



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Nayana Lara Azevedo

ESTUDO COMPARATIVO DE RECUPERAÇÃO RODOVIÁRIA POR APLICAÇÃO DOS SISTEMAS *WHITETOPPING* E CBUQ

Palmas – TO

2018

Nayana Lara Azevedo

ESTUDO COMPARATIVO DE RECUPERAÇÃO RODOVIÁRIA POR APLICAÇÃO
DOS SISTEMAS *WHITETOPPING* E CBUQ

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior

Palmas – TO

2018

Nayana Lara de Azevedo
ESTUDO COMPARATIVO DE RECUPERAÇÃO RODOVIÁRIA POR APLICAÇÃO
DOS SISTEMAS *WHITETOPPING* E CBUQ

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.Esp. Fernando Moreno Suarte Junior

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. M.e. Edivaldo Alves dos Santos

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

Dedico este trabalho primordialmente a Deus, que me deu o dom da vida, junto a ela a alegria, a coragem, a sabedoria e, acima de tudo saúde. À minha mãe Maria José que me amou e se dedicou a mim até aqui como ninguém, além de ter me dado a oportunidade de estar onde estou, concluindo um curso de nível superior, trabalhando incessantemente para concluirmos esse sonho, sendo nesses últimos quatro anos mãe e pai. Ao meu pai Erival que sempre me inspirou, incentivou e me fez acreditar que eu fosse capaz de ir sempre muito além, mesmo hoje não estando mais de corpo presente ainda me guia lá do céu. À minha irmã Nayara pelas tantas vezes em que disse que acreditava em mim, no meu potencial, mesmo quando eu não acreditei, por todo amor e admiração. Ao meu noivo Rivaldo pela parceria, exemplo, compreensão e nunca ter medido esforços para me ajudar durante essa trajetória. Aos amigos que estiveram segurando minha mão, acreditando e me ajudando de forma direta e indireta, especialmente à Karolina, Hugo Henrique, Tamires e Maria Amélia, que tornaram mais leve e melhor essa experiência de formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor especialista **Fernando Moreno Suarte Junior** por cada orientação, dica, auxílio, grande desprendimento em ajudar e pela amizade. Sem sua dedicação e conhecimento amplo certamente tudo teria sido muito mais difícil.

EPÍGRAFE

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer”. (Albert Einstein).

RESUMO

AZEVEDO, Nayana Lara. **Estudo comparativo de recuperação rodoviária por aplicação dos sistemas whitetopping e CBUQ**. 2018. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O presente trabalho estuda e compara a recuperação rodoviária por aplicação dos sistemas *whitetopping* e CBUQ. A malha rodoviária é o principal modal de transporte brasileiro, diante disso, é notória a precisão de recuperações periódicas para manter o bom estado das vias, a segurança e o conforto das mesmas para com os usuários, bem como a necessidade de grandes investimentos para tais serviços. O sistema mais utilizado para recuperação de rodovias no Brasil ainda é o concreto betuminoso usinado a quente, mais popularmente conhecido como CBUQ, no entanto, outro sistema vem sendo implantado e podendo trazer maiores benefícios em relação ao CBUQ, quando se trata de vias que atendem a demanda de grandes cargas, que é o *whitetopping*, onde basicamente uma camada de concreto é superposta à camada já existente e desgastada de CBUQ, fazendo assim a recuperação da via. Este projeto é um estudo de caráter qualitativo, de cunho exploratório, feito a partir de materiais já publicados, como literaturas, estudos, trabalhos conclusivos, entre outros. Dentre as comparações destacam-se os materiais e suas propriedades, as vantagens e as desvantagens, estudo de caso de rodovias já recuperadas e o estudo de custo para ambos os sistemas. Todo o estudo resulta em concluir de fato qual seria a melhor opção, onde o *whitetopping* se sobressaiu em relação ao CBUQ em diversos aspectos estudados e analisados.

Palavras-chave: Whitetopping. CBUQ. Recuperação.

ABSTRACT

AZEVEDO, Nayana Lara. **Estudo comparativo de recuperação rodoviária por aplicação dos sistemas whitetopping e CBUQ**. 2018. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

The present work studies and compares the road recovery by applying the whitetopping and CBUQ systems. The road network is the main mode of transportation in Brazil, and the accuracy of periodic recoveries to maintain good road conditions, safety and user comfort, is well known, as well as the need for large investments in such for services. The most used system for road recovery in Brazil is still hot-bituminous concrete, more popularly known as CBUQ, however, another system has been implemented and may bring greater benefits in relation to the CBUQ, when it comes to roads that meet the demand for large loads, which is whitetopping, where basically a layer of concrete is superimposed on the already existing and worn layer of CBUQ, thus making the road recovery. This project is a qualitative study of an exploratory nature, made from already published materials, such as literature, studies, conclusive works, among others. Among the comparisons are the materials and their properties, the advantages and disadvantages, case study of already recovered highways and the cost study for both systems. The whole study results in concluding in fact what would be the best option, where whitetopping excelled in relation to CBUQ in several aspects studied and analyzed.

Keywords: Whitetopping. CBUQ. Recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de seção transversal do pavimento	17
Figura 2 - Seção transversal pavimento flexível.....	18
Figura 3 - Seção transversal pavimento rígido	19
Figura 4 - Esquema de Usina.....	25
Figura 5 - Etapa de lançamento do concreto na execução do <i>whitetopping</i>	31
Figura 6 – Exemplos reais de defeitos ocorrentes na superfície dos pavimentos rígidos	35
Figura 7 – Trecho de pavimento em CBUQ – Miranorte - Tocantins.....	57
Figura 8 – Trecho de pavimento em <i>Whitetopping</i> na BR 290.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas - classificação por penetração	22
Tabela 2 - Granulometria do Fíler	23
Tabela 3 – Equipamentos utilizados na execução do CBUQ	24
Tabela 4 – Equipamentos utilizados na execução do <i>whitetopping</i>	30
Tabela 5 - Manifestações patológicas em pavimentos flexíveis e semirrígidos.....	32
Tabela 6 - Manifestações patológicas em pavimentos rígidos	34
Tabela 7 - Condições de Superfície do Pavimento	36
Tabela 8 – Materiais que compõe o sistema <i>Whitetopping</i>	41
Tabela 9 – Etapas de execução do <i>Whitetopping</i>	44
Tabela 10 - Categorias de <i>Whitetopping</i>	45
Tabela 11 - Espessuras mínimas de revestimentos betuminosos.....	46
Tabela 12 – Comparativo dos benefícios entre <i>Whitetopping</i> e CBUQ.....	48
Tabela 13 – Análise das características de sensibilidade do CBUQ	49
Tabela 14 – Vantagens e desvantagens do <i>Whitetopping</i>	50
Tabela 15 – Vantagens e desvantagens do CBUQ.....	50
Tabela 16 – Comparativos econômicos e desempenho entre <i>Whitetopping</i> e CBUQ	51
Tabela 17 – Comparativo de valores de implantação de vias com <i>Whitetopping</i> e CBUQ.....	53
Tabela 18 – Custo de Usinagem CBUQ.....	56
Tabela 19 – Comparativo de usinagem CBUQ e <i>whitetopping</i>	57
Tabela 20 - Orçamento dos tipos de asfalto com redução de 30% para <i>Whitetoppnig</i>	58
Tabela 21 – Comparativo de valores de implantação de vias com <i>Whitetopping</i> e CBUQ.....	59
Tabela 22 - Análise comparativa de custo entre CBUQ x <i>Whitetopping</i>	60
Tabela 23 – Valores totais de economia estimados	60
Tabela 24 – Economia de combustível em pavimento <i>Whitetopping</i>	61
Tabela 25 - Estudo do traço de concreto para pavimentação em <i>Whitetopping</i>	62
Tabela 26 – Custo de recuperação de 1 km de pavimento em <i>Whitetopping</i>	63
Tabela 27 - Custo de recuperação de 1km de pavimento em CBUQ.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM:	American Society for Testing and Materials
CA:	Concreto Asfáltico
CAP:	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ:	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBUQ:	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CCP:	Concreto de Cimento Portland
CNT:	Confederação Nacional de Transporte
CP:	Cimento Portland
CPU:	Composição de Preços Unitários
DNER:	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT:	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FRN:	Fundo Rodoviário Nacional
NBR:	Norma Brasileira de Regulamentação
PCA:	PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2 HIPÓTESES.....	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 JUSTIFICATIVA	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 PAVIMENTAÇÃO.....	15
2.1.1 Histórico	15
2.1.2 Conceito	16
2.1.3. Classificação dos Pavimentos	17
2.2. CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE (CBUQ)	20
2.2.1 Materiais	20
2.2.2. Equipamentos	23
2.2.3. Procedimentos e método de execução	24
2.3. WHITETOPPING.....	26
2.3.1. Materiais	26
2.3.2. Equipamentos	29
2.3.2. Procedimentos e método de execução	30
2.4 PATOLOGIA	32
2.4.1 Manifestações Patológicas	32
2.4.2 Intervenções	35
2.5 ORÇAMENTO DE OBRA	38
3 METODOLOGIA	39
3.1 OBJETO DE ESTUDO	39
3.1.1 Estudar os materiais e propriedades dos sistemas propostos	39
3.1.2 Estudar as vantagens e desvantagens dos sistemas <i>whitetopping</i> e CBUQ	39
3.1.3 Apresentar através de estudos de casos já realizados, rodovias recuperadas com os sistemas <i>whitetopping</i> e CBUQ	40

3.1.4 Realizar estudo comparativo de custo de recuperação de rodovias para objeto de estudo proposto	40
3.1.4.1 Elaborar tabelas de custo e de preço unitário para os dois sistemas através de estudos já realizados	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 MATERIAIS E PROPRIEDADES DOS SISTEMAS PROPOSTOS.....	41
4.1.1 Whitetopping	41
4.1.2 Concreto Betuminoso Usinado a Quente	45
4.2 ANÁLISE DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MATERIAIS	47
4.3 ESTUDO DE CASO DE VIAS EXECUTADAS EM WHITETOPPING E CBUQ	53
4.4 COMPARAÇÃO DO CUSTO DE RECUPERAÇÃO DE UMA VIA UTILIZANDO CBUQ E WHITETOPPING.....	59
4.4.1. Demonstração de custos para recuperação de pavimentos em whitetopping e CBUQ	63
5 CONCLUSÃO	67
6 REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

A malha rodoviária é, em particular, a mais importante via de comunicação, constituindo uma infraestrutura essencial para o desenvolvimento global dos países, facilitando a locomoção de pessoas, bens e mercadorias de diferentes locais.

Uma via pavimentada deve conter características que atendam a segurança, conforto e eficiência, para isso é feito estudos de qual sistema de pavimentação deverá ser feito para cada via ou trecho, de acordo com suas necessidades relacionando o não desperdício de dinheiro e vida útil longa.

A melhoria na qualidade das rodovias é diretamente essencial para a diminuição de custos operacionais envolvidos com trânsito e transporte, bem como a redução de acidentes. Sabendo, então, da solicitação de rodovias pavimentadas, vê-se a necessidade de estarem sempre em boas condições de rolamento. No entanto, no Brasil, é notável e constante a precariedade das mesmas, onde a fiscalização das cargas é muito pouca e o investimento para conservação, reparos e recuperações das mesmas são muito baixos.

Grandes partes das rodovias brasileiras são feitas de pavimento de Concreto Asfáltico (CA), devido ao seu custo inicial ser mais baixo em relação às pavimentadas com Concreto de Cimento Portland (CCP), até mesmo as mais solicitadas. Assim, não é levada em conta a importância da maior vida útil do pavimento de concreto onde corresponde a duas vezes a do pavimento asfáltico, reduzindo de forma significativa as manutenções, de forma a ter uma economia maior aos cofres públicos e, conseqüentemente, evitando possíveis transtornos. Para isso, é necessário um estudo aprofundado, buscando melhores sistemas e técnicas para manutenção dessas rodovias.

Portanto, é válido comparar o sistema CBUQ e o sistema *whitetopping* como forma de solução e reparo de rodovias, levantando dados como custo de obra, conforto, segurança, vida útil, entre outras características importantes de tráfego. Destacando que o sistema CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente) é o famoso asfalto, usado para pavimentação e recuperação de rodovias, e o sistema *whitetopping* é feito de Concreto de Cimento Portland, usado para recuperação de rodovias, onde é superposto sobre um pavimento asfáltico danificado.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Visando a necessidade de recuperações periódicas de malhas rodoviárias, levando em conta economia, qualidade, facilidade na execução, eficiência, agilidade, segurança, durabilidade e vida útil, em qual situação seria mais viável a aplicação do *Whitetopping* e em qual situação seria mais viável a aplicação do CBUQ?

1.2 HIPÓTESES

A recuperação dessas malhas rodoviárias terá um melhor desempenho através da aplicação de pavimento de concreto, o sistema *whitetopping*, assegurando a boa resistência, durabilidade e vida útil alta.

Embora o sistema *whitetopping* seja a solução mais viável quanto à vida útil e durabilidade em rodovias de grande fluxo, vê-se necessário ressaltar que o seu custo total de obra é elevado comparado ao sistema CBUQ.

Levando em consideração também, que o sistema *whitetopping* é viável apenas para rodovias de grande fluxo, devido ao seu valor alto. Pois para pequenos trechos e/ou vias de baixo fluxo o sistema de CBUQ é suficiente para garantir durabilidade, resistência e vida útil alta.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Comparar os sistemas de recuperação de pavimentação rodoviária *Whitetopping* e CBUQ.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar os materiais e propriedades dos sistemas propostos;
- Estudar as vantagens e desvantagens dos sistemas *whitetopping* e CBUQ;
- Apresentar através de estudos de casos já realizados, rodovias recuperadas com os sistemas *whitetopping* e CBUQ;
- Elaborar composição de preço unitário para os dois sistemas através de planilhas de Preços Referência;
- Realizar estudo comparativo de custo de recuperação de rodovias para objeto de estudo proposto.

1.4 JUSTIFICATIVA

Este estudo tem como importância comparar os sistemas *whitetopping* e CBUQ para recuperação rodoviária, visando o melhor conforto e maior segurança para quem trafega em malhas rodoviárias, visto que devido ao grande fluxo de veículos nas mesmas são gerados danos, onde segundo a pesquisa feita pela CNT (2016), foram identificados 49.898 km (48,3% da Extensão Total avaliada) com algum tipo de problema no pavimento, sendo 35,8% classificados como Regular, 9,9% como Ruim e 2,6% Péssimo. 45.876 km (44,5% da extensão) encontrava-se em Ótimo estado de conservação e 7.485 km (7,2%) Bom. Portanto, requerem sistemas de recuperação que traga tal conforto e segurança que supram as necessidades dos usuários.

A comparação destes sistemas propostos pode beneficiar empresas a escolher qual deles trará maior vantagem para a recuperação de rodovias, apresentando estudos de melhor qualidade, conforto, segurança, resistência e maior vida útil.

Para a autora a escolha do tema se fez pela sua grande compatibilidade e fascínio pela área escolhida, a pavimentação e por esta ser a área almejada para sua futura carreira.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PAVIMENTAÇÃO

2.1.1 Histórico

A história da pavimentação começa com a necessidade do homem pré-histórico, na busca por alimentação e água, no qual procurava deixar caminhos em condições que permitiam a sua volta. O segundo passo importante na evolução da pavimentação foi quando o homem aprendeu a usar os animais como meio de transporte, melhorando o rendimento das viagens. Porém, foram percebendo a necessidade de melhorar os caminhos de passagem.

Na medida em que os transportes evoluíam, surgia a necessidade de melhoria dos caminhos, buscando a combinação de materiais que lhes dessem melhor estabilidade. (SENÇO, 2008).

“Nas evoluções das estradas de rodagem, dois princípios determinaram o estágio alcançado hoje em dia:

- Necessidade de deslocamentos periódicos entre dois pontos, o que requisitava a construção de caminhos ou estradas;
- a necessidade de que esses caminhos ou estradas dessem passagem o ano inteiro, gerando a necessidade de revestimento” (SENÇO, 2008).

Semelhante aos dias de hoje, as primeiras vias eram compostas por fundação e uma camada de superfície, que variava de acordo com a disponibilidade de material no local. Balbo (2007) conta que com o uso frequente das vias pelos veículos mecânicos a partir do século XIX, foi possível perceber as deficiências das camadas composta por elementos granulares puros.

Segundo Bernucci (2008), houve a substituição dos agregados por pedras e pedregulhos. A partir século II começaram a inserir placas de pedras que tinham como material ligante o ferro. No ano de 1890, os pavimentos de concreto passaram

a ser utilizados com frequência na Alemanha e alguns anos depois, em 1909, nos Estados Unidos.

No Brasil, ainda de acordo com o Bernucci (2008), uma das primeiras estradas teve início em 1560, a mesma fazia a ligação entre São Vicente e Planalto Piratininga, pavimentada inicialmente com lajes de granito, e sendo restaurada em 1922 com concreto.

Durante o período imperial (1822 – 1889) os desenvolvimentos em transporte no país sofreram queda, principalmente o setor rodoviário, tendo apenas 500 km de estradas com revestimento no início do século XX. (BERNUCCI, 2008)

Balbo (2007) destaca a criação do DNER, em 1937, como um avanço para a pavimentação do Brasil. Porém, o grande impulso da construção rodoviária se deu em 1940 e 1950, com a criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) e início da execução de pavimentos em escala industrial e da implantação de grandes construtoras.

Para Senço (2008), a fundação de um órgão responsável pela criação de diretrizes de dimensionamento de pavimentos foi fundamental para auxiliar as empresas que desenvolvem esses serviços, permitindo comparações que podem e devem levar a soluções compatíveis com as reais necessidades e condições de tráfego.

2.1.2 Conceito

Bernucci (2008), define pavimento como uma estrutura composta de múltiplas camadas de espessuras finitas, alocadas sobre uma terraplenagem, a fim de resistir esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima, proporcionando melhores condições de rolamento.

Em seu livro Manual de Técnicas de Pavimentação, Senço (2007), define pavimento como uma estrutura constituída sobre a terraplenagem e destinada a resistir esforços verticais proveniente do tráfego e distribuí-los, melhorar as condições de rolamento e resistir a desgastes, tornando mais durável a superfície de rolamento.

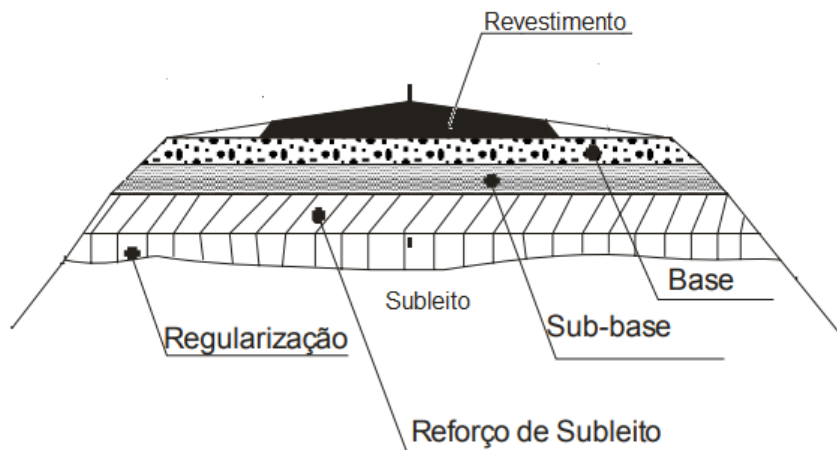
Além das características apresentadas, o pavimento também deve apresentar conforto e segurança no decorrer do tráfego, com estruturas e materiais capazes de

suportar os esforços decorrentes da ação do tráfego combinados com as intempéries, buscando, sempre que possível, o aproveitamento dos materiais disponíveis no local da obra, garantindo um bom desempenho operacional e de manutenção (BALBO, 2007).

De acordo com o DNIT (2006), o pavimento é formado por múltiplas camadas, sendo elas:

- a) **Subleito** – é o terreno de fundação do pavimento;
- b) **Reforço do subleito** - É a camada de espessura constante executada sobre o sub-leito regularizado, para melhorar as qualidades do mesmo e regularizar a espessura da sub-base;
- c) **Sub-base** - camada complementar à base. Usada quando não for aconselhável executar a base diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas;
- d) **Base** – é a camada destinada a resistir e redistribuir as outras camadas os esforços oriundos do tráfego e sobre o qual será executado o revestimento;
- e) **Revestimento** – camada impermeável na qual recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinada a melhorá-la, quanto a comodidade e segurança e resistir ao desgaste. (DNIT, 2006, p. 106. Adaptado)

Figura 1 - Esquema de seção transversal do pavimento



Fonte: DNIT (2006). Adaptado.

2.1.3. Classificação dos Pavimentos

A estrutura do pavimento é um sistema formado por várias partes, constituída de um conjunto que sofrerá deslocamentos e tensões como parte de resistir às cargas solicitantes pelos veículos e pelo clima. Ou seja, como qualquer outra

estrutura de construção civil, as cargas são distribuídas de forma compatível com a resistência de cada camada do pavimento, afirma MOTTA (1995) *apud* BARUFI (2013). Os pavimentos são classificados, em geral, como flexível, semirrígido e rígido.

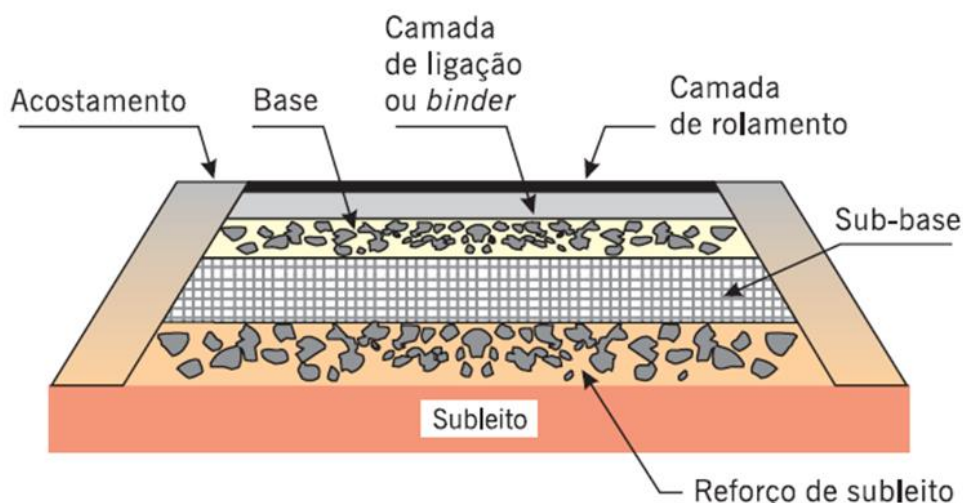
- Pavimento Flexível

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

Enquanto Senço (2007), acrescenta dizendo que são aqueles em que as deformações, até certo limite, não levam ao rompimento. Ou seja, são dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga.

Em outras palavras Balbo (2007), explica que é o pavimento no qual a absorção de esforços dá-se de forma dividida entre várias camadas, encontrando-se as tensões verticais em camadas inferiores, concentradas em região próxima da área de aplicação da carga.

Figura 2 - Seção transversal pavimento flexível



Fonte: Pavimentação Asfáltica (2008)

- Semirrígido

Caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como, por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica. (DNIT, 2006)

Balbo (2007) apresenta a definição de que o pavimento semirrígido é composto por revestimento asfáltico com base ou sub-base em material tratado com cimento de elevada rigidez, excluídos quaisquer tipos de concreto.

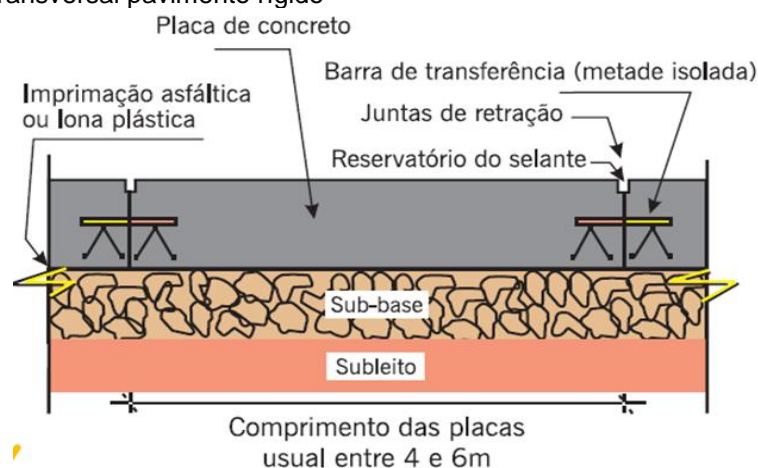
- Rígido

Pavimentos Rígidos são aqueles poucos deformáveis, constituídos principalmente de concreto cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações. (SENÇO, 2007)

Complementando a definição, Balbo (2007) explica que é o pavimento no qual uma camada absorvendo grande parcela de esforços horizontais solicitantes, acaba por gerar pressões verticais bastante aliviadas e bem distribuídas sobre as camadas interiores.

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

Figura 3 - Seção transversal pavimento rígido



Fonte: Pavimentação Asfáltica (2008)

2.2. CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE (CBUQ)

O CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) e também conhecido por CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente), é considerado a mais comum e tradicional mistura asfáltica a quente utilizada atualmente no país. (BALBO, 2007).

As propriedades fundamentais da mistura de concreto betuminoso, de acordo com Marques (sd), são:

Estabilidade: É a capacidade da mistura oferecer resistência à deformação quando aplicadas as cargas. Representa a resistência ao cisalhamento da mistura, onde o atrito é desenvolvido na estrutura sólida e a coesão fornecida pelo betume.

Durabilidade: É a resistência oferecida pela mistura à ação desagregadora de intempéries e forças abrasivas resultantes da ação do tráfego.

Flexibilidade: É a habilidade da mistura fletir repentinamente sem que ocorra ruptura e de acomodar-se aos recalques diferenciais ocorridos nas camadas de base.

Resistência ao deslizamento: É o modo como a superfície da mistura consegue evitar o deslizamento dos pneus, e está ligada diretamente a qualidade do agregado, do teor de betume e textura superficial. (MARQUES, s.d. Adaptado).

2.2.1 Materiais

A produção do CBUQ é feita em usina especializada a partir da mistura e homogeneização dos agregados minerais (grãos e/ou miúdos), material fino de enchimento e cimento asfáltico de petróleo, e de acordo com a norma 031/2006 (DNIT, 2006) devem satisfazer as normas pertinentes e as especificações recomendadas pelo órgão.

- Agregados

Representam, segundo Wesseling (2002), a maior parcela constituinte do pavimento, suportando, em grande parte, as cargas aplicadas. Portanto, torna-se indispensável os ensaios e análises que garantam a qualidade do agregado para o desempenho do mesmo.

Conforme o DNIT (2006), na fabricação do CBUQ, o agregado é pré-envolvido com o material betuminoso antes da compressão, portanto, o tipo recomendado pelo órgão são os de graduação aberta ou densa, que apresentam um material bem graduado e contínuo.

Quanto a sua composição granulométrica, a mesma deve satisfazer as faixas consagradas para misturas deste gênero, de modo que o diâmetro máximo seja igual ou inferior a 2/3 da espessura da camada do revestimento, conforme especificação da 031/2006 (DNIT, 2006).

Ainda, segundo a mesma especificação, os agregados graúdos devem apresentar desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50%, índice de forma superior a 0,5 e durabilidade inferior a 12%, e os Agregados miúdos (areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos), deve apresentar resistência e não possuírem torrões de argila e de substâncias nocivas.

- Cimento asfáltico de petróleo (CAP)

Coelho Junior e Rocha (2013) afirmam em seu trabalho que,

“O cimento asfáltico de petróleo (CAP) é o asfalto obtido especialmente para apresentar características adequadas para o uso na elaboração de revestimentos, podendo ser obtido pela destilação do petróleo em refinarias ou do asfalto natural, encontrado em jazidas” COELHO JUNIOR e ROCHA (2013).

Na especificação do DNIT095/2006, os cimentos asfálticos de petróleo podem ser classificados de acordo o grau de “dureza” apresentado no ensaio de penetração. A penetração é definida conforme NBR 6576 como “a distância em décimos de milímetro que uma agulha padronizada penetra verticalmente em uma amostra de cimento asfáltico, em condições específicas de carga, tempo e temperatura”, obtendo-se então as seguintes nomenclaturas: CAP-30/45, CAP-50/70, CAP-85/100 e CAP-150/200. Quanto menor a penetração “mais duro” é o cimento asfáltico.

Tabela 1 - Especificações técnicas - classificação por penetração

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	LIMITES				MÉTODOS	
		CAP 30 45	CAP 50 70	CAP 85 100	CAP 150 200	ABNT	ASTM
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 45	50 70	85 100	150 200	NBR 6576	D 5
Ponto de amolecimento, mín	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36
Viscosidade SayboltFurol	s					NBR-14950	E 102
a 135 °C, mín		192	141	110	80		
a 150 °C, mín		90	50	43	36		
a 177 °C		40 A 150	30 a 150	15 a 60	15 a 60		
OU							
Viscosidade Brookfield	cP					NBR-15184	D 4402
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín		374	274	214	155		
a 150 °C, SP 21, mín.		203	112	97	81		
a 177 °C, SP 21		76 a 285	57 a 285	28 a 114	28 a 114		
ndice de susceptibilidade térmica (1)		(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)		
Ponto de fulgor mín	°C	235	235	235	235	NBR-11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	%massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR-14855	D 2042
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR-6293	D 113
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min						NBR-1535	D 2872
Variação em massa, máx (2)	%	0,5	0,5	0,5	0,5	NBR-15235	D 2872
Ductilidade a 25° C, mín		10	20	50	50	NBR-6293	D 113
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8	8	8	8	NBR-6560	D 36
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR-6576	D 5

Fonte: Agência Nacional do Petróleo (2017). Adaptado

Como garantia de qualidade, o Departamento de estradas e rodagens de SP (2005), determina que todo o carregamento de CAP enviado à obra deve apresentar o certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos pela especificação em projeto. Deve apresentar também indicações quanto à procedência, conteúdo e distância entre a refinaria e o local da obra.

- Material de enchimento

A definição adotada pelo DNER (1997) para fíler é a seguinte:

“material mineral inerte em relação aos demais componentes da mistura, finamente devido, passando pelo menos 65% na peneira de 0,075 mm de abertura de malha quadrada”

A Norma DNIT (2006) 031/2006 classifica como fíler materiais minerais como cimento Portland, cal extinta, pós-calcários, cinza volante, dentre outros. Na aplicação, o fíler deve estar seco e inseto de grumos. A granulometria deve ser atendida conforme valores apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Granulometria do Fíler

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando
ASTM	Mm	
nº 40	0,42	100
nº 80	0,18	95 – 100
nº 200	0,075	65 - 100

Fonte: departamento de estradas e rodagens de SP (2005)

Este é o único componente da mistura asfáltica que não é aquecido. Deve ser estocado em galpão, próximo ao misturador, pesado separadamente e transportado direto ao misturador por um elevador conectado ao mesmo.

2.2.2. Equipamentos

De acordo com DNIT (2006), os equipamentos que serão utilizados para a execução dos serviços serão em função da instalação das obras, obedecendo a suas especificações para os serviços. Sendo utilizados no mínimo alguns equipamentos como:

Tabela 3 – Equipamentos utilizados na execução do CBUQ

EQUIPAMENTO	FUNÇÃO
Depósito para ligantes asfálticos	Devem conter dispositivos capazes de aquecer os ligantes. Devendo evitar qualquer superaquecimento localizado e ser instalado sistema de recirculação para o ligante asfáltico. O depósito deve ter capacidade para três dias de serviço, no mínimo.
Silos para agregados	Deve ser capaz de separar e estocar as quantidades apropriadas do agregado. Sua capacidade deve ser três vezes a do misturador e dividido em compartimentos, cada um possuindo dispositivos adequados de descarga, e um compartimento exclusivo para o filer.
Usina para mistura asfáltica	Deve possuir uma unidade classificadora de agregados, além de termômetro com escala de 90° a 120°C, deve possuir pesagem dinâmica dos agregados, bem como potenciômetro de massas específicas.
Caminhões basculantes para transporte da mistura	Devem possuir caçambas metálicas fortes, limpas e lisas, superficialmente untado com água e sabão, óleo parafínico, óleo cru fino, ou solução de cal, para evitar a aderência da mistura com a chapa.
Equipamento para espalhamento e acabamento	Deve conter pavimentadoras automotrizes, para fim de espalhar e adequar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento segundo o que pede o projeto.
Equipamento para compactação	Para compactação o equipamento deve ser constituído por rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório.

Fonte: DNIT (2006). Adaptado.

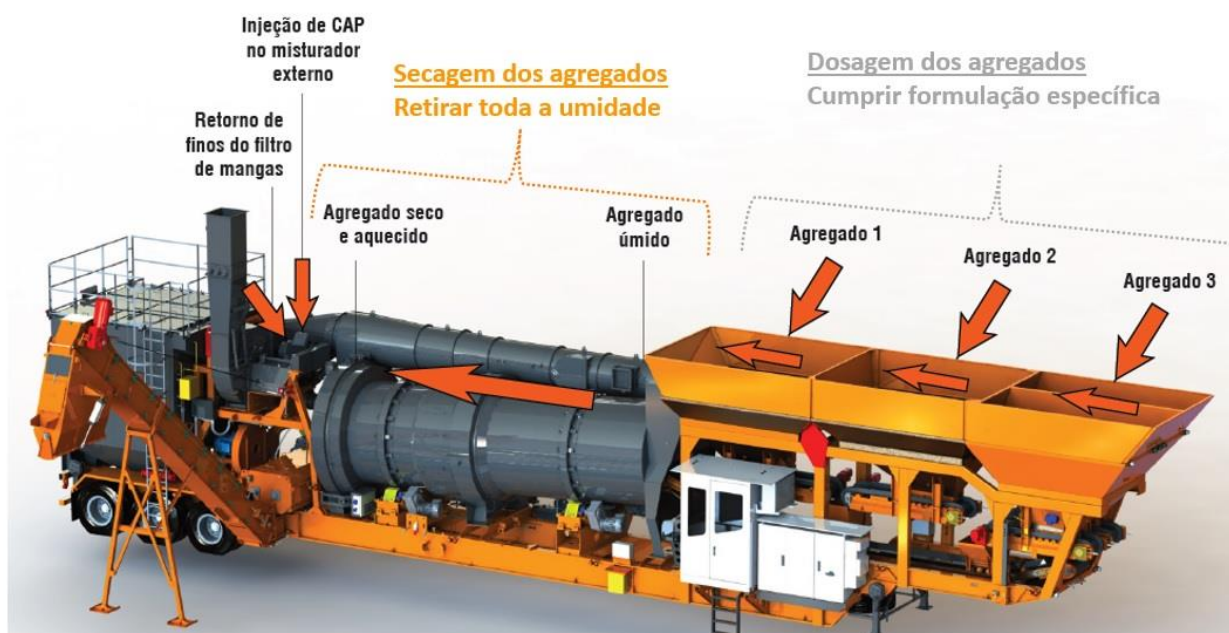
2.2.3. Procedimentos e método de execução

Para garantir a qualidade do revestimento é necessário o desenvolvimento correto dos procedimentos de execução nas diversas etapas que compõem o processo de pavimentação. Conforme Bernucci (2008) é importante se atentar aos seguintes fatores:

- Projeto estrutural;
- escolha adequada de materiais e proporções ou misturas que atendam as condições exigidas em projeto;
- uso de técnicas adequadas de produção;
- distribuição e execução das camadas asfálticas na pista.

A fabricação do CBUQ é feita através de uma usina específica, na qual possui equipamentos mecânicos e eletrônicos interconectados de forma a produzir a mistura asfáltica. A mesma deve ser apropriada para receber e estocar os agregados, fazer a dosagem possibilitando a pesagem para maior precisão, além de aquecê-los e misturá-los com o ligante asfáltico, produzindo assim a mistura asfáltica, obedecendo às características especificadas em projeto. (BORRINUEVO et al., 2014).

Figura 4 - Esquema de Usina



Fonte: [http://4.bp.blogspot.com/-](http://4.bp.blogspot.com/-mCo9XHKKSCM/VgYCbNdxII/AAAAAAAAA0o/zoDXWf0SkE/s1600/Usina_de_Afalto_processo_o_peracao.jpg)

[mCo9XHKKSCM/VgYCbNdxII/AAAAAAAAA0o/zoDXWf0SkE/s1600/Usina de Asfalto processo o peracao.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-mCo9XHKKSCM/VgYCbNdxII/AAAAAAAAA0o/zoDXWf0SkE/s1600/Usina_de_Afalto_processo_o_peracao.jpg) (2017).

A norma DNIT 031/2006 (DNIT, 2006), a usina para a fabricação do CBUQ deve ser equipada com uma unidade classificadora de agregados, um secador e misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. É necessário um termômetro graduado com escala de 90° a 210°C, para a conferência da temperatura da mistura. Além disso, a usina deve possuir ainda silos de agregados com pesagem assegurando a homogeneidade das granulometrias dos diferentes agregados.

Ainda de acordo com o DNIT 031/2006 (DNIT, 2006) o transporte do material asfáltico deve ser coberto e protegido com uma lona. No local da obra, o material deve ser bem espalhado, para ser feito a rolagem com a temperatura superior a que a mistura possa suportar.

2.3. WHITETOPPING

Conforme a norma 068 - ES (DNIT, 2004) o sistema *whitetopping* é um pavimento de concreto de cimento aplicado sobre um pavimento flexível existente, que necessita de manutenção, tornando este pavimento antigo uma sub-base para o novo. Assim como nos pavimentos de concreto simples usuais, as tensões solicitantes são combatidas pelo próprio concreto, não havendo nenhum tipo de armadura distribuída.

É ressaltado ainda que não é considerado armadura, neste caso citado acima, ocasionais sistemas de ligação ou transmissão de carga entre as placas de concreto definidas pelas juntas longitudinais e transversais e as armaduras designadas a evitar a fissuração por retração. (DNIT, 2004)

Para Carvalho (2012) o sistema *whitetopping* é a recuperação de pavimentos, onde sua base é de materiais asfálticos, com concreto de cimento Portland. A origem do termo refere-se à cor cinza claro, ou branco do concreto, a ser colocado sobre um revestimento asfáltico existente de cor escura, esse procedimento é traduzido como “cobertura branca”.

Santos (2014) define o sistema *whitetopping* de tal forma:

“Uma das tecnologias que permite agregar pavimento rígido ao asfalto. Trata-se da técnica de reabilitação de pavimentos com revestimento asfáltico (flexíveis, invertidos ou semirrígidos) em que o pavimento de concreto é aplicado diretamente sobre eles, com ou sem camadas de nivelamento, conforme os procedimentos clássicos de projeto e construção dos pavimentos rígidos”. (SANTOS, 2014)

2.3.1. Materiais

De acordo com o a norma 068 – ES (DNIT, 2004) os materiais utilizados para a execução do sistema *whitetopping* devem estar de acordo com as especificações correspondentes apresentadas na mesma, só podendo ser utilizados na obra perante aprovação da fiscalização. Levando em consideração ainda que, o armazenamento dos materiais deve ser feito em condições que preservem as suas características e qualidade e que permitam fácil inspeção, a qualquer momento.

- Concreto

Segundo Senço (1997) concreto é uma mistura convenientemente dosada e uniformizada de agregados, areia, cimento e água nas dimensões previstas em projeto. É a base que mais se caracteriza como rígida, e seu dimensionamento

segue estudos baseados na teoria de *Westergaard*, podendo ou não ser armada com barras metálicas.

A NBR 12.655 (ABNT, 2015) conceitua que concreto de cimento *Portland* é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

- Cimento

De acordo com a NBR 5.732 (ABNT, 1991) o cimento Portland comum (CP-I) se trata de um aglomerante hidráulico feito através da moagem de clínquer Portland em que durante a operação se adiciona a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem pode-se adicionar também materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores citados na norma.

Já o cimento Portland composto (CP-II) é definido pela NBR 11.578 (ABNT, 1991) como um aglomerante hidráulico extraído pela moagem de clínquer Portland onde pode-se adicionar uma quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Sendo possível adicionar a esta mistura, durante a moagem, materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados na norma.

A NBR 5.735 (ABNT, 1991) explica que o cimento Portland de alto-forno (CP-III) é um aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e escória granulada de alto-forno, moídos em conjunto ou em separado, sendo permitido, durante a moagem, adicionar uma ou mais formas de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos no teor especificado na norma. Levando em consideração que a escória granulada de alto-forno deve estar entre 35% e 70% da massa total de aglomerante.

O Cimento Portland pozolânico (CP-IV) é definido pela NBR 5.736 (ABNT, 1991) como sendo um aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e materiais pozolânicos, os quais podem ser moídos juntos ou separados, e que durante a moagem é possível incluir formas de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos no teor especificado em norma. O teor de materiais

pozolânicos secos deve estar contido entre 15% e 50% da massa total de aglomerante.

Ainda de acordo com a norma DNIT 068 (DNIT, 2004) poderão ser utilizados outros tipos de cimento, desde que sejam adequados para a obra em questão, sendo que qualquer tipo de cimento deverá seguir restritamente às exigências da norma DNER-EM-036/95.

- Agregado

Para a NBR 7.211 (ABNT, 2005) os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e para a utilização dos mesmos, devem ter atenção quanto a substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou o aspecto visual externo do concreto.

Agregado miúdo é considerado areia de origem natural ou extraída de rochas estáveis através de britamento, e seus grãos deverão passar pela peneira de 4,8mm e ficam retidos na peneira 0,075mm. (DNER, 1997)

O DNER (1997) explica agregado graúdo como sendo materiais granulares oriundos de rochas, sendo inertes e de características semelhantes, e seus grãos deverão passar pela peneira da malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,8mm, tais como seixo rolado, cascalho e pedra britada.

- Água

Segundo a definição do dicionário Aurélio, água é um líquido natural (H₂O), transparente, incolor, geralmente insípido e inodoro, sendo essencial para a sobrevivência da maior parte dos seres vivos.

A água utilizada para o amassamento e cura do cimento não deve conter substâncias que venham a prejudicar o processo de pega e endurecimento do concreto, podendo ser considerado o uso da água da rede de abastecimento da população (DNIT, 2004).

De acordo com NBR 12.655 (ABNT, 2015) “a água destinada ao amassamento do concreto deve ser armazenada em caixas estanques e tampadas, de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas”.

Entretanto, afirma o DNIT (2004), que nem sempre a água utilizada pela população é a mais indicada para trabalhar com o cimento, pois as vezes possuem pequenas quantidades de açúcar e citratos, tornando-as impropria para uso no

amassamento. No caso de dúvidas quanto á qualidade da água, deverá ser realizados ensaios químicos e comparativos para caracterizá-la.

As normas DNIT 047/2004-ES, DNIT 048/2004-ES e DNIT 049/2013-ES, determinam as exigências que devem ser atendidas nos ensaios para agua de amassamento e cura dos concretos:

- a) pH entre 5,0 e 8,0;
- b) matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido) até 3 mg/l;
- c) resíduo sólido até 5000 mg/l;
- d) sulfato até 600 mg/l;
- e) cloretos até 1000 mg/l;
- f) açúcar até 5 mg/l. (DNIT, 2004)

- Aditivos

De acordo com DNIT 068/2004 – ES, quando empregados no concreto, os aditivos podem ser classificados como aditivo plastificante ou redutor de água, aditivo superplastificante e retardador de pega.

Corroborando ainda, o DNIT 068/2004 – ES explica que a dosagem desses aditivos no concreto deverá ser sob a especificação do fabricante.

A NBR 11768 (ABNT, 1992) define aditivos como produtos que, quando adicionados em pequenas quantidades ao cimento Portland, alteram algumas propriedades do mesmo, de forma com que melhore suas especificações para suprir as necessidades das condições da obra em questão.

É indispensável o armazenamento dos aditivos em suas embalagens originais ou em local que atenda as especificações do fabricante, até o momento de seu uso. (ABNT, 2015)

2.3.2. Equipamentos

Segundo o DNIT (2006), os equipamentos indicados para serem utilizados na execução dos serviços são:

Tabela 4 – Equipamentos utilizados na execução do *whitetopping*

EQUIPAMENTO	FUNÇÃO
Central de mistura	Sua função é dosar, umidificar e homogeneizar o material.
Equipamento mecânico para espalhamento	Espalhar o concreto. Para o serviço pode ser utilizado trator D4 ou moto niveladora.
Rolos compressores	Nivela o terreno, sendo utilizado para esse serviço, o tipo autopropulsionado do tipo liso vibratório.
Placa Vibratória	Retifica a superfície, podendo ser do tipo sapo mecânico.
Caminhão basculante	Para a mistura do concreto.
Chapa de aço	Executa as juntas transversais e longitudinais de construção.
Dispositivo (chapas metálicas)	Executa as juntas transversais de contração, do tipo induzidas.
Pá, enxada, régua	Equipamentos complementares
Martelete pneumático	Servirá para eventuais execuções de juntas transversais e longitudinais de construção.
Máquina de serrar juntas	Serrar juntas, ranhuras e reservatório do selante.

Fonte: DNIT (2006). Adaptado.

2.3.2. Procedimentos e método de execução

As especificações e exigências para a execução e controle do *whitetopping* segue a norma DNIT 068/2004-ES. Inicialmente devem ser consideradas as condições do pavimento flexível, caso não esteja em boas condições o mesmo deverá ser refeito, executando ensaios para a avaliação das condições de suporte de carga do pavimento a ser recuperado.

Em seguida é preparada a superfície, corrigindo as patologias existentes. Com a superfície pronta, o concreto deve ser monitorado para atender as exigências do projeto, atentando-se também para o tipo de equipamento adequado a etapa e região da cidade.

Figura 5 - Etapa de lançamento do concreto na execução do *whitetopping*



Fonte: Soluções para cidades (2012)

Então, com todos os procedimentos executados, é feito o lançamento do concreto, obedecendo a DNIT 068/2004-ES, que pode ser feito com ferramentas manuais ou executado por máquina. Ambos os processos devem garantir uma distribuição uniforme, de modo a regularizar a camada na espessura a ser adotada.

Feitas as correções da camada da superfície do pavimento, é executado o acabamento final, que conta com formação de ranhuras em sua superfície, além de problemas com aderência entre reparo das bordas longitudinais e reparos que serão ocasionados na fase de cura do concreto.

Já no manual de pavimentos rígidos do DNIT, podem-se encontrar três métodos diferentes para construção de tal material.

- a) Colocação direta, procedida de umedecimento da superfície – método que não exige preparação do pavimento já construído. Recomenda-se que adoção da trilha-de-roda existente no revestimento asfáltico seja menor que 50mm de profundidade.
- b) Frenagem – a utilização desse método é feita quando as trilhas-de-roda apresentam profundidade maior que 50mm, ou há a ocorrência de ondulações acentuadas.
- c) Construção de uma camada de nivelamento – a aplicação desta camada, em geral, é composta por uma mistura betuminosa variando entre 25 e 50mm de espessura. Esse é o procedimento de maior custo dentre os apresentados

2.4 PATOLOGIA

Segundo o dicionário Aurélio, o significado da palavra patologia é estudar doenças, desvio de acordo com o que geralmente é determinado como normal.

Para Senço (2007) para se basear derradeiramente e identificar alguma possível manifestação patológica, é de forma visual, observando as condições da superfície da capa de rolamento, e de acordo com o grau de falhas encontradas se determinarão quais serão os trabalhos de conservação.

2.4.1 Manifestações Patológicas

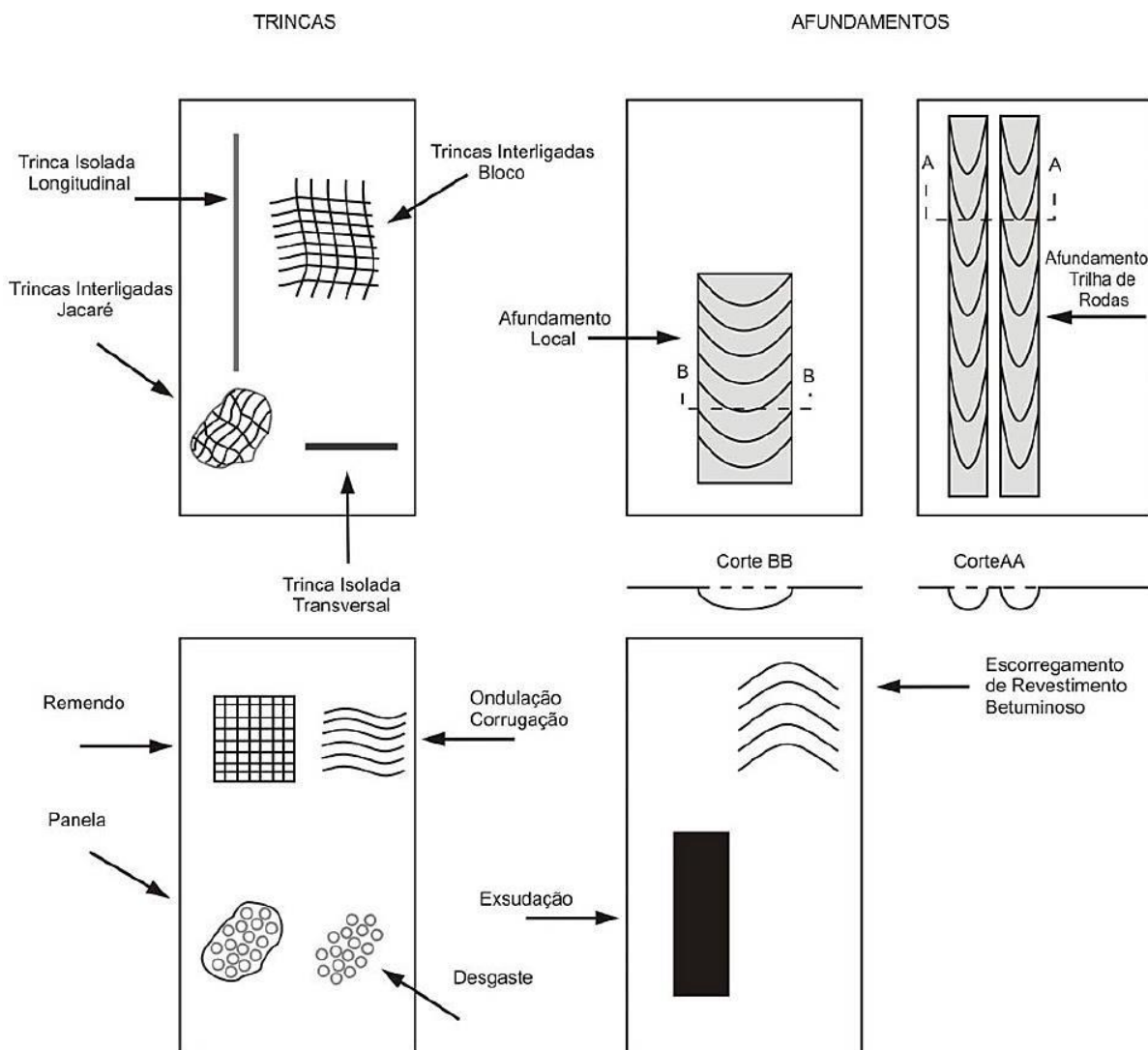
O DNIT (2003) cita as manifestações patológicas nos pavimentos flexíveis e semirrígidos, classificando-as da seguinte forma:

Tabela 5 - Manifestações patológicas em pavimentos flexíveis e semirrígidos

Patologia	Definição
Fissura	Abertura na superfície do pavimento com largura capilar, posicionada em qualquer eixo da vida (longitudinal, transversal ou oblíquo), perceptível a uma distancia inferior de 1,50 m
Trinca	Abertura existente no pavimento facilmente visível, com aberturas superiores a da fissura, podendo ser isolada (transversal, longitudinal ou de retração) ou interligada (tipo "couro de Jacaré" ou tipo "bloco").
Afundamento	São provenientes de deformações permanentes caracterizadas por depressão superficial do pavimento, apresentando forma de afundamento plástico ou de consolidação.
Ondulação ou corrugação	Deformação transversal no eixo da pista, caracterizada por depressões em geral, decorrentes da consolidação diferencial do subleito.
Exsudação	É resultante do excesso de ligante presente na mistura betuminosa para a camada de desgaste, a zona de passagem das rodas do veículo, gerando um aspecto negro e brilhante.
Desgaste	É oriundo do desprendimento de agregados da superfície provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.
Panela ou buraco	Cavidade no revestimento asfáltico, podendo ou não atingir as camadas inferiores, provocando desagregação das mesmas.
Remendo	É considerado um defeito, apesar de estar relacionado a uma reparação da superfície da panela ou buraco, podendo ser profundo ou superficial.

Fonte: DNIT (2003) Adaptado.

Figura 6 - Representação esquemática dos defeitos ocorrentes na superfície dos pavimentos flexíveis e semirrígidos



Fonte: DNIT (2003)

E sobre manifestações patológicas em pavimentos rígidos, o DNIT (2004) classifica os tipos de defeitos observados nos mesmo, sendo eles:

Tabela 6 - Manifestações patológicas em pavimentos rígidos

Patologia	Definição
Alçamento de placas	Desnível entre as placas nas juntas ou fissuras transversais próximas aos aparelhos de drenagem.
Fissura de canto	São quebras em forma de cunha nos cantos das placas, não atingindo toda a sua espessura quando mais profundas. Suas prováveis causas são a sobrecarga e a deficiência de suporte do subleito
Placa dividida	É quando a placa apresenta fissuras dividindo-a em quatro ou mais partes;
Escalonamento ou degrau nas juntas	Deslocamentos verticais diferenciados e permanentes entre uma placa e outra, na região da junta, ocasionada pelo excesso de largura das mesmas.
Falha na selagem das juntas	É qualquer avaria no selante que possibilite o acúmulo de material incompressível na junta, ou que permita a infiltração de água.
Fissuras lineares	São fissuras que atingem toda a espessura da placa, dividindo-a em duas ou três partes. Quando as fissuras dividem a placa mais partes, o defeito é chamado de "placa dividida"
Grandes reparos	São reparos feitos em uma área do pavimento maior que 0,45m ² , que pode foi removida e preenchida com outro material.
Pequenos reparos	São reparos com área menor ou igual a 0,45m ² , removida e preenchida com um material de enchimento.
Desgaste superficial	Deslocamento da argamassa fazendo com que os agregados fiquem expostos na superfície do pavimento. Este tipo de defeito tende a progredir, tornando o pavimento desconfortável ao tráfego, além de originar a formação de buracos.
Quebras localizadas	Áreas com trincas ou quebradas pedaços pequenos, possuindo formas variadas, ficando em torno de 1,5m entre uma trinca e uma junta, ou duas trincas.
Fissuras	Podem ser de dois tipos, superficiais, tendo profundidade entre 6 e 13mm, formando ângulo de interceptação de 120° e de retração plástica, apresentando característica um pouco mais profunda, com abertura inferior a 0,5mm, formando ângulo de 45° a 60° com o eixo longitudinal da placa.
Assentamento	Afundamento do pavimento gerando ondulações superficiais de grande extensão.
Buracos	Saliência côncava observada na superfície da placa, ocasionado pela perda de concreto no local.
Esborcinamentos	são quebras nas bordas das placas ou ao longo das juntas. Patologias localizadas de pequenas dimensões, são causadas por partículas incompressíveis no interior da junta, por sobrecarga, por deficiência de resistência superficial ou por excesso de largura das juntas;

Fonte: DNIT (2004). Adaptado

Figura 6 – Exemplos reais de defeitos ocorrentes na superfície dos pavimentos rígidos



Fonte: DNIT (2010)

2.4.2 Intervenções

Segundo o DNIT (2005) sobre pavimentos flexíveis e semirrígidos, a manutenção de rodovia é um processo sistemático que deve ser, de forma contínua, avaliada a rodovia, verificando se está de acordo com a necessidade do seu tráfego. A mesma deve oferecer aos seus usuários um tráfego econômico, confortável e seguro.

O DNIT (2005) complementa a explicação dizendo que a manutenção se resume em ações ordenadas e previamente programadas, sendo essas ações compreendidas em: conservação rodoviária, conservação corretiva rotineira, conservação preventiva periódica, conservação de emergência, melhoramentos, recuperação do pavimento, recuperação do pavimento através de sua restauração, recuperação do pavimento através de sua reabilitação, recapeamento do pavimento, reconstrução do pavimento, reconstrução parcial do pavimento, reconstrução total do pavimento e reforço do pavimento.

A tabela seguinte, obtida pelo DNIT (2005), demonstra a avaliação subjetiva e suas faixas de valores concernentes aos principais índices e parâmetros utilizados para a avaliação objetiva.

Tabela 7 - Condições de Superfície do Pavimento

CONCEITO	DESCRIÇÃO	ICPF
Ótimo	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA	5 – 4
Bom	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA - Desgastes superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas.	4 – 3
Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO - pavimento trincado, com "panelas" e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3 – 2
Ruim	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos.	2 – 1
Péssimo	RECONSTRUÇÃO - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Restauração do revestimento e das demais camadas - Infiltração de água e descompactação da base.	1 - 0

Fonte: DNIT (2005). Adaptado

Segundo o DNIT (2010) a manutenção de um pavimento rígido pode ser preventiva, por intermédio de métodos que preservem a sua condição estrutural, de forma que desacelere o processo de deterioração, outra forma de prevenção é fazer reparações localizadas, capazes de restaurar a condição estrutural do pavimento.

Em relação aos defeitos em pavimentos rígidos, o DNIT (2010) esclarece que, para fins de recuperação, os defeitos presentes nas placas de concreto de pavimentação podem ser classificados em:

Defeitos que não requerem a remoção da placa

Estes defeitos são dos seguintes tipos:

- Recuperação de juntas:
- Resselagem;
- Esborcimento.
- Tratamento de fissuras:
- Fissuras lineares que não atravessem toda a espessura da placa;
- Fissuras lineares que atravessem toda a espessura da placa;
- Fissuras do tipo rendilhado;
- Fissuras de retração plástica.
- Defeitos existentes na superfície da placa:
- Desgaste superficial e escamação acentuada;
- Esborcimento ou quebra de canto;
- Buracos de pequena extensão (<0,45m²);
- Recuperação de pequenos reparos já deteriorados.

Defeitos que, dependendo da condição existente no pavimento, podem requerer ou não a remoção parcial da placa

Estes defeitos são dos seguintes tipos:

- Placa bailarina;
- Bombeamento;
- Escalonamento ou degraus;
- Assentamentos;
- Desnível pavimento/acostamento;
- Alçamento.

Defeitos que requerem a remoção parcial ou total da placa e, eventualmente, o tratamento da fundação

- Fissuras com abertura maior que 1,0 mm;
- Fissuras transversais no interior da placa;
- Fissura transversal próxima da junta transversal de contração;
- Fissuras de canto;
- Placa dividida;
- Grandes reparos em estado de desagregação;
- Buracos em grandes quantidades e de grande profundidade; (DNIT, 2010)

2.5 ORÇAMENTO DE OBRA

Para Mattos (2006), um orçamento de obra é a determinação de custos estimados de execução da obra. O qual determinará o sucesso do construtor, juntamente com seu resultado lucrativo, visto que quando um orçamento sai de forma incorreta pode interferir diretamente no custo e prazo da obra. De forma mais clara, o autor explica que o orçamento é uma junção de custos diretos e custos indiretos, os quais incluem mão de obra, material, equipamento, equipe de supervisão, despesas gerais, taxas, entre outros.

Gonzáles (2008) explica que o custo é o valor total de obra de todos os gastos necessários para execução da mesma, enquanto o preço é o valor do custo acrescentando os lucros, de forma resumida, o custo mais o lucro é igual ao preço. Portanto, a composição de preços unitários se trata de custos mais lucros de cada item de forma unitária.

3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho será desenvolvido através de uma metodologia constituída por revisão de literatura, no qual possui estudo de caráter qualitativo e será de cunho exploratório, baseando-se em estudos feitos por outras bibliografias, onde se procurará mostrar um comparativo entre os materiais apresentados para restauração de pavimento.

A revisão apresentada nessa etapa do trabalho é feita a fim de criar um embasamento teórico de complementação e compreensão do assunto, de modo a situarmo-nos no contexto da pesquisa.

A seguir, será feito o comparativo entre os sistemas, com vista a identificar os postos positivos e negativos de cada um deles, bem como a viabilidade técnica-econômica. Subsequentemente, tais dados serão apresentados a partir da elaboração de gráficos, tabelas e quadros, seguida da elaboração da redação final do trabalho.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

3.1.1 Estudar os materiais e propriedades dos sistemas propostos

Serão estudados os materiais e suas propriedades do sistema *whitetopping*, bem como do sistema CBUQ, através do auxílio de livros, artigos, pesquisas, etc..

Diante de tais informações obtidas, serão criadas tabelas de quantitativos comparando e analisando quais materiais poderão ser comuns, e quais se diferem de um sistema para o outro.

3.1.2 Estudar as vantagens e desvantagens dos sistemas *whitetopping* e CBUQ

A partir de referências bibliográficas retiradas de materiais científicos já publicados, como livros, manuais, trabalhos de conclusão de curso, teses, artigos, entre outros, será realizada uma pesquisa apontando as principais vantagens e desvantagens dos sistemas citados acima.

Com essas informações serão elaboradas tabelas, ressaltando e identificando de forma clara as características que evidenciam as vantagens e desvantagens de cada um dos sistemas, como vida útil, tempo de execução, conforto, tempo de intervenção, entre outros.

3.1.3 Apresentar através de estudos de casos já realizados, rodovias recuperadas com os sistemas *whitetopping* e CBUQ

Para a apresentação de rodovias recuperadas a partir dos sistemas *whitetopping* e CBUQ em âmbito nacional, do ano de 2005 até o período de realização do trabalho, serão selecionados artigos, teses, trabalhos de conclusão de curso, entre outros, para a extração de informações através de estudos bibliográficos.

3.1.4 Realizar estudo comparativo de custo de recuperação de rodovias para objeto de estudo proposto

Visando comparar os sistemas de recuperação de rodovias *whitetopping* e CBUQ, será realizado um estudo de custo de ambos os sistemas, para a recuperação de trechos de rodovias.

3.1.4.1 Elaborar tabelas de custo e de preço unitário para os dois sistemas através de estudos já realizados

Através de criação de tabelas será feito a demonstração de composição de custo e preço unitário para ambos os sistemas, *whitetopping* e CBUQ, tendo como referência estudos já realizados em artigos, trabalhos de conclusão de curso, dentre outros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MATERIAIS E PROPRIEDADES DOS SISTEMAS PROPOSTOS

O presente estudo foi realizado considerando a recuperação de rodovias por meio do emprego do sistema *Whitetopping* (Concreto de Cimento Portland) e com o sistema convencional em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

4.1.1 *Whitetopping*

Conforme descrito na norma 068/2004 – ES, que trata da adoção de Pavimento Rígido - Execução de camada superposta de concreto do tipo *Whitetopping* por meio mecânico - Especificação de serviço, os materiais utilizados devem cumprir especificações e requisitos, de forma que seu emprego seja condizente com a qualidade e viabilidade desejadas, devendo seu uso em obras ser condicionado a aprovação por parte da fiscalização técnica.

Tabela 8 – Materiais que compõe o sistema *Whitetopping*

Material	Características
Cimento Portland	CP-I (Portland Comum – ABNT-NBR 5732), CP-II (Portland Composto. ABNT-NBR 11578), CP-III (Cimento Portland de Alto Forno ABNT-NBR 5735) e tipo CP-IV (Portland Pozolânico ABNT - NBR 5736). Norma DNER-EM-036/95.
Agregados	Normas ABNT-NBR 7211, DNER-EM 037/97 e DNER-EM 038/97.
Água	Norma DNIT 036/2004-ME e DNIT 037/2004-ME; Norma DNER 6; Normas ABNT NBR 11580 e NBR 11581; Norma ABNT NBR 7215
Aditivos	Plastificante ou redutor de água, superplastificante e retardador de pega. Norma ABNT-NBR 11768. Aditivo incorporador de ar. Norma ABNT NBR 11768; ASTM-C-260.

Barras de aço e tela soldada	Norma ABNT-NBR 7480. Barras de transferências lisas e retas, de aço tipo CA-25. Barras de ligação aço CA-50 e Aço CA-25. Telas soldadas norma ABNT- NBR 7481.
Material selante de juntas	Moldado a quente, moldado a frio ou pré-moldado. Norma DNIT 046/2004-EM.
Material de enchimento das juntas de dilatação	Fibras trabalhadas, cortiça, borracha esponjosa, poliestireno ou pinho sem nó devidamente impermeabilizado.
Película isolante e impermeável	Membrana plástica ou lençol plástico, flexível, com espessura entre 0,2mm e 0,3mm; papel do tipo Kraft betumado, com gramatura mínima igual a 200g/m ² , contendo uma quantidade de cimento asfáltico de petróleo ou alcatrão não inferior a 60g/m ² ; pintura betuminosa, executada com emulsões asfálticas catiônicas de ruptura média, com taxa de aplicação entre os limites de 0,8 l/m ² e 1,6 l/m ² .
Materiais para a cura	Água, tecido de junta, cânhamo ou algodão, lençol plástico, lençol de papel betumado ou alcatroado e compostos químicos líquidos, capazes de formar películas plásticas.
Resistência à tração na flexão (fctM,k)	Definida no projeto ou então a resistência característica à compressão axial equivalente (fck).
Resistências mecânicas	Corpos de prova prismáticos, Normas ABNT-NBR 5738 e ABNT-NBR 12142.
Resistência à compressão axial	Corpos de prova cilíndricos. Normas ABNT-NBR 5738 e ABNT-NBR 5739.
Consumo de cimento no concreto	320 kg/m ³
Relação água cimento	Normas DNIT 049/2004-ES, DNIT 047/2004-ES e DNIT 048/2004-ES
Consistência	Abatimento do tronco de cone (slump test). Norma NBR 7223, normas DNIT 047/2004-ES e DNIT 048/2004-ES.
Tamanho máximo característico do agregado	Não deverá exceder 1/3 da espessura da placa do pavimento ou 50mm, obedecido o valor menor.
Teor de ar incorporado	Norma ABNT- NBR 11686. 5%
Exsudação	Norma ABNT NBR NM 102.1,5%

Fonte: Adaptado pelo autor de DNIT (2004).

A aplicação de *Whitetopping* envolve a colocação de uma camada de concreto de 50 a 100 mm de espessura com espaçamento entre juntas a de 1,0 a 1,5 m. É usado principalmente para rodovias com fluxo elevado de veículos de carga ou tráfego intenso de veículos pesados, como é normalmente observado em rodovias que servem como via de escoamento de produção agrícola e industrial.

Deve ser feita a ligação entre a camada betuminosa subjacente e a camada de Concreto de Cimento Portland (CCP) sobreposta. Também é realizada a fresagem da superfície betuminosa existente a uma profundidade média de 25 mm, de forma que seja proporcionada a ligação na interface entre a superfície betuminosa existente e a camada de revestimento com CCP. A fresagem não só remove a parte superior deteriorada da camada betuminosa, mas também produz uma superfície rugosa que pode desenvolver algum tipo de ligação entre a superfície betuminosa fresada existente e a camada de concreto. A colagem ajuda a cobertura de concreto ultrafina para sustentar o tráfego por um período mais longo.

Procedimento de execução do *Whitetopping*

- Avaliação das condições em que se encontra o pavimento flexível
- Ensaio da condição de suporte de carga do pavimento existente, a ser recuperado
- Preparação da superfície, se requerida, tapando os buracos (“panelas”) existentes e fresando as regiões que apresentem grandes deformações, como trilhas de rodas excessivas
- Com a superfície pronta para ser reabilitada, o concreto deve ser dosado e monitorado para atender as exigências do projeto
- O concreto deve ser aplicado e adensado sobre a superfície previamente lavada com água limpa, com a utilização de pavimentadora de fôrmas deslizantes
- Imediatamente após a concretagem deve-se fazer o ranhuramento da superfície, bem como a aplicação do produto de cura química
- Por fim deve-se serrar e selar as juntas.

Para que se tenha um resultado satisfatório com o emprego do *Whitetopping* é necessário que sejam seguidas algumas etapas específicas para esse modelo de reparação de pavimentação, de forma que todos os elementos de sua composição sejam corretamente empregados e sua conformação estrutural seja aquela fidedigna à sua concepção. A tabela 9 apresenta as etapas de execução da recuperação de um pavimento por meio do uso do *Whitetopping*:

Tabela 9 – Etapas de execução do *Whitetopping*

Etapas de execução do <i>Whitetopping</i>
A – Fresagem do asfalto – corte de camadas de pavimento existente.
B – Instalação do Sistema de Referência – Dois cabos de aço nas laterais ao equipamento; quatro sensores (dois de cada lado).
C – Lançamento do concreto dosado e pré-misturado em usina – Utilização de caminhões basculantes.
D – Lançamento do concreto – Em função da largura da pista, pode ser utilizada uma escavadeira hidráulica na frente da pavimentadora.
E – Barras de transferência – Colocação
F – Espalhamento e Vibração do Concreto
G – Colocação das barras de ligação
H – Acabamento – Desempenho mecânico
I- Acabamento – Desempenho mecânico com Auto float SP 500 e Float Pan CMI SF 3004.
J – Texturização manual ou mecânica
K – Cura química – Manual ou Mecânica
L – Serragem das juntas
M – Selagem das juntas
N – Juntas de construção – São executadas manualmente. Devem ser tomados cuidados no nivelamento da fôrma

Fonte: Adaptada pelo autor de DNIT (2015).

Conforme demonstrado na tabela 9, a execução da recuperação do pavimento através do sistema *Whitetopping* deve cumprir as etapas constantes na Norma DNIT 068/2004 – ES, e conforme a necessidade de o projeto alcançar a espessura e resistência desejada.

Estão descritas na tabela 11 as categorias das placas de concreto do tipo *Whitetopping* conforme a demanda para o local onde a recuperação é executada.

Tabela 10 - Categorias de *Whitetopping*

Categoria <i>Whitetopping</i>	Espessura do PCC (cm)
<i>Whitetopping</i> convencional	≥ 15
<i>Whitetopping</i> fino	10 - 15
<i>Whitetopping</i> ultra delgado (UTW)	5 a 10

Fonte: Adaptado pelo autor de DNIT (2015)

Conforme visto na tabela 10, estão apresentadas as categorias de *Whitetopping* constantes na Norma DNIT 068/2004 – ES, que é determinada para cada situação específica, especialmente para trechos rodoviários com fluxo intenso de veículos de carga (caminhões, carretas e ônibus), conforme estudo prévio realizado *in loco*, de forma que sua adoção seja economicamente viável, se mostrando preferencial em comparação ao CBUQ.

4.1.2 Concreto Betuminoso Usinado a Quente

O Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoplastico, impermeável à água e pouco reativo. A baixa reatividade química a muitos agentes não evita que esse material possa sofrer, no entanto, um processo de envelhecimento por oxidação lenta pelo contato com o ar e a água (BERNUCCI et al; 2007).

O CBUQ é uma mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (filer) se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente.

Tabela 11 - Espessuras mínimas de revestimentos betuminosos

N	Revestimento betuminoso	Espessura
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial	<5,0 cm
$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos	5,0 cm
$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$	Concreto betuminoso	7,5 cm
$1 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso	10,0 cm
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso	12,5 cm

Fonte: DNIT (2006).

Como demonstrado na tabela 11, seguindo o método do DNIT (2006) a espessura total do pavimento em CBUQ, é dada em função de N (número equivalente de operações de um eixo padrão)

A designação Concreto Betuminoso Usinado à Quente ou Concreto Asfáltico tem sido reservada para pré-misturados a quente de graduação densa, em que são feitas rigorosas exigências no que diz respeito a equipamentos de construção e índices tecnológicos como: granulometria, teor de betume, estabilidade, vazios, etc.

O emprego do CBUQ pode ser tanto como base de pavimento bem como para a camada de revestimento superficial. Neste último caso, desde que atenda a faixa granulométrica adequada.

Podem ser empregados os seguintes tipos de cimento asfáltico de petróleo:

- CAP-30/45
- CAP-50/70
- CAP-85/100

A temperatura do cimento asfáltico empregado na mistura deve ser determinada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura-viscosidade. A temperatura conveniente é aquela na qual o cimento asfáltico apresenta uma viscosidade situada dentro da faixa de 75 a 150 SSF, "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004), indicando-se, preferencialmente, a viscosidade de 75 a 95 SSF. A temperatura do ligante não deve ser inferior a 107°C nem exceder a 177°C.

4.2 ANÁLISE DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MATERIAIS

Segundo DNIT (2010), uma das etapas mais importante na tomada de decisão sobre qual método empregar, é a avaliação de pavimentos, por ser o início para as futuras decisões dentro do sistema de gerência de pavimentos. As atividades possibilitam as definições das condições funcionais e estruturais dos pavimentos, constituintes de uma malha viária.

A avaliação funcional de um pavimento é determinada através da apreciação do estado de sua superfície de como esse estado influência no conforto ao rolamento. Há dois parâmetros da avaliação que é bastante consistente, o valor da serventia atual (VSA), sendo uma medida subjetiva baseada em notas dadas por técnicos avaliadores e Índice de Irregularidade Internacional (IRI), parâmetro determinado por meio de medições de irregularidade longitudinal (DNIT, 2010).

Conforme anotado na referida norma, esses parâmetros representam o nível de desgaste à degradação de um pavimento, onde se resulta do processo de deterioração. Os defeitos de superfície, deformações permanentes, irregularidade longitudinal, deflexão, capacidade estrutural do pavimento, solicitação do tráfego e aderência entre os pneus e o pavimento, são através de diversos parâmetros da condição de avaliação.

A avaliação estrutural de um pavimento tem como finalidade, determinada sua capacidade de suportar cargas, de forma que sejam apontadas as possibilidades de ocorrência de defeitos oriundos da aplicação sucessiva de carga, e com base nas informações e características do trecho, determinar qual procedimento e metodologia de recuperação adotar (DNIT, 2010).

Para a determinação da viabilidade do emprego do *Whitetopping* na recuperação de vias com pavimentação asfáltica já existente, é necessário que haja análise técnica capaz de demonstrar que a aplicação da técnica será benéfica do ponto de vista financeiro e socioambiental. Dessa forma, buscou-se evidenciar os benefícios dessa metodologia construtiva em comparação com as técnicas convencionais que utilizam revestimento betuminoso na recuperação de pavimentos danificados ou com patologias.

A tabela 12 apresenta uma lista comparativa demonstrando benefícios apontados pela ABCP (2012), quando confrontados o desempenho entre o

pavimento recuperado com placas de concreto do tipo *Whitetopping* e utilizando o sistema convencional em CBUQ:

Tabela 12 – Comparativo dos benefícios entre *Whitetopping* e CBUQ

<i>Whitetopping</i>	CBUQ
Longa vida útil, baixa manutenção, baixo custo de ciclo de vida, maior segurança e benefícios ambientais.	Menor vida útil. Intervenções sucessivas tornam as coberturas betuminosas menos resistente após a primeira sobreposição.
Melhora a capacidade estrutural do pavimento betuminoso existente, se construído em um curso de base forte, e impede os danos estruturais.	Deformações como rachaduras em pavimentos betuminosos são predominantes em clima quente como no Brasil.
Menor manutenção e, como tal, envolve fechamentos de pista muito menos frequentes, em comparação com superfícies betuminosas.	As coberturas betuminosas exibem perda estrutural acelerada o que demanda manutenção periódica.
Rentável para rodovias com alto fluxo de tráfego e grande volume de cargas transportadas.	Pouco resistente ao trânsito intenso de veículos e transporte de cargas.
Preenche uniformemente sulcos no trilho de roda de pavimentos betuminosos de forma mais eficaz por ser mais maleável que materiais betuminosos.	Menos rígido e apresenta menor resistência a altas temperaturas, facilitando o surgimento de patologias.
Tem cor relativamente clara e, portanto, a superfície do concreto é mais reflexiva à luz, absorve menos calor	Menor reflexão das luzes dos faróis dos veículos, menor segurança e necessidade de maior quantidade de energia para iluminação externa.
Menor consumo de combustível	Maior acúmulo de água e maior consumo de combustível

Fonte: Adaptado pelo autor de ABCP (2012) e Mesquita (2001).

Conforme demonstrado na tabela 12, o pavimento do tipo *Whitetopping* apresenta melhores resultados em itens determinantes, como vida útil do pavimento, segurança para os usuários e redução no consumo de combustível, quando comparado ao desempenho de pavimentos recuperados com o sistema convencional usando o Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

O emprego do CBUQ demanda cuidados constantes durante todo o processo de produção, desde a preparação da massa asfáltica até sua distribuição no pavimento. A tabela 13 aponta alguns cuidados necessários com esse material:

Tabela 13 – Análise das características de sensibilidade do CBUQ

ELEMENTO	EFEITO
Temperatura excessiva	O aquecimento em excesso da mistura é normalmente indicado por emissão de fumaça de coloração azul. A temperatura deve ser verificada imediatamente e se ultrapassar os limites especificados a carga deve ser rejeitada;
Temperatura baixa	A mistura asfáltica apresenta aspecto endurecido ou recobrimento irregular das partículas maiores do agregado. A temperatura deve ser verificada imediatamente e se for menor que os limites especificados a carga deve ser rejeitada;
Excesso de ligante asfáltico	A mistura asfáltica apresenta aparência de montes com picos abatidos na caçamba do caminhão e aspecto brilhante;
Falta de ligante asfáltico	A mistura asfáltica apresenta aspecto opaco, sem qualquer brilho e granular;
Mistura não-homogênea	São observados pontos onde o agregado encontra-se parcialmente recoberto e de aspecto opaco e pontos onde a mistura apresenta-se brilhante;
Excesso de agregado graúdo em relação ao projeto de dosagem	Misturas asfálticas com excesso de agregado graúdo apresentam baixa trabalhabilidade e aparência granular após compactação
Excesso de agregado miúdo	Misturas asfálticas com excesso de agregado miúdo apresentam textura diferente daquelas com agregados apropriadamente graduados após compactação e aspecto de falta de ligante asfáltico
Excesso de umidade	A liberação de vapor d'água durante o processo de descarregamento do caminhão transportador é indicativa de presença de umidade na mistura asfáltica. Essa apresenta aspecto brilhante e pode-se observar a formação de bolhas. A umidade em excesso faz com que a mistura asfáltica apresente comportamento como se tivesse ligante asfáltico em excesso
Segregação	A segregação dos agregados da mistura asfáltica pode ocorrer em algum ponto antes da mistura ser lançada no local de execução da camada ou durante o processo de lançamento devido ao manuseio de maneira indevida. Sua causa deve ser corrigida na origem. A segregação pode ser potencializada pela graduação escolhida na dosagem (excesso de agregados graúdos) ou pela diferença de temperatura nos diversos componentes da massa asfáltica
Contaminação	Contato com substâncias indesejáveis normalmente devido à má limpeza das caçambas dos caminhões transportadores. Se verificada em pequena escala pode ser removida, caso contrário a carga deve ser rejeitada.

Fonte: Adaptado pelo autor de Bernucci (2008).

Cada um dos sistemas de recuperação de pavimentação expostos no presente trabalho apresenta vantagens e desvantagens quando confrontados. Foram pesquisados materiais técnicos e acadêmicos para determinar os elementos que compõem tais benefícios e desvantagem.

Tabela 14 – Vantagens e desvantagens do *Whitetopping*

Whitetopping	
Vantagens	Desvantagens
Mais duráveis	Maior custo inicial
Menos sensíveis a ação da água	Não permite estocagem
Apresenta envelhecimento lento	Exige cura da mistura
Suporta bem o tráfego pesado	
Não é feito aquecimento do agregado	
Simplicidade no processo construtivo	
Simplicidade de instalação	
Gasto com manutenção quase nulo	
Não necessita de operação tapa-buracos	
Mais segurança	

Fonte: Adaptado pelo autor de Mesquita (2001); DNIT (2004).

Tabela 15 – Vantagens e desvantagens do CBUQ

CBUQ	
Vantagens	Desvantagens
Menor custo de fabricação	Difícil fabricação
Permite estocagem	Exige aquecimento do agregado
Não exige cura da mistura	Alto custo de fabricação
	Equipamento especial no processo construtivo
	Maior desgaste
	Desgaste mais rápido

Fonte: Adaptado pelo autor de Mesquita (2001); DNIT (2004).

Conforme as informações dispostas nas tabelas 14 e 15, onde estão descritas as vantagens e desvantagens do *Whitetopping* e do CBUQ. Em comparação com o sistema que emprega o Concreto de Cimento Portland na recuperação de

pavimentos, o CBUQ apresenta índices de desgaste ao uso mais acelerado, bem como seu processo de envelhecimento, que é bastante acentuado em relação ao *Whitetopping*.

Mesquita (2001) descreve que, por apresentar maior sensibilidade a ação da água e do ar, o CBUQ requer maior cuidado em geral, seja durante o processo de recuperação ou na fase de manutenção após o uso contínuo. Ficou evidente que o emprego do CBUQ apresenta limitações significativas quando confrontado com o *Whitetopping* em rodovias onde a previsão de fluxo de cargas pesadas é de grandes volumes em regime constante para o pavimento.

A tabela 16 é uma compilação dos resultados encontrados por Mesquita (2001), que ao pesquisar a recuperação de um trecho empregando *Whitetopping* comparou com um segmento recuperado em CBUQ.

Tabela 16 – Comparativos econômicos e desempenho entre *Whitetopping* e CBUQ

ECONOMIA	
WHITETOPPING	CBUQ
Custo inicial moderado	Custo inicial cresceu com o aumento relativo do preço do petróleo
Desempenho a longo prazo, com pouca manutenção	Manutenção rotineira é cara
Custo anual baixo e facilmente determinável	Custo anual alto e de difícil previsão
A qualidade da superfície é mantida ao longo de muitos anos	Os buracos e afundamentos são frequentes e causam sérios danos aos veículos
Economiza-se até 30% nas despesas com iluminação das vias	Não há economia na iluminação das vias
DESEMPENHO	
Grande vida útil (mais de 20 anos)	Pequena vida útil (menos de 10 anos)
Resiste a produtos químicos, óleos, intempéries	É fortemente afetado pelos mesmos agentes
Conserva íntegra a seção transversal	Deforma-se, afunda-se, formam-se trilhas de rodas e buracos
Melhor distribuição das cargas	Não distribui uniformemente as cargas
É praticamente impermeável	Absorve a umidade com rapidez
É menos afetado pelo calor	Altas temperaturas produzem amolecimento e a perda do material

PROJETO	
Técnicas de projeto praticamente invariáveis	Os métodos de dimensionamento são muito variáveis
A resistência aumenta com a idade	A resistência costuma diminuir com a idade, principalmente em climas quentes
Os meios-fios e sarjetas podem ser construídos juntamente com o pavimento	Os meios-fios e sarjetas são separados do pavimento
A seção total do pavimento é menor do que a necessária ao asfalto	Requer maior escavação e maior movimento de terra
As estruturas de drenagem são mais simples	São necessárias estruturas de drenagem mais complexas
CONSUMO DE ENERGIA	
Usa materiais locais, abundantes na Natureza	É derivado do petróleo importado, consome divisas
Todos os reparos podem ser feitos com os mesmos materiais	Usa os mesmos derivados do petróleo
Em grande parte das obras o equipamento é reduzido, semi-mecânico e consome pouquíssimo combustível	O equipamento é de grande porte e consumo de combustível fóssil
A mistura do concreto é feita a frio e a energia consumida é a elétrica.	A mistura do concreto é feita a quente e a energia consumida é o petróleo
CONSTRUÇÃO	
Máximo de duas camadas	Camadas múltiplas
Rapidez de execução: concreto dosado em central	Equipamentonumeroso e complexo
Mão-de-obra não especializada e abundante	Mão-de-obra escassa
Equipamento simplificado	Quantidade variável de serviços e materiais
MANUTENÇÃO	
Pequena necessidade de manutenção rotineira	Remendos e substituições rotineiros
Manutenção pesada ou reforço somente após 25 anos ou mais	Reforço ou recapeamento a partir do quinto ano
Reparos uniformes e regulares	Reparos inadequados e irregulares
Menos mão-de-obra e equipamentos simples	Mais mão-de-obra e equipamentos complexos
SEGURANÇA	
Boa reflexão da luz Maior distância de visibilidade horizontal	Pouca reflexão da luz e visibilidade horizontal
Pode-se dar à superfície a textura	A superfície é lisa e escorregadia

desejada, controlando-se as derrapagens.	quando molhada
Inclinação da seção transversal é pequena, o que permite melhor controle dos veículos	Inclinação da seção é grande, o que dificulta o controle dos veículos
Escoa melhor a água superficial	A rugosidade superficial retém água
A superfície permanece íntegra ao longo do tempo	A superfície deteriora-se e deforma-se prejudicando a segurança

Fonte: Adaptado pelo autor de Mesquita (2001).

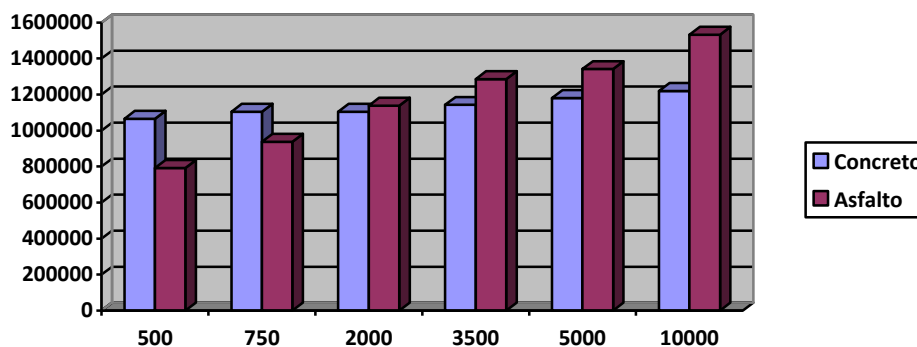
4.3 ESTUDO DE CASO DE VIAS EXECUTADAS EM WHITETOPPING E CBUQ

Conforme demonstrado na tabela 17, o *Whitetopping* se mostra uma alternativa viável na reabilitação de pavimentos flexíveis, quando o volume de veículos de carga for intenso. É possível atestar que a sobreposição do pavimento asfáltico com concreto de cimento Portland (CCP) no revestimento já existente de CBUQ, é vantajosa quando comparado ao Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

Tabela 17 – Comparativo de valores de implantação de vias com *Whitetopping* e CBUQ

VDMc*	CONCRETO (R\$) Km	ASFALTO (R\$) Km
500	1.066.000,40	791.484,50
750	1.104.463,30	938.046,27
2.000	1.104.463,30	1.138.449,29
3.500	1.142.926,20	1.285.548,61
5.000	1.181.389,10	1.341.571,64
10.000	1.219.852,00	1.532.054,61

Fonte: ABCP (2015).

Gráfico 1 - Comparativo de valores de implantação de vias com *Whitetopping* e CBUQ

Fonte: Adaptado pelo autor de ABCP (2015)

*VDMc – Volume diário médio de veículos comerciais.

Como base de dados para comparação, foram analisados os resultados do estudo de tráfego e fluxo realizado pelo DNIT (2015), para a determinação e dimensionamento, do material a ser utilizado na recuperação da pavimentação de uma via:

- VMD mensal = 1.036 para veículos de passeio, coletivo e de carga
- VMD anual = 1.031 para veículos de passeio, coletivo e de carga

O período de projeto (P) foi definido por 10 anos.

- FV pelo Método USACE = 8,133
- FP = 0,5
- FR = 1,0
- $N = 5,37 \times 10^7$ → Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

FV = Fator de veículo. Representa o poder destrutivo que a frota de veículos causará sobre o pavimento;

FP = Fator de pista. Representa a área (faixa de rolamento) a ser destruída pela frota comercial;

FR = Fator climático regional. Representa o efeito da umidade na vida útil do pavimento.

N = Número de repetições (ou operações) dos eixos dos veículos, equivalentes às solicitações do eixo padrão.

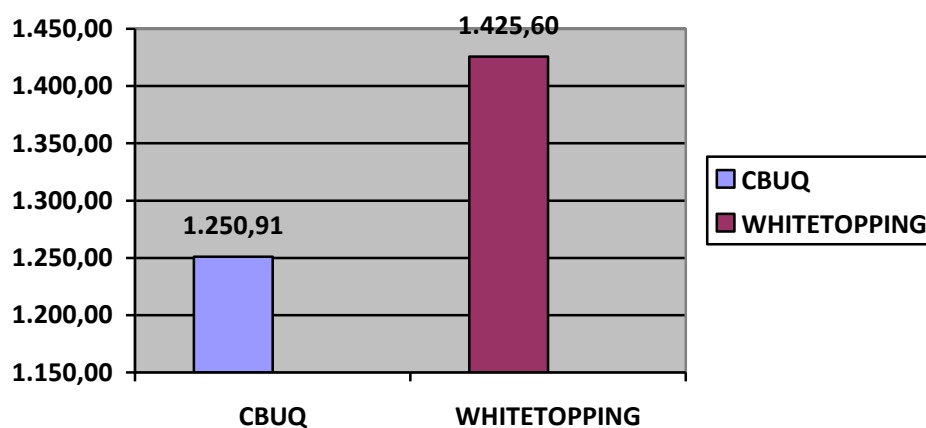
Coefficiente de Equivalência Estrutural:

- Revestimento em CBUQ – $K_r = 2,0$;
- Base de solo granular – $K_b = 1,0$;
- Sub-base de solo granular – $K_{sb} = 1,0$

O revestimento da Pista foi dividido em 2 camadas: capa de rolamento com 5cm de espessura de CBUQ – faixa “C” sobre camada de ligação (Binder) com 7,5 cm de espessura de CBUQ – faixa “B”. A camada de base e sub-base foram ambas dimensionadas com 15 cm de espessura de solo estabilizado granulometricamente sem mistura.

Considerando a Petrobrás como fornecedora do ligante, têm-se os seguintes custos em reais por tonelada:

Gráfico 2 - Comparativo de custo *Whitetopping*/CBUQ



Fonte: Adaptado pelo autor (2018)

Foi produzido para a pavimentação, um total de 33.130,19 toneladas de CBUQ, onde 1.753,181 toneladas são de ligante CAP 50/70. Percebe-se assim um teor de aproximadamente, 5,30% do ligante CAP 50/70. Sabendo, porém, que o teor do ligante é superior ao CAP 50/70 em 10%, o teor de CCP nesse caso seria de

aproximadamente 5,80%. Assim, seriam necessárias 1.921,55 toneladas de ligante CAP 50/70 com adição de Concreto de Cimento Portland.

Os custos com usinagem para a produção do CBUQ para o trecho estudado foram de R\$ 631.408,97, como mostra a tabela abaixo.

Para a realização do estudo comparativo de custo da recuperação de pavimento utilizando *Whitetopping* e CBUQ, segue abaixo a tabela disponibilizada pelo DNIT, onde são demonstradas as quantidades de massa CBUQ que foram necessárias para a realização dos serviços de revitalização e os custos do CBUQ e CCP na tabela 19, e na tabela 18 são apresentados os valores referentes ao custo de usinagem do CBUQ:

Tabela 18 – Custo de Usinagem CBUQ

Descrição dos serviços	Unid.	Quant. de Projeto	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Massa de CBUQ	T	33.130,19	85,25	2.824.480,61
Fornecimento de CAP	T	1.753,18	1.250,91	2.193.071,64
Custo de usinagem (Custo de CBUQ - Custo de ligante CAP)				631.408,97

Fonte: DNIT (2015).

O custo de usinagem para a produção *Whitetopping* é de aproximadamente 80% a mais que o custo de usinagem para a produção do CBUQ convencional, sendo assim, o custo de usinagem para a produção de CCP seria:

$$\text{R\$ } 631.408,97 + 80\% = \text{R\$ } 1.136.536,14$$

Assim, tem-se a tabela comparativa a seguir:

Tabela 19 – Comparativo de usinagem CBUQ e *whitetopping*

GRANDEZA		cálculo	unidade	TIPO DE ASFALTO	
				CBUQ	<i>Whitetopping</i>
A	Quantidade de massa asfáltica de CBUQ/CCP produzida		ton	33130,19	33130,19
B	Quantidade de ligante		ton	1753,18	1921,55
C	Custo de material ligante por tonelada		R\$/ton	R\$ 1.250,91	R\$ 1.425,60
D	Custo total de material ligante	B X C	R\$	R\$ 2.193.070,39	R\$ 2.739.361,68
E	Custo total de usinagem		R\$	R\$ 631.408,97	R\$ 726.120,30
F	Custo total	D + E	R\$	R\$ 2.824.479,36	R\$ 3.465.481,98

Fonte: Adaptada pelo autor de DNIT (2013).

Percebe-se que ao optar por um revestimento de CCP, há um aumento no custo inicial significativo, o que equivale a aproximadamente 82% do valor do CBUQ, quando comparado ao revestimento convencional na recuperação, porém a vida útil estimada faz com que o valor de economia agregado torne esse valor inferior ao que realmente seria gasto com intervenção de manutenção ao longo dos anos.

Figura 7 – Trecho de pavimento em CBUQ – Miranorte - Tocantins



Fonte: DNIT (2013)

A quantidade de massa asfáltica em CBUQ apresenta menor resistência aos esforços solicitantes, e por essa razão os valores volumétricos da massa de CCP podem ser reduzidos, já que no método Whitetopping a espessura da camada de revestimento pode ser até 30% a menos que em CBUQ.

Assim sendo, foi elaborado outro orçamento que segue abaixo:

Tabela 20 - Orçamento dos tipos de asfalto com redução de 30% para *Whitetopping*

GRANDEZA		cálculo	unidade	REVESTIMENTO	
				CBUQ	<i>Whitetopping</i>
A	Quantidade de massa asfáltica de CBUQ produzida		ton	33130,19	23191,13
B	Quantidade de ligante		ton	1753,18	1345,08
C	Custo de material ligante por tonelada		R\$/ton	R\$ 1.250,91	R\$ 1.425,60
D	Custo total de material ligante	B X C	R\$	R\$ 2.193.070,39	R\$ 1.917.546,05
E	Custo total de usinagem		R\$	R\$ 631.408,97	R\$ 441.986,22
F	Custo total	D + E	R\$	R\$ 2.824.479,36	R\$ 2.359.532,27

Fonte: Adaptada pelo autor de DNIT (2013)

Percebe-se que há uma redução de custo de aproximadamente 30% ao reduzir a espessura do revestimento em 30% com o uso de CCP. A porcentagem de redução é dada pelo seguinte cálculo:

- % redução de custo =
$$\frac{(2.824.479,36 - 2.359.532,27) \times 100}{2.824.479,36} = 16,5\%$$

4.4 COMPARAÇÃO DO CUSTO DE RECUPERAÇÃO DE UMA VIA UTILIZANDO CBUQ E *WHITETOPPING*

Conforme demonstrado na tabela 21, o *Whitetopping* se mostra uma alternativa viável na implantação e conseqüentemente na reabilitação de pavimentos flexíveis, quando o volume de veículos de carga for intenso. É possível atestar que a sobreposição do pavimento asfáltico com concreto de cimento Portland (PCC) é vantajoso quando comparado ao Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

Tabela 21 – Comparativo de valores de implantação de vias com *Whitetopping* e CBUQ

VDMc*	CONCRETO (R\$) Km	ASFALTO (R\$) Km
500	1.066.000,40	791.484,50
750	1.104.463,30	938.046,27
2.000	1.104.463,30	1.138.449,29
3.500	1.142.926,20	1.285.548,61
5.000	1.181.389,10	1.341.571,64
10.000	1.219.852,00	1.532.054,61

Fonte: ABCP (2015).

*VDMc – Volume diário medico de veículos comerciais.

O estudo apresentado por Mesquita (2001) demonstrou um comparativo de custos para recuperação de uma via na região centro oeste do Brasil. Estão expostos nas tabelas os valores referentes a análise econômica comparativa entre o sistema convencional em CBUQ e *Whitetopping*.

Os valores apresentados na coluna Reduções representam a diferença entre os valores gastos (custos) e os valores economizados (Benefícios individuais), demonstrando então, as reduções obtidas nos custos de construção e de Conservação/operação, que perfaz o valor economizado no prazo de 20 anos quando empregado o sistema *Whitetopping*.

Ficou apurado que, ao considerar o valor corrente, a opção pelo *Whitetopping* traria uma economia de R\$ 729.632,91/Km, conforme apontado nas tabelas 22 e 23:

Tabela 22 - Análise comparativa de custo entre CBUQ x *Whitetopping*

Análise Econômica Comparativa					
CBUQ x <i>Whitetopping</i> (em R\$/Km)					
Construção			Conservação/Operação		
Custos		Reduções	Custos		Reduções
CBUQ	CCP/WT	CUSTO	CBUQ	CCP/WT	BENEFÍCIO
491.939,40	634.259,10	142.319,70	492.631,83	443.345,96	-49.285,87

Fonte: Adaptada de Mesquita (2001)

Tabela 23 – Valores totais de economia estimados

Reduções nos Custos (R\$/Km)		POUPANÇA LIQUIDA		TIR
		1 Km	97,389 Km	
Construção	Conservação/Operação	Valor (R\$)	Total (R\$)	
CUSTO	BENEFÍCIO			
-142.319,70	729.632,91	587.313,21	57.197.846,21	38,35%

Fonte: Adaptado de Mesquita (2001)

Conforme demonstrado nas tabelas 22 e 23, a opção do *Whitetopping* como sistema de recuperação de vias possibilita economia significativa aos cofres públicos, e, portanto, apresenta o benefício social do custo racionalizado.

Nos Estados Unidos, onde a técnica de recuperação de pavimentos rodoviários com o sistema *Whitetopping* é mais difundida, estudos realizados pela *American Concrete Pavement Association* (ACPA - EUA), demonstraram que esse sistema proporciona economia significativa de combustível quando comparado com o rendimento de veículos trafegando em pavimento flexível.

A tabela 24, apresenta uma síntese do estudo da ACPA, em que a economia de combustível aferida e a redução na emissão de poluentes foi gerada por um veículo de transporte de carga pesada, do tipo Carreta (cavalo mecânico e implemento), com quilometragem anual de 160.000.

Tabela 24 – Economia de combustível em pavimento *Whitetopping*

Economia de combustível (%)	Economia de combustível Gal (l)	Economia de combustível (dólares)	CO2	NOx* lb (kg)	SO2** lb (kg)
Mínimo 0,80	145 (549)	435	1,66	37,2(16,9)	4,80(2,18)
Média 3,85	700 (2650)	2100	8,06	182(82,6)	23,0(10,4)
Máximo 6,90	1250 (4730)	3760	14,4	327(148)	41,3(18,7)

Fonte: Adaptado pelo autor de ACPA (2015)

*Óxido de Nitrogênio

** Dióxido de carbono

Giublin; Maschio (2006) apresentaram um estudo sobre a reabilitação estrutural com pavimento de concreto de uma rodovia federal localizada no sul do Brasil e tratou dos trechos recuperados entre os km 23+160 e km 25+800; km 32+310 e km 39+760 e km 48+000 até km 54+545, da pista norte, utilizando-se da técnica de *Whitetopping*.

Figura 8 – Trecho de pavimento em *Whitetopping* na BR 290



Fonte: GIUBLIN, MASCHIO (2006).

Nos pontos estudados o pavimento existente era composto pelas camadas de revestimento asfáltico com áreas recapeadas, base de brita graduada tratada com 4% de cimento Portland (BGTC) e espessura de projeto de 15 cm. A Sub-base no local era em solo residual jovem composto de arenito de formação Botucatu (eólico), apresentando características de textura de areia e silte, com espessura de 33 cm.

O trecho remanescente era composto por três faixas de rodagem, sendo duas de 3,50 m de largura e uma de 3,00 m, além do acostamento de 2,00 m de largura no bordo externo. Após a recuperação com *Whitetopping* a via de tráfego passou a ser composta por três faixas de tráfego com 3,75m de largura executadas em pavimento de concreto.

No estudo realizado por Giublin; Maschio (2006), a metodologia empregada no cálculo da dosagem do traço para o concreto a ser utilizado nas vias foi o do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), onde ficaram determinados os seguintes valores:

Tabela 25 - Estudo do traço de concreto para pavimentação em *Whitetopping*

Descrição	Traço 1 (2000)	Traço 2 (2001)	Traço 3 (2002)
Cimento (kg)	411	398	395
Areia (kg)	807	655	649
Brita n.1 (kg)	447	632	627
Brita n.2 (kg)	671	584	579
Água (l)	160	179	186
Plastificante (l)	0,88	1,99	1,38
Teor de Argamassa (%)	52,1	46,4	46,4
A (%)	6,9	8,2	8,2
Abatimento (mm)	20±10	50±10	40±10
Fator A/C	0,39	0,45	0,47
Densidade (kg/m ³)	2.496	2.448	2.436
Pavimentadora de formas deslizantes	SP 500	SF 3004F	SF 3004F
Resistência à tração - 7 dias (MPa)	5,0	4,8	4,4
Resistência à tração - 28 dias (MPa)	5,3	5,1	4,7
Resistência à compressão - 7 dias (MPa)	39,2	37,9	36,5
Resistência à compressão - 28 dias (MPa)	41,8	40,2	39,7

Fonte: Adaptado pelo autor de Giublin; Maschio (2006).

O resultado encontrado segundo os autores foi bastante satisfatório, já que poucos problemas foram apresentados no decorrer dos anos seguintes, o que demandou menos intervenções de recuperação do pavimento e menor periodicidade nos trabalhos de manutenção e de conservação da via, possibilitando o fim de interrupções de tráfego para tais serviços, e, conseqüentemente, fazendo com que a rodovia se tornasse mais eficiente para os usuários, com ganhos em segurança e conforto durante o trajeto na rodovia.

4.4.1. Demonstração de custos para recuperação de pavimentos em *whitetopping* e CBUQ

Os valores apresentados são relativos ao serviço de recuperação de pavimento asfáltico e equivalentes para trecho de 01 (um) quilômetro de via com condições ideais de topografia e pavimento existente.

A tabela 26 expõe o custo de recuperação de 1 km de via em Pavimento de Concreto de Cimento Portland/*Whitetopping* (CCPWT), com espessura de 17 cm com dimensionamento elaborado para a evolução do tráfego por um período de projeto de 20 anos, em conformidade com os parâmetros estipulados pela Associação Brasileira de Cimento Portland.

Tabela 26 – Custo de recuperação de 1 km de pavimento em *Whitetopping*

Equipamento	Quant	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
Usina de concreto	1	1,00	0,00	569,13	56,12	569,13
Pá-carregadeira/pneu	1	0,50	0,50	97,14	44,70	70,92
Réguas Vibratórias	1	1,00	0,00	40,09	25,98	40,09
Caminhão Betoneira	2	0,64	0,36	108,56	56,32	179,51
Serra de Disco	1	0,20	0,80	3,29	2,33	2,52
Vibrador de Imersão	4	0,42	0,58	1,96	1,76	7,38
A)Total						869,55

Mão de Obra suplementar	Padrão Salarial (%)	Quant	Salário Base (h)	Custo Horário
Mestre	465	1	3,18	17,97
Pedreiro	305	2	0,87	7,05
carpinteiro	110	2	0,91	3,82
Servente	35	4	0,69	3,73
B)Total				32,57

Materiais	Uni	Custo	Consumo	Custo Unitário
Cimento Portland	Kg	0,22	16000,0000	3.520,00
Brita	m ³	15,00	32,8000	492,00
Areia	m ³	9,30	20,4000	189,72
Aditivo	Kg	1,77	25,5280	45,18
Produto de Cura Química	Kg	2,63	10,1200	26,62
Aço	Kg	0,62	61,6000	38,19
Selante	Kg	12,13	1,2920	15,67
Isolante	m ²	0,27	40,0000	10,80
Disco de serra	ud	195,00	0,0168	3,28

Fôrma	m	1,48	11,4400	16,93
C) Total				4.358,39

D) Custo Horário Total (R\$)	(A+B+C) 5.260,51
E) Produção da Equipe (m³/h)	40,0000
F) Custo Unitário (D/E) (R\$/m³)	131,51

Transporte (DMT < 80Km; y = 0,22x) R\$/t	DMT	Unidade	Custo	Quantidade	Custo Unitário	
Cimento Portland	50	t	11,00	0,40000	4,40	
Brita	1,35 t/m ³	50	m ³	11,00	1,10700	16,44
Areia	1,52 t/m ³	50	m ³	11,00	0,77520	8,53
G) Total					29,37	

H) Custo Unitário Total (F+G) R\$/m³	160,88
I) Bonificação (DNER) 35,80 %	57,59
Custo Unitário Total (R\$/m ³)	218,47

$$\frac{\text{Custo/KmL}}{L} = 9,00 \text{ mR\$ } 334.259,10$$

Fonte: Adaptado pelo autor de Mesquita (2001)

Conforme os dados expostos por Mesquita (2001), a recuperação do pavimento asfáltico seguindo o padrão convencional empregando CBUQ tem previsão de vida útil de 6 anos, podendo ser reduzido em alguns casos para 5 ou 4 anos, conforme o desgaste ocasionado pelo tráfego intenso, e assim se faz necessária intervenção de correção do desgaste superficial através da aplicação, de uma camada com espessura de 3 cm de CBUQ (R\$ 91.424,70/Km), precedida de fresagem de 2 cm (R\$ 14.409,00/Km) e *pintura de ligação* (R\$ 9.090,00/Km), perfazendo, três camadas durante os 20 anos do estudo, com um custo total de R\$ 114.923,70/Km por camada.

A tabela 27 apresenta os valores do custo de recuperação através da adoção do sistema convencional em CBUQ.

Tabela 27 - Custo de recuperação de 1km de pavimento em CBUQ

Equipamento	Modelo	Quant	Utilização		Custo Operacional		Custo horário
			Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
Usina de asfalto	UA2-30/40	1	1,00	0,00	619,98	67,09	619,98
Pá-carregadeira/pneu	924F	1	0,50	0,50	97,14	44,70	70,92
Vibro-acabadora/esteira	SA-114C	1	0,50	0,50	59,11	34,37	46,74
Rolo autopropelido/pneus	SP-8000	1	0,50	0,50	55,03	27,31	41,17
Rolo tanden	TH-10	1	0,40	0,60	49,67	24,56	34,60
A) Total							813,41

Mão de Obra suplementar	Padrão Salarial (%)	Quant	Salário Base (h)	Custo Horário
Encarregado	465	2	1,65	18,65
Servente	35	9	1,65	20,05
B) Total				38,70

Materiais	Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
Cimento Asfáltico CAP85/100	t	619,00	2,80000	1.733,20
Brita 1	m ³	14,19	23,00000	326,37
Areia média	m ³	3,03	14,70000	44,54
Pó de pedra (filler)	t	183,00	1,20000	219,60
C) Total				2.323,71
D) Custo Horário Total (A+B+C)				3.175,82
E) Produção da Equipe (t/h)				40,0000
F) Custo Unitário (D/E) R\$/t				79,40

Transporte (DMT < 80Km; y = 0,22x)	R\$/t	DMT	Unidade	Custo	Quantidade	Custo Unitário
Cimento Asfáltico CAP85/100		50	t	11,00	0,07000	0,77
Brita 1	1,35 t/m ³	50	m ³	11,00	0,77625	11,53
Areia média	1,52 t/m ³	50	m ³	11,00	0,55860	6,14
Pó de pedra (filler)		50	t	11,00	0,03000	0,33
G) Total						18,77

H) Custo Unitário Total (F+G) R\$/t	98,17
I) fator de conversão (1m³ = 2,540t) Custo Unitário (D/E) R\$/m³	249,35
J) Bonificação (DNER) 35,80%	89,26

Custo Unitário Total (R\$/m ³)	338,61
Custo/Quilometro L = 9,00 m (R\$)	182.849,40

Fonte: Adaptada pelo autor de Mesquita (2001)

A análise das tabelas 26 e 27 demonstra que o custo inicial da pavimentação em CBUQ é inferior em relação aos serviços executados em *Whitetopping* (Concreto de Cimento *Portland* - CCP), porém, ao considerar a maior vida útil do pavimento de concreto em relação ao pavimento asfáltico, a diminuição considerável das manutenções, acarreta uma economia maior aos cofres públicos e diminui eventuais transtornos.

O *Whitetopping* se caracteriza pela recuperação de pavimentos asfálticos já danificado, que após alguns pequenos reparos recebe uma camada de concreto sem armação, reabilitando aquele pavimento e o tornando apto às novas trafegabilidades. Para estradas com grande fluxo de tráfegos pesados, é uma técnica que condiz com a atual necessidade de reabilitação da extensa malha rodoviária brasileira (DNIT, 2004).

Conforme demonstrado nos trabalhos técnicos estudados, por ser um pavimento de concreto, o *Whitetopping* apresenta benefícios quando comparado ao concreto asfáltico. Possui capacidade de receber tráfegos de veículos de cargas pesadas, pela sua cor clara, possibilita maiores economias de energia elétrica e maior visibilidade contribuindo com a segurança, sujeito a menores patologias e vida útil superior, o que conseqüentemente diminui frequentes manutenções.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo tratou da análise de viabilidade de recuperação de pavimentação asfáltica comparando o emprego do sistema convencional em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) (flexível) e o sistema *Whitetopping* (rígido), tendo como finalidade demonstrar as vantagens técnicas e financeiras da adoção de cada um dos sistemas estudados e dessa forma apontar aquele que mais benefícios proporcionam aos usuários, sociedade e meio ambiente.

O aumento significativo do volume de cargas transportadas nas últimas décadas fez com que a malha rodoviária brasileira aumentasse na mesma proporção dessa expansão dos modais cargueiros, fazendo crescer também em quantidade exponencial, a quantidade de veículos transportadores trafegando pelas rodovias brasileiras.

Devido ao processo natural de desgaste dos pavimentos, o poder público precisou, ao longo do tempo, buscar soluções para o problema da deterioração do pavimento existente. As estradas precisavam estar transitáveis em qualquer época do ano, e para isso, foram estudados sistemas de revestimentos asfálticos que pudessem agregar qualidades e benefícios perceptíveis aos usuários das vias.

Os estudos de caso analisados demonstraram que o sistema construtivo *Whitetopping* se enquadra dentro dessas demandas, já que se mostrou resistente às cargas pesadas, aumentou o conforto e a segurança dos usuários e, por se tratar de um processo com ciclo menos degradante do ponto de vista ambiental, trouxesse consigo benefícios ao meio ambiente, aperfeiçoando as estradas de tal forma que o custo pôde ser diminuído no decorrer do tempo de uso dessas vias.

O sistema *Whitetopping* proporciona aos usuários, conforto, segurança e uma diminuição nos possíveis problemas dos veículos, incrementa o processo socioeconômico do país. Conforme apontado em estudos técnicos oficiais, uma rodovia em mau estado de conservação representa maior consumo de combustível, aumenta o custo de manutenção do veículo, aumenta o tempo da viagem e aumento do número de acidentes, e isso tem um valor significativo na economia do país.

Sabendo da importância do pavimento asfáltico para toda a sociedade e da grande disponibilidade de matéria prima no Brasil, descobriu-se que poderia ser

vantajosa a adoção do *Whitetopping* na recuperação de rodovias com grande fluxo de veículos de transporte de cargas.

O sistema *Whitetopping* proporciona ao pavimento maior resistência às cargas a qual o mesmo é submetido, além de tornar trechos recapeados mais resistentes ao envelhecimento e ao aparecimento de deformações (trilhas de rodas). Quando se compara o sistema *Whitetopping* com o asfalto convencional em CBUQ, o sistema alternativo apresenta maior durabilidade, redução de ruído, segurança na dirigibilidade, economia de combustível significativa, e conforto aos usuários.

Além de contribuir mecanicamente para o pavimento devido às inúmeras vantagens que possui, o *Whitetopping* é ecologicamente benéfico, pois usa matéria prima com ciclo de produção menos degradante que o CBUQ, além de não produzir fumaça tóxica durante sua produção, evitando a proliferação de doenças e poluição do meio ambiente.

Ao realizar um comparativo de custo entre o sistema *Whitetopping* e o sistema com CBUQ, o revestimento de 12,5cm com o uso de *Whitetopping*, o sistema convencional demonstrou um aumento na execução, porém, esse gasto se mostrou vantajoso a longo prazo. O valor economizado no período de uso de 20 anos para o sistema *Whitetopping* apurado no estudo de caso apresentado foi de R\$ 729.632,91 por quilometro.

O *Whitetopping* também demonstrou redução na susceptibilidade térmica quando comparado ao CBUQ, fazendo com que o pavimento rígido seja mais resistente mesmo quando submetido à diferentes variações de temperatura e intempéries. Também demonstrou melhor desempenho na prevenção de patologias comuns aos pavimentos, como resistência à propagação de trincas, formação de trilhas de rodas, afundamento, exsudação, evitando assim, os constantes gastos com restaurações asfálticas.

O sistema em CBUQ apresenta menor aderência pneu-pavimento e maiores níveis de ruído e trepidação, o que resulta em desconforto aos usuários, além ser menos seguro por reter água e aumentar o risco de aquaplanagem em situações de chuva ou acúmulo de poças d'água. É ecologicamente vantajoso também, pois reduz a poluição ligada ao processo de produção e a proliferação de doenças decorrentes de fumaça e poeira.

Com a possível redução de espessura ao optar pelo *Whitetopping*, o custo ainda pode se tornar inferior ao revestimento com CBUQ convencional em alguns

casos. Além das várias vantagens anteriormente citadas, o custo do pavimento estudado se torna inferior e o tempo de execução também acaba sendo menor, pois o volume de massa asfáltica se torna menor, devido à diminuição de espessura.

Portanto, foi possível comprovar que é vantajoso tanto no custo, quanto em benefícios à utilização do sistema *Whitetopping* tanto na implantação, quanto na recuperação de pavimentação asfáltica.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. O substituto eventual do DIRETOR-GERAL da AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS ANP, de acordo com o disposto no § 3º do art. 6º do Anexo I ao Decreto nº 2.455, de 14 de janeiro de 1998. Resolução n. 19, de 11 de julho de 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6576**: Materiais asfálticos - Determinação da penetração. Rio de Janeiro: Abnt, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro: Abnt, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: Abnt, 2011. 19 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro: Abnt, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: Abnt, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro: Abnt, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: Abnt, 2009. 11 p.

BALBO, J. T. **Contribuição à análise estrutural de reforços com camadas ultradelgadas de concreto de cimento Portland sobre pavimentos asfálticos (whitetopping ultradelgado)**. Tese. São Paulo: EPUSP, 1999.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARUFI, Bruno Rafaele. **VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DO CBUQ 2 CM AO TST PARA PAVIMENTAÇÃO (TRÁFEGO LEVE) DE VIAS URBANAS**. 2013. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

BERNUCCI, Liedi Barianiet al. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás: Abeda, 2008. 475 p.

BORRINUEVO, Maisa et al. Descrição das Etapas do Licenciamento Ambiental das Obras de Apoio à Pavimentação da Rodovia Caminhos da Neve (SC-114). Revista

Geografia Acadêmica, Santa Catarina, v. 8, n. 1, 2014. Disponível em: Acesso em: 17 abr. 2015.

BRASIL. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes. **DNIT**. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Glossário de Termos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 1997. 296p.

BRASIL. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes. **DNIT**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. 274p.

BRASIL. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes. **DNIT**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 310p.

BRASIL. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes. **DNIT**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de recuperação de pavimentos rígidos**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 140p.

COELHO JÚNIOR, Márcio Lemos Pinto; ROCHA, Pedro Henrique Teles. **Estudo preliminar de misturas asfálticas à quente utilizadas em obras de pavimentação na região metropolitana de Goiânia**. 2013. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Goiás, Goiania, 2013

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ET-DE-P00/027**: Concreto Asfáltico. São Paulo: Diretoria de Engenharia, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 068 – ES – Pavimento Rígido – Execução de camada superposta de concreto do tipo whitetopping por meio mecânico – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 047/2004 - ES Pavimento rígido - execução do pavimento rígido com equipamento de pequeno porte - especificação do serviço**. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 14 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 048/2004 Pavimento rígido - execução do pavimento rígido com equipamento de fôrma-trilho - especificação do serviço**. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 15 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 049/2013: Pavimento rígido - execução do pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes - especificação do serviço**. Rio de Janeiro: Abnt, 2013. 15 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **031/2006: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **DNIT 005 – TER** – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **DNIT 061 – TER**: Pavimentos rígidos – defeitos - terminologia. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **DNIT 095/2006**: Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa, 2006.

EPUSP-LMP/ABCP. **Pesquisa para o desenvolvimento de subsídios de projeto para a tecnologia emergente de reforços de pavimentos flexíveis com camadas ultradelgadas de concreto de cimento Portland - whitetopping ultradelgado – fase I. Relatório Final**. São Paulo: LMP-EPUSP/ABCP, (1998).

GONZÁLES, Marco Aurélio Stumpf. **Notas de Aula da Disciplina: Noções de Orçamento e Planejamento de Obras**. Curso de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo – RS, 2008. Disponível em: <http://engenhariaconcursos.com.br/arquivos/Planejamento/Nocoesdaorcamentoeplanejamentodeobras.pdf> Acesso em: 23 nov. 2017

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de Aula da Disciplina: Pavimentação**. Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - MG, S.d. Disponível em: <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo1.pdf>. Acesso em: 01 out. 2017

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras**. 2006. MATTOS, Aldo Dórea. Como preparar orçamentos de obras. São Paulo: Pini, 2006.

SANTOS, Altair. Conferência debate novos conceitos e aplicações de tecnologias mistas para estradas federais, a partir das concessões que tem sido viabilizadas. 2014. **Rodovias do futuro tendem a unir concreto e asfalto**. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/rodovias-do-futuro-tendem-a-unir-concreto-e-asfalto/>. Acesso em 10 set. 2017

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**: volume 1. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de projetos rodoviários**. São Paulo: Pini, 2008.

WESSELING, Diego Henrique. **Avaliação Laboratorial do Comportamento de Misturas em Concreto Asfáltico**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2002.

APÊNDICES

RESULTADO DO RELATÓRIO ANTI-PLÁGIO DE ACORDO COM COPYSPIDER

Relatório anti-plágio gerado pelo *Copyspider*

Arquivo encontrado		Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
prezi.com/cikphmdkj...	Visualizar	931	238	1,7
lume.ufrgs.br/bitstr...	Visualizar	18975	444	1,39
itacarambi.mg.gov.br...	Visualizar	710	43	0,3
pedreiro.com.br/mis...	Visualizar	524	30	0,21
homify.com.br/livros...	Visualizar	1539	19	0,12
abcp.org.br/cms/down...	Visualizar	415	4	0,02
noticiasdatv.uol.com...	Visualizar	784	4	0,02

CopySpider

Arquivo Ferramentas Ajuda

Ad. arquivo Ad. URL Iniciar Parar Limpar Opções

E-mail: nayana-azevedo@hotmail.com Modo de pesquisa: Buscar em arquivos da internet

Nome do arquivo de entrada	Relatório	Tempo	Progresso	Chance	Status	Principal	Remover
C:\Users\NayanaLara\Documents\Ulbra\11 periodo\TCC 2\TCC ...	Analisar	00:07:56	100%	1,7%	Ok		✖

CopySpider
Anti-plágio

Versão: 1.3.2