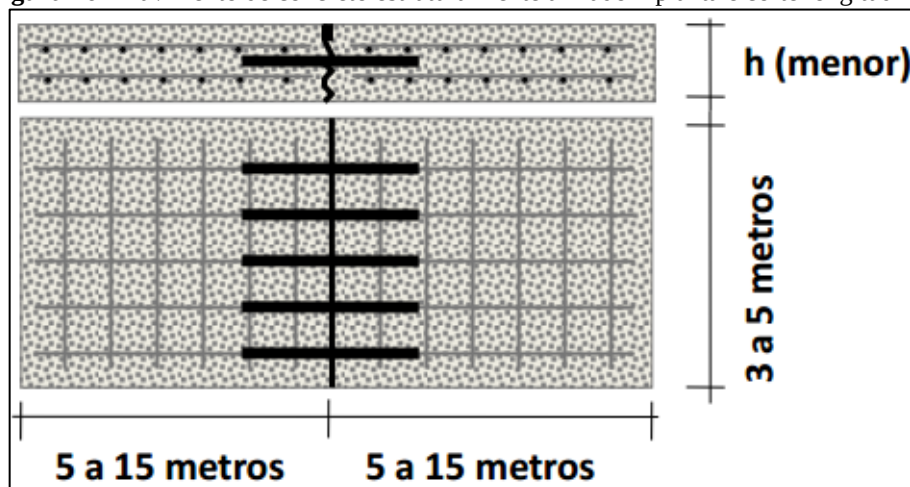
Não há exemplos de utilização deste pavimento no Brasil. É comum o uso em países da Europa (Bélgica, Inglaterra) e nos EUA (Estado do Texas).

E) Pavimento de concreto estruturalmente armado

É o pavimento de concreto que possui barras de transferência e telas de aço distribuídas na parte superior e inferior da placa (DNIT, 2008).

A Figura 16 apresenta o pavimento em planta e corte longitudinal.

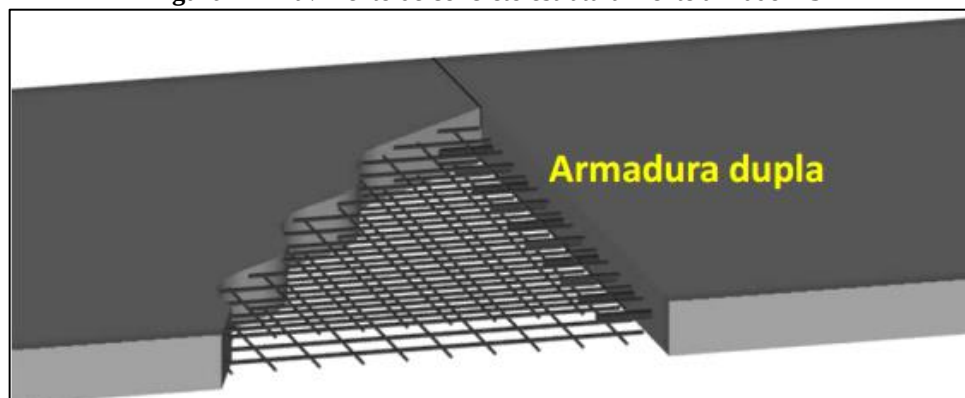
Figura 16 – Pavimento de concreto estruturalmente armado – planta e corte longitudinal



Fonte: Giublin, 2016.

Observa-se no corte longitudinal da Figura 16, que as telas de aço são dispostas uma sobre a linha neutra do pavimento e outra abaixo da linha neutra. Já na Figura 17, pode-se observar a estrutura do pavimento em uma visualização em três dimensões (3D).

Figura 17– Pavimento de concreto estruturalmente armado – 3D



Fonte: Giublin, 2016.

A tela superior combate a retração do concreto e a inferior tem o objetivo de aumentar a capacidade estrutural da placa (tração), possibilitando a diminuição de sua espessura. É utilizado principalmente em pisos industriais.

F) Pavimento de concreto protendido

É o pavimento de concreto que tem a resistência à tração aumentada pela compressão prévia aplicada pela protensão. Com isso a espessura da placa pode ser diminuída e as juntas de transferência são espaçadas até 150 m. (SCHMID, 2005)

É utilizado principalmente em pisos industriais e pátios de estacionamento de aeronaves. A foto da Figura 18 mostra um exemplo de pavimento protendido sendo executado no pátio do Aeroporto Afonso Pena, em Curitiba-PR.

Figura 18– Piso de concreto protendido no pátio do Aeroporto Afonso Pena – Curitiba/PR



Fonte: Thalassa Pisos Industriais, 2014.

2.5.2.2. Juntas

Os pavimentos de concreto de cimento Portland estão sujeitos ao aparecimento de fissuras transversais e longitudinais, provocadas por:

- Restrição à retração volumétrica do concreto;
- Empenamento restringido; e

- Solicitações do tráfego.

Para controlar essas fissuras nos pavimentos de concretos, existem basicamente duas alternativas que possam ser tomadas.

A primeira delas seria o uso de armadura distribuída, sem função estrutural, unicamente para manter fortemente ligadas as faces das fissuras, impedindo sua separação. Conhecido também como pavimento de concreto continuamente armado.

O outro dispositivo controlador de fissuras, é a adoção de seções artificialmente enfraquecidas, espaçadas de modo a forçar a ocorrência das fissuras em locais previamente determinados. Estas seções enfraquecidas são obtidas através de juntas induzidas, cortadas com discos diamantados.

2.5.2.3. *Tipos de juntas*

Conforme apresentado no Manual do DNIT de Pavimentos Rígidos (2004), as juntas de um pavimento de concreto podem ser classificadas de acordo com a solicitação do revestimento:

A) Juntas longitudinais

São empregadas para o controle das fissuras longitudinais devidas ao empenamento da placa de concreto, quando as duas faixas da pista são concretadas juntas. Pode ser executada com ou sem barras de ligação e com espaçamento adequado para pavimentos rodoviários de 3,00 m a 3,75 m.

B) Juntas transversais

Além de serem empregadas para o controle das fissuras à contração volumétrica do concreto, devem propiciar certa transferência de carga de uma placa à outra. Pode ser executada com ou sem barras de transferência. A decisão de adotar ou não as barras de transferência é função direta do tráfego do projeto, da magnitude das cargas solicitantes e do tipo de fundação do pavimento.

C) Juntas de expansão

Alguns anos atrás, todas as juntas transversais eram projetadas para trabalhar à dilatação, pois se acreditava que a principal causa das fissuras no pavimento era a dilatação do concreto endurecido, através de compressão na junta. Quando se descobriu que as fissuras transversais eram provenientes da retração do concreto no estado plástico, e secundariamente ao seu empenamento restringido, seu emprego foi extinto nessa função pois aumentava o custo e diminuía a vida útil do pavimento.

As juntas de expansão são utilizadas em cruzamentos assimétricos de vias com larguras sensivelmente distintas e no encontro do pavimento com outras estruturas (prédios e pontes). (DNIT, 2004)

Por fim, um aspecto importante a ser colocado, conforme citado por Balbo e Pitta (1999), menores espaçamentos entre juntas resultam em menores valores de tensões solicitantes, o que torna recorrente um maior otimismo do *Whitetopping* como alternativa de manutenção de pavimentos asfálticos baseada em critérios de reforço e não apenas preventivos (de formação de trilhas de roda, por exemplo).

2.6. WHITETOPPING

Para Carvalho (2012), *Whitetopping* é o recapeamento do pavimento asfáltico com concreto de cimento *Portland*. É a evolução do conceito de que o recapeamento dos pavimentos asfálticos somente possa ser executado usando materiais da mesma natureza, isto é, misturas asfálticas.

Segundo o mesmo autor, o *Whitetopping* tem entre suas peculiaridades o fato de ser colocado diretamente sobre a superfície do antigo pavimento, somente requerendo preparo prévio quando apresenta um estágio avançado de deterioração funcional ou estrutural. Em qualquer situação, o pavimento asfáltico existente é considerado como uma excelente camada de fundação, incorporando-se estruturalmente ao mesmo. Essa solução permite a recuperação estrutural do pavimento existente, evitando os procedimentos convencionais de reconstrução em extensões significativas, bem como os transtornos operacionais decorrentes da

intervenção convencional, exigindo apenas um preparo prévio mais delicado (avaliação, limpeza do trecho em questão, correção de deformidades no pavimento flexível) garantindo longa vida útil à nova estrutura de pavimentação.

A origem do termo refere-se à execução de camada de cor cinza claro (pavimento de concreto). Tendo a função de base e revestimento, à ser executado sobre um pavimento asfáltico existente, de cor escura. Sua tradução livre é “topo branco”.

2.6.1. Histórico de utilização

Segundo relatos históricos, o *Whitetopping* é uma técnica centenária de restauração de pavimentos. Era utilizado como alternativa de recuperação dos pavimentos flexíveis que se deterioravam devido aos frios intensos que se faziam nos Estados Unidos por volta de 1920.

Em meados da década de 70, organismos de governo dos Estados Unidos avaliaram o emprego dessa técnica, criando um padrão para revestimento urbano, rural e de rodovias.

No Brasil, podemos citar como exemplo pioneiro de aplicação a BR-290/RS, no subtrecho Osório a Porto Alegre. Segundo Giublin e Maschio (2006), a rodovia foi inaugurada em 1973, em 1997, através de licitação do DNER, a Empresa CONCEPA saiu vencedora do contrato de concessão da Rodovia por um prazo de 20 anos, estando encarregada da ampliação da capacidade de escoamento de tráfego e implantação de melhorias, dentre elas, à recuperação emergencial das condições estruturais da pista de rolamento, onde foi testado a incorporação de cimento Portland na base de BGTC, solução na qual não surtiu o efeito desejado, com aparecimento de fissuras e bombeamentos de finos, problemas que se propunha serem resolvidos por esta solução. Nos estudos subsequentes, o pavimento de concreto foi levado em consideração pelos projetistas e a CONCEPA decidiu pela execução de alguns segmentos utilizando a solução de *Whitetopping*.

Os trechos recuperados estão 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, totalizando a

extensão de 16,635 km em que o pavimento de concreto foi sobreposto ao asfalto. A Figura 19 mostra um dos segmentos recuperados da rodovia.

Figura 19– Trecho da BR-390 – Osório/RS



Fonte – ABCP, 2015.

Ainda segundo Giublin e Maschio (2006), A obra destinada à recuperação estrutural da BR 290 utilizando a técnica de whitetopping, desenvolvida no segmento concessionado a CONCEPA, atendeu aos requisitos especificados em projeto. Na avaliação realizada após cinco anos de uso, não foram constatados defeitos significativos nas placas de concreto.

Como histórico mais recente, tem-se o subtrecho da SC-114 entre a cidade de Otacílio Costa ao Entroncamento com a BR-282/SC nas proximidades da cidade de Lages, onde está sendo executado 32,832 km de restauração com aplicação da técnica de *Whitetopping*, objeto do presente TCC.

2.6.2. Vantagens e desvantagens

O uso do *Whitetopping* pode trazer diversas vantagens tanto para os usuários, quanto para os órgãos públicos ou privados responsáveis pela construção, administração e manutenção dessas rodovias. Algumas dessas vantagens foram apresentadas por Giublin e Maschio (2006), e estão listas a seguir:

- Permite a execução da reabilitação diretamente sobre o pavimento asfáltico existente;

- A preparação da superfície é requerida apenas em locais com estágios avançados de degradação do pavimento existente;
- Apresenta grande vantagem na utilização no caso de tráfego pesado devido à resistência do concreto;
- Não necessita da utilização de concretos especiais para sua confecção, o próprio concreto de cimento *Portland* de fácil acesso no mercado atende as especificações, sendo os mesmos utilizados apenas no caso da necessidade de liberação rápida do tráfego;
- Melhora as condições de conforto e segurança de rolamento do pavimento;
- Demonstra um excelente comportamento e uma durabilidade maior, quando comparado com outras tecnologias.

Por outro lado, há desvantagens que precisam ser analisadas no momento da escolha de utilização deste tipo de execução de pavimento. Algumas desvantagens estão listadas a seguir:

- ruído;
- escassez de normas estrangeiras e nacionais para dimensionamento;
- escassez de mão-de-obra (por não ser uma técnica tão comum);e
- custo inicial elevado (devido a grande espessura das placas) se comparado ao custo inicial do pavimento flexível, porem promete uma manutenção mais tardia;

Sendo assim, é importante indicar essas vantagens e desvantagens e identificar se realmente vale a pena o investimento dessa tecnologia em cada situação.

2.6.3. Aspectos relacionados com o desempenho

Armaghani e Tu (1997) *apud* Pereira (2001) relatam a importância das condições de superfície do pavimento flexível (asfáltico) na previsão do desempenho do *Whitetopping*. Outros parâmetros que podem interferir no desempenho da técnica são espessura e dimensão da placa, espessura da camada de concreto asfáltico existente quando da concretagem das placas de concreto de cimento Portland, rigidez

da base (neste caso tomada como sendo a camada asfáltica) e aderência entre o concreto asfáltico e o concreto de cimento. Por fim, salienta a questão do concreto de cimento Portland a ser utilizado, referendando ao uso ou não de fibras e às técnicas executivas.

Conforme análise com modelagem numérica tridimensional feita por Gucunski *et al* (1999) *apud* Pereira (2001), verificou-se que o módulo de elasticidade da camada asfáltica também influencia em muito as tensões máximas surgidas no pavimento composto. No entanto, outros parâmetros como juntas fissuradas até o fundo da placa, módulo elástico da sub-base e módulo de reação do subleito pareceram interferir menos nas tensões.

Pereira (2001) afirma que a aderência entre o concreto de cimento Portland e a camada asfáltica é fundamental ao Whitetopping por permitir que o comportamento estrutural do pavimento seja do tipo composto, ou seja, trabalho conjunto entre camada de concreto Portland e camada asfáltica como uma única camada. A aderência permite esta forma de trabalho por igualar as deformações induzidas pelo carregamento ou efeito térmico na interface mencionada. Uma observação importante refere-se ao fato de haver tensões diferentes nos dois materiais nesta interface visto que seus módulos de elasticidade são diferentes.

2.6.4. Normatização

Sua construção é regida por procedimentos normativos desde 2004, conforme a norma DNIT 068/2004 – ES – Pavimento Rígido – Execução de camada superposta de concreto do tipo *Whitetopping* por meio mecânico – Especificação de Serviço, única norma nacional referente ao processo de execução deste método.

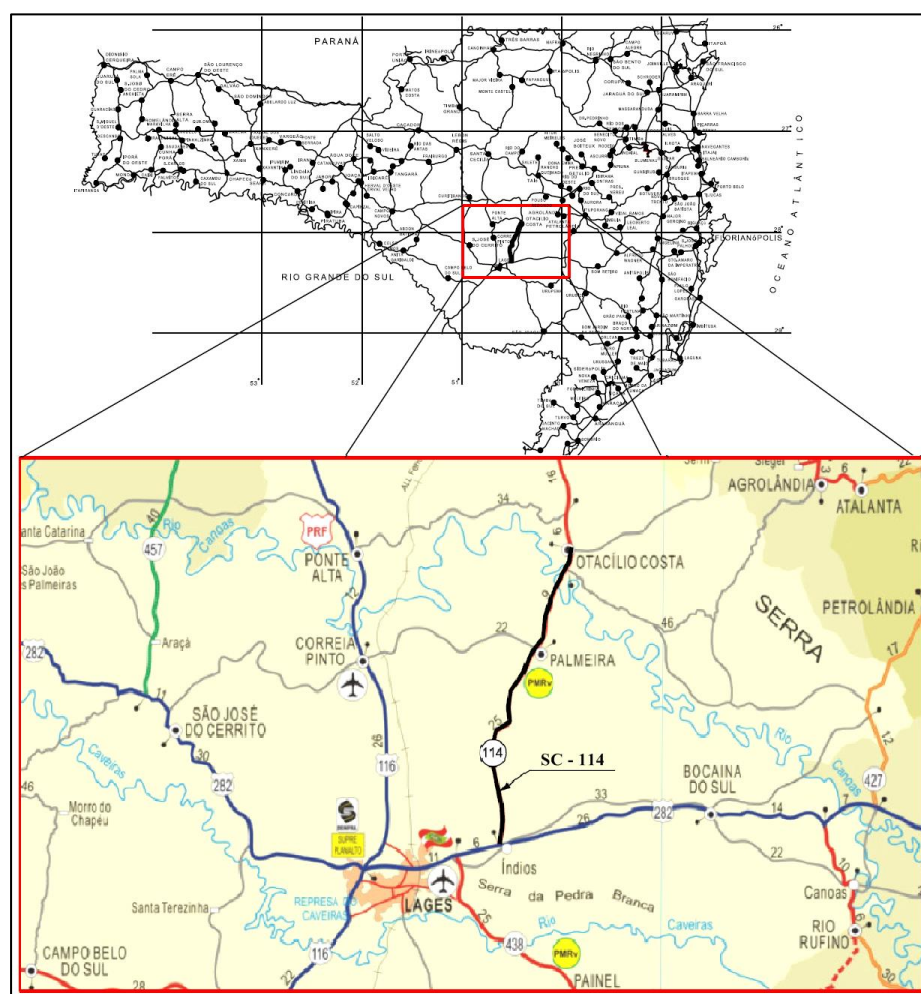
Para seu dimensionamento, é utilizada a norma americana da *Portland Cement Association (PCA)* publicada no ano de 1984, que emprega análise estrutural por elementos finitos. Já para determinação do coeficiente de recalque, foram adotadas correlações de ábacos do Manual de Pavimentos Rígidos - DNIT (2004).

3. MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa do tipo estudo de campo utilizou como base livros, artigos e publicações referentes ao tema para embasamento teórico, e também a coleta de dados de projeto e o acompanhamento da aplicação da técnica no subtrecho da Rodovia Estadual SC-114, entre as cidades de Otacílio Costa e o Entroncamento com a BR-282/SC, nas proximidades da cidade de Lages, em Santa Catarina, segmento do km 188,160 ao km 224,313, extensão de 36,153 km, mas que somente do km 191,481 ao km 224,313, extensão de 32,832 km é que está sendo executada essa técnica. O mapa da

Figura 20, identifica a localização do mesmo para melhor compreensão.

Figura 20 - Localização do subtrecho da SC-114



Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

3.1. PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO/RESTAURAÇÃO

Segundo a empresa projetista SOTEPa – Sociedade Técnica de Estudos, Projetos e Assessoria Ltda (2013) afirma que o projeto tem por finalidade detalhar as soluções propostas para a pavimentação e reabilitação do pavimento. De forma geral, a estrutura dimensionada deve atender as seguintes características:

- dar conforto ao usuário que irá trafegar pela rodovia;
- resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego;
- resistir aos esforços horizontais; e,
- ser impermeável, evitando que a infiltração das águas superficiais venha a danificá-la.

Para atender a todos esses critérios, foram realizados pela SOTEPa diversos estudos e análises de dados do pavimento existente para conhecer o máximo possível do subtrecho em questão, facilitando na escolha da alternativa de restauração.

Para definição das soluções de restauração da pista existente, foi adotada pela empresa a metodologia básica de coleta de dados, seguindo as seguintes etapas:

- levantamentos de campo, tais como: histórico da estrutura inicial e da estrutura atual do pavimento existente, avaliação funcional do pavimento, avaliação estrutural do pavimento, definição das características do subleito e estudo das ocorrências de materiais;
- projeto de reabilitação do pavimento existente;
- análises de alternativas para restauração da pista; e
- cálculos de quantidades.

3.2. IMPLANTAÇÃO E PAVIMENTAÇÃO DA RODOVIA

Segundo informações obtidas no Projeto Básico de Engenharia para Restauração da Rodovia, elaborado pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina (DER/SC), em 1996, na fase de obras foi alterada a solução do projeto de pavimentação, sendo executada a seguinte estrutura de pavimento no subtrecho em questão:

- revestimento em concreto asfáltico na espessura de 5,0 cm;
- base de brita graduada simples na espessura de 15,0 cm;
- sub-base em macadame seco na espessura de 20 cm; e
- reforço do subleito com cascalho na espessura de 10,0 cm.

No período de 2002 a 2003, foi executada a restauração deste mesmo segmento, sendo os serviços executados pela construtora CBMI - Construtora Brasileira e Mineradora Ltda e supervisionados pela empresa ECOPLAN Engenharia Ltda.

Segundo a SOTEPA (2013), o engenheiro residente da fiscalizadora da obra (PROSUL - Projetos, Supervisão e Planejamento LTDA), afirma que no segmento entre a cidade de Palmeira e a BR-282/SC, segmento do km 197,660 ao km 224,313, foram executadas as soluções apresentadas em projeto, já no restante do trecho a seguinte solução foi adotada:

- fresagem à frio com espessura variando de 3 a 4,0 cm;
- reperfilagem em concreto asfáltico do tipo massa fina na espessura de 2,5 ou 3,0 cm; e
- reforço estrutural em concreto asfáltico na espessura variável de 4 a 5,0 cm.

3.3. SONDAGENS NO PAVIMENTO EXISTENTE

Visando a caracterização dos materiais empregados na pavimentação da rodovia existente, foram efetuadas sondagens a pá e a picareta até o subleito, espaçadas de 1.000 m alternadamente ou 2.000 m no mesmo lado da pista. Os furos de sondagem foram posicionados na borda entre a pista e o acostamento, invadindo 10,0 cm da plataforma de rolamento nos bordos.

Em cada furo de sondagem foram, determinadas as espessuras de cada camada atravessada, também foram executados os ensaios (com emprego do frasco de areia- NBR 7185/86) de massa específica aparente seca “in situ” no subleito e na base

e coletadas amostras, com as quais foram executados os ensaios de compactação (NBR7182/86) e Índice de Suporte Califórnia (NBR 9895/87).

Foram coletadas, com emprego de sonda rotativa, amostras do revestimento asfáltico existente e realizados ensaios de estabilidade Marshall, fluência plástica, resistência à tração por compressão diametral, teor de ligante asfáltico e granulometria por peneiramento dos agregados componentes.

Também foram realizados ensaios de granulometria por sedimentação em 8 (oito) amostras do solo do subleito, a fim de classificar quanto as características resilientes (NBR 7181/84).

Na Tabela 2 estão apresentadas as espessuras das camadas constituintes do pavimento existente, obtidas pelas sondagens realizadas.

Tabela 2- Estrutura das camadas do pavimento existente

Furo	Estação	Km	Lado	Espessuras (cm)		
				Revestimento (concreto asfáltico)	Base (brita graduada simples)	Sub-base (macadame seco ou Rachão)
2	45	223,412	Dir.	12,0	16,0	24,0
3	100	222,311	Esq.	10,0	12,0	21,0
4	145	221,409	Dir.	9,5	14,5	20,0
5	200	220,307	Esq.	16,0	13,0	21,0
6	245	219,404	Dir.	9,0	15,0	20,0
7	300	218,300	Esq.	11,0	13,0	15,0
8	345	217,397	Dir.	18,0	17,0	25,0
9	400	216,294	Esq.	10,0	13,0	18,0
10	445	215,392	Dir.	12,0	18,0	20,0
11	500	214,289	Esq.	16,0	13,0	21,0
12	545	213,388	Dir.	12,0	15,0	7,0
13	600	212,286	Esq.	12,0	9,0	16,0
14	645	211,382	Dir.	11,0	38,0	38,0
15	700	210,281	Esq.	11,0	16,0	13,0
16	745	209,385	Dir.	11,0	12,0	19,0
17	800	208,283	Esq.	10,0	10,0	17,0
18	845	207,382	Dir.	12,0	16,0	15,0
19	900	206,280	Esq.	11,0	19,0	18,0
20	945	205,379	Dir.	11,0	13,0	26,0
21	1000	204,278	Esq.	12,0	11,0	15,0
22	1045	203,378	Dir.	12,0	17,0	16,0
23	1100	202,277	Esq.	12,0	13,0	19,0
24	1145	201,377	Dir.	14,0	17,0	20,0
25	1200	200,276	Esq.	12,0	17,0	17,0
26	1245	199,377	Dir.	14,0	17,0	20,0
27	1300	198,278	Esq.	16,0	15,0	10,0
28	1345	197,377	Dir.	15,0	15,0	35,0
29	1400	196,276	Esq.	20,0	12,0	14,0
30	1445	195,376	Dir.	15,0	23,0	24,0

Furo	Estação	Km	Lado	Espessuras (cm)		
				Revestimento (concreto asfáltico)	Base (brita graduada simples)	Sub-base (macadame seco ou Rachão)
31	1500	194,275	Esq.	16,0	12,0	10,0
32	1545	193,376	Dir.	14,0	18,0	20,0
33	1600	192,277	Esq.	12,0	16,0	14,0
34	1645	191,377	Dir.	10,0	15,0	21,0
35	1700	190,283	Esq.	20,0	13,0	22,0
36	1745	189,386	Dir.	16,0	19,0	22,0
37	1800	188,290	Esq.	12,0	16,0	21,0

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

3.4. AVALIAÇÃO FUNCIONAL

A avaliação funcional trata de analisar o pavimento quanto a sua função para o usuário: dar conforto ao rolamento.

Através da avaliação funcional avalia-se o estado de superfície do pavimento e como este estado interfere na dinâmica dos veículos, portanto, no conforto do usuário ao trafegar.

A avaliação dos defeitos de superfície auxilia no diagnóstico dos problemas e dão uma ideia de grau de deterioração pelo Índice de Gravidade Global (IGG).

3.4.1 Índice de Irregularidade Longitudinal

De acordo com a norma brasileira DNER 164/94, a irregularidade longitudinal é definida como: o desvio da superfície da rodovia, em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via.

Existe um índice internacional para a medida da irregularidade, designado de *IRI - International Roughness Index* (índice de irregularidade internacional) que é um índice estatístico, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto.

O equipamento de medição é composto por dois conjuntos: um sensor de deslocamentos vertical instalado no diferencial de um veículo para ser sensibilizado pelo movimento vertical entre o chassi e o diferencial, e um quantificador de irregularidades digital. A medição de irregularidade pelo IPR/USP é normatizada no

Brasil pelo DNIT (DNER-PRO 182/94 – DNER, 1994b). Os equipamentos tipo-resposta fornecem um valor de QI (quociente de irregularidade) que numericamente pode ser relacionado com o IRI através da Equação 1:

$$QI = 13 \times IRI \quad (Eq. 1)$$

Com o QI calculado, as condições das superfícies de pavimentos podem ser classificadas de acordo com a Tabela 3 que é apresentada a seguir:

Tabela 3 - Condições de Superfície de Pavimento

Conceito	Irregularidade		ICPF	IGG	TR
	QI (cont./km)	IRI (m/km)			
Excelente	13 - 25	1 - 1,9	5 - 4	0 - 20	0 - 2
Bom	25 - 35	1,9 - 2,7	4 - 3	20 - 40	2 - 5
Regular	35 - 45	2,7 - 3,5	3 - 2	40 - 80	5 - 10
Ruim	45 - 60	3,5 - 4,6	2 - 1	80 - 160	10 - 25
Péssimo	> 60	> 4,6	1 - 0	> 160	> 25

Fonte: DNER-PRO 182/94

Onde:

QI – Quociente de Irregularidade

IRI – Índice Internacional de Irregularidade

ICPF – Índice de Condição de Pavimento Flexível

IGG – Índice de Gravidade Global

TR – Trincamento (%)

De posse de todos os levantamentos, a Tabela 4 apresenta os resultados finais de cada segmento homogêneo.

Tabela 4 - Segmentos Homogêneos para fins de Recuperação Estrutural**Rodovia: SC 114****Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)**

SH	Estação		Km		Ext. (m)	Número N		Do (Viga Benkelman)						TR (%)	Flechas (mm)	IRI (m/Km)	QI (cont/Km)	IGG	CONCEITO
	Inicial	Final	Inicial	Final		USACE	AASHTO	Média (0,01mm)	Desvio Padrão (0,01mm)	Nº Est.	CV (%)	Dc (0,01mm)	Raio de Curvatura (m)						
01	1806	1646	188,160	191,356	3.196	4,00E+07	1,05E+07	43,62	17,36	180	40	60,98	688	14	5,9	3,1	40	146	RUIM
02	1646	1568	191,356	192,916	1.560	4,95E+07	1,28E+07	56,16	16,19	76	29	72,35	358	47	5,9	3,9	51	203	PÉSSIMO
03	1568	1519	192,916	193,895	979	4,95E+07	1,28E+07	53,61	14,18	46	26	67,79	425	19	6,0	2,8	36	153	RUIM
04	1519	1434	193,895	195,596	1.701	4,95E+07	1,28E+07	46,89	16,28	85	35	63,17	562	11	5,4	2,7	35	137	RUIM
05	1434	1370	195,596	196,877	1.281	4,95E+07	1,28E+07	60,49	17,54	65	29	78,03	379	30	6,6	3,4	44	187	PÉSSIMO
06	1370	1310	196,877	198,078	1.201	4,95E+07	1,28E+07	51,70	14,21	61	27	65,91	411	25	5,1	3,0	39	132	RUIM
07	1310	1150	198,078	201,276	3.198	4,95E+07	1,28E+07	64,18	13,82	159	22	77,99	280	70	9,9	5,7	73	253	PÉSSIMO
08	1150	1061	201,276	203,058	1.782	4,23E+07	1,08E+07	50,09	14,49	85	29	64,58	332	37	9,7	4,2	55	195	PÉSSIMO
09	1061	947	203,058	205,339	2.281	4,23E+07	1,08E+07	58,09	15,77	113	27	73,85	318	54	8,3	3,6	47	190	PÉSSIMO
10	947	852	205,339	207,242	1.903	4,23E+07	1,08E+07	66,88	15,63	96	23	82,50	263	85	9,2	3,6	46	225	PÉSSIMO
11	852	800	207,242	208,283	1.041	4,23E+07	1,08E+07	56,59	18,28	51	32	74,87	419	56	5,5	3,0	39	143	RUIM
12	800	692	208,283	210,441	2.158	4,23E+07	1,08E+07	46,69	15,78	105	34	62,46	442	39	7,1	3,1	40	138	RUIM
13	692	614	210,441	212,005	1.564	4,23E+07	1,08E+07	70,13	21,93	79	31	92,05	254	43	7,0	4,3	55	203	PÉSSIMO
14	614	496	212,005	214,369	2.364	4,23E+07	1,08E+07	77,25	22,50	118	29	99,75	264	67	6,3	3,6	47	196	PÉSSIMO
15	496	350	214,369	217,296	2.927	4,23E+07	1,08E+07	58,48	14,15	141	24	72,62	304	73	8,0	3,0	39	177	PÉSSIMO
16	350	190	217,296	220,508	3.212	4,23E+07	1,08E+07	55,50	12,04	160	22	67,54	285	77	10,3	3,4	44	245	PÉSSIMO
17	190	111	220,508	222,091	1.583	4,23E+07	1,08E+07	48,00	13,36	78	28	61,36	279	49	5,5	2,5	32	127	RUIM
18	111	60	222,091	223,112	1.021	4,23E+07	1,08E+07	59,85	12,78	52	21	72,63	242	80	7,4	2,6	34	181	PÉSSIMO
19	60	0	223,112	224,313	1.201	4,23E+07	1,08E+07	62,59	19,48	54	31	82,07	206	90	12,2	4,3	55	260	PÉSSIMO

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

Legenda:

Do - Deflexão sob ponto de aplicação da carga, em 0,01mm

CV - Coeficiente de variação, em %

Dc - Deflexão característica, em 0,01mm

TR - Área trincada, em %

AT - afundamento de trilha de roda (altura de trilha), em mm

IRI - Índice internacional de irregularidade, em m/Km

QI - Coeficiente de irregularidade, em contagem/Km

IGG - Índice de gravidade global

3.5. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

A avaliação estrutural está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Os defeitos estruturais resultam especialmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes. (BERNUCCI *et al.*, 2008)

3.5.1 Deflexões recuperáveis

Conforme apresentado no Projeto de Restauração da Rodovia SC-114, as medidas de deflexões recuperáveis obtidas através do emprego da Viga *Benkelman*, que consiste de um equipamento móvel destinado a medir deflexões produzidas em um extensômetro acionado por uma alavanca interfixa, cuja relação entre os comprimentos dos braços é conhecida. A extremidade do braço maior contém a ponta de prova da viga. A extremidade do braço menor aciona um extensômetro com precisão de 0,01 mm. que necessita de um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2 t, para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica.

Ainda segundo o Projeto de Restauração da Rodovia SC-114, foram efetuadas com espaçamento de 20,0 m, alternando-se as faixas de tráfego. Também foi efetuado o levantamento das bacias deflectométricas (0; 25; 50; 75; 100 e 150 mm) com espaçamento de 100,0 m, alternando-se as faixas de tráfego, dados retirados do Projeto de Restauração da Rodovia SC-114.

Foram obtidos níveis deflectométricos médios variando de 43 a 77×10^{-2} mm e característicos (média + desvio-padrão) variando de 60 a 100×10^{-2} mm.

O Raio de Curvatura (R) variou de 200 a 700 m, em função disso o subtrecho da rodovia em questão foi dividido em dezenove segmentos homogêneos conforme foi mostrado na Tabela 4.

3.5.2 Estado de superfície do pavimento existente

A aplicação da norma DNIT 006/2003-PRO Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento, considerando-se toda a extensão inventariada, apontou-se valores do Índice de Gravidade Global (IGG) variando de 127 a 260, sendo que as flechas nas trilhas de rodas variaram de 5 a 12,0m de espessuras.

Observou-se uma grande variabilidade do parâmetro área trincada nas estações de amostragem, muitos segmentos apresentam elevado trincamento, mesmo que entre determinadas estações com 100% de área trincada, ocorra uma ou outra estação sem trincamento ou com trincamento incipiente. De uma maneira geral, a maior parte do trecho em estudo apresenta ocorrências do tipo trincamento interligado (couro de Jacaré). Quando se trabalha com segmentos menores (segmentos homogêneos), há uma redução do coeficiente de variação amostral, mesmo que ainda assim, alguns destes segmentos homogêneos apresente uma alta variabilidade do trincamento, bastando que haja ausência de trincamento numa única estação, por exemplo.

Relação ao total de estações inventariadas, a média geral foi de 51,5% de área trincada.

3.6. METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS DE REFORÇO

A partir dos dados constantes apresentados na Tabela 4 e de informações complementares, foi efetuado o dimensionamento da espessura de reforço pelos métodos DNER PRO 11/79 e DNER PRO 269/94. Apresenta-se a seguir uma breve descrição das metodologias utilizadas.

3.6.1 DNER-PRO 11/79

Neste método, a avaliação estrutural e o dimensionamento da espessura de reforço são definidos em função da análise deflectométrica, não levando qualquer outro fator em consideração. Embora o procedimento contemple a realização da análise objetiva da superfície do pavimento para cálculo do IGG, este resultado é apenas aplicado para a avaliação estrutural e não é utilizado para o cálculo da espessura em si, de reforço.

a) Parâmetros envolvidos

a.1) Determinação da Deflexão Admissível:

A deflexão máxima admissível depende apenas do N de projeto e é definida pela seguinte equação:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,174 \log N_{USACE} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

- D_{adm} é a Deflexão admissível para o período de projeto; e,
- N é o número de solicitações do eixo padrão de 8,2 t para o período de projeto calculados com os coeficientes da USACE.

a.2) Cálculo da espessura de reforço

A espessura de reforço é proporcional ao logaritmo da relação D_p / D_{adm} , e é calculada pela seguinte equação:

$$h = K \cdot \log \frac{D_p}{D_{adm}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

- K é uma constante que depende da natureza do reforço. Para reforço em concreto asfáltico é usualmente adotado igual a 40;

- D_p é a deflexão de projeto (0,01mm);
- D_{adm} é a deflexão admissível (0,01 mm); e,
- h é a espessura do reforço (cm).

Em função dos diversos parâmetros (D_p , D_{adm} e Raio) são definidos os critérios para o estabelecimento das diretrizes de projeto, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Critérios para o estabelecimento das diretrizes de projeto.

Hipótese	Dados defletoométricos obtidos	Qualidade estrutural	Necessidade de estudos complementares	Critério p/ cálculo do reforço	Medidas corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ R ≥ 100 m	Boa	Não	-	Apenas correções de superfície
II	$D_p > D_{adm}$ R ≥ 100 m	Se $D_p \leq 3$ D_{adm} Regular	Não	Defletoométrico	Reforço
		Se $D_p > 3$ D_{adm} Má	Sim	Defletoométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	$D_p > D_{adm}$ R < 100 m	Regular para má	Sim	Defletoométrico e Resistência*	Reforço ou Reconstrução
IV	$D_p > D_{adm}$ R < 100 m	Má	Sim	Resistência*	Reforço ou Reconstrução
V	-	Má O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas. (IGG > 180)	Sim	Resistência*	Reconstrução

Fonte: DNER PRO 11/1979

Na Tabela 6 está apresentado o dimensionamento das espessuras de reforço calculadas através do Método PRO 11/79.

Tabela 6 - Aplicação da metodologia DNER-PRO 11/79**Rodovia:** SC 114**Trecho:** Otacílio Costa - Entr. BR 282 BR 282 (p/ Lages)

SH	Estação		Km		Ext. (m)	N8,2t (USACE)	Dadm (x10 ⁻² mm)	Dp (x10 ⁻² mm)	Area Trincada (%)	Raio (m)	IGG	Hipótese	Qualidade Estrutural	Necessidade de Est. Complementares	Critério p/ Cálculo do Reforço	Medidas Corretivas	Reforço (cm)
	Inicial	Final	Inicial	Final													
1	1806	1646	188,160	191,356	3.196	4,00E+07	48,67	60,98	14	688	146	II	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço	3,9
2	1646	1568	191,356	192,916	1.560	4,95E+07	46,90	72,35	47	358	203	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
3	1568	1519	192,916	193,895	979	4,95E+07	46,90	67,79	19	425	153	II	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço	6,4
4	1519	1434	193,895	195,596	1.701	4,95E+07	46,90	63,17	11	562	137	II	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço	5,2
5	1434	1370	195,596	196,877	1.281	4,95E+07	46,90	78,03	30	379	187	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
6	1370	1310	196,877	198,078	1.201	4,95E+07	46,90	65,91	25	411	132	II	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço	5,9
7	1310	1150	198,078	201,276	3.198	4,95E+07	46,90	77,99	70	280	253	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
8	1150	1061	201,276	203,058	1.782	4,23E+07	48,20	64,58	37	332	195	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
9	1061	947	203,058	205,339	2.281	4,23E+07	48,20	73,85	54	318	190	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
10	947	852	205,339	207,242	1.903	4,23E+07	48,20	82,50	85	263	225	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
11	852	800	207,242	208,283	1.041	4,23E+07	48,20	74,87	56	419	143	II	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço	7,7
12	800	692	208,283	210,441	2.158	4,23E+07	48,20	62,46	39	442	138	II	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço	4,5
13	692	614	210,441	212,005	1.564	4,23E+07	48,20	92,05	43	254	203	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
14	614	496	212,005	214,369	2.364	4,23E+07	48,20	99,75	67	264	196	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
15	496	350	214,369	217,296	2.927	4,23E+07	48,20	72,62	73	304	177	II	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço	7,1
16	350	190	217,296	220,508	3.212	4,23E+07	48,20	67,54	77	285	245	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
17	190	111	220,508	222,091	1.583	4,23E+07	48,20	61,36	49	279	127	II	REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço	4,2
18	111	60	222,091	223,112	1.021	4,23E+07	48,20	72,63	80	242	181	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	
19	60	0	223,112	224,313	1.201	4,23E+07	48,20	82,07	90	206	260	V	MÁ	SIM	Resistência	Reconstrução	

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

3.6.2 DNER-PRO 269/94

Este método, também conhecido como Método da Resiliência – TECNAPAV foi desenvolvido pelos Engenheiros S. Pinto e E. S. Preussler. O procedimento é fundamentado em modelos de fadiga de misturas betuminosas, no comportamento resiliente típico de solos finos e materiais granulares e no cálculo de tensões e deformações considerando a teoria da elasticidade não linear.

a) Parâmetros envolvidos

a.1) Determinação dos parâmetros I1 e I2 do solo da 3ª camada de referência:

A 3ª camada de referência refere-se ao solo situado sob a camada granular. A definição dos parâmetros I1 e I2 deste solo depende do seu comportamento resiliente. Como não foram realizados ensaios de resiliência para os materiais que compõem a 3ª camada de referência, os solos foram classificados em função do CBR (%) e teor de silte (%) conforme a tabela abaixo:

Tabela 7 - Classificação dos solos da 3ª camada de referência quanto à Resiliência

CBR (%)	Teor de Silte (%)		
	≤ 35	35 a 65	>65
≥ 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

Fonte: DNER PRO 269/1994

a.2) Espessura efetiva (h_{ef}):

Representa a espessura equivalente do revestimento existente. É calculado a partir do tipo de subleito e da deflexão característica, segundo a equação:

$$h_{ef} = -5,737 + \frac{807,961}{D_c} + 0,972 \times I_1 + 4,101 \times I_2 \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

- h_{ef} é a espessura de pavimento efetivo (cm);
- D_c é a deflexão característica (0,01 mm); e
- I_1 e I_2 são parâmetros relacionados à resiliência da 3ª camada de referência.

Observações:

- 1) Se a espessura de camada granular for menor ou igual a 45 cm, adota-se $I_1=0$ e $I_2=0$ quando a 3ª camada (solo) for do Tipo I, se for Tipo II, $I_1=1$ e $I_2=0$ e para Tipo III, $I_1=0$ e $I_2=1$;
- 2) Se a espessura de camada granular for superior a 45 cm, adota-se $I_1=0$ e $I_2=1$;
- 3) Se a h_{ef} for menor que 0, adotar 0, se h_{ef} for superior a espessura existente, adotar $h_{ef} = h_{existente}$;
- 4) Quando o grau de trincamento do revestimento for superior a 50% ou o somatório de trincas $FC_2+FC_3>80\%$ e $FC_3>30\%$, é conveniente adotar-se o limite inferior do h_{ef} , para evitar que ocorra o fenômeno da reflexão de trincas.

a.3) Deflexão máxima admissível – critério de fadiga

A deflexão máxima admissível depende apenas do N de projeto e é definida pela Equação 5:

$$\text{Log } D_{adm} = 3,145 - 0,188 \text{ Log } N_p \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

- D_{adm} é a deflexão admissível para o período de projeto (0,01 mm); e
- N_p é o número de solicitações do eixo padrão de 8,2 t para o período de projeto, calculado com os coeficientes do USACE.

a.4) Espessura de Reforço (HR):

É a espessura necessária de reforço do pavimento, em concreto asfáltico usinado a quente, para atender a solicitação de tráfego no período de projeto.

Essa espessura é calculada pela Equação 6, trazida a baixo:

$$H_R = -19,015 + \frac{238,14}{\sqrt{D_{adm}}} - 1,357 \times h_{ef} + 1,016 \times I_1 + 3,893 \times I_2 \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

- HR é a espessura de reforço (cm);
- h_{ef} é a espessura de pavimento efetivo (cm);
- D_{adm} é a deflexão máxima admissível para o período de projeto (0,01 mm); e
- I_1 e I_2 são os parâmetros do solo da 3ª camada de referência.

Na Tabela 8 está apresentado o dimensionamento das espessuras de reforço calculadas através do Método PRO 269/94.

Tabela 8 - Aplicação da metodologia DNER-PRO 269/94 (Tecnapav)**Rodovia:** SC - 114**Trecho:** Otacílio Costa - Entr. BR 282 (p/ Lages)**Tipo de Revestimento:** Concreto Asfáltico

SH	Estação		Km		Ext. (m)	N8,2t (USACE)	Avaliação Estrutural e Funcional do Pavimento									Pav. Exist.		Subleito			Dadm (x10 ⁻² mm)	Reforço		
	Inicial	Final	Inicial	Final			DcV.Benkelman(x10 ⁻² mm)	(%)				Flecha (mm)	IRI (m/Km)	IGG	Conceito	he C. Betuminosa	H C. Granular	Tipo	Const.			hef (cm)	hefAdot. (cm)	HR (cm)
								FC2	FC3	FC2+FC3	Área Trincada								I1	I2				
01	1806	1646	188,160	191,356	3.196	4,00E+07	60,98	0,2	12,8	12,9	14	5,9	3,1	146	RUIM	16,0	37,0	2	1	0	52,34	8,5	8,5	3,4
02	1646	1568	191,356	192,916	1.560	4,95E+07	72,35	0,0	46,9	46,9	47	5,9	3,9	203	PÉSSIMO	11,0	33,0	2	1	0	50,28	6,4	0,0	15,6
03	1568	1519	192,916	193,895	979	4,95E+07	67,79	0,0	19,2	19,2	19	6,0	2,8	153	RUIM	14,0	38,0	2	1	0	50,28	7,2	7,2	5,8
04	1519	1434	193,895	195,596	1.701	4,95E+07	63,17	0,0	10,6	10,6	11	5,4	2,7	137	RUIM	15,0	34,0	2	1	0	50,28	8,0	8,0	4,7
05	1434	1370	195,596	196,877	1.281	4,95E+07	78,03	0,0	29,2	29,2	30	6,6	3,4	187	PÉSSIMO	20,0	26,0	2	1	0	50,28	5,6	5,6	8,0
06	1370	1310	196,877	198,078	1.201	4,95E+07	65,91	0,0	25,2	25,2	25	5,1	3,0	132	RUIM	15,0	50,0	3	0	1	50,28	10,6	10,6	4,1
07	1310	1150	198,078	201,276	3.198	4,95E+07	77,99	0,5	68,9	69,4	70	9,9	5,7	253	PÉSSIMO	14,0	32,0	2	1	0	50,28	5,6	0,0	15,6
08	1150	1061	201,276	203,058	1.782	4,23E+07	64,58	0,1	36,3	36,5	37	9,7	4,2	195	PÉSSIMO	13,0	34,0	2	1	0	51,79	7,7	0,0	15,1
09	1061	947	203,058	205,339	2.281	4,23E+07	73,85	0,3	53,8	54,1	54	8,3	3,6	190	PÉSSIMO	12,0	29,0	2	1	0	51,79	6,2	0,0	15,1
10	947	852	205,339	207,242	1.903	4,23E+07	82,50	0,9	83,7	84,6	85	9,2	3,6	225	PÉSSIMO	11,0	38,0	2	1	0	51,79	5,0	0,0	15,1
11	852	800	207,242	208,283	1.041	4,23E+07	74,87	1,6	54,7	56,2	56	5,5	3,0	143	RUIM	11,0	29,0	2	1	0	51,79	6,0	0,0	15,1
12	800	692	208,283	210,441	2.158	4,23E+07	62,46	0,3	38,9	39,2	39	7,1	3,1	138	RUIM	10,0	29,0	2	1	0	51,79	8,2	0,0	15,1
13	692	614	210,441	212,005	1.564	4,23E+07	92,05	0,0	42,8	42,8	43	7,0	4,3	203	PÉSSIMO	11,0	43,0	3	0	1	51,79	7,1	0,0	18,0
14	614	496	212,005	214,369	2.364	4,23E+07	99,75	1,8	66,5	68,3	67	6,3	3,6	196	PÉSSIMO	13,0	27,0	2	1	0	51,79	3,3	0,0	15,1
15	496	350	214,369	217,296	2.927	4,23E+07	72,62	0,2	72,6	72,8	73	8,0	3,0	177	PÉSSIMO	11,0	34,0	2	1	0	51,79	6,4	0,0	15,1
16	350	190	217,296	220,508	3.212	4,23E+07	67,54	0,1	76,7	76,7	77	10,3	3,4	245	PÉSSIMO	13,0	34,0	2	1	0	51,79	7,2	0,0	15,1
17	190	111	220,508	222,091	1.583	4,23E+07	61,36	0,1	48,9	49,0	49	5,5	2,5	127	RUIM	9,0	34,0	2	1	0	51,79	8,4	0,0	15,1
18	111	60	222,091	223,112	1.021	4,23E+07	72,63	0,1	80,0	80,1	80	7,4	2,6	181	PÉSSIMO	10,0	33,0	2	1	0	51,79	6,4	0,0	15,1
19	60	0	223,112	224,313	1.201	4,23E+07	82,07	0,0	90,1	90,1	90	12,2	4,3	260	PÉSSIMO	12,0	40,0	2	1	0	51,79	5,1	0,0	15,1

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

3.7. SOLUÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO

Efetuada os cálculos das espessuras de reforço pelas metodologias citadas, no Projeto de Restauração da Rodovia SC-114, foram feitas análises para definição de qual seria a melhor solução técnica-econômica para reforço estrutural do pavimento.

Verificou-se que do km 191,356 ao km 224,313, extensão de 32,957 km, a maioria dos segmentos homogêneos apresentam grau de trincamento acima de 50%, sendo que em 40% da extensão esse número é superior a 70%. Nestes as espessuras de reforço calculadas pelo método DNER PRO 269/94 ficaram entre 16 e 19,0 cm de concreto asfáltico e pelo DNER PRO 11/79 indica reconstrução do pavimento.

Tendo em vista as características de intenso tráfego pesado que solicita o subtrecho em questão, aliado as condições em que se encontra o pavimento existente, foram estudadas e apresentadas no Projeto de Restauração da Rodovia SC-114 duas alternativas para o reforço do mesmo:

- Alternativa 1, pavimento rígido com placas de concreto de cimento *Portland* do tipo “Whitetopping”
- Alternativa 2, reciclagem profunda “in situ” do pavimento existente com adição de cimento *Portland* e agregados.

3.7.1 Alternativa 1

Como já afirmado anteriormente, o *Whitetopping* constitui uma técnica alternativa que vem se juntar às soluções já disponíveis, possibilitando ampliar a vida de serviço do pavimento, se bem executado. Há três métodos distintos de construção:

- Colocação direta, precedida de umedecimento da superfície, sendo que nesse tipo de solução não é exigida preparação prévia elaborada do pavimento construído, sendo recomendada sua adoção quando as trilhas-de-roda porventura existentes no revestimento asfáltico são inferiores a 50,0 mm de profundidade e as deformações superficiais, trincas e outras ocorrências semelhantes serão preenchidas pelo próprio concreto. (DNIT, 2004)

- Fresagem, utiliza-se quando as trilhas-de-roda são de profundidade maior que 50,0 mm, ou se ocorrem ondulações muito acentuadas (do tipo “costela de vaca”) sendo que a profundidade típica de fresagem vai de 25 a 75 mm, sendo comum o emprego combinado dessa solução com a colocação direta, o que pode, em trechos de grandes extensões, “otimizar” o custo de construção. (DNIT, 2004)
- Construção de uma camada de nivelamento com aplicação de mistura do tipo concreto asfáltico e com 25 a 50,0 mm de espessura, é uma opção nos casos em que as distorções superficiais sejam de, pelo menos, 50,0 mm sendo 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. Na Figura 21, pode-se visualizar a camada de nivelamento sendo executada no acostamento da rodovia. (DNIT, 2004)

Figura 21– Execução de camada de nivelamento no acostamento da SC-114.



Fonte: Autores (2017).

Na Tabela 9 apresenta-se um resumo das exigências para as preparações prévias requeridas no pavimento asfáltico existente, descritas no Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2004).

Tabela 9– Exigências para preparações prévias.

Tipo de Defeito	Preparo Prévio Requerido
Trilha de roda ≥ 50 mm	Fresagem ou nivelamento
Trilha de roda < 50 mm	Nenhum
“Painéis”	Enchimento
Falha de subleito	Remoção / Reparação
Trincas em geral	Nenhum
Exsudação	Nenhum
Desagregação superficial	Limpeza

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

Este Manual citado anteriormente, ainda traz algumas recomendações a respeito dos processos de execução do *Whitetopping*:

Recomenda-se o arrefecimento da temperatura superficial do pavimento asfáltico existente, de modo a evitar a transmissão do calor à camada de concreto a ser colocada e, assim, impedir a evaporação rápida da água de mistura e as consequentes fissuras de retração térmica. É usual a aspersão de água sobre o asfalto, sempre que seja desconfortável pelo calor, a aposição da mão sobre este.

Quando se tratar da construção de uma camada de nivelamento, pode ser necessária a aplicação de uma pintura de coloração branca sobre a nova superfície de asfalto que receberá o *Whitetopping*, com a mesma função da aspersão de água no caso anterior e, adicionalmente, ajudar a refletir, e não absorver, os raios solares, além de servir como camada de separação entre o asfalto e o concreto. A pintura é geralmente feita com um produto químico capaz de formar película plástica – o mesmo usado na cura de concreto – ou uma aguada de cal hidratada. A temperatura indicadora da necessidade de uso da pintura é de 45° C na superfície asfáltica.

A produção, o transporte, o lançamento, o adensamento, a terminação superficial, cura e a selagem de juntas do concreto são idênticos às operações da mesma natureza executadas na construção dos pavimentos tradicionais rígidos.

É muito importante que as juntas sejam serradas o mais precocemente possível, de maneira que se garanta o alívio rápido das tensões de retração nas idades iniciais do concreto e, assim, impeça-se a aparição de fissuração danosa, a médio e longo prazo, à durabilidade do *Whitetopping*.

Figura 22– Junta sendo serrada na SC-114.



Fonte: Autores (2017)

Na Figura 22, podem-se observar as juntas transversais sendo serradas, a profundidade mínima de corte deverá ser de um terço da espessura nominal do concreto.

3.7.1.1 DIMENSIONAMENTO PCA/1984

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.

3.7.1.1.1 Solicitação do tráfego

Para o dimensionamento pelo método da PCA/84, é necessária a distribuição das cargas por eixo e por tipo de veículo. A

Tabela 10 apresenta a distribuição do tráfego e o número de repetições por eixo de carga.

Tabela 10 – Distribuição do Tráfego

Eixos	Veículos por Categoria e Soma VMDA (20 anos)													Total por	Nº de Repetições (x0,5x365)
	Ônibus			Caminhões			Semi-Reboques			Reboques			Bi Trem	Tipo de Eixo	
	2CB	3CB	4CB	2C	3C	4C	2S3	3S2	3S3	3C2	3C3	3C4	3S2C4		
Simples (6t)	734	819	83	13.444	22.096	224	12.830	712	14.883	362	711	2.442	2.441	71.781	13.100.033
Simples (10t)	734			13.444			12.830			724	711			28.443	5.190.848
Duplo (17t)		819			22.096			1.424	14.883	362	1.422	7.326	9.764	58.096	10.602.520
Triplo (25,5t)			83			224	12.830		14.883					28.020	5.113.650

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

No projeto de restauração, foi considerado que os veículos podem trafegar com carga legal mais uma tolerância de 7,5%, em consonância com os ditames de Resoluções do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) da época da elaboração do projeto (desde junho de 2014 a tolerância passou a ser 10%), sendo também adotado um percentual de veículos trafegando com carga acima da carga legal. Está apresentado na Tabela 11 o número de repetições por eixo x carga que foi adotado no dimensionamento do subtrecho da rodovia em questão.

Tabela 11–Número de repetições por eixo x carga

Eixo	Carga	Repetições
Simples	6,0	2.620.007
	6,5	5.240.013
	7,5	5.240.013
	10,0	1.038.170
	10,8	2.076.339
	11,8	2.076.339
Duplo	17,0	2.120.504
	18,3	4.241.008
	19,3	4.241.008
Triplo	25,5	1.022.730
	27,5	2.045.460
	28,5	2.045.460

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

3.7.1.1.2 Coeficiente de recalque do subleito (k)

No cálculo da espessura requerida do *Whitetopping* é fundamental avaliar o suporte dado pelas camadas já existentes, o que se faz por medida direta ou empregando uma combinação de ábacos ou tabelas. A medida *in situ* requer o emprego de dispositivos automáticos como o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), nem

sempre disponível, o que leva o projetista, na grande maioria dos casos, a avaliar o suporte efetivo pelos ábacos, método muito difundido e aceito. Da mesma forma, a prova de carga estática, cuja metodologia de ensaio é descrita no Manual de *Whitetopping* do DNER (1999), é de trabalhosa execução, além de dispendiosa. Assim, tais procedimentos podem ser substituídos pela fixação do valor de suporte por métodos mais simples, cujos resultados tenham correspondência numérica com o valor de k ; por sua difusão generalizada, recomenda-se o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC/CBR), conforme correlações em ábacos, cuja precisão é satisfatória para fins de dimensionamento.

Deste modo, com o ISC/CBR existente fornecido pelo projeto igual a 8%, utilizou-se a Tabela 12, retirada também do Manual de *Whitetopping* do DNER – 1999, para encontrar o valor de suporte do subleito.

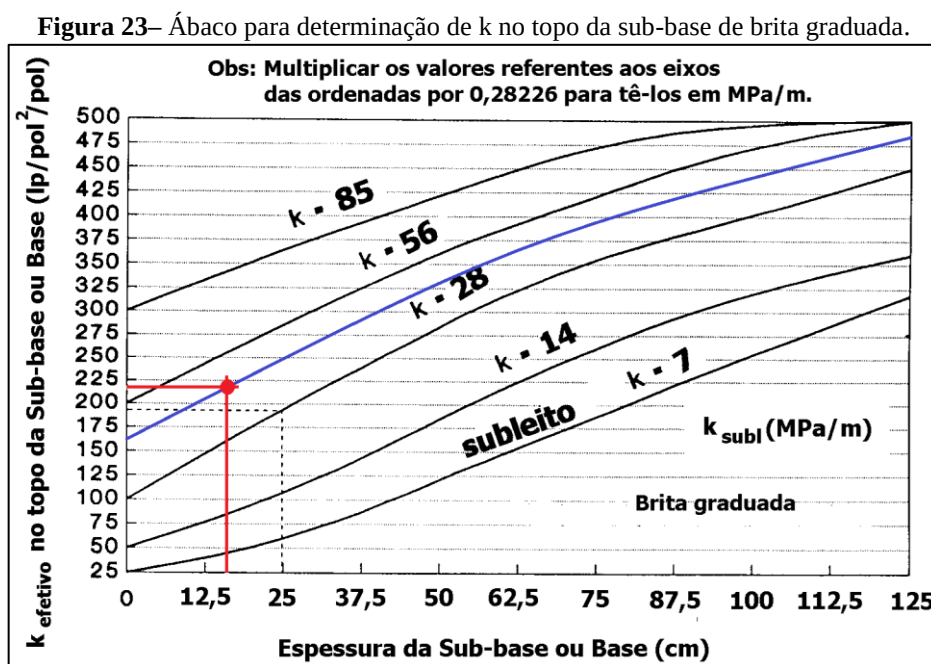
Tabela 12–Valor de suporte do subleito

Valor de suporte do subleito	
CBR (%)	k (MPa/m)
2	16
3	24
4	30
5	34
6	38
7	41
<u>8</u>	<u>44</u>
9	47
10	3
11	49
12	51
13	53
14	54
15	56
16	57
17	59
18	60
19	61
20	62
	63

Fonte: Adaptado do Manual de *Whitetopping* do DNER (1999)

Com o valor de suporte do subleito igual a 44 MPa/m, uma sub-base de brita graduada de 16 cm de espessura média¹ e uma camada de revestimento asfáltico (CBUQ) de 13 cm de espessura média¹, chega-se através dos ábacos do Manual de *Whitetopping* do DNER (1999) em um valor de k_{efetivo} igual a 96 MPa/m, valor muito próximo dos 100 MPa/m adotados em projeto.

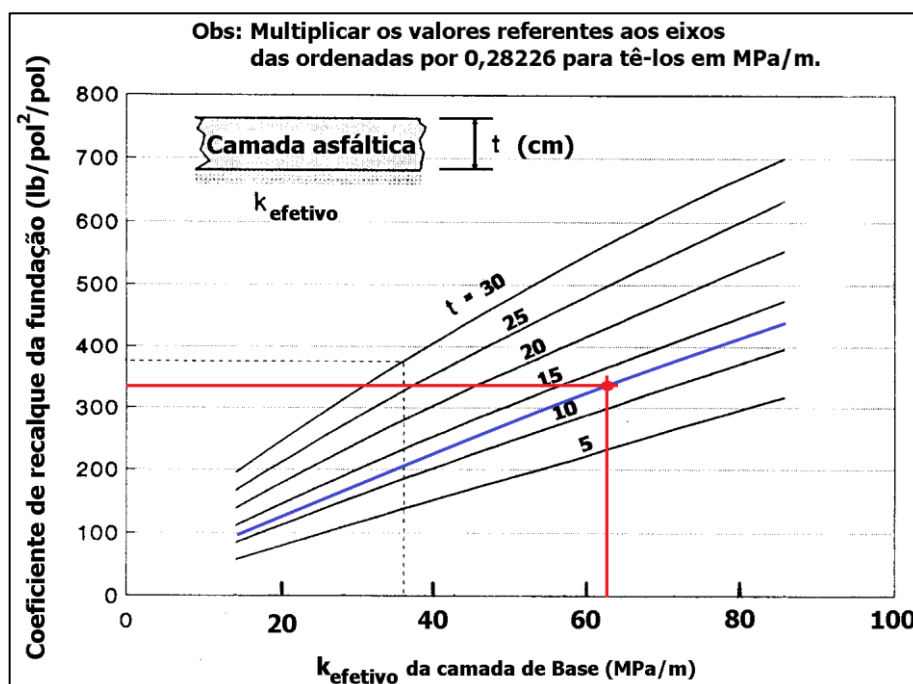
Na Figura 23, a linha em azul indica o k_{subleito} com valor igual a 44 MPa/m que, relacionado com os 16 cm de espessura da sub-base, resulta em um k_{efetivo} no topo da sub-base igual a 220 lb/pol²/pol, na qual multiplicamos por 0,28266 e convertemos esse valor para 62 MPa/m.



Na Figura 24, a linha azul indica a espessura de média de 13 cm da capa asfáltica que, relacionada com os 62 MPa/m encontrados na Figura 23, resultam em um coeficiente de recalque de fundação (k_{efetivo}) igual a 340 lb/pol²/pol, aplicando o fator de conversão, chega-se ao valor de aproximadamente 96 MPa/m, valor 4% inferior ao adotado em projeto, diferença essa irrelevante no dimensionamento.

¹ Média das espessuras encontradas nos 36 poços de sondagens, exibidos anteriormente na Tabela 2.

Figura 24– Ábaco para determinação de k no topo da fundação.



Fonte: Adaptada do Manual de *Whitetopping* – DNER (1999).

3.7.2 Alternativa 2

Esta alternativa contempla a reconstrução parcial do pavimento através da reciclagem profunda (revestimento + base) a frio com correção granulométrica e adição de cimento *Portland*. Este tipo de solução já foi aplicada em 2006 pelo Departamento Estadual de Infraestrutura de Santa Catarina (DEINFRA/SC) na Rodovia SC-303, subtrecho: Joaçaba – Lacerdópolis – Capinzal, onde 30 km de rodovia foram reciclados. (DEINFRA/SC, 2006)

Para o dimensionamento das espessuras referentes a nova base cimentada, bem como a camada de revestimento em concreto asfáltico sobre esta base, apresentou-se no Projeto de Restauração da Rodovia SC-114 a utilização do método da análise mecânica. Para determinar estas espessuras, lançou-se mão dos seguintes procedimentos e critérios:

- Retroanálise (Elsym 5)
- características técnicas da base reciclada;
- características técnicas do novo revestimento; e
- tensão vertical de compressão no topo do subleito.

Na Tabela 13 estão apresentados os resultados do dimensionamento mecânico contemplando a solução de reciclagem profunda com adição de cimento *Portland*.

Tabela 13- Dimensionamento mecânico para os segmentos com reciclagem profunda

Rodovia: SC 114

Trecho: Otacílio Costa - Entr. BR 282

Seg. Homogêneo	Km			Extensão (m)	Número N		Estrutura Existente						Estrutura Projetada														Parâmetros Admissíveis				Parâmetros Calculados																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
							Revestimento			Base+Subbase			Subleito		CBUQ Borracha			CBUQ Hardcap			BaseReciclada			Base e Sub-base Remanescente			Subleito		Deflexão (x10 ⁻² mm)	Def.Tração Revestimento (mm/mm)	Tensão Tração Base Recic.(MPa)	Tensão Vertical Subleito (MPa)	Deflexão (x10 ⁻² mm)	Def.Tração Revestimento (mm/mm)	Tensão Tração Base Recic.(MPa)	Tensão Vertical Subleito (MPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	Módulo (MPa)	Coef. Poisson (m/m)	Espessura (cm)		Módulo (MPa)	Coef. Poisson (m/m)	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef. Poisson (m/m)	Módulo (MPa)	Coef. Poisson (m/m)	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef. Poisson (m/m)	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef. Poisson (m/m)	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef. Poisson (m/m)	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef. Poisson (m/m)	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef. Poisson (m/m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para o segmento entre o km 188,160 e o km 191,481, referente à Travessia urbana da cidade de Otacílio Costa, onde o trincamento e a deflexão estão baixos, será efetuada fresagem descontínua na espessura de 5,0 cm do revestimento existente, numa área de 25%, recomposição em concreto asfáltico convencional e reforço em concreto asfáltico com asfalto-borracha na espessura de 4,0 cm em todo restante da área.

Para o segmento do km 191,481 ao km 224,200 foram analisadas as duas alternativas de solução, sendo adotada a alternativa 1 que se mostrou a melhor técnica econômica para um horizonte de projeto de 20 anos. A seguir, está apresentada a solução adotada em projeto:

1 - Execução de placa de concreto de cimento *Portland* com espessura de 22,0 cm sobre o revestimento existente onde deve ser colocada uma lona plástica sob a mesma, para evitar o bombeamento de finos, conforme a Figura 25.

Figura 25– Colocação de filme (lona) sobre o revestimento asfáltico da SC-114.



Fonte: Autores (2017)

2 - Comprimento da placa de 5 m e largura de 3,5 m na pista e 1,2 m no acostamento com equipamento de forma deslizante, conforme Figura 26.

Figura 26 – Concretagem da Rodovia SC-114.



Fonte: Autores (2017)

3 - Barra de transferência em Aço CA-25 com $\varnothing=25$ mm a cada 30 cm e comprimento de 46 cm, conforme Figura 27.

Figura 27– Colocação de barras de transferência na Rodovia SC-114.



Fonte: Autores (2017)

4 - Barra de ligação com comprimento de 70 cm em Aço CA-50 com $\varnothing=10$ mm a cada 70 cm.

5 - Resistência característica à tração na flexão ($F_{ctm,k}$) do concreto igual a 4,5 MPa, aos 7 dias.

6 - Nos acostamentos, para corrigir o degrau existente, execução de uma camada de concreto asfáltico convencional com espessura média de 5,5 cm.

7 - Nas placas com tamanhos irregulares, previsão de armadura distribuída em tela de aço (Q – 138), situada a 5,0 cm da superfície acabada do concreto.

8 - Nos encontros de pontes, rebaixo e recompactação do pavimento existente, execução de uma camada de concreto compactado a rolo (CCR) na espessura de 10,0 cm e placa de concreto na espessura também de 22,0 cm, conforme Figura 28.

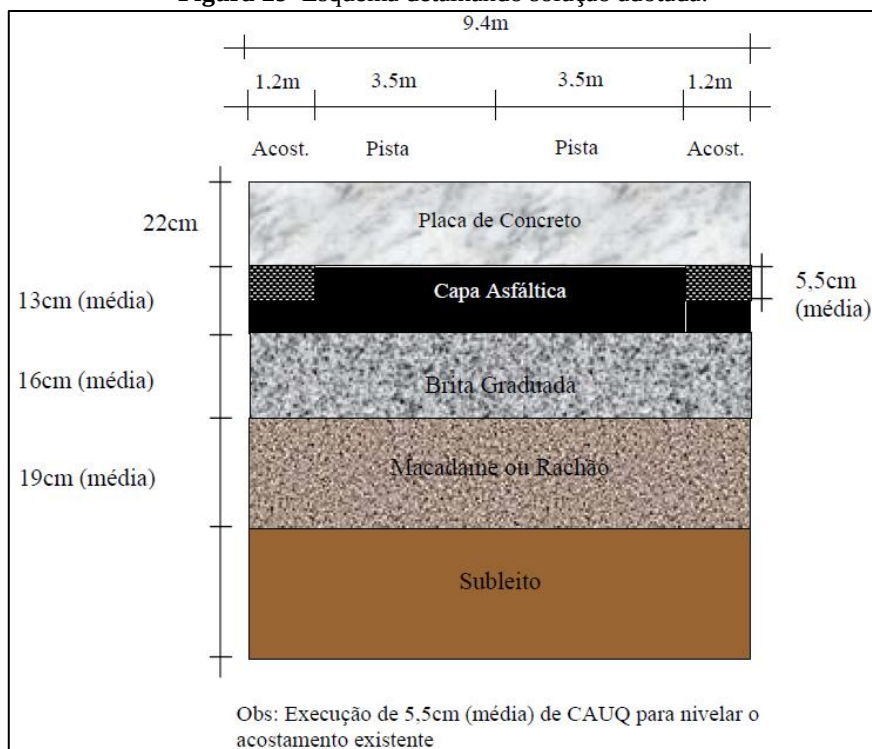
Figura 28– Execução CCR na Rodovia SC-114, km 199.



Fonte: Autores (2017)

9 - As placas existentes deverão ser preenchidas com concreto asfáltico convencional.

As intervenções previstas serão do tipo fresagem e recomposição com concreto asfáltico ou remendo profundo. Na Figura 29 está apresentada de forma esquemática a solução adotada.

Figura 29–Esquema detalhando solução adotada.

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

Também foi prevista a intervenção nas camadas inferiores da estrutura, através de remendo profundo, como mostra a Figura 30, onde o raio de curvatura da bacia deflectométrica apontou valores relativamente baixos, menores que 100 quando num conjunto de valores sequenciais, ou menores que 80 quando isolados, de acordo com o trincamento no revestimento, a análise dos boletins de sondagem e a condição “in situ”.

Figura 30 – Execução de remendo profundo em macadame seco na SC-114, km 211.

Fonte: Autores (2017)

4.1 Custos

A Tabela 14 apresenta um resumo do orçamento realizado na época do projeto para estudar a sua viabilidade econômica.

Tabela 14– Orçamento Provisório.

Alternativas	Orçamento	Valor Financeiro		Valor Econômico	
		R\$	US\$	R\$	US\$
Execução da Restauração com Pavimento em Concreto	Total	79.765.156,33	35.435.431,51	67.800.382,88	30.120.116,78
	por km	2.206.505,02	980.233,24	1.875.529,26	833.198,25

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages)

Para calcular o valor em dólares americanos foi utilizada a cotação de US\$ 1 = R\$ 2,251, valor estimado na época de projeto. Prevvia-se que a obra seria executada no período de 2 anos (2015 a 2016), sendo considerado um desembolso de 50% em 2015 e 50% em 2016. Porém, a obra iniciou-se apenas no final do ano de 2016 e tem seu término previsto para março de 2018. O valor econômico (valor financeiro deduzindo os impostos) foi obtido aplicando-se o fator 0,85 sobre o valor financeiro.

De acordo com o DEINFRA/SC, tanto a restauração/reconstrução convencional do pavimento quanto a reciclagem, devido ao alto estado de degradação da estrutura existente, teriam custo de 10% a 12% menor do que a alternativa adotada.

Adotando 12% de custo, resultaria em um valor financeiro próximo à R\$ 1,94 milhões por km, economia de aproximadamente R\$ 265 mil reais por km.

O fator preponderante para execução com concreto *Portland*, foi a garantia em projeto da vida útil do pavimento para um horizonte de 20 anos, o dobro da máxima vida útil do pavimento flexível.

A Tabela 15 ilustra a projeção dos custos em um horizonte de 20 anos, comprovando o *Whitetopping* como melhor alternativa, sem a necessidade de incluir os custos de manutenção ao longo desse tempo, já que segundo Araújo *et al.* (2016) o custo de manutenção e restauração do pavimento rígido é menor do que o flexível.

Tabela 15 - Custos em uma projeção de 20 anos.

Alternativas	Orçamento	Valor Financeiro			
		Custo Aplicação (R\$)	Vida Útil (Anos)	Custo/Ano (R\$)	Custo em 20 anos (R\$)
Execução da Restauração com Pavimento em Concreto	Total	79.765.156,33	20	3.988.257,82	79.765.156,33
	Total por km	2.206.505,02		110.325,25	2.206.505,02
Execução da Restauração Convencional com CBUQ	Total	70.193.337,57	10	7.019.333,76	140.386.675,14
	Total por km	1.941.724,41		194.172,44	3.883.448,82
Diferença em Unidades	Total	9.571.818,76	10	3.031.075,94	60.621.518,81
	Total por km	264.780,61		83.847,19	1.676.943,80
Diferença em %	Total	12%	50%	43,18%	

Fonte: Projeto de Restauração da Rodovia SC 114, Trecho: Otacílio Costa – Entr. BR 282 (p/ Lages) (Adaptada)

Sendo assim, conforme a Tabela 15, o *Whitetopping*, alternativa adotada com custo de aplicação 12% maior, ao longo de sua vida útil (20 anos) se torna 43,18% mais econômica do que a restauração convencional com pavimento flexível se bem projetada e bem executada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente a grande demanda da recuperação de pavimentos observada no Brasil, o *Whitetopping* chega para juntar-se as alternativas deste setor. Aliado ao uso do pavimento deteriorado como base, torna-se uma escolha convidativa conforme o cenário atual.

A rodovia estadual apresentada no presente trabalho, SC-114, trecho entre Otacílio Costa e entroncamento BR-282, mostrou-se eficiente para a recuperação deste trecho executado. A extensão compõe-se de aproximadamente 33 km, com comprimento da placa de 5 m e largura de 3,5 m na pista e 1,2 m no acostamento. A importância dessa rodovia consiste em fazer a ligação e acesso às empresas do ramo da madeira, as quais fazem uso de transportes pesado.

Como apresentado, o trecho foi dividido em 19 segmentos homogêneos e cada trecho foi avaliado e indicado a situação em que se encontrava. Levantaram-se os dados de IRI, QI, flechas, raios de curvatura, deflexões e IGG. Dos 19 trechos homogêneos avaliados, 12 deles apresentaram condição de superfície de pavimento péssima e 7 ruim, totalizando 51,5% de área trincada.

Pelos métodos de dimensionamento de reforço DNER-PRO 11/79 e DNER PRO 269/94, obtiveram-se os valores de reforço. Para o primeiro método, variando entre 3,9 cm a 7,7 cm em trechos distintos. Para o segundo método citado, variando entre 3,4 cm e 15,1 cm. Em alguns locais, a espessura de reforço foi muito alta e com isso a alternativa de *Whitetopping* se mostrava interessante. A partir destes cálculos foram avaliadas as soluções disponíveis para restauração levando em consideração a melhor alternativa técnica-econômica: alternativa 1 aplicação do *Whitetopping* e alternativa 2 reciclagem profunda “in situ”. Por serem verificados alguns locais com a espessura de reforço muito alta, a alternativa de *Whitetopping* foi a melhor opção no quesito técnico-econômico.

Para verificação da espessura requerida para o *Whitetopping*, utilizou-se o valor de CBR indicado no projeto de 8% e calculou-se através dos ábacos do Manual de *Whitetopping* do DNER (1999) um valor de K_{efetivo} igual a 96 MPa/m, valor 4% inferior ao adotado em projeto (100 MPa/m), diferença essa irrelevante no

dimensionamento. A espessura adotada em projeto foi de 22 cm para a placa de concreto.

Apesar do projeto de restauração apresentar algumas particularidades a serem questionadas, sendo uma delas a aplicação do concreto em trilhos de roda com tolerância de até 5 cm, fato este que pode resultar em uma série de patologias no pavimento, diminuindo assim sua vida útil, até a data do presente fechamento, a obra apresenta cerca de 87% de conclusão. Seu prazo de entrega inicialmente estimado eram dois anos (2015/2016), porém devido a paralizações a pedido do governo estadual, está prevista a entrega para o segundo semestre de 2018

O orçamento provisório previsto foi de aproximadamente R\$ 80 milhões de reais, equivalente a R\$ 2 milhões por quilômetro. A alternativa adotada com *Whitetopping* tem um custo de aplicação maior, porém ao longo de sua vida útil de 20 anos se torna mais econômica do que a restauração convencional com pavimento flexível.

As vantagens verificadas para este tipo de pavimento é a execução diretamente sobre o pavimento asfáltico existente, a necessidade de execução de preparação da superfície apenas em casos em que a degradação do pavimento está em nível avançado, pode ser executado com concretos convencionais e a melhora da segurança e conforto do usuário. Algumas desvantagens encontradas foram a falta de mão-de-obra especializada devido a pouca utilização da técnica no Brasil e custo inicial, quando há a necessidade de preparação do pavimento, ser elevado.

A seguir é apresentada sugestão para trabalhos futuros com base neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC):

- Realizar uma avaliação futura do comportamento da solução após um período de solicitação de tráfego de pelo menos três anos ou mais.
- Relacionar o custo x benefício entre o impacto financeiro inicial e a longa vida útil esperada no pavimento de concreto.
- Desenvolver um estudo a respeito do comportamento do concreto sobre superfícies com grandes deformações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Whitetopping em Cinco Passos.** São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/whitetopping-em-cinco-passos/>. Acessado em 12 de Fevereiro de 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181/84. Solo – Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182/86. Solo – Ensaio de Compactação.** Rio de Janeiro, 1986.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185/86. Determinação da Massa Específica Aparente in situ, com Emprego do Frasco de Areia.** Rio de Janeiro, 1986.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207: Pavimentação: terminologia.** Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895/87. Solo – Índice de Suporte Califórnia.** Rio de Janeiro, 1987.

ARAÚJO, M. A.; *et. al.* **Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto).** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento, ANO 1. VOL. 10, Pp. 187-196. Novembro de 2016 – ISSN.2448-0959.

BALBO, J. T. **Estudo das Propriedades Mecânicas das Misturas de Brita e Cimento e sua Aplicação nos Pavimentos Semi-Rígidos.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

BALBO, J. T.; PITTA, M. R. **Resultados de Recentes Pesquisas sobre Whitetopping Ultradelgado no Brasil**. Fórum Interamericano de Pavimentos de Concreto, Rio de Janeiro, 1999.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: Materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: ABEDA - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2008.

CARVALHO, M. D. **Vantagens E Benefícios Do Whitetopping E Do Inlay Na Reabilitação De Pavimentos**. São Paulo: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletim Estatístico – 05 - 2016**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>. Acessado em 12 de Julho de 2016.

DEINFRA/SC - DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA DE SANTA CATARINA. Florianópolis, 2006. Disponível em: http://www.deinfra.sc.gov.br/noticiasExibir.do?t=Deinfra_e_SDR-Joacaba_vistoriam_obras_na_SC_303&p=27. Acessado em 10 de Agosto de 2017.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO. **DER/SP -Projeto de restauração de pavimento**. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 011/79-Avaliação dos Pavimentos Flexíveis**, 1979.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 164/94. Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter)**. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 269/94 – Projeto de restauração de pavimentos flexíveis.** 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCRETO PORTLAND. **DNER – Manual de Whitetopping.** 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 006/2003-PRO - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.** 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 068/2004 – ES – Pavimento Rígido – Execução de camada superposta de concreto do tipo Whitetopping por meio mecânico – Especificação de Serviço.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNER-PRO 182/94 - Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNER-PRO 269/94 - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis - TECNAPAV**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT - Manual de Pavimentos Rígidos.** 2ª. Edição. Rio de Janeiro, 2004.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **MÉTODO PCA.** EUA, 1994.

FERRARA, R. D. A. **Estudo comparativo do custo x benefício entre o asfalto convencional e asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneu.** São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2006.

GIUBLIN, C. R. **Projeto de Pavimentação Rígido.** Curso de Pós-Graduação em Pavimentação Rodoviária. Curitiba: Instituto IDD, 2016.

GIUBLIN, C. R.; MASCHIO, A. **BR 290 - Reabilitação Estrutural Com Pavimento De Concreto – Whitetopping**. In: V Jornadas Luso-Brasileiras De Pavimentos: Políticas E Tecnologias, Recife, 2006.

OLIVEIRA, E. M. **Transferência dos Esforços Cisalhantes em Juntas de Pavimentos Rígidos**. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Civil. Goiânia, Goiás. 2008.

PEREIRA, D. S.; **Estudo de Gradientes Térmicos e Deformações em Whitetopping Ultradelgado**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

PITTA, M. R. Whitetopping - **A evolução de um conceito**. In: Congresso Brasileiro De Cimento, São Paulo: Anais, 1996.

SCHMID, M. T. **Pavimentos Rígidos em Concreto Protendido**. Publicação Técnica. 2º Edição - REV. 01- 2005.

SOTEPA, DEINFRA - **Projeto de Engenharia Rodoviária Para Restauração de Rodovia**. 2013.

SANTANA, H. **Manual de Pré-Misturado a Frio**. São Paulo: IBP, 1993.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini, v. 2, 2001.