

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ADRIANO LEANDRO DE ARAÚJO

PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA:
uma alternativa para as faixas exclusivas de ônibus na cidade de São Luís

SÃO LUÍS
2019

ADRIANO LEANDRO DE ARAÚJO

PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA:

uma alternativa para as faixas exclusivas de ônibus na cidade de São Luís

Monografia apresentada pelo Acadêmico Adriano Leandro de Araújo como pré-requisito para a conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão.

Orientador: Dr. George Fernandes Azevedo

SÃO LUÍS
2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a). Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Araújo, Adriano Leandro de.

PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA : uma alternativa para as faixas exclusivas de ônibus na cidade de São Luís / Adriano Leandro de Araújo. - 2019.

45 p.

Orientador(a): Prof. Dr. George Fernandes Azevedo.
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,
Universidade Federal do Maranhão, SÃO LUÍS, 2019.

1. Concreto. 2. Pavimentação flexível. 3. Pavimentação rígida. 4. Rodovia. I. Azevedo, Prof. Dr. George Fernandes. II. Título.

ADRIANO LEANDRO DE ARAÚJO

PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA:

uma alternativa para as faixas exclusivas de ônibus na cidade de São Luís

Monografia apresentada pelo Acadêmico Adriano Leandro de Araújo como pré-requisito para a conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão.

Aprovada em: _____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA:

Dr. George Fernandes Azevedo (Orientador)

Dr. Rodrigo da Cruz de Araújo (Avaliador)

Dr. Paulo Cesar de Oliveira Queiroz (Avaliador)

“A senhor Deus todo poderoso por nos dar a capacidade para chegarmos a esse objetivo.”

AGRADECIMENTOS

À Deus todo poderoso, sabedor de todas as coisas, nosso protetor, e por sua bondade, agradeço por tudo que tenho e sou.

Aos meus pais, José Evangelista de Araújo e Maria Neres Leandro, pelos ensinamentos e exemplos de cidadania, tornando possível minha trajetória educacional e profissional.

A minha esposa Olga Nadimme Silva Rabelo de Araújo, pelo amor, suporte, companheirismo e compreensão. Verdadeiro presente de Deus.

Ao meu Orientador, Professor Doutor George Fernandes Azevedo, pela interação e orientação durante todo decorrer do trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do trabalho.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

RESUMO

O presente trabalho procura apresentar a pavimentação rígida como alternativa a ser utilizada nos corredores de ônibus criados na cidade de São Luís. Para tanto delimitou-se sobre o histórico da pavimentação no Brasil e no mundo; os tipos de pavimentação; os critérios de escolha dos materiais para os diferentes tipos de pavimentação; as formas de dimensionamento para os pavimentos flexíveis e rígido; apresentação de importantes obras que escolheram a pavimentação rígida no Brasil, avenidas em São Luís que apresentam muita deterioração e uma análise de desempenho e custo benefício entre os pavimentos rígidos e flexíveis. A metodologia utilizada caracterizou-se como pesquisa bibliográfica, com abordagem qualitativa. As informações qualitativas estão embasadas em levantamentos de grandes obras de pavimentação rígida no Brasil, nas quais a escolha de algumas se deu por serem bem antigas e ainda estarem em uso sem grandes manutenções e outras obras mais modernas de corredores de ônibus (BRT) no Brasil que mesmo sendo inauguradas há mais de uma década estão mantendo ótima conservação e condições de rolamento. Chegou-se à conclusão que devido aos enormes gastos com manutenção das vias que apresentam problemas na sua pavimentação, decorrente de excesso de peso, altas temperaturas e frenagens é de suma importância para os gestores reavaliar o tipo ideal de pavimentação para determinadas vias, além de avaliar o desempenho dos grandes corredores de ônibus (BRT) no Brasil que utilizaram pavimentação rígida, substituindo os antigos pavimentos flexíveis que se encontravam deteriorados e aplicar nas grandes faixas exclusivas de ônibus criadas em São Luís, que possuem as mesmas características de tráfego do BRT. Após analisados os vários aspectos apresentados neste trabalho, pode-se concluir que nos terminais de integração e em suas vias de acesso, a pavimentação rígida seria mais indicada para esses locais específicos, assim como nas paradas de ônibus fora dos terminais e faixas exclusivas de ônibus. Essas deformações e deteriorações nas vias causam grandes transtornos para a grande população que usa esse serviço.

Palavras-chave: Pavimentação flexível. Pavimentação rígida. Rodovia. Concreto.

ABSTRACT

The present work seeks to present rigid paving as an alternative to be used in bus corridors created in the city of São Luís. For this, the history of paving in Brazil and in the world was outlined; types of paving; the criteria for choosing materials for the different types of paving; the forms of sizing for flexible and rigid pavements; presentation of important works that chose rigid paving in Brazil, avenues in São Luís that show a lot of deterioration and a performance and cost benefit analysis between rigid and flexible pavements. The methodology used was characterized as a bibliographic research, with a qualitative approach. The qualitative information is based on surveys of large rigid paving works in Brazil, where the choice of some was due to being very old and still in use without major maintenance and other more modern works of bus corridors (BRT) in Brazil that even being inaugurated for more than a decade are maintaining optimum conservation and rolling conditions. It was concluded that due to the enormous expenses with maintenance of the roads that present problems in its paving, due to excess weight, high temperatures and braking, it is very important for managers to reassess the ideal type of paving for certain roads, besides to evaluate the performance of the large bus corridors (BRT) in Brazil that used rigid paving, replacing the old flexible pavements that were deteriorated and applied in the large exclusive bus lanes created in São Luís, which have the same BRT traffic characteristics. After analyzing the various aspects presented in this work, it can be concluded that in the integration terminals and in their access routes, rigid paving would be better suited to these specific locations, as well as in bus stops outside the terminals and exclusive bus lanes. These deformations and deteriorations in the roads cause great inconvenience to the large population that uses this service.

Keywords: Flexible paving. Rigid flooring. Highways. Concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Pastas e concretos.....	17
Figura 2-	Porosidade no concreto.....	18
Figura 3 -	Rodovia Itaipava – Teresópolis (mais de 90 anos em serviço).....	19
Figura 4 -	Comparação entre a concentração de tensões no concreto com e sem fibras....	21
Figura 5 -	Esquema de uma seção transversal de um pavimento flexível.....	23
Figura 6 -	Corte transversal de um pavimento flexível.....	25
Figura 7 -	Deformação elástica pela carga no pavimento flexível.....	25
Figura 8 -	Esquema de uma seção transversal de um pavimento rígido.....	26
Figura 9 -	Perfil de pavimento de concreto simples, com barra de transferência.....	27
Figura 10 -	Comparação entre pavimentos de concreto com armadura distribuída de forma descontínua e continuamente armado, respectivamente.....	28
Figura 11 -	Texturização em pavimento de concreto.....	29
Figura 12 -	Rodoanel Mário Covas – Trecho Oeste.....	30
Figura 13 -	Linha verde Sul nos corredores de ônibus em Curitiba – PR.....	31
Figura 14 -	Avenida terceira perimetral em Porto Alegre.....	31
Figura 15 -	Avenida Antônio Carlos em BH com pavimentação rígida.....	32
Figura 16 -	Rodovia Castelo Branco – São Paulo.....	33
Figura 17 -	Via deteriorada na entrada do Terminal de Integração da Beira Mar.....	38
Figura 18 -	Pista apresentando deformações na Avenida Jeronimo de Albuquerque.....	39
Figura 19 -	Vias de acesso que interligam Terminal da Cohama.....	39
Figura 20 -	Via de acesso ao Terminal da Cohab.....	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CCP: Concreto de Cimento Portland

CNT: Confederação Nacional dos Transportes

CNTTL: Confederação Nacional dos Trabalhadores em Transporte e Logística

DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Justificativa.....	13
1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos.....	14
1.3	Estrutura do trabalho.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Histórico da Pavimentação.....	15
2.2	Tipos de pavimentação.....	16
2.2.1	Pavimento flexível.....	17
2.2.2	Pavimento rígido e suas variações.....	18
<u>2.2.2.1</u>	<u>Concreto simples.....</u>	<u>18</u>
<u>2.2.2.2</u>	<u>Concreto tipo whitetopping.....</u>	<u>19</u>
<u>2.2.2.3</u>	<u>Pavimento rígido estruturalmente armado.....</u>	<u>20</u>
<u>2.2.2.4</u>	<u>Pavimento de concreto com adição de fibras metálicas.....</u>	<u>20</u>
2.3	Critérios de escolha dos materiais para os diferentes tipos de pavimentação.....	22
2.4	Dimensionamento dos pavimentos.....	22
2.4.1	Dimensionamento de pavimentos flexíveis.....	23
2.4.2	Dimensionamento de pavimentos rígidos.....	24
3	APRESENTAÇÃO DE GRANDES OBRAS COM PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA NO BRASIL.....	25
3.1	Apresentação de grandes obras com pavimentação rígida no Brasil.....	29
3.1.1	Rodovia Mário Covas – trecho oeste.....	29
3.1.2	Linha verde sul do BRT em Curitiba.....	30
3.1.3	Corredor da Avenida Terceira perimetral em Porto Alegre – RS.....	31
3.1.4	BRT Antônio Carlos em Belo Horizonte – MG.....	32
3.1.5	Rodovia Castelo Branco em São Paulo.....	32
4	METODOLOGIA.....	34
4.1	Tipos de pesquisa.....	34
5	ANÁLISE DE DESEMPENHO E CUSTO BENEFÍCIO ENTRE OS	

	PAVIMENTOS RÍGIDO E FLEXÍVEL.....	36
5.1	Avenidas em São Luís apresentando deterioração.....	38
5.1.1	Avenida Beira Mar.....	38
5.1.2	Avenida Jeronimo de Albuquerque.....	39
5.1.3	Via que interliga Terminal da Cohama.....	39
5.1.4	Terminal da Cohab.....	40
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

Para Rocha (2015), a partir da década de 1940, o Brasil iniciou seu processo de industrialização, começando a substituir o transporte ferroviário pelo Rodoviário devido à facilidade que o mesmo trouxe por interligar os grandes centros urbanos, o que contribuiu com a atual formação da matriz de transporte do Brasil. Após essa escolha do transporte rodoviário como principal modal, houve a necessidade de trazer infraestrutura para melhor desenvolvê-lo, impulsionando o processo de pavimentação das estradas.

Segundo o Anuário da Confederação Nacional dos Transportes (CNT) (2018), “o transporte rodoviário é responsável pelo tráfego de aproximadamente 90% dos passageiros e de mais de 60% das cargas que circulam no país”. Assim, investir em uma rodovia com pavimento de boa qualidade gera um impacto direto no desempenho do transporte rodoviário e na economia do Brasil, diminuindo o custo operacional do transporte com conforto e segurança para passageiros e cargas.

AUTOO (2017) diz que o Brasil precisaria gastar cerca de 57,08 bilhões somente para a recuperação das rodovias e conseqüentemente reduzir custos na hora de escoar e transportar produtos. A estimativa foi apresentada pela concessionária CCR RodoNorte, no 5º Fórum de Agricultura da América do Sul, promovido pelo Agronegócio Gazeta do Povo, em Curitiba. O valor é bem superior ao total de recursos de R\$ 21,5 bilhões do Ministério dos Transportes no mesmo ano, de acordo com dados compilados pelo sistema de Transparência Orçamentária da Diretoria de Análise de Políticas Públicas da Fundação Getúlio Vargas.

Segundo Bernucci (2008, p. 09), pavimentar é fazer o incremento de estruturas de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, com o objetivo principal de propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança, podendo ser classificados como pavimentação rígida, semirrígida ou flexível, dependendo do tipo revestimento.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2006), os pavimentos flexíveis são assim chamados por sofrerem deformações elásticas significativas em todas suas camadas, sendo a carga decorrente do tráfego distribuída de forma aproximadamente equivalente a todas elas, causando um campo de tensões muito concentrado nas proximidades do ponto de aplicação da carga e exigindo que as camadas do pavimento sejam mais espessas a fim de proteger o subleito do pavimento. Já os pavimentos rígidos são pouco deformáveis verticalmente, pois são constituídos por revestimentos com

elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, por isso, absorvem praticamente todas as tensões provenientes do tráfego, distribuindo-as em uma grande área de maneira semelhante em toda a dimensão da placa e a semirrígida que é caracterizada por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, como por exemplo, uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

Para Moscatelli (2011), o pavimento rígido é utilizado em locais com tráfego pesado ou quando o subleito apresenta baixa capacidade de suporte. Esse tipo de revestimento apresenta um grande potencial de uso, porém tem uma deficiência devido ao comportamento frágil do concreto, que apresenta alguns problemas como fissuras que são agravadas em virtude da extensa superfície exposta, retração e baixa resistência à tração. Considerando tais limitações, o desenvolvimento das pesquisas são voltadas para melhorar o desempenho desse material, sendo que uma das técnicas que vem sendo utilizadas para reduzir essas deficiências é o emprego de concretos reforçados com fibras metálicas, pois apresentam maior resistência à tração, ao impacto, à fadiga e à abrasão.

1.1 Justificativa

No Brasil, prevalecem estradas com pavimentos flexíveis, mas devido às mesmas apresentarem deformações plásticas, buracos e trilhos de roda pouco tempo após a sua execução, com gastos excessivos em manutenção e recuperação, tem-se a necessidade de buscar alternativas que possam apresentar boas condições de conforto e segurança e que seja viável financeiramente. O Pavimento de Concreto de Cimento Portland tem excelentes características se comparado ao pavimento asfáltico, como maior durabilidade, boa resistência mecânica e ao desgaste, melhor visibilidade dos motoristas, maior aderência pavimento-pneu permitindo estabilidade nas curvas, redução na distância de frenagem e menos custos com manutenção. Porém, os gastos com a pavimentação rígida são maiores inicialmente e podem apresentar fissuras com o tempo, trazendo a necessidade de investigar métodos que possam reduzir os impactos dessas fissuras e aumentar sua durabilidade, implicando em contenção de despesas e um melhor desempenho nesse tipo de pavimentação, tendo em vista a redução dos gastos com manutenção e a dependência desse modal para economia e mobilidade urbana.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho corresponde analisar a viabilidade de utilização de pavimentação rígida como alternativa para melhorar as condições das vias das faixas exclusivas de ônibus na cidade de São Luís.

1.2.2 Objetivos específicos

Para se alcançar o objetivo geral, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Conhecer os tipos de pavimentação, suas metodologias de dimensionamento os critérios de escolha dos materiais para os diferentes tipos de pavimentação;
- ✓ Fazer uma pesquisa de grandes obras que utilizaram pavimentos rígidos no Brasil e um levantamento fotográfico das condições dos terminais de integração, suas vias de acesso e paradas de ônibus em São Luís.

1.3 Estrutura do trabalho

Primeiramente o trabalho apresenta uma Introdução, trazendo o tema da pesquisa e sua abordagem relacionada à ocorrência das fissuras em pavimentações rígidas e suas consequências econômicas, bem como a justificativa, os objetivos geral e específicos, a metodologia empregada e a organização estrutural do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta um histórico da pavimentação no Mundo e no Brasil, os tipos de pavimentações existentes e as mais usuais no Brasil, os critérios de escolha dos materiais para os diferentes tipos de pavimentação, as formas de dimensionamento dos pavimentos.

O capítulo 3 faz um levantamento de grandes obras que utilizaram pavimentos rígidos no Brasil e suas características.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia aplicada e os critérios de escolha de apresentação das obras do capítulo anterior.

O Capítulo 5 apresenta a análise e discussão dos resultados.

O Capítulo 6 traz as considerações finais acerca do tema proposto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será mostrado um histórico da pavimentação no mundo e no Brasil, os tipos de pavimentação, os critérios de escolha dos materiais para os diferentes tipos de pavimentação e as formas de dimensionamento dos pavimentos flexíveis e rígidos.

2.1 Histórico da Pavimentação

Para Bernucci (2008), a história da pavimentação se confunde com a própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento. Uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não se destinou a veículos com rodas, mas a trenós para o transporte de cargas. Para a construção das pirâmides no Egito (2600-2400 a.C.), foram construídas vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. Há mais de 2.000 anos os romanos já possuíam uma boa malha viária, em que as vias eram compostas por uma fundação e uma camada de superfície, que variavam de acordo com os materiais disponíveis e a qualidade do terreno natural, contando ainda com um sistema de planejamento e manutenção onde as vias remanescentes ainda servem de fonte de estudo.

Vasata (2013) cita que as trilhas utilizadas pelos povos pré-históricos no sudoeste da Ásia deram origem às primeiras estradas. Já por volta de 700 a.C, os mesopotâmios criaram uma rota pavimentada com pedras e ladrilhos unidos com argamassa betuminosa, ligando o Império da Babilônia ao Egito, para suprir a evolução da agricultura e do comércio. Em Roma, teve-se o auge do sistema rodoviário, com estradas de 85.000 Km aproximadamente, construídas com diferentes técnicas de povos como os cartagineses, fenícios, egípcios e os etruscos do norte da Itália usadas para conquistar territórios e ligar a capital às cidades mais distantes do Império.

Segundo a Confederação Nacional dos Trabalhadores em Transporte e Logística (CNTTL) (2018), a história do transporte rodoviário no Brasil tem suas origens desde o período colonial com o transporte das riquezas para o litoral a fim de serem levadas à Europa. Porém, as primeiras rodovias brasileiras surgiram apenas no século XIX e sua ampliação ocorreu no governo Vargas (1932), com a criação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em 1937 e, mais ainda, com a implantação da indústria automobilística, na segunda metade da década de 1950. Com a extinção do imposto sobre lubrificantes e combustíveis líquidos e do imposto sobre serviços de transporte rodoviário, o crescimento

acelerado deu lugar à estagnação devido a essa grande perda de receitas, o que impediu a ampliação da rede e sua manutenção.

De acordo com a CNT (2018), o Brasil mantém uma vasta rede de sistema de transportes que, além de interligar cidades, regiões e aproximar pessoas, contribui para levar o desenvolvimento econômico aos locais mais distantes. No ano de 2017, constatou-se que cerca de 49,99% dos 212.818,3 km de pavimento no Brasil está classificado como regular, ruim ou péssimo, precisando passar por recuperação ou manutenção. Tal condição aumenta o custo operacional do transporte rodoviário de cargas e de passageiros devido à redução dos componentes veiculares e ao aumento do tempo de viagens e do consumo desnecessário de combustível.

Colpo (2011) afirma que os pavimentos em concreto de cimento Portland (CPP) foram muito empregados no Brasil até o início da década de 1950, mas após a instalação da primeira refinaria de petróleo no país, essa opção foi sendo substituída por outros materiais e técnicas construtivas, em virtude dos pavimentos flexíveis se tornarem economicamente mais viáveis. Contudo, essa situação vem mudando, em decorrência dos pavimentos flexíveis não fornecerem uma durabilidade adequada diante da ação do tráfego pesado e das intempéries em um clima tropical, além do encarecimento dos produtos derivados de petróleo. Com isso, o pavimento de concreto ressurgiu nos últimos anos, principalmente devido à economia com manutenção ao longo de sua vida útil, sendo usado em estradas, portos, aeroportos e pátios industriais.

Segundo o Manual DNIT (2006), a partir da década de 1950, as técnicas de pavimentação tiveram um grande desenvolvimento em virtude do intercâmbio de conhecimento celebrado entre Brasil e Estados Unidos, em que surgiu a necessidade de uniformizar e normalizar as especificações de serviço e as técnicas de construção, e que, pelo esforço de técnicos do DNER, deu origem a primeira edição do Manual de pavimentação em 1960.

2.2 Tipos de pavimentação

Neste capítulo serão apresentados os tipos dos pavimentos flexível e rígido, com suas respectivas características.

2.2.1 Pavimento flexível

Para Carvalho (2011), o pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem uma deformação elástica devido às cargas solicitantes, ou seja, possuem capacidade de acomodar uma flexão estrutural e retornar ao seu estágio anterior após a passagem do carregamento.

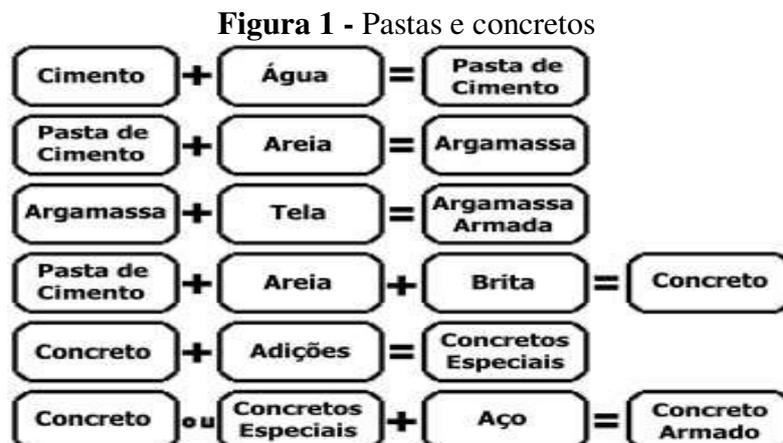
2.2.2 Pavimento rígido e suas variações

Os pavimentos rígidos são aqueles em que a maioria das solicitações são absorvidas pelas placas de concreto. Bianchi (2008) cita algumas variações dos pavimentos rígidos como os: pavimento de concreto simples, pavimento tipo *whitetopping*, pavimento estruturalmente armado, pavimento com adições de fibras metálicas. Além desses, acrescenta-se um novo tipo de pavimentos de concreto com adição de fibras metálicas.

Segundo Carvalho (2011), a Rodovia Caminho do Mar, localizada entre Riacho Grande e Cubatão no Estado de São Paulo, com certa de 8 quilômetros de extensão, foi a primeira estrada com pavimento de concreto construída no Brasil, construída entre os anos de 1925 e 1926.

2.2.2.1 Concreto simples

Para a pavimentação rígida, o concreto simples é composto pela pasta (cimento e água), agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita), conforme ilustrado na figura 1 abaixo.



Fonte: TEJEDOR (2013)

Araújo e Panossian (2010) citam algumas características e propriedades que o concreto possui, entre elas, sua alta resistência à compressão e durabilidade, quando

endurecido, e trabalhabilidade, quando ainda está no estado fresco. Para se obter uma estrutura de concreto com as características especificadas no projeto e elevada durabilidade é necessário que o traço (proporção entre os componentes) do concreto seja bem elaborado e que todos os cuidados de seleção dos materiais, preparação, lançamento do concreto e cura sejam tomados, respeitando também as condições ambientais (classes de agressividade) previstas na época do projeto para conservar sua segurança, além de estabilidade e aptidão em serviço, no período correspondente à sua vida útil.

Caso não sejam tomados cuidados especiais, o concreto pode apresentar problemas como a retração plástica, causada por uma cura feita de forma inadequada, pela perda de água usada na mistura dos seus componentes, implicando em um concreto mais vulnerável à entrada de gases e água.

Outro elemento importante é o fator água/cimento (a/c), que é a relação entre a quantidade de água e cimento, onde esta água utilizada para o amassamento deve ser usada em proporção adequada ao traço desejado. Quando essa relação não é obedecida e usa-se mais água do que a suficiente para a hidratação do concreto, maior será o potencial de exsudação, que é a elevação da água por ser menos densa que os agregados, resultando em um concreto mais poroso e com resistência mais baixa. Tais problemas podem ser majorados em pavimentações rígidas devido a grande superfície envolvida e/ou quando se trata de ambientes agressivos, como o marinho.

A figura 2 mostra o perfil de uma área de concreto apresentando alta porosidade, o que facilita a entrada de agentes agressivos.

Figura 2 - Porosidade no concreto



Fonte: www.metalica.com.br (2016)

Essa grande resistência à compressão e trabalhabilidade representam sua importância para a Engenharia da Construção Civil. Porém, o concreto tem um

comportamento frágil e uma baixa capacidade de se deformar antes da ruptura por possuir uma baixa resistência à tração em comparação com a sua resistência à compressão.

De acordo com Carvalho e Filho (2014), a utilização do concreto simples (ou seja, sem a armadura passiva), como parte resistente de estruturas, não se mostra adequada, pois enquanto tem uma boa resistência à compressão, pouco resiste à tração (cerca de 1/10 da resistência à compressão), embora esse tipo de solicitação esteja presente nas estruturas de construções usuais.

2.2.2.2 Concreto tipo *whitotopping*

Mean (2011) descreve a pavimentação do tipo *whitotopping* como um pavimento de concreto sobreposto a um pavimento flexível já existente, com este servindo de sub-base para o concreto. Nesse tipo de pavimentação não são usadas armaduras distribuídas para suportar tensões solicitantes, pois as tensões são suportadas pelo próprio concreto e no máximo são usadas armaduras para eventuais sistemas de transmissão entre placas. Dessa forma, se ganha tempo na recuperação de estradas que estejam em más condições.

Para Carvalho (2011), o *whitotopping* é o recapeamento de pavimentos asfálticos com concreto de cimento portland. A origem do termo refere-se à execução de camada de cor cinza claro (pavimento de concreto), com a função de base/revestimento e resistência característica à tração na ordem de 4,5 MPa, a ser colocada sobre um revestimento asfáltico existente, de cor escura. O emprego desta técnica no Brasil consiste na reabilitação de pavimentos asfálticos, haja vista os excelentes resultados obtidos com as obras já executadas, como a Rodovia Itaipava - Teresópolis/RJ, construído em 1928 e que se encontra em serviço até hoje, conforme figura 3 abaixo.

Figura 3 - Rodovia Itaipava – Teresópolis (mais de 90 anos em serviço)



Fonte: CARVALHO (2011)

2.2.2.3 Pavimento rígido estruturalmente armado

A pavimentação estruturalmente armada tem a finalidade de resistir às tensões de tração na flexão gerada na placa pela passagem dos veículos pesados. Nesse tipo de pavimento a armação é colocada na parte inferior das placas, pois é nesta região a maior sollicitação de esforços de tração.

2.2.2.4 Pavimento de concreto com adição de fibras metálicas

Existe no mercado uma enorme variedade de tipos de fibras com forma e tamanhos variados produzidas em aço, vidro, polipropileno, náilon, celulose, entre outras, sendo que a escolha da mesma é em função das características que se deseja do compósito.

Atualmente, as pesquisas se intensificam no sentido de melhorar, cada vez mais, as propriedades do concreto para pavimentos, buscando principalmente superar o seu comportamento frágil, aumentando a sua ductilidade e baixa resistência aos esforços de tração, assim, a adição de fibras de aço vem sendo uma alternativa promissora.

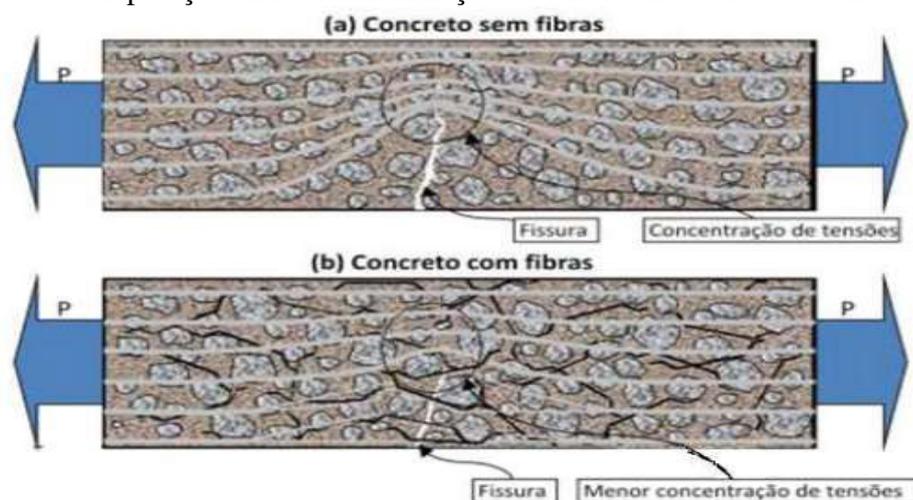
Para Mehta e Monteiro (2008), dentre os diferentes tipos de fibras existentes e comerciais, aquelas de aço são as mais usuais na construção de peças estruturais e não estruturais, principalmente devido a sua alta resistência à tração, maior módulo de elasticidade e melhor capacidade de aderência à matriz que a envolve. Para melhorar a aderência, essas fibras podem apresentar deformações ao longo do seu comprimento ou possuírem ganchos nas extremidades, formando uma espécie de ancoragem mecânica.

Assim, ao misturar o concreto com as fibras metálicas, evita-se a propagação das fissuras através da matriz e, uma vez fissurada a matriz, as fibras agem como ponte de transferência de tensão promovendo ductilidade pós-fissuração.

Dessa forma, pela simplificação de Tejedor (2013) apresentada na figura 1 acima, o concreto com adição de fibras metálicas enquadra-se como um concreto especial e, além de uma boa resistência à compressão, também lhe confere uma melhor resistência à tração, colaborando com a proteção contra manifestações patológicas e, com as fibras dispostas em todas as direções, leva a uma resistência melhor também em todas as direções.

Figueiredo (2000) faz uma comparação simples entre a concentração de tensões no concreto sem e com fibras e suas consequências na propagação de fissuras, conforme figura 4 abaixo.

Figura 4 - Comparação entre a concentração de tensões no concreto com e sem fibras



Fonte: FIGUEIREDO (2000)

Percebe-se que, quando as fibras são adicionadas ao concreto em um teor adequado, elas atuam como pontes de transferência de tensões através das fissuras, reduzindo consideravelmente a velocidade de propagação destas no material, que passa a ter um comportamento não frágil, preservando a resistência mecânica das seções e da estrutura como um todo.

Para Colpo (2011), quando se adiciona fibras metálicas ao concreto contribuem significativamente para o aumento de sua tenacidade, que é a capacidade de um determinado material absorver energia de impacto sem sofrer fraturas bruscas. Com isso, enquanto a matriz convencional rompe sem dar avisos prévios, devido às tensões de fissuração, o concreto com fibras é capaz de suportar tensões mesmo após a matriz estar fissurada. Assim, é possível manter a integridade estrutural e preservar a coesão do material.

Segundo Figueiredo (2000), o concreto reforçado com fibras apesar dos benefícios, apresentam algumas limitações e desvantagens, pois, caso não seja bem executado podem apresentar manifestações patológicas, podendo aumentar o risco de empenamento do pavimento por retração plástica, caso não sejam tomados os cuidados relacionados à cura. Já nos casos de não homogeneidade na mistura ou um adequado acabamento superficial do pavimento, pode ocorrer de algumas fibras ficarem expostas na superfície do concreto, e, com isso, susceptíveis à corrosão, provocando o surgimento de pontos de ferrugem o que, de certo modo, influencia no aspecto estético do pavimento.

Assim, os concretos com fibras são ideais para uso em pisos e pavimentos rígidos, pois com a correta adição de fibras à matriz cimentícia, estes apresentarão maior resistência à

fissuração, impacto e desgaste, além de permitir uma redução do número de juntas e das espessuras das peças, melhorando o desempenho dos mesmos.

2.3 Critérios de escolha dos materiais para os diferentes tipos de pavimentação

Segundo o Manual do DNIT (2006), dentre as propriedades físicas e mecânicas que os solos têm aquelas de maior interesse para a pavimentação rodoviária são: permeabilidade, capilaridade, compressibilidade, elasticidade, contratilidade e expansibilidade e resistência ao cisalhamento.

De acordo o CNT (2017), para a definição dos materiais que irão constituir cada uma das camadas do pavimento, empregam-se métodos de seleção e caracterização de suas propriedades. De forma geral, os materiais devem apresentar boa resistência, pouca deformação e permeabilidade adequada à função da camada da estrutura do pavimento em que serão empregados. Os materiais são compostos basicamente por agregados, solos e ligantes.

Para Bernucci (2008), os solos possuem importância dupla no estudo da pavimentação, uma vez que não existe pavimento sem fundação, ou seja, sem subleito, e ainda há a possibilidade de emprego de solos nas demais camadas do pavimento. Os agregados são materiais inertes, granulares e que não possuem forma nem dimensões definidas, mas apresentam propriedades adequadas quanto à durabilidade, resistência, adesividade ao ligante, entre outros, representando o maior volume em relação aos demais componentes. Já os ligantes proporcionam união entre os agregados, permitindo uma flexibilização controlável do material empregado no pavimento, podendo ser asfálticos ou hidráulicos.

2.4 Dimensionamento dos pavimentos

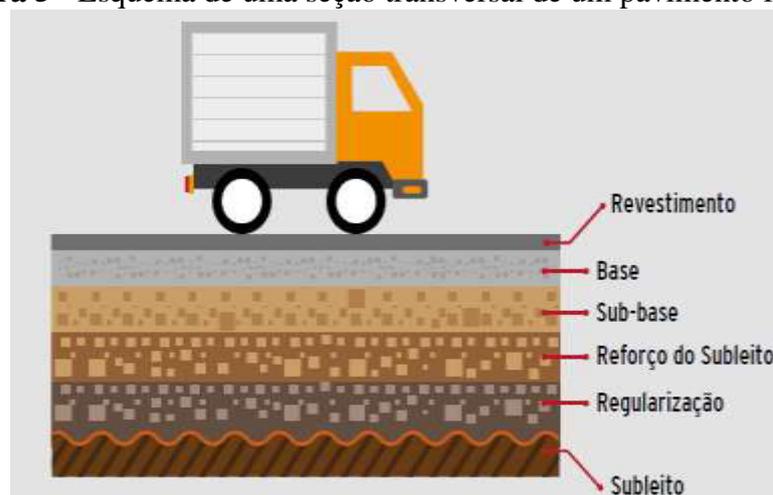
De acordo com o método DNER (2018), o dimensionamento das espessuras mínimas de cada camada do pavimento flexível depende da capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes das camadas. Já no pavimento rígido a maior parte das solicitações é resistida pela placa de concreto, podendo ainda ser adicionado de fibras para melhorar suas características mecânicas e durabilidade.

2.4.1 Dimensionamento de pavimentos flexíveis

Para o CNT (2017), a estrutura do pavimento tem a função de receber os esforços solicitantes transmitidos pelo tráfego e repassá-los de forma suavizada para as camadas inferiores, uma vez que essas são geralmente menos resistentes. Assim, as cargas são transmitidas de forma criteriosa a fim de impedir que ocorram deformações no pavimento ou mesmo rupturas incompatíveis com a utilização da rodovia, induzindo a um comportamento mecânico inadequado e a uma degradação precoce.

A figura 5 abaixo mostra o esquema da seção transversal de um pavimento flexível composto pelas seguintes partes: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento.

Figura 5 - Esquema de uma seção transversal de um pavimento flexível



Fonte: CNT (2017)

O subleito é a camada responsável por absorver definitivamente os esforços verticais causados pelo tráfego, sendo constituído de material natural consolidado e compactado, mas precisa ser reforçado para suportar os esforços provenientes da passagem dos veículos. Deve passar por uma regularização para nivelamento com o objetivo de conformá-lo transversal e longitudinalmente. Nos casos em que a pavimentação é executada logo após a terraplenagem, a regularização se resume a corrigir algumas falhas da superfície. Por outro lado, quando a pavimentação é executada sobre um leito natural antigo, essa superfície se apresentará mais irregular, demandando maiores cuidados. Nesse caso, a regularização será feita por uma camada com espessura variável de até 20 centímetros.

Segundo Senço (2007), o reforço do subleito é uma camada que, quando se faz necessária, é construída acima do subleito regularizado e sua espessura longitudinal é variável

de acordo com o dimensionamento do pavimento. Essa camada, além de complementar a sub-base, tem a função de resistir e distribuir esforços verticais provenientes da ação do tráfego, em que o material utilizado nessa camada deve atender a condições mínimas de qualidade, possuindo características técnicas superiores ao material do subleito, mas inferiores ao material que vier na camada superior. Geralmente, é executada no caso de estruturas espessas, devido à fundação de baixa qualidade ou ao tráfego de cargas muito pesadas, ou mesmo, uma combinação desses fatores.

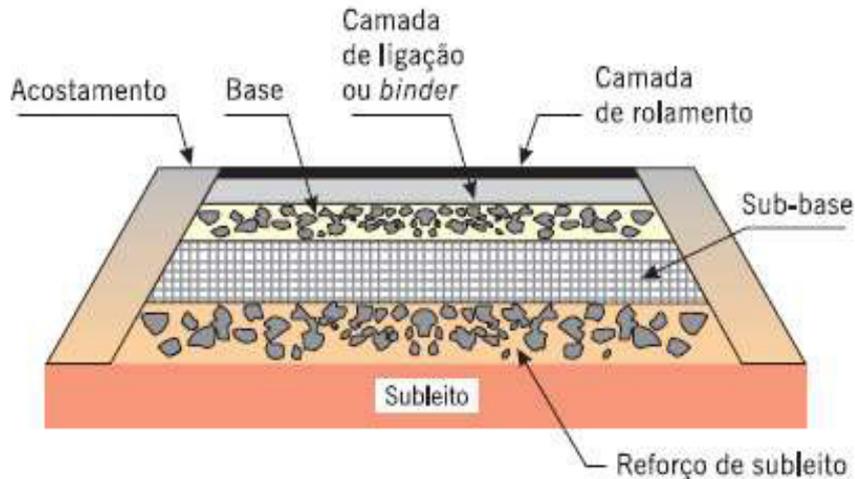
Para Bernucci (2008), a sub-base é a camada complementar à base e executada por circunstâncias técnico-econômicas, quando a camada da base exigida for muito espessa, complementando a base, e quando necessário, tem a função de drenar infiltrações e controlar a ascensão capilar da água. O material empregado na constituição da sub-base deve ter características tecnológicas superiores às do material de reforço do subleito e inferiores às do material da base (camada superior). Podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados (solo-brita), britas graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico, concreto, entre outros.

Senço (2007) diz que a base é a camada dimensionada para resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego e sobre a qual é construído o revestimento. Sua capacidade estrutural está relacionada às propriedades de resistência e rigidez dos materiais empregados em sua constituição, que podem ser os mesmos listados para a sub-base, mas de melhor qualidade (características tecnológicas e geotécnicas superiores). Ele constata que, na realidade, pode-se considerar que o pavimento é composto apenas de base e revestimento, sendo que, em alguns casos, a base poderá ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito.

Para Bernucci (2008), o revestimento é a camada superior e recebe diretamente a ação do tráfego com o objetivo de melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e à segurança e deve ser capaz de resistir aos desgastes, a fim de aumentar a durabilidade do pavimento. Para melhor aderência e impermeabilização, antes do revestimento, em muitos casos, se faz necessária à execução da imprimação ou da pintura de ligação, que consistem na aplicação de uma camada fina de material asfáltico sobre a superfície, podendo ser executada sobre a superfície de uma camada asfáltica nova ou antiga, no caso de reforço ou recapeamento. Além disso, no caso da imprimação, ocorre penetração do material na camada, enquanto na pintura de ligação, isso não ocorre.

Na figura 6 abaixo é mostrado um corte transversal de um pavimento asfáltico, corroborando com Senço (2007).

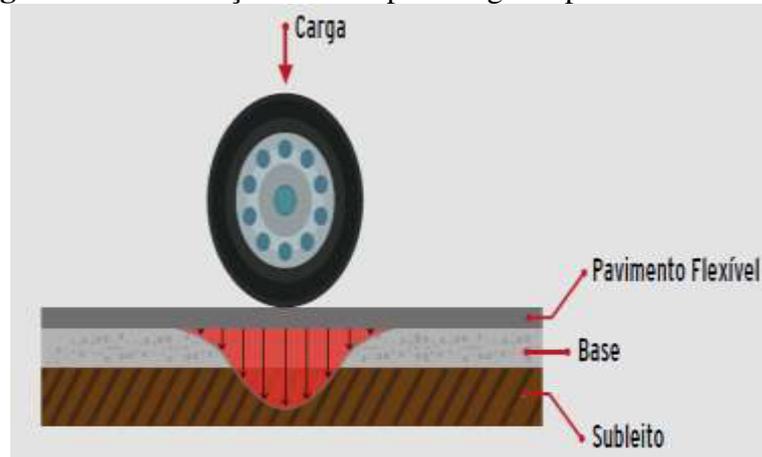
Figura 6 - Corte transversal de um pavimento flexível



Fonte: Bernucci (2008)

Na figura 7, tem-se a ilustração de uma deformação elástica causada pela passagem do tráfego na pista, com a carga passando pelo pavimento flexível e chegando ao subleito de forma amortecida.

Figura 7 - Deformação elástica pela carga no pavimento flexível



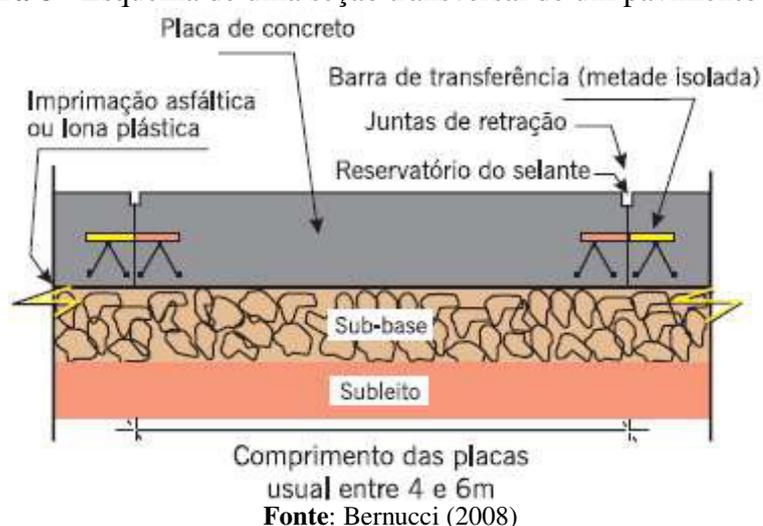
Fonte: CNT (2017)

Assim, o pavimento tende a restaurar seu estado anterior ao carregamento, sem deformações, pois a carga decorrente do tráfego se distribui de forma aproximadamente equivalente entre elas, o que permite observar um campo de tensões muito concentrado nas proximidades do ponto de aplicação da carga, exigindo que as camadas do pavimento sejam mais espessas a fim de proteger o subleito do pavimento.

2.4.2 Dimensionamento de pavimentos rígidos

Nos pavimentos rígidos, como a maior parte das solicitações se restringem ao concreto, tem-se apenas o terreno natural (subleito), reforçado por uma sub-base e a placa de concreto, que faz o papel de base e revestimento ao mesmo tempo, sendo esta impermeabilizada por baixo por uma lona plástica e contendo ainda as juntas de retração e barras de transferência, conforme demonstrado na figura 8, através de um perfil de uma seção transversal de um pavimento de concreto,

Figura 8 - Esquema de uma seção transversal de um pavimento rígido



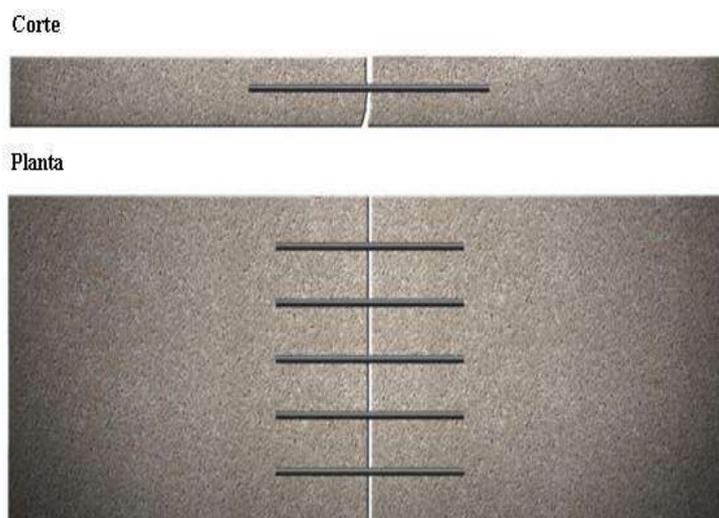
Para Colpo (2011), o concreto para pavimentos precisa ser capaz de resistir a esforços abrasivos, de caráter superficial, submetidos ao longo de sua vida útil, que podem ser advindos do tráfego de veículos leves ou intenso de pedestres e arrastes de cargas ou peças metálicas.

Segundo Maciel (2017), entre os pavimentos rígidos, alguns dos modelos mais utilizados são: pavimento de concreto simples, pavimento de concreto com armadura distribuída descontínua, pavimento de concreto estruturalmente armado, pavimento de concreto protendido e pavimento com fibras.

Para Maciel (2017), o pavimento de concreto simples é constituído por placas de concreto que resistem aos esforços proporcionados pelo tráfego simplesmente se apoiando na fundação, onde, em função da grande área exposta tem-se maior tendência à fissuração proveniente da retração, dilatação térmica ou empenamento e por isso, usam-se juntas moldadas ou serradas. O pavimento simples suporta apenas cargas de menor intensidade e baixo fluxo de veículos, mas com a adição da barra de transferência, conforme ilustrado na

figura 9, suporta cargas maiores, mas é necessário um aumento da espessura do pavimento para recobrimento da mesma, chegando a até 45 cm de espessura, sendo possível aplicar em placas de até 7 metros de comprimento.

Figura 9 - Perfil de pavimento de concreto simples, com barra de transferência

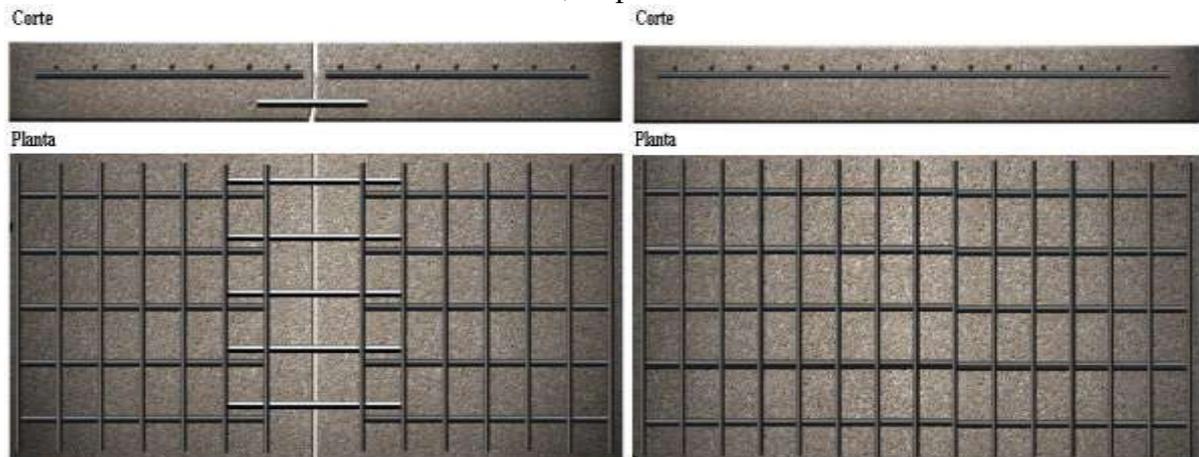


Fonte: ABCP (apud Maciel, 2015)

Oliveira (2000 apud Maciel 2017), também traz os conceitos de pavimentos de concreto com armadura distribuída descontínua e continuamente armado. Na armadura descontínua, as placas de concreto são dotadas de malhas de aço ou telas soldadas acima do plano médio da seção, auxiliando no controle das fissuras e mantendo as faces do concreto fortemente ligados, em que uma das extremidades da barra de transferência ancorada no concreto e a outra livre, funcionando como uma junta de dilatação, o que possibilita executar placas de até 30 m de comprimento e mais de 6 m de largura.

No pavimento de concreto continuamente armado, não há juntas serradas e de expansão, apenas são executadas as de construção, ou seja, aquelas em que o espaçamento é determinado pelo tipo de equipamento utilizado e com o aço posicionado na face superior a uma distância de $1/3$ da espessura total. Na figura 10 abaixo é feita uma comparação entre pavimentos de concreto com armadura distribuída descontínua e continuamente armado, respectivamente.

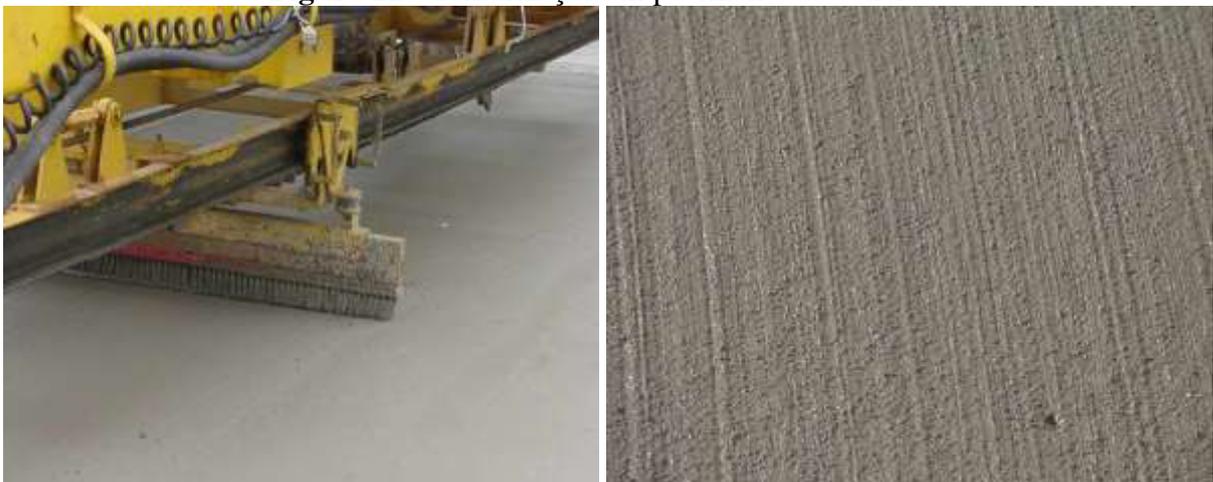
Figura 10 - Comparação entre pavimentos de concreto com armadura distribuída de forma descontínua e continuamente armado, respectivamente.



Fonte: ABCP (apud Maciel, 2015)

Em todos os casos de pavimentação rígida, utilizar a texturização mostrada na figura 11 abaixo é de grande importância para os usuários, pois elimina o fenômeno da aquaplanagem, quebra a lâmina milimétrica de água, que se forma sobre o pavimento, diminui a possibilidade de acidentes, resguardando vidas e diminuindo prováveis gastos com pessoas feridas em hospitais.

Figura 11 - Texturização em pavimento de concreto



Fonte: MOSCHETTI (2015)

3. APRESENTAÇÃO DE GRANDES OBRAS COM PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA NO BRASIL

Para MAPA DA OBRA (2016), a partir dos anos 90, a pavimentação de concreto voltou a ser utilizado por garantir durabilidade e economia às gestões públicas. Mas para isso foi necessário adotar novas técnicas de execução que garantissem excelência no conforto e rolamento. Assim, a escolha para a pavimentação rígida depende de algumas quebras de paradigmas como: custo inicial caro, péssimo conforto de rolamento e ritual de execução complicado, pois é comprovado que seu uso traz economia a médio e longo prazo, com conforto, segurança e modernas técnicas de execução.

3.1 Grandes obras com pavimentação rígida no Brasil

Segundo Moschetti (2015), os pavimentos de concreto são ideais para rodovias de tráfego intenso e pesado; corredores exclusivos de ônibus, marginais e grandes avenidas; aeroportos: pátios e pistas; portos: áreas portuárias e perimetrais; áreas sujeitas a derramamento de combustíveis; terminais em geral; túneis, viadutos, pontes, alças de acessos e recuperação de pavimentos (whitetopping).

A seguir, estudaremos algumas obras de pavimentação rígida no Brasil, comparando suas características, durabilidade e custo, comparando com o pavimento flexível.

3.1.1 Rodovia Mário Covas em São Paulo – trecho oeste

Segundo SYSTRA (2012), a rodovia Mário Covas, com cerca de 32 quilômetros de extensão, localizada entre a Av. Raimundo Pereira de Magalhães e a Rodovia Régis Bittencourt, foi inaugurada em outubro de 2002. A obra foi realizada com pavimentação rígida na extensão (eixo) e flexível nos trevos. Tal empreendimento beneficiou diretamente o transporte nacional de cargas de alto valor agregado e melhorou de maneira significativa o transporte coletivo e individual dentro da Região Metropolitana de São Paulo.

Foram usados concretos especiais na estrutura dos túneis, além de pavimentos de concreto para evitar ou minimizar a desagregação e aumentar a segurança dos usuários nos casos de incêndios, por ser material que oferece uma boa resistência às chamas, conforme ilustrado na figura 12 abaixo, ao contrário dos pavimentos flexíveis.

Figura 12 - Rodoanel Mário Covas – Trecho Oeste



Fonte: SYSTRA (2012)

3.1.2 Linha verde sul do BRT em Curitiba

Moschetti (2015) diz que o Bus Rapid Transit (BRT) é um sistema de transporte de ônibus de alta qualidade com prioridade de passagem, operação rápida, frequente, excelência em marketing e serviço ao usuário. As principais características são poucas linhas com alta frequência e terminais de Integração; estações especiais com acesso em nível; embarque e desembarque rápidos e cobrança tarifária na entrada das estações. Bem semelhantes aos corredores de ônibus que são espaços viários delimitados e destinados prioritariamente à circulação de transporte público urbano com ônibus operando em faixas preferenciais no nível da superfície.

De acordo com Blanco (2012), as obras de implantação da Linha Verde foram divididas em dois trechos: Sul e Norte. A linha verde sul foi entregue em 2009, ligando o bairro do Pinheirinho ao Jardim Botânico (9,4 km) e foi construído em dois lotes pelos consórcios Rendram/Delta e Camargo Correa/Empo. Já a linha Norte vai do Jardim Botânico ao Atuba, somando 10 km de extensão, e foi dividida em quatro lotes. Numa terceira etapa, a Linha Verde Sul será ampliada até o município vizinho de Fazenda Rio Grande.

Um dos eixos de transporte rápido de ônibus de Curitiba foi considerado a melhor obra de infraestrutura do Prêmio PINI no ano de 2012, transformando a antiga Rodovia Régis Bittencourt (BR-116) no trecho entre Curitiba e São Paulo, com alto risco de acidentes, difícil travessia da rodovia e tráfego intenso em um novo eixo de desenvolvimento da cidade. A figura 13 abaixo mostra parte da linha verde sul.

Figura 13 - Linha verde Sul nos corredores de ônibus em Curitiba - PR



Fonte: MASCHIO (2009)

3.1.3 Corredor da Avenida Terceira perimetral em Porto Alegre – RS

A Avenida Carlos Gomes, apelidada de terceira perimetral é um bom exemplo da utilização recente do pavimento de concreto em vias urbanas, em Porto Alegre no Estado do Rio Grande do Sul, contando com cerca de 12 quilômetros de extensão e 28 metros de largura de plataforma.

Inaugurada em 2006, liga a zona sul de Porto Alegre, a partir do bairro Teresópolis, até as proximidades do Aeroporto Internacional Salgado Filho, na zona norte. A avenida foi construída sobre o traçado de outras vias já existentes e mesmo com mais de dez anos de liberada para tráfego ainda encontram-se em bom estado de conservação, conforme figura 14 abaixo.

Figura 14 - Avenida terceira perimetral em Porto Alegre



Fonte: MASCHIO (2009)

3.1.4 BRT Antônio Carlos em Belo Horizonte – MG

Outra importante obra com pavimentação rígida foi o BRT da Avenida Antônio Carlos em Belo Horizonte, a qual se iniciou em 2011 e foi concluída no primeiro semestre de 2014. Esta estação de corredor rápido de ônibus liga o aeroporto de Confins à região hoteleira e ao centro de Belo Horizonte, além de passar próximo do Mineirão, beneficiando diretamente cerca de 400 mil pessoas.

Foi implementado pavimento rígido de concreto, de recuperação estrutural e alargamento de pistas do viaduto da Avenida Oiapoque, na região Central de Belo Horizonte. No trecho Pampulha/Vilarinho foram feitas adequações viárias de remoção do pavimento flexível das pistas de ônibus existentes, para implantação de 5 metros de canteiro e 5 estações do sistema BRT, substituindo o pavimento flexível por pistas de rolamento, conforme figura 15 abaixo.

Figura 15 - Avenida Antônio Carlos em BH com pavimentação rígida



Fonte: MASCHIO (2009)

Procedimentos semelhantes foram realizados nos demais corredores implantados como parte de reestruturação da cidade para receber os jogos da Copa do Mundo em 2014.

3.1.5 Rodovia Castelo Branco em São Paulo

A Rodovia Castelo Branco é a principal ligação entre a Região Metropolitana de São Paulo e o Oeste Paulista. De acordo com Portal do Governo (2001), em janeiro de 2001 foi inaugurada a marginal da Rodovia Castello Branco, sentido Capital, com investimento de R\$ 180 milhões, por parte da concessionária Viaoeste, que administra o sistema Castello Branco/Raposo Tavares, ampliando sua capacidade para receber até 12,6 mil automóveis por

hora, contando com 11 quilômetros de extensão, quatro faixas e pavimento de concreto Portland, conforme figura 16 abaixo.

Figura 16 - Rodovia Castelo Branco – São Paulo



Fonte: PORTAL DO GOVERNO (2001)

4 METODOLOGIA

A metodologia correspondeu a uma revisão da literatura disponível através de fontes de informação como livros, artigos, tese, dissertações, monografias, manuais, entre outros referentes ao assunto.

A pesquisa abordada foi classificada segundo o ponto de vista da sua natureza, da forma de abordagem do problema, do ponto de vista de seus objetivos e do ponto de vista de seus procedimentos técnicos, conforme orientações metodológicas previstas nas obras Métodos e técnicas de pesquisa social do autor Gil (1999) e Projetos e relatórios de pesquisa em administração, de Vergara (2007).

4.1 Tipos de pesquisa

Quanto à forma de abordagem foi essencialmente qualitativa por se tratar de tema em que se enfatizou conceitos referentes aos tipos de pavimentação, dimensionamento, critérios de escolha dos materiais e grandes obras com pavimentação rígida no Brasil.

Pesquisa qualitativa: considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. (GIL apud SILVA e MENEZES, 2000, p. 20).

Quanto ao ponto de vista de seus objetivos foi uma pesquisa Exploratória, por trazer maior familiaridade sobre o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses e envolve levantamento bibliográfico sobre o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Quanto ao ponto de vista dos procedimentos técnicos: pesquisa bibliográfica de livros, artigos, monografias, dissertações, teses e revistas eletrônicas referentes ao tema. Segundo Gil (apud SILVA; MENEZES, 2000, p. 21), “a pesquisa é bibliográfica quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e materiais disponibilizados na internet”. Assim, o material que serviu de base para se iniciar o estudo foram artigos e livros já publicados acerca dos temas, levando em consideração as mais variadas técnicas de pavimentação flexível e rígida.

A escolha do tema: PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA: uma alternativa para as faixas exclusivas de ônibus na cidade de São Luís se deu em virtude de sua representatividade de seu contexto social, tendo em vista os enormes prejuízos que uma escolha errada do tipo de pavimento pode representar e pelo fato da Cidade de São Luís ter várias faixas exclusivas de ônibus que poderiam utilizar a pavimentação rígida por ser a mais adequada.

Para melhor embasamento foram pesquisadas grandes obras de pavimentação rígida no Brasil, onde a escolha de algumas se deu por serem bem antigas e ainda estarem em uso sem grandes manutenções e outras por serem obras mais modernas de corredores de ônibus (BRT) que mesmo tendo mais de anos da inauguração estão mantendo ótimas condições de rolamento.

Foi realizado um levantamento das condições de uso dos terminais de integração de São Luís (Beira Mar, Cohab e Cohama) e as principais vias de acesso aos mesmos, além das vias próximas as paradas de ônibus e nas próprias paradas, para constatar o tipo de pavimento realizado e se está atendendo às solicitações decorrentes do grande peso dos veículos coletivos.

Para fundamentar melhor o trabalho foi realizada também uma análise de desempenho e custo benefício de comparação entre os pavimentos rígido e flexível, resumindo as vantagens, desvantagens e custo benefício para a escolha do pavimento em quadros para melhor ilustrar.

5 ANÁLISE DE DESEMPENHO E CUSTO BENEFÍCIO ENTRE OS PAVIMENTOS RÍGIDO E FLEXÍVEL

Em relação ao custo total dos pavimentos devem-se levar em consideração os custos de manutenção e os custos operacionais dos veículos, considerando os acidentes e suas consequências, encargos e danos ao meio ambiente. Além disso, em virtude da variedade tecnológica e de características dos tipos de pavimentos, existe uma especulação sobre qual o método construtivo de pavimentação apresenta a melhor relação custo benefício nos tempos atuais.

Vasata (2013) diz que na escolha do tipo devem consideradas algumas questões, tais como: a vida útil, a resistência mecânica, o consumo de material, o tempo e a complexidade de execução, o custo, os impactos ambientais e sociais, e o principal, a segurança do pavimento durante a sua utilização, a natureza do local, a categoria da estrada, as condições do terreno e o tráfego previsto pela rodovia.

Santana (2008) diz que a durabilidade do pavimento rígido está relacionada à sua maior resistência mecânica e ao desgaste, em relação aos pavimentos asfálticos, não apresentando deformações plásticas, buracos e trilhas de roda, comuns nas estradas nacionais executadas com pavimentação asfáltica.

No aspecto da segurança, destaca-se a melhor visibilidade dos motoristas, pois o pavimento de concreto tem superfície clara e, com isso, apresenta maior capacidade de reflexão da luz. Além de possuir maior aderência pavimento-pneu, permitindo uma maior estabilidade nas curvas e redução na distância de frenagem.

De acordo com Maciel (2017), o pavimento rígido possui elevada rigidez quando comparado as suas camadas de base, tendo a capacidade de absorver e distribuir uniformemente as tensões provenientes do carregamento, diferente do pavimento flexível, no qual é necessário que se tenha a base reforçada para a absorção dos esforços do pavimento que se deforma em todas as camadas ao sofrer a ação da carga.

Segundo Mean (2011), o pavimento rígido não sofre oxidação, não forma buracos nem trilha de rodas, garantindo assim, elevada durabilidade da estrutura, requerendo baixíssima manutenção e diminuindo significativamente o risco de acidentes relacionados à condição da rodovia, demonstrando que a pavimentação em concreto é a solução ideal para vias públicas e rodovias submetidas a tráfego intenso e pesado de veículos comerciais.

Analisando esses aspectos gerais, analisaremos estas questões para propor o método, rígido ou flexível, mais viável que se aplique a determinadas vias estudadas.

Fazendo uma comparação da viabilidade técnica e econômica de projetos de pavimentos de concreto e flexível, a médio e longo prazo, os rígidos acarretam menor custo anual, considerada a sua grande durabilidade, economia com manutenção, devido às propriedades estruturais do material como: elevada resistência mecânica e ao desgaste, e praticamente impermeável. Os métodos construtivos se modernizaram com equipamentos de formas deslizantes de última geração, com alto rendimento e produtividade, possibilitando a produção diária de grandes extensões de pista, com largura total, caracterizando grande rapidez de execução e é totalmente reciclável ao fim de sua vida útil.

A seguir, na tabela 1, são apresentados de forma resumida os principais benefícios dos pavimentos rígidos:

Tabela 1 - Principais benefícios do uso da pavimentação rígida comparada a flexível.

Maior resistência mecânica e ao desgaste;
Maior aderência pavimento-pneu, permitindo uma maior estabilidade nas curvas e redução na distância de frenagem;
Não promove aquaplanagem, mantendo a superfície seca e drenada;
Melhor visibilidade por reflexão, economizando 30% com iluminação;
Menor custo operacional dos veículos (suspensão, freios e pneumáticos);
Maior durabilidade com pouca manutenção;
Custo de construção competitivo ao longo de sua vida útil;
Não sofre deformação plástica na frenagem e aceleração;
Não sofre ataque de substâncias derivadas do petróleo;
Economia de cerca de 20% de combustível em ônibus e caminhões carregados;
Redução de até 14°C na temperatura de superfície do pavimento;
Maior conforto de rolamento;
Menor emissão de poluentes, devido ao percurso mais rápido dos veículos;
Acarretam em menor custo anual, a médio e à longo prazo;
Menor risco de acidentes relacionados à condição da rodovia.

Fonte: Próprio autor (2019)

Observa-se pelo quadro acima que são vários os benefícios trazidos pela pavimentação rígida.

Na tabela 2 abaixo são apresentadas as principais desvantagens para a escolha da pavimentação rígida em comparação com o pavimento flexível.

Tabela 2 - Desvantagens do uso da pavimentação rígida comparado ao flexível.

<p>Maior custo inicial na pavimentação;</p>
<p>Necessidade das empresas interessadas investir na capacitação de equipes de execução para poderem alcançar o nível de qualidade desejado;</p>
<p>Necessidade de modernização dos métodos construtivos com equipamentos de formas deslizantes de última geração.</p>

Fonte: Próprio autor (2019)

5.1 Avenidas em São Luís apresentando deterioração

Serão apresentadas abaixo as condições de uso dos terminais de integração de São Luís (Beira Mar, Cohab e Cohama) e das suas principais vias de acesso, além das vias próximas as paradas de ônibus e nas próprias paradas.

5.1.1 Avenida Beira Mar

Logo na entrada do Terminal da Praia Grande, na Av. Beira Mar, percebe-se várias deteriorações, tendo em vista a grande passagem de ônibus pesados, conforme figura 17.

Figura 17 - Via deteriorada na entrada do Terminal de Integração da Beira Mar



Fonte: G1 MA (2018)

5.1.2 Avenida Jeronimo de Albuquerque

Tem-se abaixo na figura 18, em local próximo de paradas de ônibus, faixa da direita apresentando grandes deformações, sendo que o mesmo se repete em várias outras paradas de ônibus na mesma Avenida.

Figura 18 - Pista apresentando deformações na Avenida Jeronimo de Albuquerque



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019)

5.1.3 Via que interliga Terminal da Cohama

Importante via de acesso que interliga Terminal da Cohama à Avenida Jerônimo de Albuquerque está tomada por buracos e causa transtornos a usuários e motoristas de ônibus, conforme figura 19 abaixo.

Figura 19 - Vias de acesso que interligam Terminal da Cohama



Fonte: OEstadoMA.com (2019)

Fica bastante evidente que os buracos são causados pelo excesso de peso e pelas frenagens, principalmente no momento em que os motoristas de ônibus precisam fazer o giro para entrar no Terminal.

5.1.4 Terminal da Cohab

Localizado na Avenida Jerônimo de Albuquerque, o Terminal da Cohab também é um importante eixo de escoamento da Região Metropolitana de São Luís, mas que também vem apresentando vários problemas nas vias, conforme apresentado na figura 20 abaixo.

Figura 20 - Via de acesso ao Terminal da Cohab



Fonte: OESTADOMA (2019)

Observa-se que o pavimento flexível é usado para a maioria das ruas e avenidas e o pavimento rígido é eventualmente encontrado em corredores de ônibus e vias de circulação rápida em outros Estados. Em virtude de sua alta resistência e durabilidade do material, os pavimentos de concreto são usados para compensar as condições de rolamento das vias prejudicadas pelo excesso de carga pesada, excesso de frenagens, curvas acentuadas e muito íngremes e desgaste mais rápido do asfalto pelas altas temperaturas. Com isso, vêm diminuindo as manutenções preventivas e corretivas, além de cumprir adequadamente todas as metas de desempenho para as quais foram projetadas nos corredores de ônibus de Curitiba, São Paulo, Porto Alegre e Belo Horizonte.

Em todos os casos apresentado referentes aos terminais de integração de São Luís, suas vias de acesso ou próximo das paradas de ônibus, verifica-se claramente que as vias anteriores se encontram em condições de serviço relativamente satisfatório, mas, quando se

aproxima de suas paradas ou mudanças bruscas de direção, o problema se agrava, com as vias muito deterioradas, causando transtornos para motoristas, pedestres e demais usuários.

Dessa forma, é de extrema importância que os gestores busquem entender melhor o problema para poderem adotar uma pavimentação mais adequada aos locais de excesso de peso e frenagens, com a pavimentação rígida sendo uma boa alternativa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando-se em consideração os enormes gastos com manutenção de vias que apresentam problemas na sua pavimentação no Brasil, nas quais boa parte é decorrente de excesso de peso, altas temperaturas e frenagens, conclui-se que seria de suma importância para os gestores, em todas as esferas, reavaliar qual seria o tipo ideal de pavimentação para determinadas vias.

Avaliando o desempenho de uso dos grandes corredores de ônibus (BRT) do Brasil que utilizaram pavimentação rígida, substituindo os antigos pavimentos flexíveis que se encontravam deteriorados, observa-se que, mesmo com mais de dez anos de uso, continuam com ótimo desempenho em serviço, sem manutenções consideráveis, diferente das vias com pavimentações flexíveis que precisam sofrer manutenções ou reabilitações em menos de cinco anos.

Assim, tendo em vista as grandes faixas exclusivas de ônibus criados em São Luís para melhorar a mobilidade urbana, seria de suma importância para os gestores municipais que adotassem projetos de pavimentação rígida para os mesmos, por serem os mais susceptíveis a deteriorações pelo excesso de peso e frenagens, trazendo economia de verbas públicas com manutenções e recuperação em pouco tempo. Da mesma forma, acontece nos terminais de integração e em suas vias de acesso e nas paradas de ônibus.

Pelos casos apresentados pode-se concluir que as cidades que adotaram esse tipo de pavimentação nos corredores ou mesmo em estradas antigas diminuíram transtornos de deteriorações, evitando acidentes e acabaram economizando, direta ou indiretamente.

REFERÊNCIAS

Anuário da Confederação Nacional do Transporte: **estatísticas consolidadas 2018**. Brasília, 2018. 229 p. Disponível em: <www.anuariodotransporte.cnt.org.br>. Acesso em: 05 Set. 2018.

ARAÚJO, A; PANOSSIAN, Z. **Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho: estudo de caso**. Fortaleza, 2010.

ARAÚJO, Marcelo Almeida; et. al. **Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto)**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. Ano 01, Edição 11, Vol. 10, pp. 187-196, Novembro de 2016. ISSN: 2448-0959.

AUTOO. **Quanto custaria para arrumar todas as estradas do Brasil?**. Disponível em: <<https://www.autoo.com.br/quanto-custaria-para-arrumar-todas-as-estradas-do-brasil?>>. Acesso em 08 Nov. 2018.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.

BIANCHI, Flávia Regina. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. Espírito Santo, 2008.

BLANCO, Mirian. **Conheça a megaobra do BRT da Linha Verde de Curitiba**. 2012. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/136/artigo281244-1.aspx>>. Acesso em 22 de março de 2019.

CARVALHO, D.M.; VIZZONI, R. **Histórico do pavimento de concreto no Brasil**. Rodovias e Vias, Seção Vias Concretas, Associação Brasileira de Cimento Portland, 2011.

CARVALHO, R. C; FILHO, J. R de F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

COLPO, Graciele Bordin. **Uso de fibras de aço em concreto para pavimentos**. Alegrete, 2011. 61 p.

CONCREBLOG. **Pavimentação em concreto: economia e sustentabilidade**. Disponível em: <<http://concreblog.com.br/pavimentacao-em-concreto-economia-e-sustentabilidade/>>. Acesso em 28 mai. de 2019.

Confederação Nacional dos Trabalhadores em Transporte e Logística. **História do Transporte rodoviário no Brasil**. São Paulo, 2018. Disponível: <<https://cnttl.org.br/modal-rodoviario>> Acesso em 05 Set. 2018.

Confederação Nacional do Transporte. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?**. Brasília, 2017. 160 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentos rígidos**, 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Manual de pavimentação**, 3ª ed. Rio de Janeiro, 2006.

DUTRA, Marcos de Carvalho. **Pavimento de concreto: reduzindo o custo social**. São Paulo, 2007.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/A-000222006526153128.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

FIGUEIREDO, A.D. **Concreto Reforçado com fibras**. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 248p., 2011.

FIGUEIREDO, Marcelo Porto de. **Aplicação do método dos elementos discretos na análise estática e dinâmica de estruturas de concreto reforçado com fibras de aço**. 2006. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

JÚNIOR, E. P. **Manual de obras rodoviárias e pavimentação urbana: execução e fiscalização**. São Paulo: PINI, 2014.

MACIEL, Priscila de Souza. **Análise da infraestrutura de pavimento rígido com reforço diferenciado de fibras de aço**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Geotecnia da UFOP. Ouro Preto, 2017.

MAPA DA OBRA. **PAVIMENTO RÍGIDO: solução para corredores de ônibus**. 2016. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/pavimento-rigido-para-corredores-de-onibus/>>. Acesso em 11 de maio de 2019.

MASCHIO, Alexsander. **Pavimentação com sustentabilidade a evolução do pavimento de concreto no Brasil**. Curitiba, 2009. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/16329240-Pavimentacao-com-sustentabilidade-a-evolucao-do-pavimento-de-concreto-no-brasil.html>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

MEAN, Angélica. **PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA**. Itatiba, 2011.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P., J., M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**, IBRACON, p.751, 2014.

MOSCATELLI, Ivo. **Fibras de aço em concreto de cimento portland aplicados a pavimento**. Campinas, 2011. 133 p.

MOSCHETTI, Ricardo. **Seminário pavimento de concreto estradas de concreto: uma escolha inteligente**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/17083042-Seminario-pavimento-de-concreto-estradas-de-concreto-uma-escolha-inteligente-e-sustentavel.html>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

OESTADOMA. **Falta de reparos em terminais de integração revolta usuários.** São Luís, 2019. Disponível em: <<https://imirante.com/oestadoma/noticias/2019/03/12/falta-de-reparos-em-terminais-de-integracao-revolta-usuarios/>>. Acesso em 15 de junho de 2019.

OESTADOMA. **Via que interliga Terminal da Cohama a Avenida está tomada por buracos.** Disponível em: <<https://imirante.com/oestadoma/noticias/2019/06/03/via-que-interliga-terminal-da-cohama-a-avenida-esta-tomada-por-buracos/>>. Acesso em 10 de Junho de 2019.

OLIVEIRA, L. P. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais.** Dissertação. Universidade de São Carlos, São Carlos, 246p., 2000.

PORTAL DO GOVERNO. **Alckmin inaugura Marginal da Rodovia Castello Branco.** São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/ultimas-noticias/alckmin-inaugura-marginal-da-rodovia-castello-branco/>>. Acesso em 23 de maio de 2019.

REIS, N., F., S. **Análise estrutural de pavimentos rodoviários: aplicação a um pavimento reforçado com malha de aço.** Dissertação. Universidade Técnica de Lisboa, 119 p., Novembro, 2009.

ROCHA, Cristine Fursel. **O transporte de cargas no Brasil e sua importância para a economia.** Ijuí, 2015. (Monografia).

SANTANA, Ederley Nunes de. **Pavimento de concreto: a evolução das rodovias brasileiras.** 2008. 58 p. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2008.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação.** 2. ed. ampl. São Paulo: Pini, 2007.

SYSTRA. **Rodoanel Mário Covas. Trechos oeste e norte – DERSA.** São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://www.systra.com.br/IMG/pdf/rodoanelmariocovas-dersa.pdf>>. Acesso em 10 de junho de 2019.

TEJEDOR, C. M. **Patologias, Recuperação e Reforço com Protensão externa em Estruturas de Pontes.** Rio de Janeiro, 2013.

VASATA, Ana Cláudia Dal Pra. **Análise comparativa entre sistemas de pavimentação rígida e flexível quanto a sua viabilidade técnica e econômica para aplicação em uma via urbana.** Pato Branco, 2013.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 9 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

VIZZONI, Ronaldo. **O pavimento de concreto é uma realidade nacional. Por que?.** 2009. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/19284665-O-pavimento-de-concreto-e-uma-realidade-nacional-por-que-ronaldo-vizzoni.html>>. Acesso em: 08 Nov. 2018.

WINRAND. **Fibras para reforços de concreto: características técnicas.** Disponível em: <<http://www.maccaferri.com.br/>>. Acesso em: 18 Set. 2018.