



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Jardel da Silva Lima

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E
RÍGIDOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

CARAÚBAS

2025

Jardel da Silva Lima

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E
RÍGIDOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Orientador: Karina Estela Egídio.

CARAÚBAS

2025

© 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.

Lj37c Lima, Jardel da Silva.
Comparação do desempenho funcional de
pavimentos flexíveis e rígidos: uma revisão da
literatura / Jardel da Silva Lima. - 2025.
38 f. : il.

Orientador: Karina Estrela Egídio.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. custo-benefício. 2. estradas. 3.
viabilidade. 4. patologias. 5. impacto. I. Egídio,
Karina Estrela, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Sarah Freire Bezerra
CRB: 15/1052

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.

Jardel da Silva Lima

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO FUNCIONAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E RÍGIDOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 01 / agosto / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Karina Estrela Egídio, Prof. (UFERSA)
Presidente

Eduardo Morais de Medeiros, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Thiago de Jesus Souza, Prof. (UFERSA)
Membro Examinador

RESUMO

O presente trabalho aborda uma análise comparativa entre os pavimentos flexíveis e rígidos, realizada a partir de artigos encontrados no portal Periódicos CAPES, com foco em suas propriedades técnicas, econômicas e estruturais. O objetivo principal é investigar por meio de uma análise bibliográfica as características, durabilidade, desempenho funcional e o custo/benefício, levando em consideração trabalhos publicados nos últimos 10 anos. A justificativa da temática está na relevância que os pavimentos tem para o desenvolvimento e a necessidade de entender os critérios de escolha do tipo a ser adotado. A metodologia se baseou na seleção de 12 trabalhos no geral, que possuem como base a comparação dos dois tipos de pavimentos, que foram selecionados levando o alinhamento temático como critério principal. Chegando à conclusão de que apesar do custo inicial ser menor, os pavimentos flexíveis tendem a ter um número maior de manutenção com o passar do tempo, enquanto o pavimento rígido apresenta melhor desempenho estrutural, durabilidade e menor necessidade de intervenções mesmo possuindo um custo inicial mais elevado, possuindo mais vantagens em relação a tráfegos intensos e maior vida útil.

Palavras-chave: custo-benefício; estradas; viabilidade; patologias; impacto.

ABSTRACT

The present work addresses a comparative analysis between flexible and rigid pavements, carried out based on articles found in the CAPES Journals portal, focusing on their technical, economic, and structural properties. The main objective is to investigate, through a bibliographic analysis, the characteristics, durability, functional performance, and cost-benefit, considering studies published in the last 10 years. The justification for the theme lies in the relevance of pavements for development and the need to understand the criteria for choosing the type to be adopted. The methodology was based on the selection of 12 studies in total, which focus on the comparison of the two types of pavements, selected mainly according to thematic alignment. The study concludes that, although the initial cost is lower, flexible pavements tend to require more frequent maintenance over time, while rigid pavements present better structural performance, higher durability, and less need for interventions, even though they have a higher initial cost, thus proving more advantageous for heavy traffic conditions and longer service life.

Keywords: cost-benefit; roads; feasibility; pathologies; impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Extensão das rodovias brasileira.....	13
Figura 2:Malha rodoviária pavimentada por país.	14
Figura 3:Estrutura do pavimento rígido.	17
Figura 4: Estrutura do PCA.	18
Figura 5:Implementação de WT no Rio Grande do Sul.....	19
Figura 6:Quadro de aplicação do WT.	20
Figura 7:Moldagens overlay e Inlay.....	21
Figura 8:Diferentes espaçamentos entre juntas WTUD.	21
Figura 9:Estrutura tipo de pavimentos flexíveis.....	23
Figura 10:Estrutura do revestimento semirrígido.....	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Etapas de execução pavimento rígido-DER/S.P.....	15
Quadro 2	–	Etapas de execução pavimento flexível-DNIT.....	23
Quadro 3	–	Resultados da análise bibliográfica	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CCR	Concreto Compactado com Rolo
RBG	Red Green Blue
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
TSD	Tratamento Superficial Duplo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
PCS	Pavimento de Concreto Simples
PCA	Pavimento de Concreto Armado
PCPM	Placa de Concreto Pré-Moldadas
PCPRO	Pavimento de Concreto Protendido
WT	Whitetopping
WTUD	Whitetopping Ultradelgado
PCPM	Placa de Concreto Pré-Moldadas
IGG	Índice de Gravidade Global
PCI	Índice de Condição do Pavimento
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
MVF	Matriz de Valores Fixos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Setor de transportes e estradas do país	12
2.2 Tipos de pavimentos	14
2.2.1 Rígidos (concreto)	14
2.2.1.1 Pavimentos de Concreto Simples (PCS)	16
2.2.1.2 Pavimentos de Concreto Armado (PCA)	17
2.2.1.3 Pavimentos de Concreto Protendido (PCRO).....	18
2.2.1.4 Whitetopping (WT).....	19
2.2.1.5 Whitetopping Ultradelgado (WTUD).....	20
2.2.1.6 Placas de Concreto Pré-Moldadas	22
2.2.2 Flexíveis (Asfáltico).....	22
2.2.2.1 Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).....	24
2.2.2.2 Pré-Misturado a Quente	24
2.2.2.3 Pré-Misturado a Frio	24
2.2.2.4 Mistura Asfáltica Morna	24
2.2.2.5 Areia Betume	24
2.2.2.6 Tratamento Superficial Betuminoso.....	25
2.2.2.7 Macadame Betuminoso	25
2.2.2.8 Sheet Asphalt	25
2.2.3 semirrígidos.....	25
2.2.3.1 Sand-Creet.....	26
2.2.3.2 Solo Tratado com Cimento.....	26

2.2.3.3 Solo Cimento	26
2.2.3.4 Solo-cimento-cal	26
2.3 Trabalhos relacionados encontrados na literatura nos últimos 10 anos.....	27
2.3.1 Sousa <i>et al.</i> (2019).....	27
2.3.2 Bonfim <i>et al.</i> (2024).....	27
2.3.3 Pinto <i>et al.</i> (2024).....	27
2.3.4 Carvalho <i>et al.</i> (2020).....	27
2.3.5 Mello <i>et al.</i> (2016)	27
2.3.6 Silva <i>et al.</i> (2023).....	28
2.3.7 Queiroz (2022).....	28
2.3.8 Lima <i>et al.</i> (2022).....	28
2.3.9 Cavalet <i>et al.</i> (2019)	28
2.3.10 Santos <i>et al.</i> (2020)	28
2.3.11 Santos <i>et al.</i> (2024)	29
2.3.12 Oliveira <i>et al.</i> (2024).....	29
3 METODOLOGIA.....	29
4 RESULTADOS	31
5 CONCLUSÃO	35
6 REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Diante do cenário brasileiro, o setor de transportes tem papel fundamental no crescimento e desenvolvimento socioeconômico, já que ele é um dos principais meios para a integração de regiões, facilitando o transporte de mercadorias e insumos, o que contribui de forma direta para a melhoria na qualidade de vida da população (Kertis, 2024). Dentro desta realidade, as rodovias se tornam um dos ou o principal componente da infraestrutura nacional quando se trata de mobilidade nacional, tornando assim essencial o investimento em soluções que garantam maior qualidade e durabilidade para as vias.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2020), a pavimentação é considerada como um dos elementos mais importantes quando se trata da infraestrutura de transportes. Tem sua formação por diversas camadas que variam de espessuras a depender da região e do tipo adotado, sendo comuns em pavimentos rígidos e flexíveis. Apesar de sua importância, o Brasil possui apenas um percentual de 12,4% de suas rodovias pavimentadas, equivalendo a 213.452 km de um total de 1.720.756 km, deixando claro uma grande deficiência quando se compara a padrões internacionais. Bernucci *et al.* (2010) complementam essa análise ao enfatizar que a pavimentação tem influência direta na mobilidade, segurança e na economia do país. Ainda ressalta que os pavimentos são compostos por camadas estruturais que têm funções específicas, cuja espessura e rigidez devem ser compatíveis com o volume e condições de tráfego, clima e topografia da região. Além de classificar os pavimentos em dois tipos principais: o pavimento flexível, formado por misturas asfálticas, e o pavimento rígido, que utiliza placas de concreto como seu revestimento.

O pavimento rígido tem sua espessura definida com base na resistência a flexão das placas e também em suas características das camadas inferiores, placas essas que podem ser de concreto armado, tem sua camada de apoio chamada sub-base, já que a mesma possui qualidade semelhante as demais camadas usadas em pavimentos asfálticos (Bonfim, 2024). Já o pavimento flexível é composto por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, geralmente formado por quatro camadas: revestimento, base, sub-base e o reforço do subleito, o revestimento também pode incluir a camada de rolamento que entra em contato direto com os pneus e camadas intermediárias (Bernucci et al., 2008).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre os benefícios, desempenho funcional, técnico e econômico dos pavimentos rígidos e flexíveis, ou seja, avaliar com base em estudos publicados últimos dez anos, de que forma

esses pavimentos vem sendo utilizados em diferentes contextos, quais os critérios determinam sua escolha e quais as consequências em termos de durabilidade, manutenção e custo-benefício cada tipo pode proporcionar, buscando contribuir para um melhor entendimento sobre vantagens, desvantagens e limitações de cada sistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

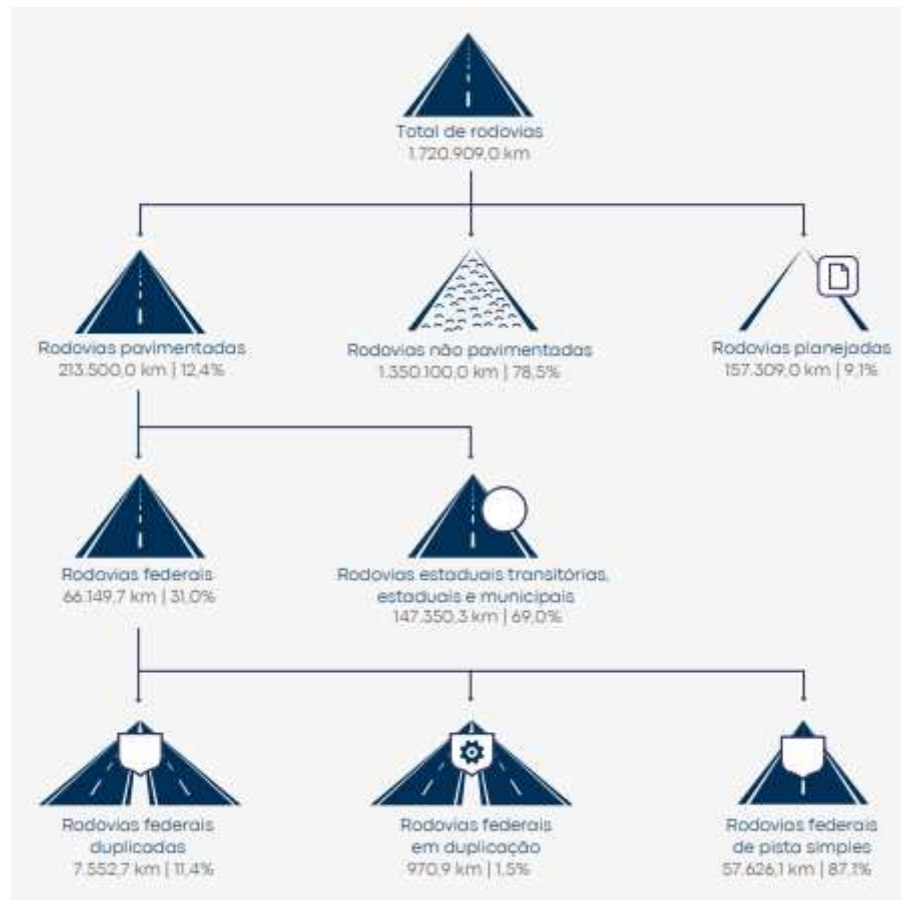
2.1 Setor de transportes e estradas do país

O setor de transportes é um dos setores que mais gastam com obras e manutenções no Brasil e no mundo, no Brasil grande parcela dos investimentos na infraestrutura é direcionada para essa área, pois aumenta a economia local e global. A qualidade das estradas gera impacto direto nos custos, caso não sejam realizadas as manutenções periódicas, o prejuízo vai tanto para o governo como também para a sociedade. Por isso, é essencial pensar em soluções que tornem o sistema de estradas mais duradouro e com menores custos (Paixão *et al.*, 2017).

Segundo a CNT (2017), as rodovias geram impactos direto no desempenho do transporte rodoviário e na economia do país, já que uma rodovia em más condições faz com que o custo operacional do transporte aumente, segurança insuficiente para os passageiros e o desconforto, além de causar danos ambientais.

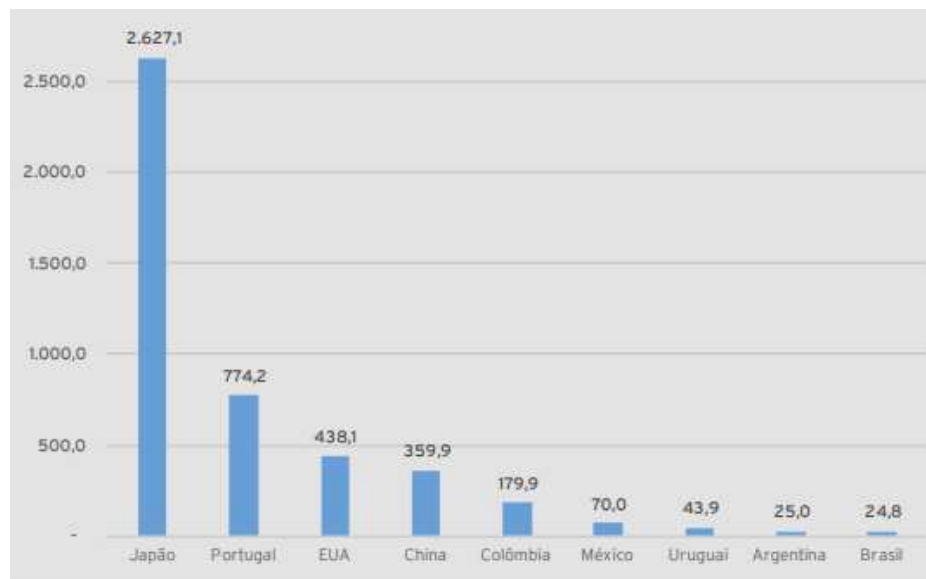
Apesar da grande importância para a economia do país, a quantidade de rodovias pavimentadas no Brasil ainda é muito pequena quando é comparada com o total de rodovias que o Brasil possui, assim como ilustra a Figura 1.

Figura 1: Extensão das rodovias brasileira.



Fonte: CNT, 2024.

A CNT (2017) ainda destaca que a quantidade de rodovias pavimentadas no país é muito baixa quando se comparada com outros países como a China e os Estados Unidos, que apresentam extensões territoriais próximas ou semelhantes ao Brasil, ou até mesmo quando comparado com países como Portugal e o Japão que possuem um percentual elevado de rodovias pavimentadas mesmo com sua extensão territorial bem inferior ao Brasil, assim como podemos observar na Figura 2.

Figura 2:Malha rodoviária pavimentada por país.

Fonte: CNT, 2017.

Segundo Bernucci *et al.*, (2010), a falta de investimento na infraestrutura atrapalha diretamente na competitividade da economia do Brasil, o que acaba gerando um maior número de acidentes, perda de carga e alto custo com manutenção e combustível.

2.2 Tipos de pavimentos

O pavimento se caracteriza como uma estrutura que possui várias camadas com espessuras finitas, no qual são construídas sobre a superfície final proveniente da terraplanagem, realizada para resistir os esforços gerados pelo tráfego de veículos e também pelo clima, proporcionando aos seus usuários melhoria nas condições de rolamento com conforto, economia e também segurança (Bernucci *et al.*,2010).

Assim o pavimento rodoviário pode ser classificado em três tipos: rígidos, flexíveis e semirrígidos.

2.2.1 Rígidos (concreto)

Kertis (2024) define o pavimento rígido como uma estrutura composta por placas de concreto Portland apoiadas sobre uma camada de sub-base, granular ou cimentada. Sua composição conta com um menor número de camadas que o pavimento flexível, já que as camadas de base e revestimento são combinadas em uma, possuindo apenas uma camada de sub-base e, quando necessário, o reforço do subleito da via. Estruturalmente falando, grande

parte das tensões aplicadas são absorvidas pelas placas de concreto, exigindo menos das camadas inferiores.

De acordo com o DER/SP (2007), os pavimentos de concreto têm em sua constituição os seguintes materiais: agregados minerais, cimentos Portland, água e a armadura de aço que devem satisfazer as normas e especificações do DER. O processo executivo do pavimento rígido sobre a obra final de terraplanagem é especificado pelo DER/SP (2007), segue as seguintes etapas mostradas no quadro 1:

Quadro 1:Etapas de execução pavimento rígido-DER/SP.

Etapas de execução pavimento rígido-DER/SP		
1	Preparo da superfície	A base deve estar limpa, regularizada e aprovada pela fiscalização.
2	Assentamento de formas	As formas são posicionadas de acordo com níveis e alinhamentos especificados.
3	assentamento da armadura	Se instalam barras de ligação e de transferência e quando especificado se aplica a tela soldada.
4	Lançamento do concreto	O concreto deve ser distribuído uniformemente e adensado com vibradores.
5	Acabamento inicial	Realizados após o lançamento com régua e equipamentos adequados para corrigir imperfeições.
6	Acabamento final	É a verificação da superfície com uma régua de 3 m seguido da execução de ranhuras.
7	Execução das juntas	As juntas devem se continuas e posicionadas conforme o projeto para se evitar a presença de fissuras.
8	Cura	Iniciada de imediato após o acabamento, deve ser aplicada a cura química de no mínimo 72 h.
9	Desmoldagem	Realizada de 12 a 24 horas após a concretagem, as formas são retiradas com cuidado para evitar danos as bordas.

10	Selagem de juntas	As juntas devem ser limpas e preenchidas com selante especificado em projeto e evitando o transbordamento.
11	Liberação	A liberação do tráfego em casos normais só ocorre após a resistência mínima ser atingida, ou seja, após 28 dias.

Fonte: Adaptado de DER/SP (2007).

O órgão responsável por realizar a inspeção e a avaliação dos pavimentos é o DNIT, onde a norma DNIT 060/2004 – PRO traz alguns critérios do procedimento de inspeção visual, como o grau de severidade do defeito e índice de condição do pavimento (ICP). Onde são escolhidos trechos da rodovia para serem analisados, determinar o tipo de inspeção se é total ou por amostragem, como também analisar os defeitos e por último adicionar os dados em fichas. A norma também especifica que é necessário equipes qualificadas juntamente com materiais para a execução das análises.

Balbo (2016), traz como os tipos de pavimentos rígidos mais usuais o pavimento de concreto simples, pavimento de concreto armado, pavimento de concreto protendido, *Whitetopping*, *Whitetopping Ultradelgado* e Placas de Concreto Pré-Moldadas.

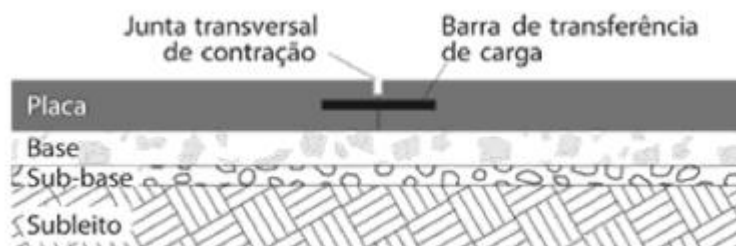
2.2.1.1 Pavimentos de Concreto Simples (PCS)

Os pavimentos de concreto simples (PCS) são constituídos por placas de concreto moldadas *in loco*, e após algumas horas da moldagem são realizadas as juntas transversais e longitudinais, essas placas são apoiadas sobre uma base que pode ou não possuir uma sub-base, assentadas acima do subleito. Para este tipo de pavimento é possível feito com diferentes tipos de concretos, seja ele o convencional, de alta resistência ou o compactado com rolo (CCR) (Balbo, 2016). Já o DNIT (2005) classifica os pavimentos de concreto simples como aqueles que não precisam de nenhum aço e que possui a integração de seus agregados como forma única de transferência de cargas entre as placas de concreto, por isso precisa de placas com menores dimensões.

Balbo (2016) diz que a realização das juntas tem o intuito de controlar a retração hidráulica do concreto fresco, de grande área e volume quando exposta a condições climáticas mais desfavoráveis possíveis. Esse corte realizado no concreto serve para controlar onde ele vai trincar devido a retração, isso faz com que as placas de concreto sejam executadas com controle e o jeito que o pavimento se comporta com a carga dos veículos vai depender

bastante do formato e da posição das juntas. A Figura 3 a seguir ilustra como o pavimento de concreto simples fica após sua finalização.

Figura 3: Estrutura do pavimento rígido.



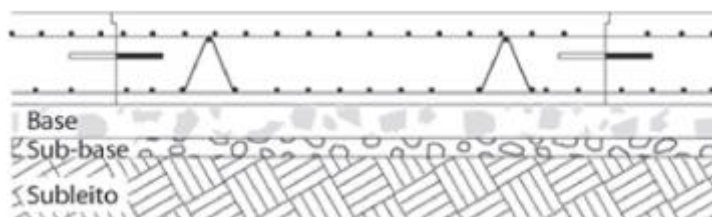
Fonte: BALBO, 2016.

Balbo (2016) destaca que os PCS utilizam barras de transferência (BT) em suas juntas transversais para que as cargas sejam distribuídas uniformemente entre as placas, já na ausência das barras a transferência de cargas depende do atrito entre os agregados das faces das placas. Enquanto nas juntas longitudinais se utiliza barras de ligação (BL) para evitar o deslocamento lateral entre as placas.

Quando se trata de vias com volume baixo de tráfego ou pequenas cargas, os PCS com somente as BT são os mais utilizados no Brasil, quando se faz o uso das BT a espessura do pavimento varia entre 15 a 20 cm e suas dimensões como o comprimento utilizado está entre 4 a 6 m e sua largura de 3 a 4. Enquanto os PCS que contam com as BT possuem uma espessura que varia de 16 a 45 cm e suas dimensões podem chegar até 7 m (Oliveira, 2000).

2.2.1.2 Pavimentos de Concreto Armado (PCA)

Da mesma forma como é formado o PCS o PCA (Pavimento de Concreto Armado) é formado por várias placas em conjunto, mas com dimensões maiores chegando ser duas ou três vezes maior que uma de PCS, as placas de PCA requer um menor número de BT e BL, já que o PCA trabalha sob esforços de flexão e a armadura é resistente bem a retração. O pavimento de concreto armado é bem diferente do pavimento de concreto simples, já que o projeto do PCA já leva em consideração as trincas que vão aparecer e que os esforços de tração vão ser suportados pelas barras de aço adicionadas, permitindo o uso de placas mais finas e com concreto de menor resistência, como fruto dessas escolhas trincas aparecem mais cedo, mas já são esperadas e o aço vai suportar os esforços, diferente do PCS que o concreto precisa suportar tudo sozinho (Balbo, 2016). A seguir a Figura 4 ilustra toda a estrutura de um PCA, desde o subleito até o revestimento do pavimento.

Figura 4: Estrutura do PCA.

Fonte: BALBO, 2016.

Os pavimentos de concreto armado apresentam uma pequena diferença quando comparados com os pavimentos de concreto simples, o concreto pode trincar em regiões mais exigidas e quem passa a suportar os esforços é o aço da armadura, mesmo podendo utilizar teorias plásticas no projeto a prática brasileira utiliza o regime elástico, sendo assim o mais importante é dimensionar e definir corretamente a quantidade de aço a ser aplicada, já que é o aço quem assegura a resistência na placa após a presença de fissuras e está armadura também ajuda no controle da retração no processo de cura do concreto permitindo assim juntas mais espaçadas.

2.2.1.3 Pavimentos de Concreto Protendido (PCRO)

Segundo a (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019), o pavimento de concreto protendido é composto de concreto de cimento Portland como camada base e revestimento, onde a armadura tem a função estrutural de acordo com critérios de cálculo de protensão, o pavimento possui apenas juntas especiais de construção, tanto transversais como longitudinais.

O PCPRO pode ser feito com armaduras convencionais juntamente com os cabos de protensão, ou somente com a presença dos cabos. Assim é realizada uma pretensão prévia com esforços de compressão antes das cargas externas, com a realização desta técnica o concreto só vem a trincar/fissurar se o esforço gerado pelo fluxo de veículos for superior ao esforço já presente na placa. O pavimento de concreto protendido permite que as placas de concreto venham a ter dimensões maiores e sem a necessidade de juntas de dilatação e utilizar uma quantidade menor de concreto quando comparado com o PCS, no entanto quando comparado com o PCA o PCRO é obrigado a utilizar concretos com maiores resistências devido o mesmo suportar a força de protensão de imediato (Balbo, 2016). O PCRO tem sua aplicação quando se tem a presença de tráfego pesado, esse tipo de pavimento é bastante utilizado em aeroportos e aeródromos (Oliveira, 2000).

2.2.1.4 Whitetopping (WT)

O *whitetopping* consiste em uma camada de concreto Portland adicionada sobre um pavimento já existente, onde é utilizado como uma solução de reabilitação de pavimentos asfálticos (Silva, 2014). Também definido por Carvalho (2012), como um recapeamento de pavimentos asfálticos compostos por cimento Portland, onde o termo se refere a execução de uma camada cinza com a função de base e também de revestimento adicionado sobre o pavimento já existente, técnica essa que foi estabelecida nos Estados Unidos e posteriormente teve sua utilização bem sucedida no Brasil.

O WT é uma técnica simples onde o WT normalmente é constituído de concreto simples, mas podendo também ser utilizado os demais tipos de concreto, assim possuindo uma espessura que varia entre 12 a 15 centímetros. Como o Brasil possui a maioria de suas rodovias pavimentadas com asfalto e apresentando diversos problemas devido a falta de manutenção o *whitetopping* pode melhorar de forma significativa este fato, aumentando a qualidade e diminuindo as manutenções (Oliveira, 2000).

Em seguida é possível observar na Figura 5 a implementação WT (*whitetopping*) em uma rodovia no Rio Grande do Sul.

Figura 5: Implementação de WT no Rio Grande do Sul.



Fonte: BALBO, 2016

Balbo (2016) ainda traz um quadro com vários exemplos da aplicação do WT, como ilustra a Figura 6 a seguir.

Figura 6:Quadro de aplicação do WT.

Uso do pavimento	Época de execução	Local	Espessura do WT (mm)	Pavimento original
Vias residenciais	1972	Cedar Rapids, Iowa	64 a 102	concreto com armaduras
	1972	Fayetteville, Arkansas	64	concreto
	1972	Detroit, Michigan	76	concreto
Vias urbanas	1975	Grã-Bretanha, Autoestrada M10	60 e 80	concreto
Rodovias	1973	Ashley, Ohio	102	pavimento novo com base de concreto asfáltico
	1973	Greene County, Iowa	51 e 76	concreto, construído em 1920
	1968	Niles, Michigan	51	concreto
Indústrias	1974	Fort Hood, Texas (estacionamento de caminhões-tanque)	51	asfáltico com 127 a 178 mm de espessura
Aeroportos	1972	Vicksburg, Mississippi (WES)	102	concreto
	1972	Tampa, Florida	102 e 152	concreto
	1972	Cedar Rapids, Iowa	25 a 102	concreto com remendos em mistura asfáltica
	1974	Aeroporto JFK, Nova York	140	asfáltico
	1976	Las Vegas, Nevada	152	concreto
	1975	Reno, Nevada	102	concreto
	1977	Estação Aéreo-Naval de Norfolk, Virginia	127	asfáltico
	1984	Base Aérea de Taoyuan, Taiwan	152	concreto

Fonte: BALBO, 2016.

Balbo (2016) ainda destaca que nos casos iniciais de aplicação demonstraram algumas limitações devido as camadas muito finas (camadas inferiores a 100 mm) onde precisou ser refeito devido seu baixo desempenho e outro apresentou fissuras e infiltrações. Com o decorrer do tempo o WT passou a ser usado com camadas de espessuras maior que 100 mm, onde passaram a apresentar bom desempenho.

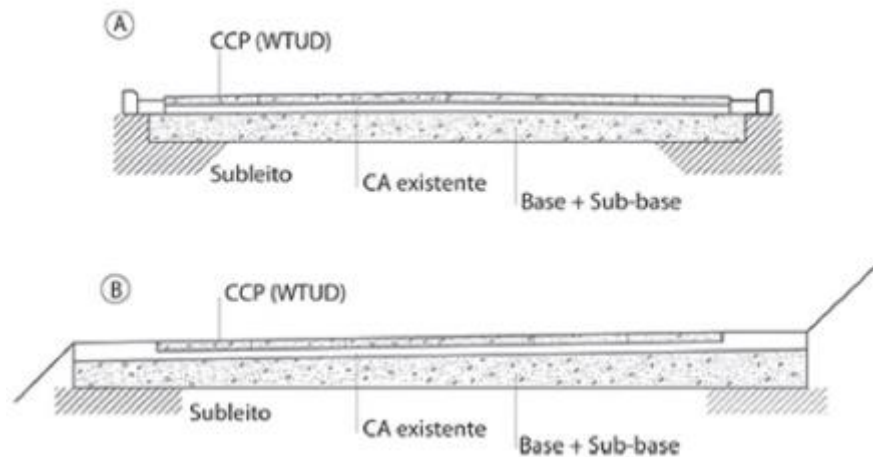
2.2.1.5 Whitetopping Ultradelgado (WTUD)

O whitetopping ultradelgado se trata de uma variação do whitetopping convencional, executado em concreto de alta resistência permitindo que a espessura seja entre 5 a 10 centímetro, com o intuito de evita fissuras por retração as juntas possuem espaçamentos menores (Oliveira, 2000).

O nome “*Whitetopping*” vem das cores cinza claro presente no concreto, já o nome “ultradelgado” vem do inglês *ultra-thin* e a expressão Whitetopping Ultradelgado (WTUD) é a mais utilizada entre os profissionais, pois ainda não se tem uma norma oficial. Mesmo com muita gente chamando o WTUD de reforço em outros países especialistas não o consideram apenas como um reforço, já que não o utilizam apenas para a melhoria da resistência, mas também para a correção de deformações ou melhoria da superfície. Esse tipo de WT pode ser

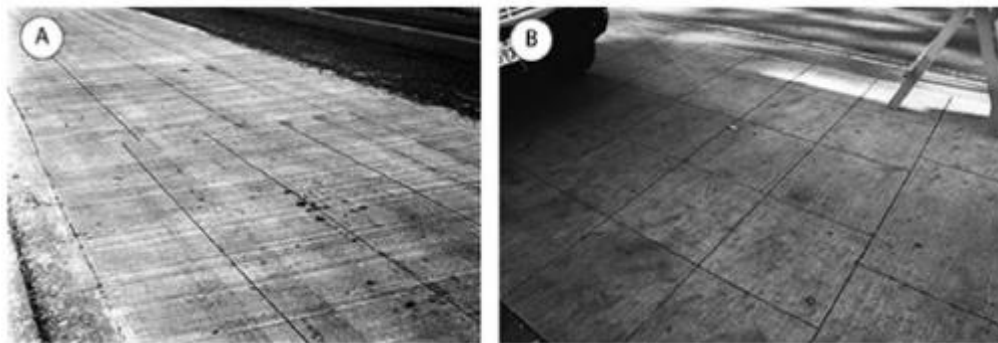
feito de duas maneiras: Overlay que consiste em adicionar o concreto diretamente sobre o asfalto ou Inlay que é encaixando dentro da faixa onde o asfalto foi retirado. Após horas o concreto é serrado transversal a longitudinal com juntas menores que 1 m. A Figura 7 ilustra as moldagens Overlay e Inlay enquanto a Figura 8 mostra os diferentes espaçamentos entre juntas WTUD (Balbo, 2016).

Figura 7: Moldagens overlay e Inlay.



Fonte: BALBO, 2016.

Figura 8: Diferentes espaçamentos entre juntas WTUD.



Fonte: BALBO, 2016.

O ponto fundamental para o WTUD é que o concreto precisa de aderência com a camada de pavimento que está abaixo, o que ajuda a diminuir as tensões que surgem na parte superior do concreto. Normalmente para que isso aconteça é necessário a realização de um corte conhecido como fresagem e a realização de limpeza no local, caso o pavimento abaixo possua trincas não adianta adicionar o WTUD. Outra questão é com relação a espessura adequada para que se tenha a ação conjunta de todas as camadas, ou seja, trabalhem de forma aderida e em flexão absorvendo e reduzindo as tensões de tração da placa. A literatura

americana e sueca mostram a necessidade de espessuras razoáveis entre 75 mm e 150 mm (Balbo, 2016).

Segundo Oliveira (2000), o WTUD é indicado apenas para pavimentos que não estão com suas bases deterioradas, já que é levado em consideração para seu dimensionamento a aderência entre as placas de concreto do pavimento antigo e uma vantagem apresentada é a rapidez na liberação do tráfego que pode ser feita em menos de 24 horas.

2.2.1.6 Placas de Concreto Pré-Moldadas

A utilização de PCPM (Placa de Concreto Pré-Moldadas) já tem longa data na construção civil, mas ainda é recente na pavimentação, essa aplicação de pavimentos já existentes na reposição de placas já desgastadas surgiram como uma solução para o problema de reconstrução de placas de concreto moldadas *in loco*, embora não seja o método de moldagem convencional mais barato as placas apresentam inúmeras vantagens, onde uma delas é a elaboração perfeita e favoráveis as condições de cura, o que evita de imediato o surgimento de defeitos na peça, garantem também uma resistência mais elevada e concretos mais homogêneos, permitem economia no dimensionamento de placas para novos pavimentos (Balbo, 2016).

Balbo (2016) especifica que se deve ter cuidados quando o assunto é a aplicação dessas placas: as placas devem estar perfeitamente apoiadas sobre a base sem a presença de vazios ou falta de contato entre placas. Já que isso gera estados críticos sob a ação da temperatura e as cargas dos veículos, outro ponto importante é a necessidade de armadura, já que as placas são estocadas e alocadas para o local de aplicação, isso requer grande resistência com relação ao seu próprio peso, por isso são armadas. As placas pré-moldadas também podem ser consideradas como placas protendidas, já que a protensão é aplicada em sua fabricação, uma solução que vem sendo discutida para se preencher vazios que ficam após aplicação das placas é o grout.

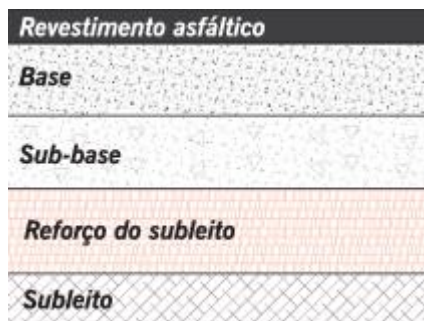
2.2.2 Flexíveis (Asfáltico)

O pavimento asfáltico é classificado como flexível diante dos outros tipos de pavimento, justamente pelo seu comportamento de sofrer deformações elásticas quando se tem a aplicação de cargas e por ter na composição da liga asfáltica um material betuminoso proveniente do petróleo (Silva, 2021).

Segundo Bernucci et al. (2010, p.338), os pavimentos flexíveis geralmente são associados aos pavimentos asfálticos tem sua estrutura composta por uma camada superficial asfáltica que é mais conhecida como revestimento, onde é apoiada sobre camadas de base, de

sub-base e também o reforço do subleito, nas quais são compostas por materiais granulares, solos ou misturas de solo a depender dos agentes cimentantes, como mostra a Figura 9.

Figura 9:Estrutura tipo de pavimentos flexíveis.



Fonte: Bernucci, 2010.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2016) apresenta as etapas da execução de um pavimento flexível, assim como exibidas no quadro 2:

Quadro 2:Etapas de execução pavimento flexível-DNIT.

Etapas de execução pavimento flexível-DNIT		
1	Preparação da superfície de apoio	Limpeza, regularização e verificação para receber as camadas seguintes.
2	Imprimação	Aplicação do asfalto diluído ou da emulsão para gerar aderência entre a base e o revestimento.
3	Pintura de ligação	Se trata de uma camada fina de ligante que tem o intuito de dar coesão entre duas camadas de revestimento.
4	Execução da camada base	Ocorre o espalhamento, alinhamento e a compactação do material.
5	Execução da camada de revestimento	Ocorre a aplicação e a compactação da mistura asfáltica de acordo com as especificações de projeto.
6	Acabamento e limpeza final	Etapas onde ocorre a correção das imperfeições, retirada do material em excesso e também a preparação para a liberação do tráfego.

Fonte: Adaptado de DNIT (2016).

Segundo (CNT, 2017, p.22), as camadas de misturas asfálticas que geralmente são aplicadas nas camadas dos revestimentos são compostas por agregados e ligantes asfálticos(CAP), o que influencia diretamente nas propriedades e no comportamento desta camada é o seu processo de fabricação. A CNT também traz consigo os principais tipos de revestimentos.

2.2.2.1 Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)

É considerada uma das misturas mais comum utilizada no Brasil na construção de pavimentos, é obtido a partir da mistura e homogeneização de agregados minerais bem graduados, tem como material de enchimento o *filler* e o cimento asfáltico de petróleo mais conhecido como o CAP. Essa mistura é realizada a quente em usinas misturadoras (CNT, 2017).

2.2.2.2 Pré-Misturado a Quente

É uma mistura usinada de agregados e ligante asfáltico, aplicada ainda a quente, com características similares ao CBUQ, porém, geralmente, com menor controle tecnológico (PINTO, 2015). Geralmente são utilizadas como camada de regularização ou de ligação quando a graduação aberta necessita de uma capa selante, quando se tem uma graduação mais densa o uso dessa capa se torna desnecessária (CNT, 2017).

2.2.2.3 Pré-Misturado a Frio

A CNT (2017) ainda ressalta que são misturas de agregados juntamente com materiais asfálticos, ou seja, emulsões asfálticas que são realizadas a temperatura ambiente, no caso de misturas com graduação aberta se tem a presença de problemas com a coesão entre os materiais, já em misturas que possuem a graduação mais densa, caso o índice de vazios for relativamente baixo o seu comportamento se assemelhará ao comportamento do CBUQ.

2.2.2.4 Mistura Asfáltica Morna

Essa é uma técnica de pavimentação mais recente, que é semelhante ao pré-misturado a quente, onde o processo de mistura dos agregados com o ligante asfáltico é realizado a uma temperatura entre 20° a 40° Celsius, a sua utilização tem o objetivo de reduzir a emissão de poluentes e também na redução no consumo de energia (CNT, 2017).

2.2.2.5 Areia Betume

Pinto (2015) define a areia betume como uma mistura composta principalmente de areia natural ou artificial e CAP, podendo ou não ter a adição de *filler* e que geralmente é aplicada em locais de baixo tráfego. Enquanto a CNT (2017) traz que A areia betume é preparada a quente em usina e tem em sua composição o material betuminoso, a areia como

agregado miúdo e também material de enchimento se for o caso. Utilizada como camada de revestimento, regularização e base.

2.2.2.6 Tratamento Superficial Betuminoso

A CNT (2017) destaca que esse tipo de revestimento é composto pelo asfalto/CAP e agregados, tem sua aplicação sobre a base do revestimento já existente e não utiliza do processo de uzinagem.

2.2.2.7 Macadame Betuminoso

O macadame betuminoso é formado a partir de agregados graúdos colocados em camada, preenchidos com CAP e selados com materiais finos, como o pó de areia ou pedra (Pinto, 2015).

2.2.2.8 Sheet Asphalt

Consiste em uma mistura de Areia betume composta por areia, *filler* e cimento asfáltico, é semelhante a areia betume, mas se diferencia por necessariamente por ser uma mistura que possui sua graduação densa e adota regras granulométricas mais precisas e também exige um maior controle em sua execução (CNT, 2017).

2.2.3 semirrígidos

Segundo Paixão et al. (2018), os pavimentos semirrígidos se encontram no meio termo entre os pavimentos rígidos e os flexíveis, assim o mesmo apresenta características e peculiaridade dos dois tipos, no entanto não pertencer a nenhuma das duas classes, onde se torna uma classe muito peculiar de pavimentos.

De acordo com o Manual de Pavimentos Flexíveis e Rígidos do DER-Paraná (2008), os pavimentos semirrígidos se caracterizam por uma base cimentada que se compõe das seguintes camadas: o revestimento, a base cimentada, sub-base, reforço do subleito e o subleito, como é possível observar na Figura 10 a seguir.

Figura 10: Estrutura do revestimento semirrígido.



Fonte: DER-PR, 2008.

Os pavimentos semirrígidos possuem revestimento de material asfáltico, assim como os pavimentos flexíveis, a presença de ligantes hidráulicos na sua camada de base é o que difere um do outro, o ligante hidráulico adicionado tem o intuito de alcançar uma camada que possua rigidez suficiente para que resista as cargas de tráfegos de projeto, os pavimentos semirrígidos mais usais são: Stand-creet, solo tratado com cimento, solo cimento e o solo-cimento-cal (Paixão *et al*, 2018).

2.2.3.1 Sand-Creet

O Stand-creet é um material que apresenta características que se assemelham ao concreto em razão da grande quantidade de areia e o alto teor de cimento, onde seus componentes são a areia o cimento Portland e a água (Paixão *et al*, 2018).

2.2.3.2 Solo Tratado com Cimento

O solo tratado com cimento é uma mistura feita *in loco* ou em usina que tem em sua composição o solo sem a presença de matéria orgânica, o cimento Portland e a água, compactados adequadamente e submetidos ao processo de cura, no sétimo dia deve ter resistência a compressão simples entre 1,2 Mpa e 2,1 Mpa. No geral as trincas que aparecem no processo de cura não vêm a interferir no pavimento devido à baixa composição de cimento, já que o solo tratado com cimento tem menor retração e menor índice de trincamento durante o processo de cura (DER-Paraná 2008).

2.2.3.3 Solo Cimento

O solo cimento possui basicamente a mesma composição do solo tratado com cimento, a diferença entre os dois é a relação a compressão simples do material após sete dias de cura que deve ser superior a 2,1 Mpa para o solo cimento. O solo cimento por apresentar uma quantidade maior de cimento que é confirmado por sua capacidade de resistência a compressão, durante o processo de cura tem uma maior presença de trincas que por consequência tem maior reflexão nas camadas superiores (DER-Paraná 2008).

2.2.3.4 Solo-cimento-cal

Assim como especifica o (DER-PR, 2005), o solo-cimento-cal tem o intuito de gerar estabilidade direta com a cal no solo para se atender exigências de projeto quando se trata da resistência do pavimento, a mistura deve ser feita *in loco*, compactada adequadamente e submetida ao processo de cura. O solo que é utilizado deve apresentar boa reação com a cal e o cimento, podendo assim ser utilizado o cimento convencional ou o pozolânico, já a cal deve ser a cal hidratada cálcica que possua teor mínimo de 50% de cal solúvel.

2.3 Trabalhos relacionados encontrados na literatura nos últimos 10 anos.

Este tópico tem o intuito de apresentar um pequeno resumo de cada obra analisada para a realização da análise bibliográfica:

2.3.1 Sousa *et al.* (2019)

O trabalho de Sousa *et al.* (2019) teve o intuito de estudar o pavimento rígido e analisar a correlação entre a resistência a compressão axial e a tração na flexão do concreto e a partir dos ensaios feitos o autor pode identificar que o pavimento rígido apresenta alto desempenho mecânico, especialmente quanto a sua resistência a estabilidade estrutural. O estudo também detalhou que, mesmo o custo inicial de implementação seja alto, o pavimento regido oferece maior durabilidade, menor frequência de intervenção e melhor custo-benefício em comparação a outros sistemas.

2.3.2 Bonfim *et al.* (2024)

O trabalho de Bonfim *et al.* (2024) teve o foco de comparar os pavimentos rígido e flexível quanto ao custo-benefício de implantação e manutenção na Rodovia Expresso Porto, em Porto Velho–RO, em um período de 20 anos. O estudo mostrou que o custo inicial do pavimento rígido era 38% maior, mas ao final mostrava uma economia de 21% maior que o flexível devido à sua maior vida útil e menor custo de manutenção, tornando a alternativa mais viável.

2.3.3 Pinto *et al.* (2024)

Pinto *et al.* (2024) analisa placas de concreto simples com o foco na resistência a fadiga, por meio da modelagem numérica. Foi verificado que métodos tradicionais superdimensionam a espessura de placas em até 47% e eleva o custo da mesma, a análise numérica se mostrou precisa, econômica e eficiente, indicando que maior resistência do concreto e maior espessura resulta em melhor desempenho, durabilidade e menor consumo da vida útil do pavimento.

2.3.4 Carvalho *et al.* (2020)

O trabalho de Carvalho *et al.* (2020) visa à análise da viabilidade econômica e ambiental do asfalto-borracha em comparação com o CBUQ e o TSD, todos da classe flexível. Apesar do maior custo inicial, o asfalto-borracha apresenta melhor desempenho, maior durabilidade de até 40% superior, melhor custo-benefício e menor necessidade de manutenções, além de contribuir com o meio ambiente.

2.3.5 Mello *et al.* (2016)

O trabalho de Mello *et al.* (2016) analisa os pavimentos flexíveis com foco no impacto do período de projeto em relação ao custo global de obras rodoviárias, o autor ainda destaca

que projetos com a vida útil mais longa, apesar de apresentarem custo inicial maior, resultam em menores custos totais, devido à menor frequência de manutenções. Esse tipo de pavimento pode oferecer ótimo desempenho, alta durabilidade e melhor custo-benefício desde que seja bem dimensionado e planejado a longo prazo.

2.3.6 Silva *et al.* (2023)

O trabalho de Silva *et al.* (2023) analisa pavimentos flexíveis através da comparação entre os diferentes métodos de dimensionamento com o foco nos custos. O autor destaca que os métodos apresentam diferenças de espessura e consequentemente influência no custo total da obra. Mesmo com variações, os métodos garantem bom desempenho e durabilidade quando executados corretamente. A escolha do método influencia diretamente na economia.

2.3.7 Queiroz (2022)

Queiroz (2020) compara os custos e características dos pavimentos rígidos, flexíveis e intertravado, destacando que o pavimento flexível tem menor custo inicial, mas exige maior frequência de manutenções. O regulamento apresenta alta durabilidade e menor frequência de manutenções, mesmo possuindo um custo inicial elevado. O estudo mostra que cada tipo possui vantagens específicas em desempenho, economia, durabilidade e manutenção, sendo a escolha dependente do contexto de uso.

2.3.8 Lima *et al.* (2022)

Lima *et al.* (2022) avaliou as condições da superfície dos pavimentos flexíveis no trecho da BR-101 e BR-415, utilizou o método de levantamento visual contínuo, o estudo identificou que a BR-101 apresentou maior desgaste nos trechos com má classificação enquanto a BR-415 teve boas condições, o autor ainda destaca o tráfego intenso contribuem para o desgaste.

2.3.9 Cavalet *et al.* (2019)

A pesquisa de Cavalet *et al.* (2019) se trata da comparação de custo/benefício entre os pavimentos rígidos e os flexíveis em concreto asfalto, aplicados em uma rodovia de alto tráfego. Foi utilizado para estudo métodos de dimensionamento como o MEDINA e foi analisado por um período de 20 anos, onde foi incluso os custos de construção e manutenção.

2.3.10 Santos *et al.* (2020)

O trabalho de Santos *et al.* (2020), tem o intuito de comparar os pavimentos rígidos e os flexíveis, analisando as diferenças de materiais, métodos, custos, durabilidade e manutenção, usando como base de estudo a BR-466 NO Paraná, onde foram levantados dados do tráfego e calculadas as estruturas dos pavimentos.

2.3.11 Santos *et al.* (2024)

O estudo realizado por Santos *et al.* (2024), se trata de uma análise comparativa entre os pavimentos rígidos e os flexíveis, onde avalie os aspectos econômicos para identificar qual a melhor relação de custo-benefício, a pesquisa de caráter bibliográfico e qualitativa fala sobre a durabilidade custo de implantação e manutenção dos pavimentos como também da segurança e o conforto dos usuários, levando em consideração a vida útil dos pavimentos

2.3.12 Oliveira *et al.* (2024)

A pesquisa de Oliveira *et al.* (2024), compara os custos de implantação e o ciclo de vida dos pavimentos rígidos e flexíveis em uma via de alto tráfego. Foi feito o dimensionamento e o orçamento, considerando para o pavimento flexível a necessidade de manutenção para se atingir uma vida útil de no mínimo 20 anos igual à vida útil do rígido.

3 METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho, foi realizado um cronograma de pesquisa onde o intuito foi a análise de artigos científicos relacionados ao tema da pesquisa. Onde a coleta de dados foi realizada por meio do Portal de Periódicos da CAPES. Pesquisa essa que teve como objetivo principal a comparação entre os pavimentos rígidos e flexíveis, tratando-se do desempenho funcional de cada um dos tipos citados, aspectos de funcionamento, características técnicas e a relação do custo-benefício.

Para a seleção dos trabalhos relacionados foi realizada duas etapas, onde a primeira é a busca pelo material bibliográfico e a segunda a seleção desses materiais. A primeira etapa, ou seja, a pesquisa foi relacionada aos pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis, onde se adotou um intervalo de tempo para os artigos publicados nos últimos 10 anos, ou seja, do ano de 2015 até o ano de 2025, com intuito de se obter trabalhos mais recentes.

Tratando-se dos pavimentos flexíveis obteve-se um total de 97 trabalhos no geral, mas para fins de enriquecer e facilitar o processo de pesquisa, os resultados obtidos foram filtrados em acesso aberto que resultou em 83 trabalhos, a seguir aplicou-se o filtro de somente artigos no idioma português (Brasil) e apenas artigos, que fez essa quantidade cair para 80. O mesmo processo foi realizado para os pavimentos para a seleção dos pavimentos rígidos que de início foi obtido um total de 69 artigos, que posteriormente foram filtrados em trabalhos do gênero

artigo, trabalhos abertos e o idioma português (Brasil), que totalizou um total de 26 artigos publicados.

A segunda etapa tratou-se de uma análise rápida dos títulos e resumos presentes de cada artigo encontrado, com o intuito de se trabalhar somente com artigos que viessem a se encaixar com o tema abordado, onde foi analisado um total de 12 trabalhos. A utilização dessa análise bibliográfica proporcionou uma avaliação crítica e comparativa dos resultados obtidos na literatura, visando compreender as vantagens, desvantagens e os fatores determinantes que influenciam na viabilidade econômica de cada um dos pavimentos estudados.

4 RESULTADOS

Para fins de demonstração, os resultados encontrados com base na análise dos materiais pesquisados estão organizados no quadro 3 a seguir. Ondem eles demonstram, de forma clara e objetiva como cada ponto analisado se destacou e ajudam a entender melhor as diferenças e características dos métodos estudados.

Quadro 3:Resultados da análise bibliográfica.

Resultados da análise bibliográfica		
Autor	Objetivo	Resultados obtidos
(Mello <i>et al.</i> 2016)	Analisar como a variação do período de projeto influencia diretamente no custo global, utilizando os pavimentos flexíveis e metodologias de dimensionamento como o Medina (Método de Dimensionamento Nacional) e as Normas do DNIT (DNIT 009/2006-PRO e DNIT 137/2010-ES).	O autor destaca que o período de projeto tem influência direta na durabilidade e do custo total de uma obra rodoviária, já que projetos duradouros são mais robustos e financeiramente mais eficientes a longo prazo. Ressalta também que os órgãos públicos e privados devem priorizar a vida útil a longo prazo e não o custo inicial da obra, para assim promover o uso de forma racional e sustentável.
(Cavalet <i>et al.</i> 2019)	Tem o objetivo de comparar o custo/benefício de implantação e manutenção de pavimentos rígidos e flexíveis de um trecho da rodovia SC-114.	Os resultados apontaram que os pavimentos rígidos tem uma economia de 31% na construção e 76% com manutenções com relação aos flexíveis em um período de no mínimo 20 anos. Esse alto custo se dá devido a espessura do pavimento flexível e o uso do concreto asfáltico.
(Santos <i>et al.</i> 2020)	O objetivo é apresentar as diferenças e vantagens e desvantagens dos pavimentos rígidos e flexíveis quanto durabilidade, custo e desempenho.	Nos resultados foi destacado que os flexíveis têm menor custo inicial e manutenção mais simples, mas vida útil mais curta e maior necessidade de manutenção o que eleva os custos com o tempo. Já o rígido requer investimento inicial maior, mas possui maior durabilidade e menor necessidade de manutenção, resultando em economia com o tempo. Em termos funcionais o flexível apresenta maior conforto de rolamento,

		enquanto o rígido mostrou maior resistência a intempéries e maior segurança.
(Carvalho <i>et al.</i> 2020)	A realização de uma análise comparativa de três tipos de pavimentos: CBUQ, TDS e asfalto-borracha, com o intuito de avaliar a viabilidade econômica e ambiental referente ao desempenho técnico e ciclo de vida.	Os resultados indicam que o asfalto-borracha mesmo tendo um custo inicial maior que o TDS e CBUQ oferece maior durabilidade e resistência, redução de manutenções e maior custo/benefício com o tempo. O TDS tem menor custo inicial, mas vida útil curta e alto custo com reparos. O CBUQ mostrou desempenho médio, com custo inicial moderado e durabilidade boa. Funcionalmente o asfalto-borracha se destaca pela resistência, impermeabilidade e aderência, maior segurança e conforto.
(Queiroz, 2022)	A autora busca estudar a realidade da infraestrutura viária brasileira buscando compreender as razões históricas, técnicas, econômicas e também avaliar se o pavimento rígido pode ser uma alternativa mais vantajosa.	Por fim a autora conclui que o pavimento rígido é a melhor alternativa em termo de custo-benefício, principalmente para vias de tráfego intenso e reconhece também que para vias de tráfego baixo tratando-se da questão econômica o pavimento flexível pode ser mais viável.
(Silva <i>et al.</i> 2023)	O intuito do autor é a realização comparativa de custos de diferentes métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis, buscando identificar as diferenças econômicas.	O autor destaca o Medina como método mais econômico, já que analisa com maior precisão o comportamento estrutural do pavimento, sendo mais confiável. O autor defende a utilização de métodos como o Medina mesmo exigindo conhecimento avançado, pois acha essencial para a modernização do sistema viário.

(Bonfim <i>et al.</i> 2024)	A autora tem o objetivo de comparar os pavimentos rígidos e flexíveis em período de vida útil de 20 anos, por meio de um estudo de caso da BR-364 e da RO-0055.	A autora destaca que o pavimento regido é a melhor alternativa técnica e econômica para vias de tráfego intenso e com vida útil alta, embora tenha apresentado custo inicial elevado, é uma solução mais vantajosa em questões econômicas, estruturais e ambientais. Ressalta também que o pavimento regido gera menos impacto ambiental por fornecer melhor escoamento superficial e exigir menos manutenções.
(Santos <i>et al.</i> 2024)	O objetivo do autor é comparar os pavimentos rígidos e flexíveis analisando seus aspectos técnicos e econômicos e definir quem apresenta melhor custo/benefício.	Os resultados obtidos pelo autor indicam que o pavimento rígido apesar de possuir maior custo inicial, apresenta maior durabilidade e reduz a necessidade de manutenções a longo prazo. Proporcionando melhor aderência, menor risco, maior visibilidade noturna e resistência. Enquanto o flexível possui menor custo de implementação e facilidade de reparos, mas exige manutenções com maior frequência.
(Oliveira <i>et al.</i> 2024)	O estudo tem o objetivo de comparar os custos de implantação dos pavimentos rígidos e flexíveis e avaliar a viabilidade econômica.	Considerando apenas a implementação os flexíveis apresentam economia de 12% em relação ao rígido, mas com metade da vida útil. Quando se considera os custos de manutenção para que o pavimento flexível atinja 20 anos o pavimento rígido apresenta economia de 17,5%. O pavimento rígido aparenta também melhor desempenho funcional para tráfego pesado.

(Sousa <i>et al.</i> 2019)	A obra tem o intuito de comparar os pavimentos mais usuais (rígido e flexível) quando se trata de economia, durabilidade e impactos ambientais.	Após a realização da pesquisa, os autores destacam que, do ponto de vista econômico, técnico e ambiental, o pavimento rígido é a melhor opção para obras de alto desempenho estrutural e baixo custo de manutenção, mas se tratando de ser a longo prazo. Ele também destaca que, mesmo o custo inicial dos pavimentos flexíveis, os órgãos do setor da engenharia deveriam optar pelo pavimento rígido, para locais como áreas urbanas.
(Pinto <i>et al.</i> 2024)	O autor teve o objetivo de realizar uma análise e comparar o custo-benefício entre os pavimentos rígidos e flexíveis, levando em consideração gastos de implantação e manutenção. A análise foi realizada em um trecho da Rodovia Expresso, para identificar qual pavimento apresenta melhor desempenho técnico e econômico.	destaca que a fadiga deve ser rigorosamente considerada no dimensionamento de pavimentos rígidos e que a modelagem numérica se mostrou ser eficiente para prever pontos de tensões, contribuindo para projetos com maior economia. Consolidando assim os pavimentos rígidos, a alternativa mais recomendada para rodovias de alto tráfego.
(Lima <i>et al.</i> 2022)	O estudo realizado pela autora se trata de uma análise das características estruturais, econômicas e funcionais dos pavimentos flexível e rígido.	O destaque final da autora é que, apesar de não se ter um tipo único e ideal para todas as situações o pavimento rígido se destaca tanto no desempenho técnico e econômico durante o tempo. Outra solução dada é a reabilitação de vias flexíveis com técnicas de WT(Whitetopping).

Fonte: Autor, 2025.

Com base nas informações apresentadas foi possível analisar que o pavimento rígido se destacou como a melhor alternativa quando se trata de custo-benefício com o passar do tempo, devido sua maior durabilidade, melhor desempenho frente a cargas de alto tráfego, desempenho técnico e eficiência econômica, embora o mesmo tenha um custo inicial maior para sua implementação.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho que teve como base 12 trabalhos publicados nos últimos 10 anos, teve como intuito comparar o desempenho técnico, funcional e econômico dos pavimentos rígidos e flexíveis. A partir da revisão dos trabalhos foi verificado que 75% dos autores apontam o pavimento rígido como alternativa de maior vantagem quando se trata de alto volume de tráfego, durabilidade e vida útil e desempenho estrutural frente a cargas pesadas.

Os pavimentos rígidos, mesmo apresentando um custo inicial de implantação superior aos pavimentos flexíveis, mostram em diversos estudos economia acumulada ao longo da sua vida útil devido à redução de manutenção. Entre as vantagens mais citadas e se destacam a durabilidade superior, o melhor desempenho em condições climáticas diversas, maior segurança e aderência. Como desvantagens é ressaltado o alto nível de investimento inicial, maior tempo de liberação do tráfego e o menor conforto de rolamento em comparação ao pavimento flexível. Já os pavimentos flexíveis foram indicados por cerca de 25% dos autores como a alternativa mais viável para vias de tráfego leve, possuindo um custo inicial menor e facilidade na execução e reparo. Mas apresentam vida útil reduzida e com maiores custos acumulados devido à necessidade de manutenção frequente.

Diante desses resultados, é possível concluir que a escolha do tipo de pavimento não se deve restringir ao custo, mas sim considerar o ciclo de vida útil, condições de tráfego e objetivos estratégicos do projeto. Para rodovias urbanas e tráfego intenso é deixado claro que o pavimento rígido se mostra a alternativa mais eficiente e econômico a longo prazo enquanto o pavimento flexível mantém sua relevância em contextos de agilidade e baixo investimento inicial quando se trata de vias que possuem um volume de tráfego baixo.

6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Pavimento verde, cada vez mais presente. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/tecnologia/pavimento-de-concreto/>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- BALBO, José Tadeu. Pavimentos de concreto. Oficina de Textos, 2016.
- BERNUCCI, Liedi Légi; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Angelo Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010.
- BONFIM, Samara Laís Maia; [et al.]. Análise do custo-benefício de implantação e manutenção entre pavimentos rígido e flexível: estudo de caso para Rodovia Expresso Porto–

RO. *Revista Caribeña de Ciências Sociais*, [S. l.], v. 13, n. 8, p. e4251, 2024. Disponível em: <https://revistacaribena.com/ojs/index.php/rccs/article/view/4251>. Acesso em: 27 jul. 2025.

BORGES, Wanessa Silverio Amador; PEIXOTO, Murilo Santos. ASPECTOS TÉCNICOS DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: PROCESSOS, MATERIAIS E CONTROLE DE QUALIDADE. *REVISTA FOCO*, v. 17, n. 12, p. e7362-e7362, 2024.

CARVALHO, Marcos Dutra de. *Vantagens e benefícios do Whitetopping e do Inlay na reabilitação de pavimentos*. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, ago. 2012. Disponível em: https://viasconcretas.org.br/cms/wp-content/uploads/2013/03/Whitetopping-e-Inlay-Vantagens_Artigo.pdf.

CAVALET, Victor N.; LUVIZÃO, Gislaíne; NIENOV, Fabiano A.; ZAMPIERI, Lucas Q. Análise comparativa do custo-benefício entre pavimentos flexíveis em concreto asfáltico e pavimentos rígidos em concreto de cimento Portland aplicado em rodovia de alto tráfego. In: ENCONTRO NACIONAL DE PAVIMENTAÇÃO, 33., 2019, Brasília. *Anais...* Brasília: DNIT, 2019.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. *Pesquisa CNT de Rodovias 2017: relatório gerencial*. Brasília: CNT, 2017. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/Relatorio>. Acesso em: 26 jul. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). *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: 28 jul. 2025.

COSTA, Kelly Haura Rodrigues et al. ANÁLISE DA MATRIZ DE VALORES FIXOS PARA CLASSIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS URBANOS. *REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 18, n. 2, p. 89-102, 2022.

DA SILVA, José Eudes Marinho; CARNEIRO, Luiz Antonio Vieira. *Pavimentos de Concreto: histórico, tipos e modelos de fadiga*. 2014.

DE CARVALHO, Kelly Cristina Ribeiro; DE ALMEIDA, Ricardo Fernandes Pains; JUNIOR, Vilson Dalla Libera. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO ASFALTO-BORRACHA EM RELAÇÃO AOS PAVIMENTOS DO TIPO TSD E CBUQ. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 829-846, 2020.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. ET-DE-P00/040 A – Pavimento de concreto de cimento Portland sobre plataforma de terraplenagem: manual. São Paulo: DER/SP, fev. 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (Brasil). DNIT 060/2004 – PRO: Pavimento rígido – inspeção visual – procedimento. Rio de Janeiro: IPR/DNIT, 2004. 22 p.

DER-PR – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO PARANÁ. *Manual de pavimentos flexíveis e rígidos*. Curitiba: DER-PR, 2008.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *IPR 719 – Manual de Pavimentação*. Rio de Janeiro: DNIT, 2016.

DOS SANTOS HEY, Alan et al. DIFERENÇA A ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS E PAVIMENTOS FLEXIVEIS ESTUDO DE CASO NA BR-466. *PI-Pesquisa e Inovação*, v. 2, n. 1, 2020.

KERTIS, Millena Tamiozzo; SUAREZ, David Alex Arancibia. Análise Comparativa entre Pavimento de Concreto X Pavimento Flexível Estudo de Caso: Implantação da Rodovia MS-380 (Município de Ponta Porã-MS). 2024.

LIMA, Isadora Andrade de. *Avaliação, diagnóstico e recuperação de pisos de concreto hidráulico em trechos localizados na cidade de Natal/RN e na Região Metropolitana*. 2022. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

MELLO, Luiz Guilherme Rodrigues et al. Análise do impacto do período de projeto de pavimentos no custo global de obras rodoviárias. *Transportes*, v. 24, n. 4, p. 64-74, 2016.

OLIVEIRA, Patrícia Lizi de. *Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto*. 2000. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29052006-165910/publico/2000ME_PatriciaLiziOliveira.pdf.

PAIXÃO, Monique; CORDEIRO, Cristóvão César Carneiro; CORREIA, Maria da Conceição Nogueira. Pavimentos semirrígidos: prevenção e tratamento da reflexão de trincas. In: SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, 16., 2017, Salvador. Anais [...]. Salvador: UNIFACS, 2017. Disponível em: <http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa>. Acesso em: 29 jul. 2025.

PARANA. Departamento de Estradas e Rodagens – DER. Norma de Pavimentos Flexíveis e Rígidos. 2008.

PINTO, Estevão Mendonça; ÁVILA, Fábio Grisolia de; NASCIMENTO, Filipe Almeida Corrêa do. Modelagem numérica de placas de concreto simples: implicações para o

dimensionamento à fadiga de pavimentos rígidos. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, v. 17, n. 6, p. 1–25, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.6-111.

QUEIROZ, Letícia Pereira de. *Análise comparativa de características e custo-benefício entre pavimento rígido e pavimento flexível*. 2022. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

SOUSA, Jorge Aguiar de; MARINHO, Francisco Cláudio Lima; SOUZA, Moab Ferreira de. *Questão ambiental: pavimento rígido ou flexível?* Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 3, n. 10, p. 43–59, 2019. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia/pavimento-rigido-ou-flexivel.

VEGGI, E. S.; MAGALHÃES, S. L. M. Análise comparativa de custos entre concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e tratamento superficial duplo (TSD). *Engineering and Science*, v. 2, 2014.