



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LETÍCIA PEREIRA DE QUEIROZ

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CARACTERÍSTICAS E CUSTO-BENEFÍCIO
ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO E PAVIMENTO FLEXÍVEL**

MOSSORÓ

2022

LETÍCIA PEREIRA DE QUEIROZ

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CARACTERÍSTICAS E CUSTO BENEFÍCIO
ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO E PAVIMENTO FLEXÍVEL**

Trabalho Final de Graduação
apresentado a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do
título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Bruno Tiago Angelo
da Silva

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Q3659 Queiroz, Letícia Pereira de.
9a Análise comparativa de características e custo-benefício entre pavimento rígido e pavimento flexível / Letícia Pereira de Queiroz. - 2022.
54 f. : il.

Orientador: Bruno Tiago Angelo da Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2022.

1. Malha rodoviária. . 2. Manutenção. . 3. Custos. . 4. Vida útil. . 5. Infraestrutura de pavimentos. . I. Silva, Bruno Tiago Angelo da , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LETÍCIA PEREIRA DE QUEIROZ

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CARACTERÍSTICAS E CUSTO-BENEFÍCIO
ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO E PAVIMENTO FLEXÍVEL**

Trabalho Final de Graduação
apresentado a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do
título de Engenheira Civil.

Defendida em: 24/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Eng. Bruno Tiago Angelo da Silva (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. Wellington Lorrان Gaia Ferreira (UFERSA)
Membro examinador

Esp. Alison Kaio Dantas Pereira (UFERSA)
Membro examinador

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia primeiramente a Deus, que direcionou todos os meus passos até aqui, e me sustentou em cada obstáculo não só da minha trajetória acadêmica.

Agradeço profundamente aos meus pais, Eneudo e Taisy (*in memoriam*), que não tiveram a oportunidade de me ver formando, mas que sonharam com o que um dia eu me tornaria, e contribuíram com muito amor para a minha formação da vida, principalmente meu pai que esteve mais tempo ao meu lado, tentando num período curto ensinar os valores necessários para eu entender o que realmente importa e como eu devo me portar diante das adversidades e para com as pessoas que irão passar pela minha vida.

Agradeço e dedico essa conquista a toda minha família, a qual não tenho como citar nomes individuais, pois são muitos e todos de igual importância, que foram mais do que um suporte para mim em todas as etapas que me permitiram chegar a concluir o curso, eles cuidaram, acolheram, incentivaram e se orgulharam de mim a cada passo, e são a razão da minha vida.

Agradeço aos meus amigos da faculdade, em especial, Samuel, Stefanny, Madson, Luana e Evânia, que me ajudaram e foram meu alívio cômico durante toda a jornada acadêmica, e aos meus amigos da vida, Diego e Caiubi, pois nada vale a pena se não tivermos pessoas especiais ao nosso lado para compartilharmos os bons e os maus momentos.

Por último, e não menos importante, agradeço ao meu esposo Iago e grande amor, melhor amigo, e colega de classe, que durante essa jornada me ajudou, me incentivou, estudou comigo, e vibrou com todas as conquistas, sendo a principal razão para que eu persistisse ao longo do caminho.

“Conhecimento não é aquilo
que você sabe, mas o que
você faz com aquilo que
você sabe.”

Aldous Huxley.

RESUMO

A situação atual de infraestrutura de pavimentos no Brasil apresenta problemas em termos de quantidade de rodovias pavimentadas, e a qualidade delas, tendo em vista que o pavimento flexível é majoritariamente usado no Brasil e o pavimento rígido vem ganhando espaço nesse mercado, com poucos estudos estatísticos que possam abordar sobre essa crescente da pavimentação de concreto, então o presente trabalho se propõe a abordar sobre esses dois tipos de pavimentos, flexível de concreto asfáltico e rígido de concreto de cimento Portland. Para isso será feita uma análise de estudos, através de revisão literária, buscando entender melhor quais fatores são relevantes na escolha de qual tipo de pavimento é executado no país, o que compreende cada um dos pavimentos, tipos, características, forma de execução, custos de implementação, desempenho, para assim estabelecer um comparativo entre eles referente ao custo-benefício, a título de exemplo, no que diz respeito ao tempo de vida útil e a necessidade de manutenção do pavimento, o rígido chega a ter o dobro de vida útil, e necessita de pouca manutenção, ao contrário do flexível que necessita de constante manutenção, isso se dá pela diferença do comportamento de cada um na distribuição da carga aplicada sobre eles, enquanto a camada de revestimento de concreto asfáltico tem grande poder de distribuição dessa carga, que proporciona menores esforços verticais a serem transmitidos para as camadas inferiores, no pavimento flexível, a camada de revestimento asfáltica sofre grandes deformações elásticas, sendo assim as cargas decorrentes do tráfego são distribuídas equivalentemente entre suas camadas, gerando uma grande área de tensões no ponto de aplicação da carga, esses são os pontos principais que os diferenciam e contribuem para análise de custo-benefício. A retrospectiva histórica explica o país ter sua malha rodoviária majoritariamente de pavimento flexível, mesmo que isso signifique uma infraestrutura rodoviária com graves problemas de desempenho. Conclui-se que o pavimento rígido se apresenta como uma alternativa melhor economicamente no custo total do ciclo de vida útil do pavimento, e que atende satisfatoriamente os usuários no quesito conforto das condições de rolamento, segurança, conforto térmico e economia com combustível e manutenção dos veículos.

Palavras-chave: Malha rodoviária. Manutenção. Custos. Vida útil. Infraestrutura de pavimentos. Distribuição de cargas. Tomada de decisão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrada do mar.....	16
Figura 2: Resumo das características - extensão total.....	18
Figura 3: Camadas do pavimento asfáltico.	21
Figura 4: Esforços nas camadas do pavimento flexível.	22
Figura 5: Esforços em camadas do pavimento rígido	23
Figura 6: Camadas do pavimento de concreto de cimento Portland.	23
Figura 7: Classificação dos revestimentos flexíveis.	26
Figura 8: Esquematização das etapas da produção de CBUQ em uma usina asfáltica.	32
Figura 9: Espaçador tipo caranguejo.....	35
Figura 10: Execução de pavimento de concreto com equipamento de fôrma deslizante.	36
Figura 11: Elementos que compõem o pavimento de concreto estruturalmente armado.	38
Figura 12: Vantagens do uso do concreto na pavimentação.....	40
Figura 13: Comparação do custo de construção do pavimento de concreto e do pavimento asfáltico por categorias de Volume Diário Médio Bidirecional de Veículos comerciais.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo econômico entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.	39
Tabela 2: Comparativo de desempenho entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.....	41
Tabela 3: Comparativo de projeto entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico	42
Tabela 4: Comparativo do consumo de energia entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.....	43
Tabela 5: Comparativo de manutenção entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.....	44
Tabela 6: Comparativo de segurança entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.....	46
Tabela 7: Resumo dos custos de construção do pavimento rígido e do pavimento flexível.	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. Objetivos	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivo específico	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Histórico da pavimentação com enfoque no Brasil.....	13
3.2 Características	19
3.2.1 Tipos de pavimentos	19
3.2.1.1 Flexível	19
3.2.1.2 Semirrígido	19
3.2.1.3 Rígido	19
3.2.2 Tipos de camadas	20
3.2.3 Tipos de pavimento asfáltico	25
3.2.3.1 Associação de materiais do revestimento por penetração	26
3.2.3.2 Associação dos materiais do revestimento por mistura.....	27
3.2.4 Tipos de pavimento de concreto de cimento Portland	28
3.2.4.1 Pavimento de Concreto Simples (PCS):	28
3.2.4.2 Pavimento de Concreto Armado (PCA)	28
3.2.4.3 Pavimento de Concreto com Armadura Continua (PCAC).....	28
3.2.4.4 Pavimento de Concreto Protendido (PCPRO)	28
3.2.4.5 Pavimento de Concreto Pré-Moldado	29
3.2.4.6 Whitetopping (WT)	29
3.2.4.7 Whitetopping Ultradelgado (WTUT)	29
4. MÉTODO DE EXECUÇÃO.....	29
4.1 Pavimento asfáltico	29

4.1.1 Execução da regularização do subleito	29
4.1.2 Execução do reforço de subleito	30
4.1.3 Execução da Sub-base e base.....	30
4.1.4 Execução da imprimação com ligante asfáltico	30
4.1.5 Execução do revestimento com o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ)	31
4.2 Pavimento de concreto de cimento Portland	32
4.2.1 Execução de sub-base	33
4.2.2 Execução do revestimento de concreto armado	34
5. COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO DE CONCRETO E PAVIMENTO ASFÁLTICO	38
5.1 Economia	38
5.2 Desempenho	41
5.3 Projeto	41
5.4 Consumo de energia	43
5.5 Manutenção.....	44
5.6 Segurança	45
6. CUSTO.....	46
7. CONCLUSÃO.....	49
8. REFERÊNCIAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Confederação Nacional de Transporte (2019), o cenário no Brasil é de que apenas 12,4% das rodovias brasileiras são pavimentadas (213.452 km de 1.720.756 km), uma densidade muito baixa em comparação com outros países, sendo 99% da malha rodoviária de pavimento flexível, conhecido como asfáltico.

Tendo em vista a necessidade de aumentar significativamente o percentual de rodovias pavimentadas, e ainda lidar com a problemática das limitações do pavimento asfáltico, que é agravado pelo contínuo aumento de volume de tráfego com o passar dos anos, assim como também a precariedade da gestão pública em fazer a manutenção estrutural, é preciso buscar entender quais pontos de deficiência que contribuem para a realidade da pavimentação atual no Brasil, no que se baseia a escolha pelo pavimento flexível em sua maioria, e se o pavimento rígido é uma alternativa competitiva, pois o mesmo vem apresentando uma crescente construtiva em algumas regiões, mesmo que isso seja uma observação pessoal de estudiosos da área, pois ainda existem poucos estudos que avaliem em porcentagem quais tipos de pavimento são usados em cada região, se há um aumento percentual significativo do uso do pavimento rígido por exemplo, o que seria importante conhecer, para avaliar melhor o desempenho comparativo dos dois com estudos de caso.

Para isso será feito uma análise de estudos para desenvolver um comparativo de custo-benefício entre o pavimento flexível de concreto asfáltico e o pavimento rígido de concreto de cimento Portland. Entender as principais diferenças entre eles, referentes aos tipos, características, custos, desempenho entre outros aspectos, auxiliam no entendimento do que cada pavimento pode oferecer de vantagem e desvantagem, no que isso pode auxiliar na escolha de um em detrimento do outro para execução de um pavimento, e quais consequências essa escolha traz para o setor de infraestrutura dos pavimentos no Brasil.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Fazer uma análise comparativa das características e custo-benefício entre o pavimento flexível de concreto asfáltico e o pavimento rígido de concreto de cimento Portland.

2.2 Objetivo específico

- Apresentar um apanhado histórico sobre a pavimentação com enfoque no Brasil até os dias atuais, com dados sobre a situação dos pavimentos rodoviários do Brasil.
- Buscar entender quais desafios e problemas enfrentados, e as condições em que se encontram a infraestrutura de pavimentação no país.
- Delinear as características, os tipos e recomendações do pavimento flexível de concreto asfáltico e do pavimento rígido de concreto de cimento Portland.
- Estabelecer uma relação comparativa das características e do custo-benefício entre os dois tipos de pavimentos.
- Analisar os custos de implementação, manutenção e reforço de cada um dos pavimentos ao longo da sua vida útil.
- Apresentar os resultados e contribuições da pesquisa.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para que uma cidade seja bem desenvolvida, ela precisa ter todos os pilares de sua infraestrutura urbana funcionando de forma eficiente, alguns dos principais são os sistemas, energético, sanitário, de comunicação e viário. Este trabalho abordará dentro do tema de sistema viário, sobre duas opções de pavimentação, pois a escolha do pavimento é de suma importância para o bom funcionamento do sistema, que possibilita garantir maior facilidade, segurança e conforto para circulação de veículos e pessoas.

3.1 Histórico da pavimentação com enfoque no Brasil

Existem inúmeros dados e acontecimentos ao longo da história que explicam por diferentes perspectivas como se deu o surgimento e evolução da

pavimentação. Senço (2007) retrata no início do seu livro um pouco sobre a importância do surgimento dos pavimentos, no que diz respeito a evolução humana, o autor nos leva ao entendimento do homem pré-histórico, em que sua sobrevivência baseava-se na busca de alimentação e água, e que para obter êxito nisso, sua forma de locomoção e as condições do espaço em que ele se locomovia, eram fatores determinantes, o homem passou de montar em animais para o próximo passo, e uma das grandes invenções no ramo dos transportes, a criação da roda, e sua forma de utilização com carroças usando o animal como força motriz de locomoção.

No decorrer da história a necessidade de se transportar para distâncias maiores, com uma frequência maior, e com volumes de cargas, o homem passou a não mais apenas respeitar os contornos da natureza como topografia e cursos d'água, passando a exercer o controle sobre ela, para transpor esses obstáculos, alterando os caminhos, cortando, aterrando e construindo obras de passagem sobre os cursos d'água, tornando assim o princípio da pavimentação, pois agora eles precisavam também estabilizar o leito carroçável para que o mesmo não perdesse funcionalidade a depender da época do ano, se houvesse muita chuva ou, se houvesse poeira excessiva em tempos de seca (SENÇO,2007). Foi então que eles buscaram alternativas de fazer isso acontecer:

Pode-se tentar conseguir uma estabilização misturando areias e argilas, em proporções tais que as argilas evitem o aparecimento de poeira nos terrenos arenosos, nas secas, e as areias evitem o aparecimento de lama nos terrenos argilosos, nas chuvas. A busca de melhores materiais para estabilização do leito carroçável levou à utilização de revestimentos de pedras, de misturas betuminosas ou de concreto de cimento, ou seja, à pavimentação segundo os conceitos atuais. Atende-se, assim, com a pavimentação, outro princípio fundamental na evolução dos transportes: a necessidade de que os deslocamentos sejam possíveis em qualquer época do ano, obrigando à estabilização do leito das estradas. (SENÇO, 2007, p.4).

Tendo em vista essa análise história feita por Senço (2007), é possível perceber a importância da pavimentação de estradas para a evolução da civilização até chegarmos aos moldes atuais, pois foi através desse entendimento, da necessidade da estabilização dos leitos das estradas, e

evolução das formas de pavimentação, com diferentes materiais ao longo do tempo que vários povos, civilizações, puderam se expandir e se desenvolver, seja através de importantes rotas de comércio, como a Estrada da Seda, localizada na região que separa a China da Europa e da Ásia, servia não apenas para comércio da seda, mas de diversas outras mercadorias como ouro, marfim, animais e plantas exóticas, teve seu apogeu na dinastia Tang (anos 600 d.C.) e é considerada até hoje uma das referências históricas de estradas construídas na antiguidade (BERNUCCI et al, 2022). Além de rotas de comércio, a pavimentação de uma estrada era importante como forma de viabilizar as grandes construções dos impérios, como foi o caso da construção das pirâmides do Egito (BERNUCCI et al, 2022).

A lista de estradas importantes ao longo da história das civilizações por todo o mundo, é extensa, e apesar de ser importante ter essa compreensão, será abordado com mais profundidade o histórico da pavimentação no Brasil, para propiciar um entendimento do cenário atual do país, como se deu essa evolução aqui, e os motivos de atualmente a malha rodoviária ser majoritariamente de pavimentação asfáltica.

Bernucci et al (2022), faz um resumo sobre vias emblemáticas que podem traçar a história da pavimentação no país, baseado em obras de autores que se aprofundaram no tema. Uma das primeiras estradas reportadas tem início em 1560, na época do terceiro governador-geral do Brasil, Mem de Sá, era um caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto, posteriormente passou a ser conhecida como Estrada do Mar (FIGURA 01), um fato é que as estradas, independente do material que for feita, precisam de manutenção , é por isso que essa estrada passou por mais de um momento em que foi abandonada e precisou ser restaurada, “em 1920, foi criada a Sociedade Caminho do Mar, responsável pela reconstrução da estrada e estabelecimento de pedágio e, em 1922, o seu trecho mais íngreme foi pavimentado com concreto” (BERNUCCI et al, p. 19, 2022), apontado como primeiro pavimento de concreto executado no país, em seguida outra pavimentação em concreto foi realizada em 1932, a pavimentação da travessia de São Miguel Paulista, da antiga estrada Rio - São Paulo (SILVA; CARNEIRO, 2014).

Figura 1: Estrada do mar.



Fonte: História das rodovias, 2004 (apud Bernucci et al., p.19, 2022).

No início do século XX, havia no país 500 km de estradas com revestimento de macadame hidráulico ou variações, sendo que na época o tráfego era de veículos usando tração animal, somente em 1986 veio da Europa para o Brasil o primeiro veículo de carga, sendo a Ford Motor Company instalada no Brasil em 1919, 10 anos após o modelo de carro Ford ter sido lançado nos Estados Unidos, e em 1916 foi realizado o I Congresso Nacional de Estradas de Rodagem no Rio de Janeiro, ou seja, a chegada da indústria de automóveis no país é o fator primordial para o desenvolvimento da infraestrutura das estradas (BERNUCCI et al., 2022).

Em 1937, o presidente Getúlio Vargas criou o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Na década de 1940 observou-se um avanço de pavimentação fruto da tecnologia desenvolvida durante a II Guerra Mundial, de acordo com Silva e Carneiro (2014), até a década de 1950 a utilização do concreto de cimento Portland na pavimentação era intensa em nosso país, tanto em vias urbanas quanto em rodovias, mas, a partir do fim da Segunda Guerra Mundial, a produção nacional de cimento foi destinada prioritariamente ao suprimento de necessidades fundamentais da emergente indústria da Construção Civil, e ainda nessa mesma época os Estados Unidos desenvolveu uma extensa tecnologia de pavimentos flexíveis à base de produtos betuminosos, que vale salientar foi rapidamente absorvidas por órgãos

brasileiros ligados a este ramo, pois os preços dos derivados de petróleo eram muito baixos, devido às refinarias de petróleo instaladas no país.

Essa conjuntura da época,

[...] estimulou o meio técnico de pavimentação a aparelhar-se quase que exclusivamente para emprego de pavimentos asfálticos. Como consequência, há uma certa resistência para que se passe novamente a adotar a alternativa dos pavimentos rígidos para a pavimentação, mesmo havendo sinais efetivos da mudança das circunstâncias técnicas e, principalmente, econômicas (PITTA, 2009, apud SILVA; CARNEIRO, 2014).

Com essa análise, percebe-se de onde iniciou e quais fatores influenciaram a utilização maciça dos pavimentos flexíveis no Brasil, cuja mentalidade de escolha por esse pavimento em detrimento do pavimento rígido perdura até hoje.

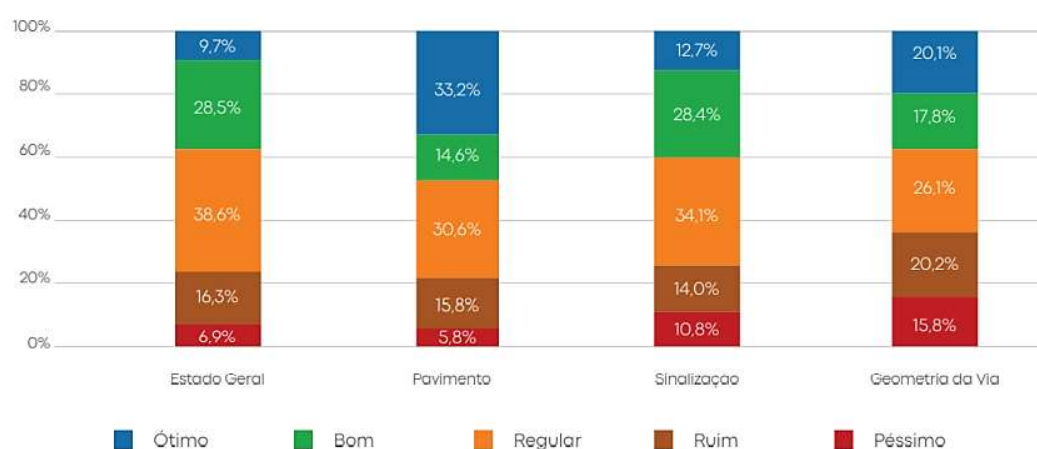
Dito isto, outra informação importante na análise histórica da pavimentação no país é sobre o quantitativo de malha viária pavimentada ao longo dos anos no Brasil, “o grande impulso na construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, graças à criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos” (BERNUCCI et al., 2022). Analisando números, em 1993 o Brasil registrava 133.000 km de rodovias pavimentadas, até 2005 esse número cresceu para 196.000 km, que comparado ao número de 1.400.000 km de rodovias não pavimentadas, representava um percentual de apenas 10% de vias pavimentadas, o que contrastava bastante com a média de 50% de rodovias pavimentadas de locais como Estados Unidos e Europa, e 20% na América do Sul, na mesma época (BERNUCCI et al., 2022).

Atualmente, os dados mais próximos sobre esse quantitativo no Brasil, foram apresentados no anuário de 2021 da Confederação Nacional do Transporte (CNT), onde a extensão total da malha rodoviária registrada em 2019 é de 1.720.700,0 km, em que 12,4 % (213.452,0 km) é de malha pavimentada, 9,1% (157.309,0 km) é planejada, e 78,5% (1.349.938,0 km) é não pavimentada. Um dado desanimador, mas importante de salientar é que de 2009 a 2019 a malha pavimentada cresceu 0,5%, ao contrário da frota de veículos que aumenta

expressivamente, por exemplo de 2011 até 2021, houve um crescimento de 57,1%.

Os números falam por si, e apontam um problema que vai além da necessidade de aumentar o percentual de rodovias pavimentadas, mas também sobre a qualidade dessas rodovias, segundo a CNT, o transporte rodoviário é responsável pela movimentação de mais de 60% das mercadorias e de mais de 90% dos passageiros, esse transporte sofre graves problemas com a baixa qualidade da infraestrutura no Brasil, pois pavimentos deficientes implicam mais gastos com despesas de manutenção do veículo, maior demanda do motor e de consumo de combustíveis por quilômetro rodado, aponta-se que o custo operacional do transporte sofreu um acréscimo médio de 30,9% por conta das rodovias em Regular, Ruim e Péssimo estado de conservação, abaixo na Figura 2 a CNT mostra através de um gráfico como está essa situação em extensão total de rodovias.

Figura 2: Resumo das características - extensão total.



Fonte: Pesquisa CNT de rodovias 2021 – principais dados.

A CNT, estima que as rodovias demandam um investimento de R\$ 82,5 bilhões para reconstrução, restauração ou manutenção de 92.711 quilômetros com problemas. Além do alto valor que necessitaria ser investido para melhorar a infraestrutura dos pavimentos no país, ainda há uma estimativa de uma alta quantia que foi desperdiçada, cerca de 955,99 milhões de litros de diesel, o consumo a mais de combustível se dá devido a problemas de qualidade das

rodovias brasileiras, e representam um prejuízo financeiro de, aproximadamente, R\$ 4,21 bilhões para os transportadores de cargas e de passageiros no Brasil.

Bernucci et al. (p.23, 2022) faz uma reflexão assertiva sobre a situação do país que condiz com os dados apresentados:

Nas últimas décadas, o investimento em infraestrutura rodoviária se encontra bem aquém das necessidades do país, havendo uma crescente insatisfação do setor produtivo com esse nível de investimento. Observa-se que os bens produzidos no país podem ser mais competitivos na fase de produção, mas perdem competitividade, notadamente, no quesito infraestrutura de transportes, devido a uma matriz modal deficiente, onde as estradas (principal meio de escoamento da produção nacional) encontram-se em estado tal que não são capazes de atender às necessidades de transporte de carga nacionais. Essa realidade nos torna pouco competitivos no mercado exterior e cria uma situação econômica nacional insustentável.

3.2 Características

3.2.1 Tipos de pavimentos

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006, p.98) os pavimentos são classificados em flexíveis, semirrígidos e rígidos:

3.2.1.1 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, revestida por uma camada asfáltica.

3.2.1.2 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.

3.2.1.3 Rígido: 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.

O presente trabalho terá enfoque no pavimento asfáltico (flexível), e no pavimento de concreto de cimento Portland (rígido), onde será apresentado suas respectivas particularidades e indicações.

3.2.2 Tipos de camadas

O motivo de haver diferentes camadas na formação do pavimento, é devido ao fato de que ele recebe esforços, principalmente vertical ocasionado pelo peso dos veículos e pedestres que se locomovem sobre ele, sendo assim, é preciso que o pavimento resista a essas solicitações, e redistribua os esforços ao longo da sua estrutura, dessa forma prolongando sua vida útil.

Cada tipo de pavimento, apresenta diferentes necessidades quanto ao número de camadas e a composição delas.

Quando se fala em pavimento asfáltico, a maioria das pessoas pode pensar que se trata apenas daquela camada que se vê superficialmente, também chamada camada de rolamento, entretanto o pavimento em si compreende um conjunto de camadas (FIGURA 3), segundo Bernucci et al. (2010, p.11):

É formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento – em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, por vezes denominadas de binder, embora essa designação possa levar a uma certa confusão, uma vez que esse termo é utilizado na língua inglesa para designar o ligante asfáltico. Dependendo do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se ter ausência de algumas camadas.

Figura 3: Camadas do pavimento asfáltico.



Fonte: SILVA, 2018

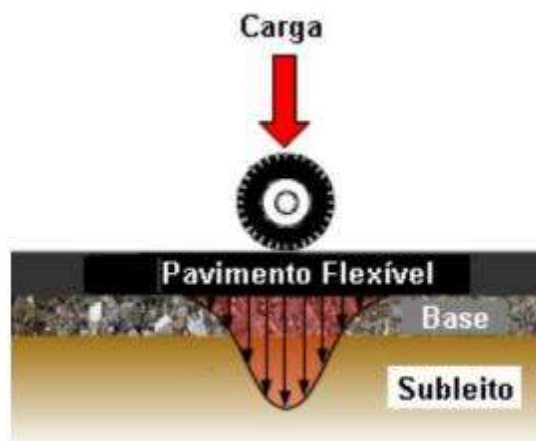
O comportamento estrutural do pavimento, vai depender justamente do dimensionamento dessas camadas, quanto a sua espessura, o material utilizado em cada uma delas, e a interação entre elas. Essas escolhas do dimensionamento são feitas baseadas no volume do tráfego do trecho em questão que será feito o pavimento e na capacidade de suporte do subleito.

As funções da camada de revestimento são, resistir diretamente as ações do tráfego e redistribuí-las para as camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento, e proporcionar boas condições de rolamento. Quando se trata do pavimento asfáltico, sua composição é basicamente uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, já o pavimento de concreto de cimento Portland tem seu revestimento executado com concreto (produzido com agregados e ligantes hidráulicos), a diferença entre esses dois pavimentos no quesito rigidez da camada de rolamento, é o que os diferencia também nas camadas subjacentes.

De acordo com Bernucci et al. (2022) os revestimentos das estruturas de pavimento flexível em geral são submetidos a esforços de compressão e de tração devidos à flexão, ficando as demais camadas submetidas principalmente à compressão por serem materiais granulares ou solo, como a própria definição do pavimento flexível explica, as camadas sofrem deformação elástica (deformação reversível, sem deslocamentos permanentes de moléculas ou átomos) significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas, gerando uma grande área de tensões no ponto de aplicação da carga, conforme a Figura

4, é devido a isso que esse pavimento pode necessitar de todas as camadas representadas na Figura 3. Vale ressaltar que mesmo que o pavimento sofra deformação elástica sendo a mesma reversível, mas com o tempo, e as solicitações sofridas pelo pavimento, haverá deformação permanente.

Figura 4: Esforços nas camadas do pavimento flexível.



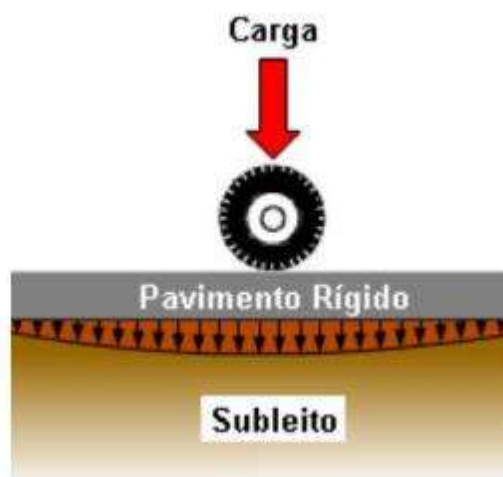
Fonte: BALBO, 2007.

No pavimento rígido, essa distribuição das cargas ocorre de outra maneira, Bernucci et al. (2022, p.536), explica que:

[...] devido à elevada rigidez do revestimento em relação às demais camadas, as cargas de superfície são distribuídas por uma grande área em relação à área de contato pneu-pavimento, aliviando dessa forma as tensões transmitidas às camadas subjacentes. Nos pavimentos asfálticos, a razão da rigidez do revestimento em relação às demais camadas granulares não é tão elevada como no caso do revestimento de concreto de cimento Portland, fazendo com que as tensões sejam compartilhadas entre as diversas camadas, proporcionalmente à rigidez (material e geometria). Nesse caso as cargas de superfície são distribuídas numa área mais restrita.

A Figura 5 demonstra como é a distribuição das cargas para o pavimento de concreto de cimento Portland. É possível notar a diferença na distribuição das cargas entre a Figura 4 e a Figura 5, respectivamente sendo uma mais pontual e alcançando uma maior área vertical, atingindo todas as camadas do pavimento, e outra com sua distribuição mais horizontal exigindo menos das camadas subjacentes

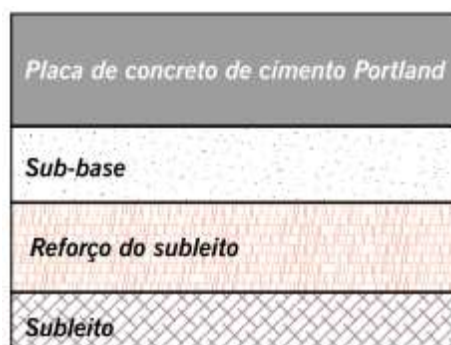
Figura 5: Esforços em camadas do pavimento rígido



Fonte: BALBO, 2007.

Sabendo dessa diferença entre a distribuição das cargas, explica-se o motivo do pavimento rígido necessitar de menos camadas abaixo da camada de rolamento, conforme a Figura 6, é possível ver quais camadas podemos encontrar nesse tipo de pavimento, e ressaltando que assim como o pavimento flexível, a depender de fatores como tráfego, materiais utilizados na composição das camadas e capacidade de suporte do subleito, pode-se optar pela ausência de alguma das camadas. Vale salientar que esse pavimento não necessita da camada de base, pois segundo Ferreira (2015, p. 18) “o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland e serve como camada de rolamento e base do pavimento”.

Figura 6: Camadas do pavimento de concreto de cimento Portland.



Fonte: Bernucci et al. (2022, p.536)

As camadas subjacentes a de rolamento, independentemente do tipo de pavimento recebem o mesmo nome, reforço de subleito, base e sub-base, estas são responsáveis por proteger o subleito dos esforços provenientes do tráfego.

A base tem por finalidade distribuir os esforços para as camadas abaixo desta, já a sub-base é uma camada complementar à base, com as mesmas funções dela, e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base, já o reforço de subleito é a camada do pavimento executada com o objetivo de reduzir a espessura da sub-base, por motivos técnicos ou econômicos (GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS RODOVIÁRIOS - DNIT, 2017, p. 255).

Essas camadas são constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes no caso dos pavimentos flexíveis, pois aditivos dessa natureza acrescentam significativamente rigidez ao material natural, sendo assim o pavimento deixaria de ser considerado flexível (BERNUCCI et al., 2010), entretanto para os pavimentos rígidos o material dessas camadas permanece o mesmo, mas podendo sim terem adições de agentes cimentantes, alguns desses aditivos podem ser cimento, cal, emulsão asfáltica, atualmente vem sendo empregados, cada vez mais, materiais como agregados, fíleres, e mesmo materiais com poder pozolânico, reciclados de diferentes origens, dos próprios pavimentos ou de obras civis diversas (BERNUCCI et al., 2022).

Os materiais granulares por não possuírem coesão não resistem à tração, trabalhando eminentemente aos esforços de compressão. Já os solos coesivos da mesma forma também resistem principalmente a compressão, mas também resistem a tração de pequena magnitude, devido a coesão dada pela fração fina do solo, porém não se pode atribuir resistência à tração para esses materiais para fins de tensões admissíveis e de comportamento estrutural (BERNUCCI et al., 2022).

Os materiais mais empregados em pavimentação da classe dos granulares e solos são: brita graduada simples (BGS) e bica ou brita corrida; macadame hidráulico; macadame a seco; misturas estabilizadas granulometricamente (estabilizadas por combinação de materiais para atender certos requisitos ou mecanicamente); solo-

agregado; solo natural; solo melhorado com cimento ou cal. Deve-se ressaltar ainda a existência de outros materiais de uso crescente em pavimentação, decorrentes de reutilização e reciclagem: escória de alto-forno; solo-vidro moído; agregado reciclado de resíduo sólido de construção civil e demolições; coprodutos de extração de rochas ornamentais; resíduos ou coprodutos de mineração em geral; agregados de revestimento asfáltico fresado etc. Incluem-se os granulares constituídos de partículas de maior dimensão, uma combinação de agregados na fração pedra e fração pedregulho, denominado de “rachão”. Esses materiais são empregados em geral sobre o subleito, para melhorar sua capacidade portante. (BERNUCCI et al. 2022, p.555).

Ou seja, é possível a utilização de uma infinidade de materiais que atendam as necessidades estruturais dessas camadas adjacentes e ainda sejam uma opção econômica.

A última camada do pavimento, é o subleito que de acordo com o glossário de termos técnicos rodoviários (DNIT, 2017), subleito é um Maciço teoricamente semi-infinito que serve de fundação para um pavimento. O subleito é constituído por material natural consolidado e compactado, nos locais em que não será aterrado do terreno, ou onde houve corte, se houver necessidade de aterro em alguns locais, o subleito nesses locais em questão será de material transportado e compactado, podendo ser o mesmo material obtido nos próprios taludes de corte, ou um material de empréstimo fora da faixa de domínio. Eventualmente, será também aterro sobre corte quando o solo natural não apresentar capacidade mínima de suporte. (FERREIRA et al., 2021).

3.2.3 Tipos de pavimento asfáltico

Pode ser de diferentes tipos de pavimento asfáltico, suas classificações variam conforme seus revestimentos e forma de execução. Os revestimentos asfálticos também conhecidos como betuminosos, pois são constituídos por associação de agregados e materiais betuminosos, cuja associação entre esses materiais pode ser feita de duas maneiras clássicas: por penetração e por mistura (FIGURA 7), De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

Figura 7: Classificação dos revestimentos flexíveis.



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006).

3.2.3.1 Associação de materiais do revestimento por penetração

A associação de materiais por penetração ocorre de duas formas, invertida e direta.

A invertida é quando os revestimentos são executados através de uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguidas de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas, ou seja, aplica-se primeiro o material betuminoso, e depois a camada de agregado. Conforme o número de camadas tem-se os intitulados, tratamento superficial simples, duplo ou triplo. O tratamento simples, executado com o objetivo primordial de impermeabilização ou para modificar a textura de um pavimento existente, é denominado capa selante (DNIT, Manual de Pavimentação, 2006, p.98).

A penetração direta, é o contrário da invertida, quando os revestimentos são executados através do espalhamento e compactação de camadas de agregados com granulometria apropriada primeiro, sendo cada camada, após compressão, submetida a uma aplicação de material betuminoso e recebendo, ainda, a última camada, uma aplicação final de agregado miúdo (DNIT, Manual de Pavimentação, 2006, p.99). Um revestimento típico, por "penetração direta", é o Macadame Betuminoso, que significa, "camada constituída de pedra britada graúda mais ou menos uniforme, interpenetrada por compactação, que

frequentemente recebe material de enchimento e aplicação de aglutinante” (Glossário de termos técnicos rodoviários, DNIT, 2017, p.195).

3.2.3.2 Associação dos materiais do revestimento por mistura

Conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) define, nos revestimentos betuminosos por mistura, o agregado é pré-envolvido/misturado com o material betuminoso, antes da compressão. Quando o pré-envolvimento é feito em usinas fixas, resultam os "Pré-misturados Propriamente Ditos" e, quando feito na própria pista, têm-se os "Pré-misturados na Pista" (road mixes), e conforme a graduação dos agregados com que são executados ambos, eles podem ser de graduação aberta, em que a quantidade de materiais finos é insuficiente para encher os vazios das partículas maiores, ou densa em que a quantidade de materiais finos é suficiente para encher os vazios das partículas maiores. Os de graduação densa em geral não requerem capa selante, que é obrigatória nos de graduação aberta.

São adotadas ainda as seguintes designações: pré-misturado a Frio (PMF), que é a mistura asfáltica em usina apropriada, composta de agregados minerais e emulsão asfáltica, espalhada e compactada a frio (DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ, 2005), podendo ser empregado como camada de nivelamento, regularização, intermediária, binder ou base. E o pré-misturado a quente (PMQ), conforme Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo (2006) é uma mistura executada a quente, em usina apropriada, composta de agregado graduado, cimento asfáltico e, se necessário, melhorador de adesividade, espalhada e compactada a quente, com volume de vazios maior do que 12, ele pode ser empregado como camada de regularização, de ligação, binder ou base. O Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ) ou Concreto Asfáltico (CA) é um tipo de 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 e vazios, eles são os mais utilizados na pavimentação atualmente (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO DO DNIT, 2006).

Há ainda a areia-betume, quando o agregado, é constituído majoritariamente de material passando na peneira nº 10, de abertura 2,0 mm, ou seja, a composição sendo areia, tem-se os "Road-mixes" e os "Pré-misturados" Areia-Betume (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO DO DNIT, 2006). Na Figura 7 ainda aparece a designação "Sheet-Asphalt", que tem sido usado para os pré-misturados areia-betume que satisfazem a exigência semelhantes às feitas para o concreto betuminoso.

3.2.4 Tipos de pavimento de concreto de cimento Portland

Os pavimentos de concreto de cimento Portland, também tem diferentes classificações, que variam pela forma de execução e materiais do revestimento. Segundo Balbo (2009), existem os seguintes tipos:

- 3.2.4.1 Pavimento de Concreto Simples (PCS):** Por não possuir armaduras, o concreto tem alta resistência para combater aos esforços de tração na flexão, devendo ter juntas serradas de contração para controlar a retração;
- 3.2.4.2 Pavimento de Concreto Armado (PCA):** Devido ao concreto trabalhar em regime de compressão sem sofrer esmagamento, há presença de armaduras no banzo tracionado. Isso se dá devido ao fato de as armaduras resistirem aos esforços de tração. Nesse caso, também deve ser colocado juntas serradas, mas de maneira mais espaçadas que no PCS;
- 3.2.4.3 Pavimento de Concreto com Armadura Continua (PCAC):** A armadura desse tipo de pavimento é do tipo contínua, colocada um pouco acima da linha neutra da seção transversal, com o intuito de manter as faces fissuradas unidas;
- 3.2.4.4 Pavimento de Concreto Protendido (PCPRO):** Neste tipo de pavimento, é utilizado cordoalhas tracionadas, com a finalidade de impor uma compressão inicial na peça, auxiliando a mesma a resistir aos esforços de tração. Permite utilizar placas de grandes dimensões planas e menores espessuras;

3.2.4.5 Pavimento de Concreto Pré-Moldado: Neste tipo de pavimento, as placas de concreto são fabricadas sob medida, com grande controle de precisão para facilitar a substituição de placas em pavimentos deteriorados;

3.2.4.6 Whitetopping (WT): É uma nova camada de revestimento, colocada sobre o antigo pavimento asfáltico, que pode ser em PCA, PCS, PCPRO, PCPM ou PCAC;

3.2.4.7 Whitetopping Ultradelgado (WTUT): é uma camada delgada de concreto com uma elevada resistência. Apresenta em placas de pequenas dimensões, bem como trabalha por deflexão e flexão. Geralmente, é utilizado concreto de alta resistência, e as juntas de contração são serradas com pequenos espaçamentos.

4. MÉTODO DE EXECUÇÃO

Dando continuidade as características que diferenciam os pavimentos rígidos dos flexíveis, será abordado sobre o método de execução de cada um, mas como visto anteriormente, eles podem ter variações, então será explicado o tipo mais comumente utilizado de cada pavimento, no caso do flexível, será detalhado a forma de execução do concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), e para representar o pavimento rígido, o escolhido é o pavimento de concreto armado (PCA).

4.1 Pavimento asfáltico

Como o pavimento é composto por camadas, existe os cuidados e a forma de execução de cada uma delas, cujas especificações estão descritas em normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

4.1.1 Execução da regularização do subleito

Toda a vegetação e material orgânico porventura existentes no leito da rodovia devem ser removidos por uma motoniveladora, dependendo do greide de projeto, será necessário a execução de cortes e/ou aterros, deve-se proceder à escarificação geral na profundidade de 20 cm, que serve para descompactar o solo e facilitar sua homogeneização, seguida de pulverização, umedecimento ou

secagem, para que o solo esteja na umidade ótima estabelecida em projeto, e posteriormente é feito a compactação e acabamento (DNIT 137/2010-ES).

4.1.2 Execução do reforço de subleito

Essa camada só se faz necessária caso o subleito possua uma baixa capacidade de suporte, sua execução compreende operações de mistura e pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais na pista, seguidas de espalhamento, compactação e acabamento, e sua espessura mínima após compactada deve ser de 10cm (DNIT 138/2010-ES).

4.1.3 Execução da Sub-base e base

Para essas camadas a execução é praticamente a mesmas, elas variam em espessura e material. Após a regularização do subleito, o material que vai compor essas camadas é ideal que venha de locais próximos para reduzir os custo da obra, sua execução compreende as operações de mistura e pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais, que pode ser feito em central de mistura ou na pista, seguidas das etapas de espalhamento, feito com auxílio de motoniveladoras e trator com grade de discos que ajudam a destorroar o solo, em seguida é realizada a compactação com rolo liso ou pé de carneiro, e acabamento, realizadas na pista devidamente preparada, na largura desejada, nas quantidades que permitam, após a compactação, atingir a espessura projetada (DNIT 139/2010-ES; DNIT 140/2010-ES).

4.1.4 Execução da imprimação com ligante asfáltico

A imprimação consiste na aplicação de material asfáltico sobre a superfície da base concluída, ela é feita antes da execução do revestimento asfáltico, seu objetivo é promover a coesão superficial, impermeabilização e permitir condições de aderência entre a camada de base e o revestimento a ser executado.

Dever ser feito a varredura da superfície, para eliminar todo e qualquer material solto, e antes da aplicação do ligante asfáltico a pista pode ser levemente umedecida, em seguida aplica-se o ligante asfáltico, na temperatura adequada, na quantidade recomendada e de maneira uniforme. A temperatura

de aplicação do ligante asfáltico deve ser a que proporcione a melhor viscosidade para seu espalhamento (DNIT 144/2014-ES).

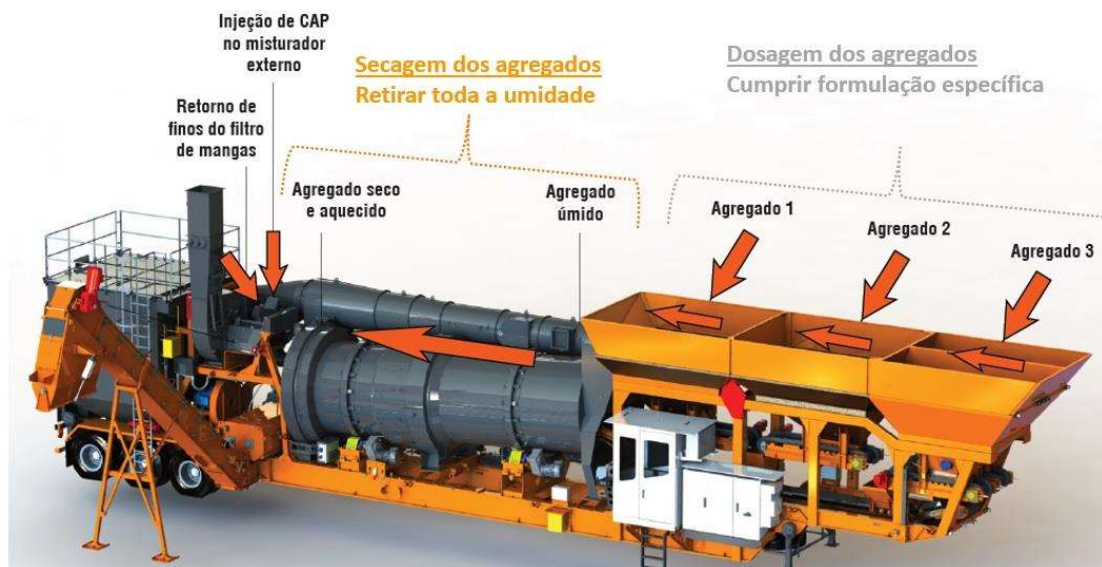
4.1.5 Execução do revestimento com o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ)

O CBUQ que será a camada de revestimento do pavimento, por ser um tipo de pré-misturado a quente, em que são feitas rigorosas exigências no que diz respeito a equipamentos de construção e índices relacionados a dosagem da mistura, é executado em usinas, que de acordo com Bernucci et al (2022), podem ser basicamente de dois tipos, usina de produção por batelada ou gravimétrica, que produz quantidades unitárias de misturas asfálticas a cada operação, e a usina de produção contínua ou drum-mixer, cuja produção é contínua, de acordo com a própria descrição . As usinas asfálticas podem ter diferentes arranjos, mas de uma maneira simplificada executam um mesmo processo, com mais ou menos precisão a depender da logística e equipamentos utilizados.

Na Figura 8 a seguir, é possível visualizar uma usina asfáltica, é preciso analisar a imagem da direita para a esquerda para compreender o processo, primeiro existem 3 silos que armazenam agregados com granulometrias diferentes, para que seja feita a dosagem de cada um que corresponda ao traço que se quer obter na mistura asfáltica final, após a dosagem, a próxima etapa é a secagem desse agregado, o sistema deve possuir um queimador de óleo ou gás para aquecer o material, pois como os agregados são mais atraídos pela água do que pelo cimento asfáltico de petróleo (CAP), então se faz necessário tirar a umidade do mesmo, para não prejudicar a aderência dele com o CAP, durante esta etapa o ar que flui através do secador carrega com ele gases de exaustão e também uma pequena quantidade de partículas de pó proveniente dos agregados, para que elas não sejam jogadas diretamente na atmosfera, esse ar será filtrado por um sistema de controle de emissões, e os finos que forem separados, podem ser reincorporados na hora da mistura, que é a próxima e última etapa. Os agregados são misturados com o CAP em um misturador, podem ser empregados os seguintes tipos de cimento asfáltico de petróleo: CAP-

30/45, CAP-50/70 e CAP-85/100. O produto é encaminhado para os caminhões onde será transportado até o local de aplicação.

Figura 8: Esquematisação das etapas da produção de CBUQ em uma usina asfáltica.



Fonte: Construacivilpet , 2018. Disponível em:

<<https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2018/04/30/como-funciona-uma-usina-de-asfalto/>>

Os caminhões transportam a mistura asfáltica até o local de aplicação e ela é transferida para equipamentos que fazem o espalhamento e acabamento, deve ser constituído de pavimentadoras automotrizes, capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento definidos no projeto, que podem ter controle de temperatura, para que no momento da compactação a massa esteja com a temperatura adequada para colocação sem irregularidades (DNIT 031/2006-ES).

A etapa de compactação é realizada por equipamento constituído por rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório. Com a conclusão de todas as etapas o tráfego só poderá ser liberado após completo resfriamento do CBUQ (DNIT 031/2006-ES).

4.2 Pavimento de concreto de cimento Portland

No tópico 3.2.2, onde foi abordado os tipos de camadas que compõe o pavimento rígido, foi visto que ele necessita de menos camadas que o pavimento flexível, geralmente somente a sub-base, e o reforço de subleito quando

necessário, tanto o preparo do subleito, como o reforço do subleito seguem as mesmas premissas de execução do pavimento flexível, que já foram abordadas nos tópicos anteriores 4.1.1 e 4.1.2, portanto será abordado a seguir sobre a execução da sub-base para esse tipo de pavimento e suas particularidades.

4.2.1 Execução de sub-base

De acordo com o Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT 2005, têm sido usadas sub-bases estabilizadas granulometricamente ou com adições cimentícias, podendo ainda ser de concreto rolado (concreto compactado com rolo. A escolha de qual será o tipo da sub-base, dependerá das condições de projeto, ressaltando-se que as sub-bases estabilizadas com cimento são recomendáveis quando se trata de tráfegos pesados.

Para detalhar melhor, o foco será na execução de sub-base de solo cimento, a mistura dos materiais pode ser feita na pista ou em central, o ideal é que seja feito em central pois se faz o uso de equipamento que se proporciona o cimento e o solo antes de entrarem na câmara de mistura, realizando isso com precisão na dosagem e homogeneização da mistura solo, cimento e água (DNIT 058/2004-ES). Em seguida é realizado o transporte da mistura já pronta para o local de aplicação, com cuidado para que não perca a umidade e nem receba água da chuva, onde será espalhada com as devidas precauções quanto à espessura, greide longitudinal e seção transversal. A última etapa é a de compactação que deverá ser feita por equipamento, recomendado de acordo com o tipo de solo, se for compactação de solos arenosos ou pouco argilosos deverá ser feita de preferência com o emprego de rolos pneumáticos, mas se forem solos argilosos deverá ser iniciada com o emprego de rolos pé-de-carneiro e terminada com rolos lisos ou, de preferência, com rolos pneumáticos (DNIT 058/2004-ES). “Após a conclusão da compactação, deverá ser feito o acerto final da superfície, de modo a satisfazer ao projeto, pela eliminação de saliências, com o emprego da motoniveladora” (DNIT 058/2004-ES, p.4).

Após execução da sub-base, ela deverá ser submetida a um processo de cura, devendo para esse fim ser protegido contra a perda rápida de umidade durante o período de pelo menos 7 dias (DNIT 058/2004-ES). Deve-se ainda ser colocada uma película isolante e impermeabilizante sobre a superfície da sub-

base e verificar se a película está adequadamente esticada e se as emendas são feitas com transpasse de, no mínimo, 20 cm.

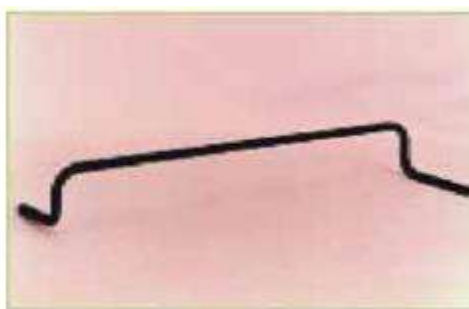
4.2.2 Execução do revestimento de concreto armado

O pavimento de concreto armado ou pavimento de concreto estruturalmente armado é formado por placas de concreto moldadas in loco e serradas. Esse tipo de pavimento é composto por duas linhas de armadura; uma situa-se abaixo do plano médio da seção e tem a função de resistir às tensões de tração geradas pelo carregamento. A outra situada acima do plano médio da seção, tem a função de controlar a fissuração ocasionada pela retração do concreto (BALBO, 2005, apud FELIX, 2008, P.9).

De acordo com o Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005), os cuidados na execução deste tipo de pavimento e os critérios para o controle de qualidade, são os mesmos indicados para o pavimento de concreto simples, isso pois não existe uma norma técnica específica para o de concreto armado, então neste Manual dispõe de alguns cuidados que se deve ter na colocação das armaduras que são a diferença na execução entre o pavimento de concreto simples e o estruturalmente armado.

No Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005), explica que a armadura principal, deve ser posicionada adequadamente com o auxílio de espaçadores apropriados e não com pedaços de tijolos ou madeiras, que, por seu tamanho exagerado, acabam por reduzir a seção da placa. Os espaçadores apropriados são comumente denominados caranguejos (FIGURA 9), que são um segmento de barra de aço de armadura, o tamanho da bitola geralmente varia entre 8,0 ou 10 mm, “dobrado em cinco partes, de modo a que três delas formem um “u”, cuja altura coincide com aquela que se deseja para a tela no piso e as outras duas sejam ortogonais ao seu plano, dando sustentação vertical” (DNIT - Manual de Pavimentos Rígidos, 2005, p.182).

Figura 9: Espaçador tipo caranguejo.



Fonte: DNIT - Manual de Pavimentos Rígidos (2005).

Colocados os espaçadores, existem algumas variadas formas de fazer o espalhamento, adensamento e acabamento do concreto, podendo ser por exemplo com equipamento de pequeno porte, equipamento de fôrma-trilho e equipamento de fôrma-deslizante, a escolha dos equipamentos em cada caso depende da disponibilidade local e limitações econômicas específicas.

Será especificado então como isso será feito através do equipamento fôrma-deslizante (FIGURA 10), pois ele concentra em uma só unidade a recepção, a distribuição, a regularização, o adensamento e a terminação superficial do concreto, cuja norma do DNIT 049/2013, trata sobre a especificação de serviço da execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes.

Figura 10: Execução de pavimento de concreto com equipamento de fôrma deslizante.



Fonte : BATISTA, 2021.

Com base nesta norma (DNIT 049/2013) o concreto que será utilizado deve ser produzido em centrais do tipo gravimétrica, dosadoras e misturadoras, e a central de concreto deve ter capacidade nominal compatível com a vibroacabadora.

“O lançamento do concreto pode ser feito por descarga lateral ou frontal ao equipamento vibroacabador. No caso de descarga frontal, a sub-base deve ter resistência suficiente para suportar o tráfego dos caminhões basculantes, sem que sua qualidade seja afetada “(DNIT 049/2013, p.7).

“No espalhamento do concreto podem ser usadas, além da pá-distribuidora do sistema de fôrmas deslizantes, rosca sem-fim, pá triangular móvel ou caçamba que receba o concreto “(DNIT 049/2013, p.7).

“O adensamento do concreto deve ser realizado por vibradores hidráulicos ou elétricos fixados em barras de altura variável, que possibilitem executar a pista na espessura projetada” “(DNIT 049/2013, p.7).

A forma final do concreto deve ser dada pelos moldes horizontais e verticais do equipamento vibroacabador, sendo que alguns equipamentos são dotados de mesa acabadora flutuante (float pan), ou de régua metálicas acabadoras oscilantes transversais e longitudinais, ou apenas longitudinais (Auto floats), deixando-o praticamente acabado (DNIT 049/2013, p.7).

No acabamento executam-se ranhuras na superfície do pavimento, aumentando sua aderência com os pneumáticos dos veículos podem ser feitos com pentes de fios metálicos, vassouras de fios metálicos, vassouras de fios de náilon, e vassouras de piaçava (DNIT 049/2013).

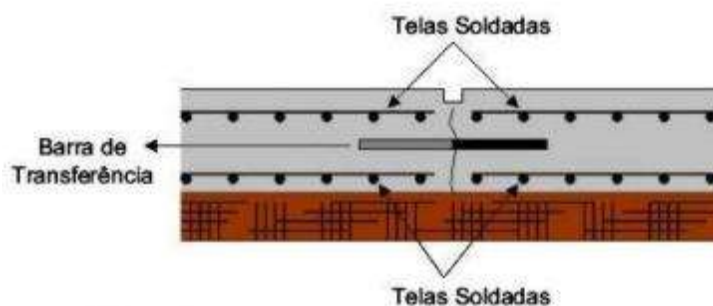
Logo após o término das operações de texturização, assim que o concreto tenha perdido o brilho superficial, devem ser utilizados produtos químicos capazes de formar película plástica que atendam à norma ASTM C309-11, para garantir um adequado processo de cura do concreto (DNIT 049/2013).

Ainda devem ser serradas as juntas “longitudinais e transversais, as longitudinais de articulação devem ser serradas no concreto semi-endurecido, num prazo máximo de 24 horas após o término do acabamento superficial. É de fundamental importância que o corte garanta a profundidade da ranhura prevista no projeto” (DNIT 049/2013, p.9).

A serragem das juntas transversais também exige um concreto semi-endurecido, ao qual se deve aplicar um plano de corte em que a idade do concreto no momento do corte esteja entre 6 e 12 horas. “O plano de corte deve ser definido pela construtora e aprovado pela Fiscalização, para a obra em questão, em vista das condições climáticas, do tipo de concreto aplicado e, principalmente, do tipo de cimento.” (DNIT 049/2013, p.9).

É preciso nessa fase a colocação das barras de ligação/transferência (FIGURA 11) nas juntas longitudinais e transversais, devem possuir o diâmetro, espaçamento e comprimento definidos no projeto e um cuidado especial de que estejam limpas e isentas de óleo ou de qualquer substância que possa prejudicar sua aderência ao concreto (DNIT 049/2013).

Figura 11: Elementos que compõem o pavimento de concreto estruturalmente armado.



Fonte: FELIX, 2008, P.10

“As barras de ligação externas, instaladas nas juntas longitudinais de construção, devem ser inseridas preferencialmente de forma automática pela vibroacabadora, devendo ser obedecidas as posições previstas em projeto.” (DNIT 049/2013, p.9).

Já as barras transversais, admite-se sua instalação tanto previamente, por meio de dispositivos de suporte, quanto durante a concretagem, no caso das vibroacabadoras dotadas de insertores automáticos de barras de transferência (DNIT 049/2013).

E por fim deve ser feito a selagem das juntas, esse material selante só pode ser aplicado quando os sulcos das juntas estiverem limpos e secos.

Um último cuidado é que nos trechos ainda submetidos à cura, sob nenhum pretexto deve ser admitido o trânsito de pedestres, veículos e animais.

5. COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO DE CONCRETO E PAVIMENTO ASFÁLTICO

Até essa fase do trabalho foi possível entender o que são e quais as características dos pavimentos, agora será analisado comparativamente alguns dos aspectos principais de cada um, que podem contribuir ou interferir na escolha de qual pavimento usar.

5.1 Economia

O fator econômico é sem dúvidas o primeiro a ser considerado na escolha da construção do pavimento, pois é o que gera impacto nos cofres públicos, sendo assim, conhecendo a realidade do Brasil em termos políticos, as escolhas

nem sempre são pautadas numa visão de benefício a longo prazo, mas sim, em termos do que tem o menor custo inicial. No âmbito econômico a premissa que se sobressai do comparativo entre o pavimento rígido e o flexível, é de que apesar do pavimento de concreto possuir um maior custo inicial, seu custo de manutenção é mínimo, e no pavimento asfáltico é totalmente o oposto, menor custo de implementação, em contrapartida, custo altíssimo de manutenção, e ao analisar todos os custos ao longo da vida útil de cada pavimento, o pavimento rígido se apresenta como uma opção até mais viável economicamente. Para além dos custos de implementação e manutenção, optar pelo pavimento rígido trás economias em diferentes esferas, Mesquita (2001) fez um quadro comparativo referente a isso, demonstrado na Tabela 01 a seguir:

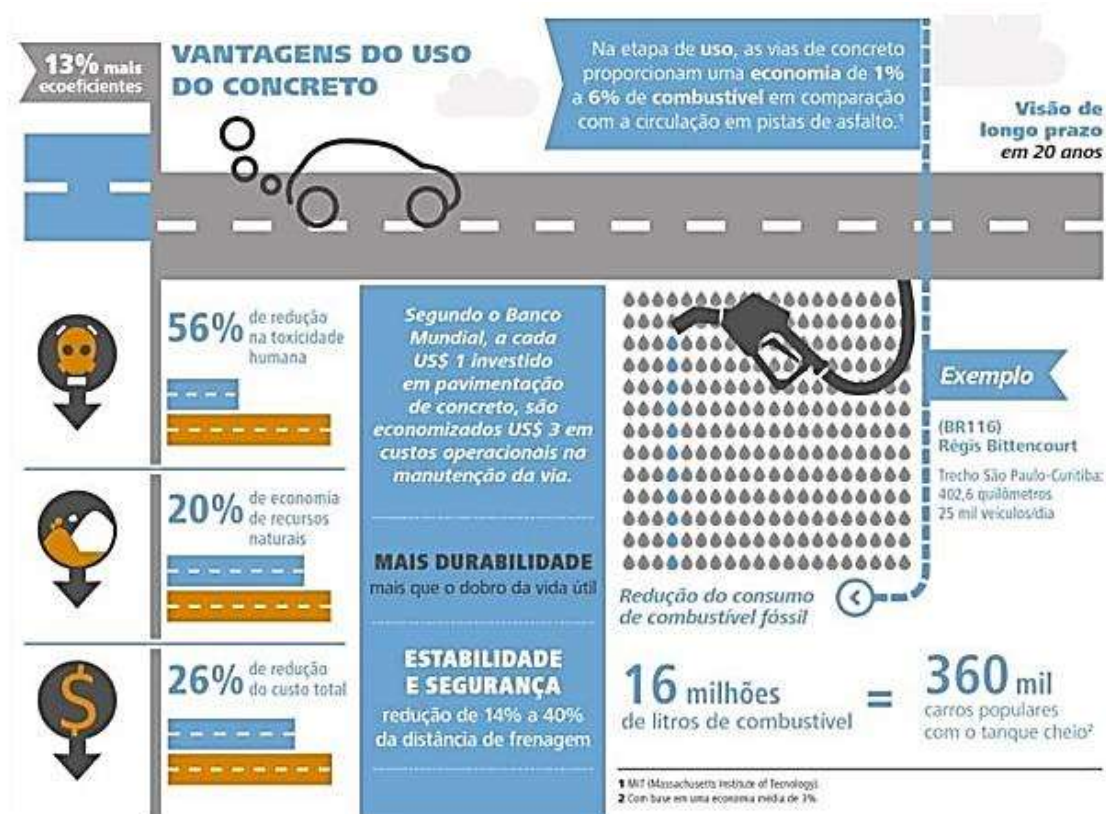
Tabela 1: Comparativo econômico entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.

Economia	
Concreto	Asfalto
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

Fonte: Mesquita (2001) adaptado por autor (2022).

Além do que foi mencionado por Mesquita (2001), há benefícios na questão ecológica da escolha pelo pavimento de concreto, como podemos ver abaixo na Figura 12, a Votorantim Cimentos (2017) apud Petzold et al. (2021) apresenta algumas dessas vantagens, que incluem serem mais benéficos ao meio ambiente pois as melhores condições de rolamento possibilitam uma redução do consumo de combustíveis dos veículos, economia de recursos naturais pois não se utiliza de matérias primas derivadas do petróleo, entre outros pontos positivos que a imagem representa.

Figura 12: Vantagens do uso do concreto na pavimentação.



Fonte: Votorantim Cimentos (2017) apud Petzold et al. (2021).

Apesar do que foi mencionado acima, uma análise que não entrou em questão foi sobre a escolha do pavimento para situações de baixo tráfego, pois é notório como o uso do pavimento de concreto é vantajoso para situações de tráfego intenso, como no caso dos corredores de ônibus em que ele está sendo usado com maior frequência, mas nem sempre o pavimento rígido vai apresentar um menor custo total quando se trata de situações de pouco tráfego, pois para esses casos, assim como a maioria dos estudos apontam, o pavimento flexível apresenta um custo inicial mais barato, e devido a um menor intensidade de solicitações do tráfego, apresentará consequentemente menos desgaste, e menos necessidade manutenção do pavimento, além de que como mencionado no tópico 3.2.3, os pavimentos flexíveis tem variações bem atrativas para esses casos, como tratamentos superficiais, pavimentação asfáltica por penetração direta e indireta, que tem menor custo e mais simplicidade de execução, facilitando e barateando também a manutenção que venham a precisar com o passar do tempo de utilização.

Ainda sobre a versatilidade dos pavimentos flexíveis, Ribas (2017, p.69) afirma que ele proporciona “amplas possibilidades de combinações com outros materiais, tais como asfalto borracha de pneus moídos, asfalto com polímero, reutilização de material fresado”, inclusive essa reutilização de materiais diversos entra como um fator benéfico no quesito sustentabilidade. Ribas (2017) também comenta que para projeto específicos, como pontes por exemplo, a pavimentação asfáltica apresenta menor peso, sendo, portanto, mais apropriada.

5.2 Desempenho

Mesquita (2001) demonstra o comparativo entre os pavimentos em diferentes aspectos, a seguir na Tabela 2 se tem algumas informações quanto ao desempenho de cada um, esse quesito é muito importante de ser avaliado, obviamente o custo é o fator limitante, mas não adianta se ter um pavimento que te custe mais barato se o desempenho dele não for satisfatório, pois o que está em questão é um elemento da infraestrutura do país que afeta não somente o transporte de passageiros comuns, mas também o transporte de cargas, que é feito majoritariamente pelas rodovias, sendo assim tem um impacto direto na economia do país, pois se o pavimento não tiver um bom desempenho, isso afeta sua funcionalidade e trafegabilidade.

Tabela 2: Comparativo de desempenho entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.

Desempenho	
Concreto	Asfalto
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

Fonte: Mesquita (2001) adaptado por autor (2022).

5.3 Projeto

No quesito projeto dos pavimentos, Mesquita (2001), ressalta no comparativo entre eles (TABELA 3), que o projeto do pavimento de concreto

apresenta vantagens em termos de facilidade dos processos, execução e resultado.

Tabela 3: Comparativo de projeto entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico

Projeto	
Concreto	Asfalto
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

Fonte: Mesquita (2001) adaptado por autor (2022).

Apesar de Mesquita ressaltar uma facilidade maior com relação a execução do projeto do pavimento de concreto, vale ressaltar que assim como o pavimento asfáltico, é necessário um controle tecnológico tanto da qualidade do material, quanto da execução, pois problemas nesses fatores acarretam um pavimento que logo apresentará problemas, como trincas, fissuras, alçamento de placas (desnívelamento das placas nas juntas ou nas fissuras transversais), buracos, esborcinamento ou quebra de canto, ou seja, ambos os tipos de pavimento tem suas particularidade e necessidades, de forma que nenhum apresenta uma execução simples, mas com níveis de complexidade diferentes. Ribas (2017) salienta que “apesar do emprego de pavimentação rígida estar crescendo no Brasil nos últimos anos, a falta de empresas especializadas faz com que essa alternativa apresente insucessos inesperados, normalmente ocorridos por erros construtivos ou deficiências no controle tecnológico.”

Costa (2013) corrobora com o pensamento de Mesquita (2001) no que diz respeito a maior simplicidade na execução do pavimento rígido, dado o fato de que o pavimento flexível apresenta mais camadas, conseqüentemente maior espessura que o rígido, exigindo mais serviços, mais etapas de execução, compactação, mas ainda destaca que o pavimento flexível tem uma vantagem

considerável e desejável durante a execução, pois possibilita a liberação do tráfego na via pavimentada em pouco tempo após sua implantação, enquanto no pavimento rígido é necessário aguardar pelo tempo de cura do concreto.

Mesmo que argumentos como o de Costa (2013) apontam para uma maior complexidade na execução do pavimento flexível, mas Ribas (2017) relembra que por um fator histórico de majoritária utilização do pavimento flexível no Brasil, há maior conhecimento na sua metodologia de aplicação que garante agilidade em todo seu processo executivo.

Já sobre o método de dimensionamento, Costa (2013) explica que o método PCA/84, atribuído ao dimensionamento do pavimento rígido é considerado mais preciso e confiável por se basear em uma teoria mais sofisticada, a teoria dos elementos finitos, enquanto o pavimento flexível é dimensionado com base em método empírico, que tem como base observações experimentais realizadas em território estrangeiro, sendo assim, o autor tem a mesma opinião que Mesquita (2001) quanto a isso.

5.4 Consumo de energia

O consumo de energia é um fator que interfere nos custos da obra, portanto tem sua relevância, na Tabela 4, Mesquita (2001) compara esse aspecto de forma que se pode concluir que o pavimento de concreto por ter uma execução mais simples, e não ser uma mistura a quente, tem um maquinário menos robusto que consome menos energia no processo.

Tabela 4: Comparativo do consumo de energia entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.

Consumo de energia	
Concreto	Asfalto
Usa materiais locais, abundantes na Natureza	É derivado do petróleo, importado.
Em grande parte das obras o equipamento é reduzido, semimecânico e consome pouquíssimo combustível	O equipamento é de grande porte e consumo
A mistura do concreto é feita a frio e consome energia elétrica	A mistura do concreto é feita a quente e a energia consumida é o petróleo

Fonte: Mesquita (2001) adaptado por autor (2022).

De acordo com Ribas (2017, p.79) “a produção do concreto utilizado na pavimentação rígida consome de três a quatro vezes menos energia que a produção do asfalto utilizado na pavimentação flexível.”

5.5 Manutenção

A manutenção do pavimento, embora seja feita após a implementação do mesmo, faz parte intrinsecamente dos seus custos, podendo representar grande parte deles ao longo de sua vida útil, Mesquita (2001) ao fazer o comparativo entre ambos (TABELA 5), mais um vez reforça que o pavimento asfáltico apresenta necessidade de reparos/manutenção constante, pois tem menor resistência aos desgastes do uso, isso torna a manutenção onerosa, a necessidade de manutenção rotineira gera outras problemas, pois nem sempre ela é feita, isso afeta bastante a qualidade das vias, e quando é feita, o reparo se apresenta em sua grande maioria de má qualidade, se tornando um ciclo e aumentando sempre a necessidade de manutenção, logo, isso representa mais gastos.

Tabela 5: Comparativo de manutenção entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.

Manutenção	
Concreto	Asfalto
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

Fonte: Mesquita (2001) adaptado por autor (2022).

Costa (2013), apresenta algumas informações sobre a manutenção dos pavimentos sob uma ótica diferente da de Mesquita (2001), ele explica que mesmo o pavimento asfáltico apresentando uma necessidade maior de manutenção rotineira, mas estas constituem ações de baixo valor, enquanto ações de manutenção no pavimento rígido, embora menos frequentes, tem valor mais significativo. Outra questão que Costa (2013) menciona, é sobre o incômodo aos usuários da rodovia durante a manutenção, no pavimento flexível

apesar de as ações de manutenção serem ações frequentes, mas elas possibilitam que o fluxo de veículos seja logo reestabelecido, o que não ocorre na manutenção do pavimento rígido.

5.6 Segurança

Todos os aspectos anteriores tem relação direta com os custos, a segurança entretanto refere-se a preocupação com a integridade dos passageiros, qual tipo de pavimento possui uma superfície de rolamento que proporciona maior conforto e segurança as pessoa que trafegam nas rodovias, para que possa diminuir o número de acidentes, segundo a Anuário CNT do transporte de 2021, em 2020 foram registrados 51.865 acidentes de trânsito com vítimas nas rodovias federais, obviamente que nem todos se dão devido a alguma má condição do pavimento, mas pode-se afirmar que esse é um fator que contribui, então ao escolher um pavimento, deve-se analisar qual apresenta melhores condições de segurança para os passageiros ao longo de toda sua vida útil, até porque, ainda que a preocupação máxima seja com a integridade das pessoas que trafegam, mas os acidentes ainda representam mais um custo no setor de saúde pública. Mesquita (2001), faz esse comparativo (TABELA 6), e o tipo de material da camada de rolamento e suas condições, são o que determinam se eles melhoram o fator segurança ou não, mais uma vez, no comparativo feito por ele, o pavimento de concreto se sobressai nas características abaixo.

Tabela 6: Comparativo de segurança entre o pavimento de concreto e o pavimento asfáltico.

Segurança	
Concreto	Asfalto
Boa reflexão da luz, maior distância de visibilidade horizontal	Pouca reflexão da luz e visibilidade horizontal
Pode-se dar à superfície a textura desejada, controlando-se as. Derrapagens	A superfície é lisa e escorregadia 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: Mesquita (2001) adaptado por autor (2022).

No estudo realizado por Ribas (2017), ele cita os mesmos fatores acima mencionados por Mesquita (2001), mas no quesito aderência, seu estudo aponta que o pavimento flexível tenha tido um melhor desempenho, analisando pelo que se conhece visualmente dos dois pavimentos, faz bastante sentido, pois a textura do pavimento flexível é bastante rugosa, ao passo que mesmo ao acrescentar textura ao pavimento rígido em sua finalização, ele aparentemente apresenta uma textura mais lisa.

6. CUSTO

Para definir qual pavimento se deve optar, deve ser feito uma análise de custo-benefício, que abrange todos os aspectos mencionados no tópico anterior, entre outros parâmetros, pois cada projeto é único, e são as suas particularidades que vão ser determinantes para a tomada de decisão, tais como o tipo de subleito, o volume de tráfego, os materiais abundantes na região que podem ser usados nas camadas do pavimento, o custo da mão de obra que varia muito dependendo da região.

Por exemplo, Crosara et al. (2013), fez um estudo de comparação do custo de construção do pavimento de concreto e do pavimento asfáltico, nele estão contemplados custo de material e serviço referente a implantação de seção-tipo de pavimento, com 7m de largura e 1km de extensão. Para os

cálculos das espessuras das placas de concreto foi empregado o método PCA (Portland Cement Association), e o pavimento asfáltico foi dimensionado pelo método constante no Manual de Pavimentação do DNER (versão 1996). Um dos parâmetros de referência usados foi a capacidade de suporte do subleito de acordo com Índice de suporte Califórnia (CBR) igual a 5%. Com isso calculou-se por categorias de Volume Diário Médio Bidirecional de Veículos comerciais (VDMc), o custo unitário de construção foi retirado da tabela de preços unitários do DER/SP, e o resultado foi o seguinte, mostrado na Figura 13.

Figura 13: Comparação do custo de construção do pavimento de concreto e do pavimento asfáltico por categorias de Volume Diário Médio Bidirecional de Veículos comerciais.

VDMc	CONCRETO	ASFALTO
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: Crosara et al. 2013, p.94.

De acordo com a análise dos dados da tabela de Crosara et al. (2013) o pavimento flexível em relação ao custo de implantação seria conveniente em ocorrências de menor tráfego, já o pavimento rígido é mais proficiente a medida que o volume de tráfego aumenta, e nesse caso está sendo comparado apenas o custo inicial, mas já demonstra que nem sempre o custo inicial do pavimento de concreto será mais alto do que o pavimento asfáltico, de forma que o pavimento rígido tem se tornado mais competitivo em termos de custo de implantação.

Já Mesquita (2001), apresenta um estudo bem mais complexo de análise econômica comparativa de custos, entre a alternativa de pavimento rígido, e de pavimento flexível, sobre a viabilidade econômica de cada um por um período de 20 anos, o estudo teve como fonte para coleta de dados experimentais, o Projeto Final de Engenharia, da rodovia BR-262, trecho Miranda-Morro do Azeite – MS, “foram analisados, para cada alternativa, os custos de construção e

conservação, bem como a evolução dos custos operacionais, decorrentes da degradação das condições superficiais, que cada pavimento apresenta ao longo do período.” (MESQUITA, 2001, p.14).

Na Tabela 7, Mesquita (2001), apresenta uma síntese dos custos de construção e reabilitações previstas para os pavimentos no decorrer do período em estudo (2000-2020).

Tabela 7: Resumo dos custos de construção do pavimento rígido e do pavimento flexível.

Resumo dos Custos de Construção		
Etapas construtivas	Pavimento	
	Flexível	Rígido
Construção Inicial	R\$ 191.939,40	R\$ 334.259,10
1. Etapa (2007)	R\$ 114.923,70	R\$ 0,00
2. Etapa (2014)	R\$ 114.923,70	R\$ 0,00
3. Etapa (2020)	R\$ 114.923,70	R\$ 0,00
Total	R\$ 536.710,50	R\$ 334.259,10

Fonte: Mesquita (2001) adaptado por autor (2022).

Percebe-se pela análise dos valores que o pavimento rígido tem um custo inicial muito maior, entretanto analisando ciclo de vida útil, o pavimento flexível apresenta um custo final maior. Mesquita (2001), faz outras análises econômicas mais detalhadas do custo-benefício, e chega a mesma conclusão do que se pode identificar na tabela acima, que o pavimento rígido é mais viável quando se analisa o custo-benefício do ciclo de vida útil dos pavimentos em questão.

Apesar dos resultados de Mesquita (2001), cabe uma reflexão sobre ele ter atribuído custo zero de reabilitação para o pavimento rígido ao longo dos 20 anos, pois os estudos vistos até aqui realmente apontam para um menor custo de manutenção/reabilitação desse pavimento ao longo de sua vida útil, mas não significa dizer que não haja custo nenhum, ou que não surja problemas no pavimento em um período tão longo de tempo, é provável que sua pesquisa possa ter simplificado a realidade dos fatos ao considerar isto.

7. CONCLUSÃO

O presente trabalho faz uma revisão literária sobre o histórico, características e situação da pavimentação no Brasil, e apresentou dois tipos de pavimento, o flexível de concreto asfáltico, e o pavimento rígido de concreto de cimento Portland, estabelecendo algumas diferenças entre eles.

Como proposto, uma análise de custo-benefício deve ser feita baseado nas informações de diferentes estudos do tema, e trouxe primeiramente uma compreensão de que o pavimento flexível é majoritariamente utilizado no país, entretanto apresenta diversos pontos de fragilidade, os dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT) nos diz que a pavimentação além de estar em número de rodovias pavimentadas muito aquém do que a realidade do Brasil precisa, ainda tem uma situação longe da desejável, com índices altos de rodovias em péssimo/ruim estado de conservação, e o investimento necessário para sanar o problema está na casa de bilhões de reais. Tendo em vista as deficiências do pavimento flexível, e a falta de gestão política/econômica do país para lidar com isso, é proposto olhar para esse cenário e pensar numa alternativa, como o pavimento rígido que apresenta inúmeros benefícios a serem analisados.

Com a retrospectiva histórica, entende-se o motivo dos pavimentos flexíveis terem sido a escolha para a pavimentação naquela época, entretanto o aumento do preço dos derivados de petróleo, e a competitividade de preço que o pavimento rígido adquiriu até os dias atuais, remonta um outro cenário para o país, além do fato que a frota de veículos aumenta significativamente ao longo dos anos, e que o escoamento da produção do país é feita majoritariamente pelo transporte rodoviário, sendo assim, uma pavimentação deficiente como a atual, atinge diretamente a economia do país, e ainda o conforto e a segurança dos passageiros que usam o modal rodoviária diariamente.

Em termos de custo-benefício, que avaliam diferentes aspectos como economia, desempenho, projeto, consumo de energia e segurança, o pavimento flexível apresenta algumas vantagens a seu favor em situações pontuais, mas o pavimento rígido apresenta um melhor custo-benefício na conjuntura de todos os aspectos, em detrimento da sua desvantagem em relação a um custo inicial

mais alto. Alguns estudos que analisaram a viabilidade econômica de ambos, também apontou que embora com custo inicial mais elevado, o pavimento rígido tem seu custo final mais atrativo, pois necessita de menores valores de manutenção ao longo de sua vida útil, e a depender da intensidade do tráfego ao qual será projetado, o pavimento rígido pode chegar a ter um custo inicial mais barato que o pavimento flexível inclusive.

De forma geral, os estudos se direcionam para o entendimento de que o pavimento rígido é uma excelente alternativa de pavimentação, tanto para adquirir espaço em projetos futuros que visam aumentar a malha viária pavimentada, como também a possibilidade de melhorar as condições de pavimentos flexíveis que existem e precisam ser reabilitados, por exemplo através da alternativa do uso do Whitetopping, uma nova camada de revestimento de concreto de cimento Portland, colocada sobre o antigo pavimento asfáltico.

A existência de mais estudos que se aprofundem sobre a viabilidade do pavimento rígido em comparação com pavimento flexível, fomenta uma mudança de cenário para o país, que mais do que uma questão econômica, a escolha do tipo de pavimento, tem uma questão cultural, de fazer o que já se sabe fazer há muito tempo e não mexer com a indústria de concreto asfáltico, portanto disseminar informações a respeito de alternativas é um primeiro passo. Uma possibilidade de aprofundar esse trabalho, seria fazer um estudo de caso de uma rodovia de pavimento rígido, para avaliar, de forma sistemática, o desempenho e a durabilidade de sua estrutura, associado ao surgimento de patologias, e entender se a realidade dos fatos confirma o que apontam os estudos, referente ao baixo custo de manutenção e bom desempenho ao longo de sua vida útil.

8. REFERÊNCIAS

BERNUCCI, Leidi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras; ABEDA, 2008.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**. 3ª ed. Oficina de Textos, 2016.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos viários e pisos industriais de concreto. Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. Tradução. São Paulo: IBRACON, 2005.

BRASIL. DNIT. **Glossário De Termos Técnicos Rodoviários**. Publicação IPR-700. Ministério dos transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2017. Disponível em: file:///C:/Users/queir/Downloads/DNIT_GLOSSARIO_DE_TERMOS_TECNICOS_RODOVI.pdf.

BRASIL. DNIT. **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR-719. Ministério dos transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/publicacao-ipr-719-manual-de-pavimentacao>.

BRASIL. DNIT. **Manual de Pavimentos Rígidos**. Publicação IPR-714. Ministério dos transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2005. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/714_manual_de_pavimentos_rigidos.pdf

BATISTA, Enzo Rebouças. **Pavimentos de concreto com e sem armadura estrutural: Cotejamento de atributos relativos a projeto, dimensionamento, construção e custos de implantação**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Sergipe, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, São Cristóvão, SE, 2021.

Confederação Nacional Do Transporte. **Anuário CNT do transporte, estatísticas consolidadas**. 2020. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/Rodoviario/1-3-1-1-2-/Malha-rodovi%C3%A1ria-pavimentada>. Acesso em: 7 de outubro de 2022.

Confederação Nacional Do Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias 2021 – Principais dados**. 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/queir/Downloads/Principais%20Dados%202021.pdf>. Acesso em: 7 de outubro de 2022.

Confederação Nacional Do Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias 2021 - Síntese dos dados: Brasil, Regiões e UFs**. 2021. Disponível em: file:///C:/Users/queir/Downloads/S%C3%ADntese%20dos%20dados_%20Brasil.%20Regi%C3%B5es%20e%20UFs%20.pdf. Acesso em: 7 de outubro de 2022.

COSTA, Jochezan da Silva. **Análise comparativa de alternativas para pavimentação de rodovias: pavimento flexível x pavimento rígido**. 2013.

65 f. TCC (Graduando em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

CROSARA, Fernando César; VIZZONI, Ronaldo; CARVALHO, Marcos Dutra. **Escolha da melhor alternativa de pavimentação**. Rodovias & Vias. Curitiba, 2013. Seção Vias concretas – pavimentação com sustentabilidade. Disponível em < <https://pt.calameo.com/read/001173966b98597e9057d> >. Acesso em: 20 Outubro de 2022

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. DER/PR ES-P 23/05. **Pavimentação: Pré-Misturado a Frio**. Curitiba, 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. ET-DE-P00/026. **Pré-Misturado A Quente**. São Paulo, 2006.

DNIT 137/2010-ES: **Pavimentação – Regularização de subleito – especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR

DNIT 138/2010-ES: **Pavimentação – Reforço do subleito - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR

DNIT 139/2010-ES: **Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR

DNIT 141/2010-ES: **Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR

DNIT 144/2014-ES: **Pavimentação - Imprimação com ligante asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR

DNIT 031/2006-ES: **Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR

DNIT 049/2013-ES: **Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR

FELIX, Daniela Bonina Clemente. **Avaliação da metodologia do USACE aplicada à análise das condições de rolamento dos pavimentos de concreto armado**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. doi:10.11606/D.3.2008.tde-09022009-143228. Acesso em: 7 de outubro de 2022.

Ferreira, A. V at al. **Estudo de Caso das Principais Patologias em Pavimentos Flexíveis na Avenida João Netto de Campos em Catalão – GO**. 23p. 2021. Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade Una de Catalão, Catalão-GO, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/17291>

FERREIRA, L. A. R. **Estudo sobre a durabilidade, sustentabilidade e competitividade dos pavimentos de concreto utilizados nas estradas de**

rodagem brasileiras. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Construção Civil, Campo Mourão, PR, 2015.

KUSTER, Maikell Portes. Sandra Fabiana Rodgher. **Pavimento de Concreto: Viabilidade e Seus Benefícios**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000140, 09/11/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/pavimento-de-concreto-viabilidade-e-seus-beneficios>

LIZI DE OLIVEIRA, Patrícia. **Projeto Estrutural De Pavimentos Rodoviários E De Pisos Industriais De Concreto**. Orientador: Libânio Miranda Pinheiro. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2000.

MESQUITA, José Carlos Lobato. **Pavimento Rígido como Alternativa Econômica Para Pavimentação Rodoviária - Estudo de Caso – Rodovia BR-262, Miranda - Morro do Azeite MS**. 2001. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2001.

Muniz, Matheus. **Comparativo De Trafegabilidade Entre Pavimento Asfáltico E Pavimento De Concreto**. 18 p. 2019. Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá, 2019.

Petzold, A. d. S. P., Bernardi, R. M. B., & Matteoni, S. M. **Pavimentos rígidos: O futuro das estradas brasileiras**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, 1, 2021.

RIBAS, Leandro Carlos. **Custo-Benefício na Execução de Pavimentos Rígidos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: < <http://tcconline.utp.br/media/tcc/2017/10/CUSTO-BENEFICIO-NA-EXECUCAO-DE-PAVIMENTOS-RIGIDOS.pdf> >. Acesso em 28 de Novembro de 2022..

SILVA, Cristiano Araújo. 2018. **Estudo de Caso de Patologias em Pavimento Flexível em Rodovia do Oeste do Paraná**. Disponível em: <https://tcc.unipar.br/files/tccs/31eeb2453bac65658d407b2332be764f.pdf>.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação, Volume II** – 1ª ed. – São Paulo: Pini, 2001.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação, Volume I** – 2ª ed. – São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, Dandara Gisela da. **Estudo Comparativo Entre Pavimento de Concreto Whitetopping e Pavimento Asfáltico**. 2018. 35 p. Artigo (e Bacharelado em Engenharia Civil) - UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá, Maringá – PR, 2018

SILVA, J. E. M.; CARNEIRO, L. A. V. **Pavimentos de Concreto: Histórico, Tipos e Modelos de Fadiga**. C&T. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, v. XXXI, p. 14-33, 2014.