

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS SERTÃO
ENGENHARIA CIVIL

NATHAN ROGER DA SILVA OLIVEIRA

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DOS SISTEMAS DE
PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA E FLEXÍVEL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

DELMIRO GOUVEIA - AL
2023

NATHAN ROGER DA SILVA OLIVEIRA

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DOS SISTEMAS DE
PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA E FLEXÍVEL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Wendell José Soares dos Santos

DELMIRO GOUVEIA – AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

O48a Oliveira, Nathan Roger da Silva

Análise de viabilidade técnica e econômica dos sistemas de pavimentação rígida e flexível: uma revisão sistemática / Nathan Roger da Silva Oliveira. - 2023.

45 f. : il.

Orientação: Wendell José Soares dos Santos.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Engenharia de Transporte. 2. Pavimentação rígida. 3. Pavimentação flexível. 4. Patologias. 5. Manutenção. 6. Rodovia. 7. Comparativo técnico. 8. Comparativo econômico. I. Santos, Wendell José Soares dos. II. Título.

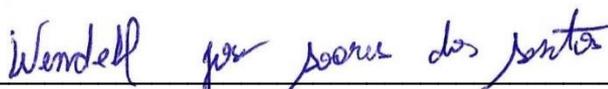
CDU: 627.75

Folha de Aprovação

NATHAN ROGER DA SILVA OLIVEIRA

Análise de viabilidade técnica e econômica dos sistemas de pavimentação rígida e flexível: uma revisão sistemática

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 26 de maio de 2023.



(Orientador(a) - Msc. Wendell José Soares dos Santos

Banca examinadora:



(Examinador(a) Externo(a) - Eng. Solon Pires de Oliveira Filho



(Examinador(a) Interno(a) - Dr. Odair Barbosa de Moraes

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me apoiaram incondicionalmente em todos os momentos da minha vida, me dando amor, incentivo e força para seguir em frente. Seus exemplos de perseverança e dedicação são minha inspiração. Também dedico à minha saudosa avó materna, que mesmo ausente fisicamente, sempre esteve presente em meus pensamentos e em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder a oportunidade de chegar até aqui e por me guiar em todos os momentos da minha vida.

Agradeço especialmente aos meus pais, Delma e Reginaldo, a minha família, e a minha namorada Lívia, que sempre me apoiaram e incentivaram a seguir meus objetivos, mesmo nos momentos mais difíceis. Seu amor, compreensão e incentivo foram primordiais para a realização deste sonho.

Agradeço ao meu orientador, Wendell, por sua dedicação, paciência e comprometimento durante todo o processo de elaboração deste trabalho. Suas sugestões e orientações foram fundamentais para o desenvolvimento da minha pesquisa.

Por fim, gostaria de expressar minha gratidão a todos os meus amigos, em especial aos da República BP que de alguma forma contribuíram para a realização desse sonho, direta ou indiretamente. Assim como a Fabiana, que foi minha segunda mãe durante a minha graduação. A todos vocês, o meu muito obrigado.

"O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo."

Winston Churchill

RESUMO

A análise dos sistemas de pavimentação existentes, seus processos construtivos e aplicações, para uma melhor solução na concepção de projetos e execução de obras rodoviárias, é um assunto de grande importância para a engenharia de transporte e tem sido objeto de estudo em diversos trabalhos científicos. Como é frequente a ocorrência de patologias e a necessidade de manutenções em rodovias, se faz necessário discutir sobre os sistemas de pavimentação rígido e flexível. Diante disso, o trabalho objetivou analisar a viabilidade técnica e econômica entre os sistemas de pavimentação rígida e flexível, por meio de uma revisão bibliográfica. Foram utilizados artigos dos últimos 10 anos, do Google Acadêmico e Periódicos CAPES, que contemplassem a temática. A revisão sistemática realizada permitiu entender as principais características e diferenças entre os sistemas de pavimentação, bem como os fatores que devem ser considerados para a escolha do sistema mais adequado em cada caso. Levando a observar que a pavimentação rígida é mais resistente e com menos necessidade de manutenção, mas apresenta custos de instalação e reparo maiores. Já a pavimentação flexível é mais barata e fácil de executar, mas necessita de manutenção mais frequente e tem vida útil menor. Logo, a escolha entre os sistemas deve levar em consideração fatores como o tipo do tráfego, o clima da região, as condições do solo, a vida útil projetada, os custos de execução e de manutenção, a disponibilidade de materiais, entre outros. Mostrando assim, a necessidade realizar as análises de custo-benefício para escolher o sistema de pavimentação mais equilibrado para cada caso.

Palavras-chave: pavimentação rígida, pavimentação flexível, comparativo técnico, comparativo econômico.

ABSTRACT

The analysis of existing pavement systems, their construction processes and applications, for a better solution in the design of projects and execution of road works, is a subject of great importance for transport engineering and has been the subject of study in various scientific works. As the occurrence of pathologies and the need for maintenance in highways is frequent, it is necessary to discuss about rigid and flexible pavement systems. Therefore, the aim of this work was to analyze the technical and economic feasibility between rigid and flexible pavement systems through a literature review. Articles from the last 10 years from Google Scholar and CAPES Journals were used, which addressed the theme. The systematic review allowed us to understand the main characteristics and differences between pavement systems, as well as the factors that should be considered when choosing the most suitable system in each case. It was observed that rigid pavement is more resistant and requires less maintenance, but has higher installation and repair costs. On the other hand, flexible pavement is cheaper and easier to execute, but requires more frequent maintenance and has a shorter lifespan. Therefore, the choice between systems should take into account factors such as traffic type, region climate, soil conditions, projected lifespan, execution and maintenance costs, material availability, among others. Thus, showing the need to perform cost-benefit analyses to choose the most balanced pavement system for each case.

Keywords: rigid paving, flexible paving, technical comparison, economic comparison.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Técnica de construção romana.....	17
Figura 2	– Cargas aplicadas em um pavimento.....	20
Figura 3	– Resposta mecânica de pavimentos flexíveis.....	22
Figura 4	– Resposta mecânica de pavimentos rígidos.....	22
Figura 5	– Representação das camadas dos pavimentos rígidos e flexíveis.....	24
Figura 6	– Execução de pavimento flexível.....	26
Figura 7	– Execução de pavimento rígido.....	27
Figura 8	– Execução de manutenção em pavimento de asfalto.....	34
Figura 9	– Execução de manutenção em pavimento de concreto.....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Detalhes das etapas de busca dos artigos.....	28
Quadro 2	– Síntese dos artigos utilizados na pesquisa.....	29
Quadro 3	– Comparativo econômico entre pavimento rígido e flexível.....	37
Quadro 4	– Custos de implantação por km.....	38
Quadro 5	– Síntese dos aspectos técnicos.....	40
Quadro 6	– Síntese dos aspectos econômicos.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNT	Confederação Nacional de Transportes
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Trânsito
PCS	Pavimento de Concreto Simples
PCA	Pavimento de Concreto Armado
PCAC	Pavimento de Concreto com Armadura Continua
PCPRO	Pavimento de Concreto Protendido
PCPM	Pavimento de Concreto Pré-Moldado
WT	<i>Whitetopping</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
VDM	Volume Diário Médio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Histórico da pavimentação.....	16
2.2	Funções do pavimento	18
2.3	Classificação dos pavimentos	20
2.4	Camadas componentes do pavimento	22
2.5	Pavimento flexível	25
2.6	Pavimento rígido	26
3	METODOLOGIA.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1	Análise da viabilidade executiva entre os sistemas de pavimentação.....	33
4.2	Análise da viabilidade econômica entre os sistemas de pavimentação.....	36
4.3	Considerações finais.....	39
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura com várias camadas, aplicado acima da superfície final da terraplenagem, destinado a resistir aos esforços horizontais e verticais provenientes do tráfego dos veículos e as diferentes situações climáticas, e a proporcionar melhores condições de rolamento aos usuários. (BERNUCCI *et al*, 2008).

Bernucci *et al.* (2008) afirmam que, atualmente a pavimentação rodoviária, é classificada em basicamente dois tipos: rígidos e flexíveis. Porém, existe uma tendência em usar a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland (ou somente concreto-cimento), para pavimento rígido e pavimento asfáltico para pavimento flexível.

De acordo com a Pesquisa de Rodovias de 2022 elaborada pela Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2022), concluiu-se que o Estado Geral das rodovias brasileiras piorou em relação a 2021, onde 61,8% da malha rodoviária era considerada Regular, Ruim ou Péssimo, passando para 66,0% no ano de 2022. Estes dados não favorecem os transportadores e aos demais usuários, uma vez que circular em rodovias com condições inadequadas pode ocasionar graves riscos à segurança, além de aumentar os custos de operação, como manutenção constante do veículo e aumento da duração de viagem, do consumo de combustível e ainda causam danos ambientais e a saúde, pois elevam o aumento de emissões de gases de efeito estufa.

Discutir sobre os sistemas de pavimentação no Brasil justifica-se pela necessidade do melhoramento da malha rodoviária, a fim de contribuir no escoamento das produções agrícolas e industriais, logísticas em geral e no deslocamento de pessoas de uma maneira cada vez mais eficaz.

Assim, é possível notar que a análise da viabilidade técnica e econômica entre os diferentes sistemas de pavimentação pode impactar direta ou indiretamente no melhoramento do fluxo dos transportes terrestres e tudo que está atrelado a isso, através da melhoria da qualidade das rodovias, do aumento da segurança decorrente da qualidade da rodovia, da redução de custo, tanto para a execução da obra quanto para quem a utilizará, diminuição da necessidade de manutenção, entre outras.

Sendo assim, a presente pesquisa estabeleceu como problema de pesquisa: Quais são as principais diferenças técnicas e econômicas entre os sistemas de pavimentação rígida e flexível e suas viabilidades de aplicação?

Em conformidade com o problema de pesquisa, estabelece-se o seguinte objetivo geral: analisar a viabilidade técnica e econômica entre os sistemas de pavimentação rígida e flexível. Nesse contexto, para alcançar o objetivo geral de pesquisa, os objetivos específicos do presente trabalho são: discutir as principais diferenças entre os dois sistemas e analisar a viabilidade técnica e econômica da aplicação para cada método.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico da pavimentação

Segundo Balbo (2007), o que hoje é denominada de estrada, foi criada pelo homem a fim de conseguir melhores acessos às áreas cultiváveis e às fontes de madeira, rochas, minerais e água, além da vontade de expandir seu território. De acordo com ele, as estradas começaram a serem pensadas na China e muito tempo depois vieram a ser aperfeiçoadas pelos romanos, que, com o intuito de torná-las mais resistentes e duradouras começaram a implantar sistemas de pavimentação e drenagem. Os romanos também buscaram estabelecer rotas por terras mais racionais, para transpor montanhas e chegar aos principais portos no Mediterrâneo, alinhando-se a meios de transporte mais eficientes que seus estrategistas poderiam arquitetar.

Tamanho foi a importância desses caminhos pavimentados para a sociedade romana que, na época áurea de Otávio Augusto (30 a.C.a 14 d.C.), por solicitação do Senado e da população do Império, o senhor de Roma era responsável pelo direito pela manutenção das grandes vias de circulação, e serviço de extrema necessidade para estabilidade política, econômica, militar, e, sobretudo para a agricultura como atividade econômica (ROSTOVTZEFF, 1983, *apud* BALBO, 2007).

As técnicas de pavimentação romanas foram se aperfeiçoando de acordo com a necessidade de expansão do território. As estradas de Roma ligavam cidades e portos, para operações agrícolas. BALBO (2007) afirma que, durante o período republicano de Roma diversas estradas foram executadas com os métodos construtivos dominados pelos romanos, dentre elas a Via Aurélia, Via Flaminia e a Via Clodia.

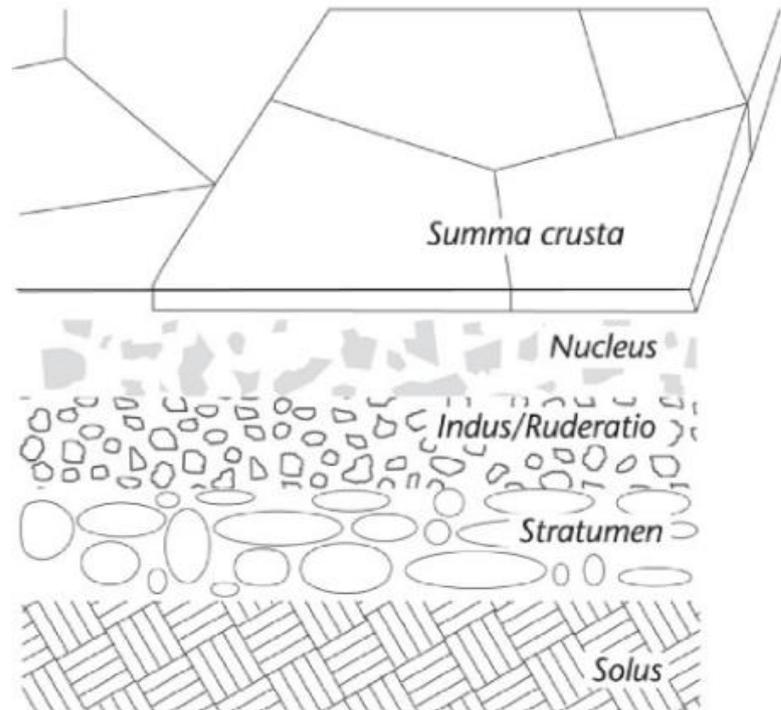
A técnica de construção dos romanos era seguida por:

- Terreno Natural – Escavados até material consistente;
- Statumen – Lastro de pedras para melhorar condição de apoio (30 a 60 centímetros);
- Indus ou Rudus – Pedras fragmentadas, pedaços de ferro aglomerados com cal, areia, argila e pozolana (cinza vulcânica) (25 a 30 centímetros);

- Nucleus – Pedras miúdas com pasta semelhante ao indus para impermeabilizar o pavimento. (30 a 50 centímetros);
- Summa crusta – Rochas basálticas justapostas;

A Figura 1 a seguir, representa através de um corte longitudinal o modo com que eram dispostas as camadas dos pavimentos executados pelos romanos.

Figura 1: Técnica de construção romana.



Fonte: Balbo (2007)

Assim como os pavimentos, a história também é construída em camadas e, constantemente, as estradas formam um caminho para analisar o passado, tanto é que são uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas. Percorrer a história da pavimentação nos endereça à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Percebe-se então que, já naquela época existia um entendimento a respeito da importância de uma estrada pavimentada, que sofria degradação ao longo dos anos e que sua manutenção era imprescindível. Além do fato das rodovias fazerem parte das sociedades civilizadas.

Já no Brasil, Bernucci *et al.* (2008) faz uma cronologia a respeito das principais estradas construídas. Sendo reportadas uma das primeiras estradas por volta de

1560, à época do terceiro governador-geral do Brasil, Mem de Sá. Trata-se do caminho que conectava São Vicente ao Planalto Piratininga. Posteriormente, o governo da Capitania de São Vicente restaurou esse caminho, construindo o que foi conhecida como Estrada do Mar (ou Caminho do Mar), possibilitando assim o tráfego de veículos. Atualmente a estrada também é conhecida como Estrada Velha do Mar.

Em 1660, Salvador Correia de Sá e Benevides, então governador e administrador geral das Minas (região que englobava o Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo), deu a ordem de “abrir e descobrir” a trilha dos goianas, com a intenção de facilitar a ligação do Rio de Janeiro e São Paulo. Dando origem, assim a Estrada Real, conhecida em Minas Gerais, ou Caminho do Ouro, popularmente conhecida em Paraty, RJ. Foi calçada para transporte do ouro das minas no século XVIII, no século XIX houve um aprimoramento para transportar o café. Porém, o caminho foi abandonado e esquecido no século XX. Atualmente, o Caminho do Ouro ou Estrada Real está sendo reconstruída com intuito de viabilizar a utilização turística desse importante veia da história do Brasil (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Segundo Prego (2001), entre as décadas de 1940 e 1950 a malha rodoviária brasileira ganhou grande impulso com à criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, proveniente do imposto sobre combustíveis líquidos. Além da criação da Petrobras em 1953. A partir disso, começaram as execuções de pavimentos em proporções industriais e o surgimento de grandes firmas construtoras. A época, apesar da existência do Laboratório Central do DNER (Departamento Nacional de Estradas e Rodagem), não havia ainda procedimentos amplamente aceitos para a aplicação das tecnologias rodoviárias. Exemplo disso, apesar de já existirem esforços de alguns engenheiros para implantação de métodos de projeto e controle, é a pavimentação da Presidente Dutra, em 1950, que foi executada sem estudo geotécnico, com espessuras de 20cm de base de macadame hidráulico e 15cm de um revestimento de macadame betuminoso por penetração dosado pela regra “a quantidade de ligante é a que o agregado pede”. Além de concreto de cimento Portland adotado em alguns trechos do pavimento.

Assim sendo, as estradas desempenharam um papel essencial ao longo da história, conectando comunidades, viabilizando o comércio, uma expansão territorial e desenvolvimento econômico. Seja na antiguidade romana ou na era moderna, a construção e a manutenção de estradas têm sido cruciais para o progresso das sociedades.

2.2 Funções do pavimento

De forma resumida, o objetivo da pavimentação é proporcionar ao tráfego mais conforto e segurança, com estruturas e materiais capazes de suportar as cargas resultantes da ação do tráfego somadas com as condições climáticas, usando o mínimo de recursos necessário. Em outros termos, buscando, sempre que possível, um bom desempenho em termos de custos operacionais e de manutenção. É nesse sentido que há a verdadeira arte e ciência da engenharia da pavimentação, que usa a arte do saber fazer, aliada a aplicação dos conceitos técnicos, assim como já era entendida há mais de dois milênios (BALBO, 2007).

A pavimentação de uma via de circulação de veículos é uma obra civil que proporciona, antes de tudo, uma melhoria operacional com o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular, mais aderente e menos ruidosa, essa via tende a se tornar mais confortável para o deslocamento dos veículos, mais segura em condições de pista molhada, além de garantir um melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais (BALBO, 2007).

Motta (2005), afirma que um dos objetivos de se pavimentar uma estrada ou uma rua está diretamente ligado ao melhoramento dessas vias que normalmente são chamadas de estradas de terra, protegendo-as da ação da água, do desprendimento de poeira e pedras e tornando-as mais cômodas e confiáveis para quem a utiliza.

Segundo a NBR-7207/82 da ABNT tem-se a seguinte definição: “O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

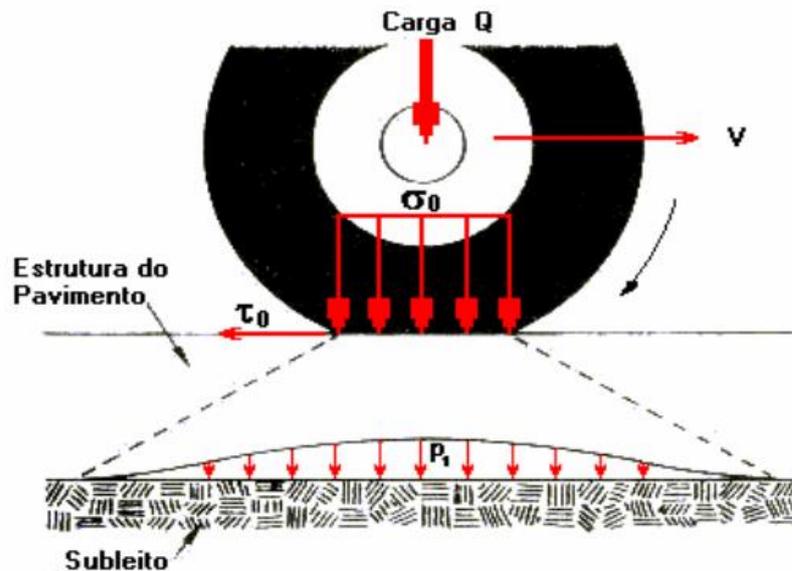
- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.”

Quando um pavimento é solicitado através da carga de veículo, ele recebe uma tensão vertical de compressão e uma tensão horizontal de cisalhamento devido ao seu deslocamento a uma determinada velocidade. As camadas que compõem a estrutura do pavimento terão a função de distribuir essa tensão vertical aplicada na superfície, de tal forma que o subleito receba uma parcela bem menor desta tensão

superficial. A tensão horizontal aplicada na superfície exige que esta tenha uma coesão mínima (SANTANA, 1993).

A Figura 2 mostra as forças atuantes sobre um pavimento, proveniente das solicitações impostas pelos veículos que nela trafegam.

Figura 2: Cargas aplicadas em um pavimento.



Fonte: Santana (1993)

Levando em consideração os conceitos já apresentados sobre o assunto, pode-se também entender que as cargas solicitantes de um pavimento são propagadas através das rodas pneumáticas dos veículos. A área de contato entre eles e o pavimento tem a forma aproximadamente elítica, e a carga exercida, dada a relativa dureza dos pneus, tem uma distribuição aproximadamente parabólica, com a pressão máxima exercida no centro da área carregada (SENÇO, 2007).

2.3 Classificação dos pavimentos

Segundo Balbo (2007), a classificação dos tipos de pavimento ainda é alvo de muitas discussões por parte dos técnicos da área rodoviária, tendo em vista a inexistência de definições clássicas absolutamente coerentes. Sendo mais aconselhável não impor definições muito ferrenhas, mas apontar limitações de utilização dos termos ou expressões.

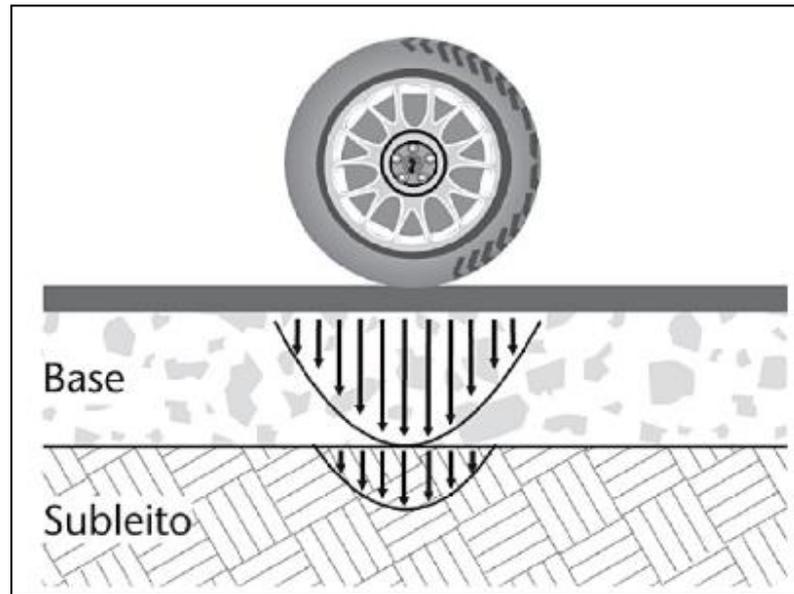
Em conformidade com a análise anterior, Senço (2007) afirma que, como o pavimento é uma estrutura formada por diversas camadas, existem sérias dificuldades para alcançar um termo que possa definir toda a estrutura.

Já o manual de pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), conclui que os pavimentos, de maneira geral podem ser considerados flexíveis, semi-rígidos e rígidos. Onde o pavimento flexível é aquele em que todas as suas camadas sofrem algum tipo de deformação elástica proveniente de algum carregamento aplicado, logo, a carga se distribui entre as camadas de forma aproximadamente equivalente entre elas, um exemplo disso é o pavimento composto por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulho, revestida por uma camada asfáltica. Já para os pavimentos considerados semi-rígidos, eles se encontram em uma situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis, como é o caso das misturas solo-cimento, solo-cal, solo-betume dentre outras, que apresentam razoável resistência à tração. E por fim, temos o pavimento rígido, que por sua vez absorve praticamente todos os esforços advindos dos carregamentos aplicados devido a sua elevada rigidez em comparação às camadas inferiores, onde o exemplo mais comum sobre ele é o pavimento construído de lajes de concreto de cimento Portland.

Medina (1997), aborda o assunto de maneira similar ao anterior, onde afirma que tradicionalmente são consideradas apenas duas categorias de pavimentos, o flexível e o rígido. Sendo que um é constituído de revestimento betuminoso acima de uma base granular, ou de solo estabilizado granulometricamente e o outro seria construído com placas de concreto, dificilmente armadas, posicionadas sobre o solo de fundação ou de sub-base intermediária, respectivamente.

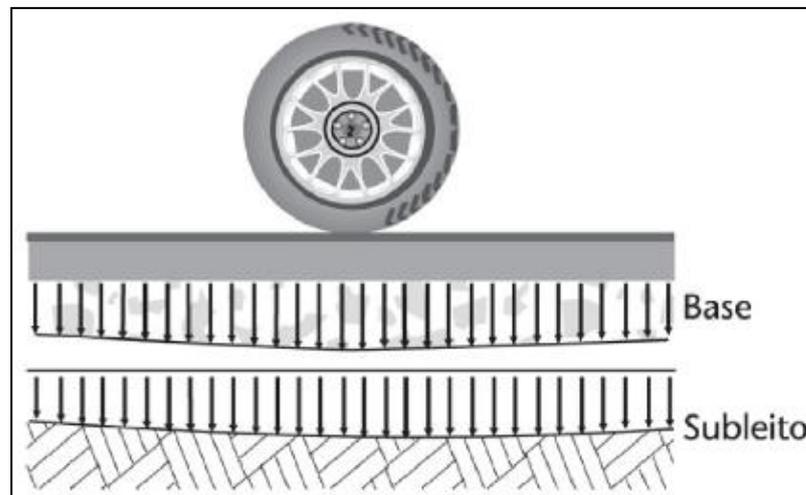
De modo geral, afim de facilitar o entendimento, Senço (2007) classifica os pavimentos flexíveis como aqueles em que as deformações, até uma determinada margem, não levam ao rompimento. São calculados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (Figura 3). Já para os pavimentos rígidos, são aqueles com baixa deformidade, compostos principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações (Figura 4).

Figura 3: Resposta mecânica de pavimentos flexíveis.



Fonte: Balbo (2007)

Figura 4: Resposta mecânica de pavimentos rígidos.



Fonte: Balbo (2007)

2.4 Camadas componentes do pavimento

O pavimento é uma estrutura formada por camadas sobrepostas de materiais diversos, compactados a partir do subleito da composição estradal. Dimensionada para atender de modo estrutural e operacional ao tráfego, de modo duradouro e com o mínimo de custo possível. Tratando da esfera estrutural, um pavimento é concebido para receber e repassar cargas de maneira a aliviar pressões impostas as camadas inferiores, que normalmente possuem uma menor capacidade de resistência, ainda que, isso não seja tomado como regra geral. Logo, para que suas camadas funcionem

adequadamente, todas as camadas componentes devem trabalhar deformações convenientes as suas capacidades de resistência (BALBO, 2007).

Balbo (2007) também afirma que, as cargas devem ser transmitidas as fundações de forma amortecida e criteriosa, afim de impedir a ocorrência de mudanças incompatíveis com a utilização da estrutura, acarretando assim, a um comportamento mecânico inapropriado e a exteriorização de modo precipitado.

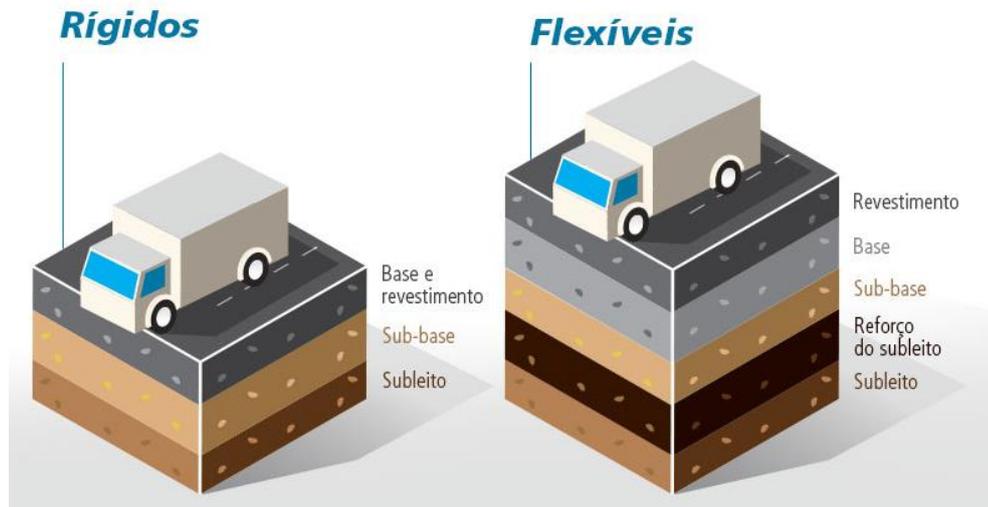
Como já citado anteriormente, o pavimento pode ser classificado basicamente em rígido e flexível. Os rígidos, a exemplo dos pavimentos de concreto-cimento são aqueles em que o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland. Nesses pavimentos a dimensão das camadas é delineada em função da resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas inferiores. As placas de concreto podem ou não ser armadas com barras de aço. É habitual nomear-se a subcamada desse pavimento como sub-base, tendo em vista que a qualidade do material dessa camada equivale à sub-base de pavimentos asfálticos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Bernucci *et al.* (2008), também aborda o sistema de pavimentação flexível, utilizando o método mais comum, os pavimentos asfálticos. Que são aqueles em que o revestimento é preparado por uma mistura constituída principalmente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro principais camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. O revestimento asfáltico pode ser constituído por camada de rolamento – em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, que podem ser denominadas de Binder, apesar de que essa denominação possa levar a uma certa confusão, tendo em vista que esse termo é utilizado na língua inglesa para designar o ligante asfáltico.

O pavimento flexível possui as camadas de revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e o subleito, onde o último é a fundação da estrutura. A depender da situação, o pavimento poderá ou não ter camada de sub-base ou de reforço, porém, deverá existir a camada de revestimento, mesmo que seja primaria (cascalhamento, agulhamento), e de fundação (subleito). Essas são condições mínimas para que uma estrutura possa ser chamada de pavimento (BALBO, 2007).

A Figura 5 ilustra, de modo geral a diferença entre as camadas do sistema de pavimentação rígido e flexível.

Figura 5: Representação das camadas dos pavimentos rígidos e flexíveis.



Fonte: Votorantim cimentos (2006)

A seguir, as camadas de um pavimento estão descritas de modo mais detalhado, afim de se entender melhor suas respectivas funções:

- **Subleito:** De acordo com a NBR 7207/82, é o terreno de fundação do pavimento. Marques (2006) reitera que deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam as cargas impostas pelo tráfego (de 60 a 1,50 m de profundidade) atuem de forma afetiva. O CBR desta camada deve estar entre 2% a 20%, caso seja maior que 20%, pode ser utilizada com sub-base.
- **Leito:** É a camada superficial do subleito (em área) proveniente da terraplanagem ou obra de arte e ajustada ao greide e seção transversal (MARQUES, 2006).
- **Reforço do subleito:** Em tese, não se faz obrigatório o uso do reforço do subleito, pois espessuras maiores nas camadas superiores poderiam aliviar os esforços sobre um subleito modesto. Porém, sua utilização visa economia, pois subleitos de baixa resistência exigem, especialmente, para os pavimentos flexíveis camadas de base e sub-base mais espessas (BALBO, 2007).
- **Sub-base:** Conforme Senço (2007) explica essa é a camada complementar à base, quando, não for recomendado executar a base acima da regularização ou reforço do subleito devido a eventualidades técnicas e econômicas. Segundo a regra geral, o material que compõe

a sub-base deverá ter características tecnológicas superiores às do material de reforço; do mesmo modo, o material da base deverá possuir uma melhor qualidade que o material da sub-base.

- **Base:** É a camada destinada a resistir aos esforços verticais advindos do tráfego e distribuí-los (SENÇO, 2007). As bases podem ser compostas por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados (solo-brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, etc (BALBO, 2007). Admite-se ainda, segundo a NBR 7207/82 que as placas de concreto fazem, ao mesmo tempo, a função de base e revestimento.
- **Revestimento:** O revestimento, tem entre outras funções, receber as cargas estáticas ou dinâmicas, sem sofrer danos elásticos ou plásticos, desagregação de matérias ou perda de compactação. Logo, deve ser formado de matérias bem aglutinados e acomodados de forma a evitar sua movimentação horizontal. Alguns dos materiais que convêm com tais condições são: paralelepípedos, placas de concreto, concreto compactado com rolo, tratamentos betuminosos superficiais e misturas asfálticas de modo geral (BALBO, 2007).

2.5 Pavimento flexível

Para Senço (2007), pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações, não ocasionam o seu rompimento, até um determinado ponto. São projetados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação por efeito das rodas dos veículos, que provocam deformações permanentes na estrutura a, e ao rompimento por fadiga.

Motta (2005) aborda o assunto de maneira similar, onde explica que esse tipo de pavimento normalmente é constituído de revestimento betuminoso delgado sobre camadas granulares. O potencial de suporte se dá em razão das características de distribuição de cargas através de um sistema de camadas superpostas, onde as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada.

A Figura 6 exemplifica a aplicação da camada final do pavimento flexível, com o uso do revestimento asfáltico.

Figura 6: Execução de pavimento flexível.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Balbo (2007), afirma que o revestimento asfáltico, em alguns casos é subdividido em duas ou mais camadas por razões técnicas, construtivas e/ou de custo. Por isso, é possível encontrar expressões como “camada de rolamento” e “camada de ligação”, para tratar de um revestimento que foi dividido em duas camadas de diferentes materiais.

2.6 Pavimento rígido

Aos pavimentos rígidos, Senço (2007) afirma que são aqueles pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações. Marques (2006), complementa dizendo que o dimensionamento desse tipo de pavimento é fundamentado nas propriedades de resistência das placas de concreto de cimento Portland, as quais são apoiadas em uma camada de transição, a sub-base.

A espessura é determinada a partir da resistência à tração do concreto e são feitas considerações em relação à fadiga, coeficiente de reação do subleito e cargas aplicadas. Possuem vida útil maior e são pouco deformáveis, como dito anteriormente. O pavimento flexível é dimensionado a partir da resistência do subleito e do pavimento rígido pela resistência do próprio pavimento (MARQUES, 2006).

Os pavimentos em concreto (Figura 7), de forma resumida, são aqueles em que a camada de rolamento (ou revestimento), é produzida com uso de concreto, agregados e ligantes hidráulicos e podem ser executados através de diversas técnicas. Dentre eles, podemos citar o pavimento de concreto simples (PCS), pavimento de concreto armado (PCA), pavimento de concreto com armadura continua (PCAC), pavimento de concreto protendido (PCPRO), pavimento de concreto pré-moldado (PCPM), e *Whitetopping* (WT) (BALBO, 2009).

Figura 7: Execução de pavimento rígido.



Fonte: Cimento Itambé (2019)

3 METODOLOGIA

Segundo Strauss & Corbin (1998), o modo de pesquisa é uma mescla de procedimentos e técnicas usados para se coletar e analisar os dados. O método fornece os meios para se alcançar o objetivo proposto, ou seja, são as “ferramentas” das quais faz-se uso na pesquisa, a fim de responder questionamentos abordados.

O presente estudo consiste em pesquisa aplicada de caráter descritiva, que visa analisar a viabilidade técnica e econômica entre os sistemas de pavimentação rígida e flexível, comparando-os em diversos aspectos, como durabilidade, resistência, manutenção, custos de execução, etc. Nesse sentido, os resultados serão apresentados de forma qualitativa, a partir da coleta de informações de fontes secundárias.

Foram realizadas consultas em plataformas de pesquisa, como Google Acadêmico e Periódicos CAPES, filtrando publicações relacionadas aos conceitos-chaves: pavimentação rígida, pavimentação flexível, comparativo, técnico, econômico. Com artigos de até 10 anos relacionados ao tema. Em seguida, foi realizada a triagem dos artigos, selecionando aqueles de fontes científicas confiáveis, fundamentados em evidências, que melhor encaixavam-se as respostas dos objetivos propostos. O Quadro 1 representa as plataformas de pesquisa utilizadas e a disponibilidade de publicações referentes ao tema em cada uma delas.

Quadro 1: Detalhes das etapas de busca dos artigos.

Base de dados	Total de publicações sem o filtro	Publicações disponíveis após a filtragem	Publicações aproveitadas na revisão bibliográfica
Google Acadêmico	35	20	9
CAPES	2	2	1

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Quadro 2 apresenta a síntese de todos os artigos científicos aqui referenciados, desde sua autoria, até o título, ano de publicação e suas conclusões.

Quadro 2: Síntese dos artigos utilizados na pesquisa.

Nº	TÍTULO	AUTORES	ANO	CONCLUSÃO
1	Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto)	Marcelo Almeida Araújo; Martha Jussara Paixão dos Santos; Heunbner Pereira Pinheiro; Zoraide Vieira Cruz.	2016	<p>Ambos são viáveis para estradas brasileiras, sendo o pavimento rígido melhor para estradas com maior intensidade de carga. O texto não propõe a substituição do pavimento flexível pelo rígido, mas sim uma análise de qual sistema seja mais viável.</p> <p>Onde conclui-se que o pavimento rígido geralmente apresenta um custo-benefício melhor devido à pequena necessidade de manutenção durante sua vida útil, que são notavelmente maiores que as vida útil do pavimento flexível.</p>
2	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.	Victor N. Cavalet; Gislaine Luvizão; Fabiano A. Nienov; Lucas Q. Zampieri.	2019	<p>O artigo comparou os dois tipos de pavimento e constatou que o pavimento rígido apresentou uma economia de cerca de 31% na construção e de 76% na manutenção em relação ao pavimento flexível.</p> <p>Considerando os custos de construção e manutenção, concluiu-se que a implantação do pavimento rígido apresentou uma economia de R\$ 1.335.357,77 para a rodovia estudada. O pavimento de concreto é uma alternativa com excelente custo-benefício para pavimentação de rodovias de tráfego pesado, devido aos elevados custos dos ligantes asfálticos na pavimentação flexível e sua manutenção.</p>

N°	TÍTULO	AUTORES	ANO	CONCLUSÃO
3	Comparativo: Pavimentação Rígida e Flexível Para Aplicação em uma Via	Bruno Gomes da Silva; Iago Coutinho de Mattos; William Rios Reynoso.	2019	Com base no estudo realizado, a pavimentação rígida é superior à pavimentação flexível em termos de segurança, manutenção e aspectos ambientais abrangentes. No entanto, para a via em questão, que tem baixa demanda de veículos e não recebe tráfego pesado, a pavimentação flexível é mais adequada em termos de custo-benefício. Isso reduz os transtornos para os habitantes da região, evitando sujeira, manutenção de veículos e outros problemas que podem surgir no local.
4	Conservação de rodovias: análise de um trecho da PB-293.	Ana Caroline de Sousa Pereira; Antônio da Silva Sobrinho junior.	2022	A rodovia estudada estava em péssimo estado de conservação devido à falta de manutenção, causando danos ao pavimento. Em relação aos custos, o pavimento de concreto é mais caro, mas na análise de 40 anos apresentou uma equivalência de custos em relação ao pavimento flexível, apesar deste exigir mais manutenção e ter uma vida útil mais curta. Conclui-se que o pavimento de concreto é mais recomendado a longo prazo devido à sua qualidade de tráfego e menor necessidade de manutenção.

Nº	TÍTULO	AUTORES	ANO	CONCLUSÃO
5	Diferença entre pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis estudo de caso na BR-466.	Alan dos Santos Hey; Barbara Pergher Dala Costa; Jaqueline Souza; Sabine Golinhaki; Claudinei Cerconi.	2020	O artigo compara pavimentos rígidos e flexíveis em termos técnicos e econômicos. Concluído que o pavimento rígido é superior em questões de durabilidade, segurança e menor necessidade de manutenção, enquanto o pavimento flexível é mais barato e mais rápido de ser construído. Porém, a longo prazo, o pavimento rígido é mais competitivo, pois o pavimento flexível requer custos altos para manutenção. O texto não tem a intenção de dizer qual pavimento é melhor, uma vez que cada um tem suas características.
6	Estudo comparativo de pavimento rígido x pavimento flexível através da análise de solo na PB-008.	Luiz Florival Cipriano; Raynner Cristhofer Santos Lima; Kelen Cristina Crivelaro Silvestre.	2021	O pavimento flexível é mais indicado para a região estudada devido ao baixo fluxo de veículos e ao tipo de solo presente, tornando-se mais barato. No entanto, com o aumento do fluxo de veículos com o desenvolvimento da região, pode ser necessário mudar para o pavimento rígido, que é mais caro, mas tem maior durabilidade. O pavimento flexível tem vida útil de 10 anos e precisa de reparos entre 2 e 5 anos, enquanto o pavimento rígido dura mais de 30 anos e precisa de reparos a partir de 10 anos após sua implantação.

Nº	TÍTULO	AUTORES	ANO	CONCLUSÃO
7	Pavimento de concreto: viabilidade e seus benefícios	Maikell Portes Kuster.	2018	<p>O artigo afirma que o pavimento de concreto é uma boa opção para rodovias brasileiras, devido à sua alta resistência, durabilidade e baixo custo de manutenção. Apesar do pavimento asfáltico ser predominante no país, o pavimento de concreto tem vantagens competitivas em termos de durabilidade e custos a longo prazo, além de trazer benefícios para a sociedade e municípios, como segurança do usuário, menor gasto com iluminação pública e manutenção. O texto sugere que o pavimento de concreto é uma opção a ser considerada para o mercado nacional.</p>
8	Pavimentos rígidos: o futuro das estradas brasileiras	Augusto dos Santos Petzold; Rickson Marinho Bernardi; Stefano Matteoni.	2021	<p>O artigo aborda a infraestrutura das estradas no Brasil, onde 99% das estradas são compostas por pavimento flexível, enquanto o pavimento rígido apresenta durabilidade até três vezes maior. Segundo o autor, o pavimento rígido é mais indicado tanto em questões econômicas quanto à segurança, já que países como a Alemanha, onde há predominância deste tipo de pavimento, apresentam uma taxa menor de acidentes de trânsito.</p>

N°	TÍTULO	AUTORES	ANO	CONCLUSÃO
9	Relação custo benefício entre pavimentos rígidos e flexíveis nas vias urbanas no município de Itacoatiara Amazonas	Jaqueline Amarante Maia; Jair Pantoja Lima; Érika Cristina Nogueira Marques Pinheiro; Roberval Aparecido de Oliveira; Rocy Ribeiro de Almeida Júnior.	2022	O texto apresenta a possibilidade de uso de dois tipos de pavimentos, pavimento rígido em concreto armado e pavimento flexível asfáltico, com suas distinções em termos de custo, manutenção, durabilidade e percolação de água. Embora o pavimento rígido seja mais caro na execução, sua longevidade e fácil manutenção o torna uma boa alternativa de custo a longo prazo. A escolha entre os dois tipos de pavimento depende do local e da situação específica. Em geral, o pavimento rígido é mais indicado, mas em regiões como a Amazônia, onde o custo mais baixo é priorizado, o pavimento flexível pode ser mais aceitável.
10	Revisão sistemática da aplicabilidade da pavimentação rígida e flexível em rodovias	Duane André Parizotto; Luana Fagundes Pelleti; Rubens Mauro de Amorim Junior.	2020	O artigo compara os pavimentos, destacando que o pavimento rígido é mais durável e resistente, sendo adequado para vias com alto fluxo de veículos. Apesar de ser mais caro, o pavimento rígido não requer manutenção por até 20 anos e pode diminuir o custo do combustível em caminhões, enquanto o flexível dura apenas 10 anos e precisa de manutenção mesmo quando parece estar em boas condições.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.1 Análise da viabilidade executiva dos sistemas de pavimentação

Quando se compara a pavimentação flexível e a rígida, Araújo *et al.* (2016), afirma que se faz necessário levar em consideração outros fatores além do econômico, como o clima, o tráfego, o tipo de solo e as necessidades específicas do

projeto em questão. A pavimentação flexível é geralmente mais rápida e fácil de construir do que a pavimentação rígida, o que pode resultar em economia de tempo. Porém, ela também exige uma manutenção mais frequente e substituição mais rápida, devido ao desgaste causado pelo trânsito e outras adversidades. Por outro lado, o processo construtivo do pavimento de concreto é mais complexo e exige mais tempo e mão de obra especializada do que o processo construtivo do pavimento flexível. Porém, normalmente obtém-se uma vida útil mais longa, o que pode compensar o maior tempo gasto em sua construção.

Cavalet *et al.* (2019) acrescenta que também é necessário avaliar a disponibilidade de materiais e equipamentos para cada tipo de obra. Além disso, também afirma que devido as características dos pavimentos de resistir aos esforços, o custo-benefício da pavimentação em concreto é maior para tráfego de alta intensidade, onde a necessidade de manutenção é menor, no entanto, em casos em que o tráfego é de baixa intensidade, o pavimento flexível pode ser mais vantajoso, uma vez que o investimento inicial é menor e a necessidade de manutenção é reduzida devido a menor quantidade de tráfego.

Independentemente do tipo de pavimento a ser executado, a avaliação estrutural é fundamental para garantir a segurança e durabilidade do mesmo, e deve ser realizada considerando as características citadas anteriormente e envolvendo a análise da capacidade de suporte do subleito, do dimensionamento de suas camadas e a verificação das deformações e tensões provenientes da ação do tráfego. As pavimentações flexíveis são avaliadas principalmente por meio da análise de deflexões, que permitem estimar as deformações sofridas pelas camadas do pavimento sob o efeito do tráfego, já a rígida, como trabalha de modo diferente deve ser avaliada principalmente por meio da análise de fissuras e deslocamentos, que indicam a necessidade de reparos localizados (SILVA *et al.*, 2019).

Como visto anteriormente, a pavimentação é composta de várias camadas, Silva *et al.* (2019), as relaciona com os diferentes tipos de pavimento, onde afirma que a pavimentação flexível começa com a sub-base, seguida pela base e pelo revestimento asfáltico e o pavimento rígido é executado em uma única camada de concreto, que pode ser executada com barras de aço. Para os dois casos suas espessuras variam em função do tráfego e da qualidade do solo. Além disso os autores trazem conhecimentos importantes acerca das suas execuções, tendo em vista que no momento de suas implantações é necessária uma boa fiscalização para

garantir que o solo esteja devidamente preparado, com compactação adequada, nivelamento e drenagem para evitar problemas como infiltração de água, entre outros.

Esses cuidados precisam ser ainda maiores para o pavimento em concreto devido à necessidade de um nivelamento preciso, controle da espessura e cura do concreto. O pavimento flexível, apesar de não ser tão simples, acaba sendo mais fácil de realizar pois não requer moldes ou equipamentos especiais para sua aplicação, como mostra a Figura 8 (SILVA *et al.*, 2019).

Figura 8: Execução de manutenção em pavimento de asfalto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Parizotto *et al.* (2020) destacam uma importante relação entre vantagens e desvantagens dos dois tipos de pavimento. Onde afirmam que: O pavimento em concreto pode ser vantajoso devido a sua alta durabilidade, boa resistência à deformação permanente e ao tráfego intenso, maior resistência à derrapagem, maior economia de combustível e mais seguro em termos de visibilidade devido a sua superfície clara. Por outro lado, é mais sensível às variações térmicas, o que pode resultar em problemas como trincas e fissuras no concreto. Já a pavimentação flexível mostra-se com maior capacidade de absorção de vibrações e efeitos, se adapta melhor às variações térmicas e movimentações do solo, o que resulta em menor

incidência de trincas e fissuras. Porém, um de seus grandes problemas é a sua menor vida útil e maior necessidade de manutenção quando comparada ao pavimento rígido.

Pereira *et al.* (2022) trazem uma importante análise acerca da manutenção dos pavimentos, onde enfatizam sua essencialidade afim de garantir mais segurança e durabilidade, independentemente do tipo de pavimento.

É recomendado que sejam feitas inspeções frequentes para detectar falhas e defeitos nos pavimentos. As do tipo flexíveis, apresentam normalmente trincas, buracos e ondulações. A rígida, apesar de ser menos tolerante a deformações e apresentar maior resistência à ação de cargas, ainda assim pode sofrer danos causados pelo tráfego intenso e pelo desgaste natural. Por isso, a manutenção também é essencial, e deve incluir intervenções como reparos de trincas, correção de irregularidades e garantia das juntas. Para o último caso, a manutenção acaba se tornando mais difícil, devido à complexidade dos procedimentos e necessidade de maquinários mais pesados, como mostra a Figura 9 (Pereira *et al.*, 2022).

Figura 9: Execução de manutenção em pavimento de concreto.



Fonte: Cimento Itambé (2014)

4.2 Análise da viabilidade econômica dos sistemas de pavimentação

Parizotto *et al.* (2020) destaca que a escolha entre pavimentos rígidos e flexíveis deve ser baseada em uma análise criteriosa dos custos e benefícios de cada opção, levando em consideração as condições locais e as prioridades financeiras da autoridade responsável pela construção e manutenção da rodovia. No geral, os

autores afirmam que a pavimentação flexível apresenta um custo inicial mais baixo em relação à pavimentação rígida, mas podem ter um custo maior em manutenção ao longo do tempo. Já a pavimentação rígida pode ter um custo inicial mais elevado, mas pode ser mais resistente e exigir menos manutenção. O caminho a ser seguido para determinar qual melhor tipo de pavimento em termos econômicos para uma determinada situação é similar a análise da viabilidade técnica, onde se mostra fundamental na fase de planejamento de um projeto, levar em consideração a localização, o volume e tipo de tráfego, as condições ambientais, entre outros.

Tendo em vista que além do aspecto econômico, fatores como as condições climáticas da região também devem ser alvo de discussão. A exemplo disso, Maia *et al.*, (2022) avaliam o custo-benefício entre pavimentos em regiões urbanas do estado do Amazonas, que possuem longos períodos de chuva que acabam incidindo diretamente na vida útil dos pavimentos. Apesar da análise financeira mostrar que o pavimento asfáltico é mais barato de se construir, o pavimento rígido tem uma vida útil maior e requer menos manutenção, além de ser mais eficiente em áreas alagadiças como os da região.

Kuster (2018) aborda os benefícios da pavimentação em concreto e afirma que o custo de instalação do pavimento rígido atualmente está mais compatível em termos de competitividade em relação ao pavimento asfáltico, porém é importante levar em conta que o preço total não é composto apenas pela instalação inicial. Também é necessário considerar os custos futuros de manutenção, conservação e eventual reconstrução do pavimento. Outra importante análise feita pelo autor é relacionada a questão cultural, onde afirma que no Brasil ao se pensar em pavimentação já se supõe o pavimento asfáltico e que o pavimento em concreto só se torna viável para tráfegos pesados.

Nos estudos apresentados no artigo de Kuster, uma análise financeira feita com intuito de comparar o pavimento rígido e o flexível, observando a viabilidade econômica num período de 20 anos, com foco no ciclo de vida útil dos pavimentos mostrou que o pavimento de concreto de início tem um custo maior comparado ao flexível, porém nesse período de tempo não se tem custo com a manutenção desse pavimento. Por outro lado, no flexível é necessário que se gaste com manutenções e suas reformas, que nada mais é do que o recapeamento que regulariza e reforça o pavimento. Tornando assim, mais viável a execução do pavimento rígido. O Quadro 3 abaixo apresenta os valores encontrados no estudo.

Quadro 3: Comparativo econômico entre pavimento rígido e flexível.

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXÍVEL
Construção	R\$ 275.593,28	R\$ 100.479,21
Restauração	R\$ 0,00	R\$ 152.886,69
Manutenção	R\$ 0,00	R\$ 43.108,32
Total	R\$ 275.593,28	R\$ 296.474,22

Fonte: Barbosa Jr (2014)

Em conformidade com o que foi exposto anteriormente, Petzold *et al.*, (2021) trazem o pavimento rígido como uma alternativa para os desafios enfrentados pelo setor rodoviário no Brasil. Onde afirmam que é evidente que a questão cultural no Brasil é mais influente do que o desejo de melhorar a posição do país na economia global em relação à infraestrutura, mesmo com experiência no setor de rodovias. Além dos principais benefícios já citados, o fator ecológico também é levado em consideração pois o uso de pavimentos rígidos em detrimento dos pavimentos flexíveis se torna menos tóxico para o ser humano e também reduzem o consumo de recursos naturais.

De modo geral, o pavimento flexível também tem suas vantagens sobre o rígido, como já exposto, existem diversos fatores que influenciam na escolha do tipo de pavimento. Um exemplo disso é o estudo feito por Cipriano *et al.*, (2021) onde os mesmos fazem um comparativo entre os pavimentos com enfoque na análise do solo em um trecho da PB-008. Conforme afirmado, é fundamental realizar uma investigação geológica e geotécnica da região onde uma rodovia será construída, para garantir conforto, segurança e economia durante a construção. Essa investigação serve como base para estudos de drenagem, estabilidade de cortes e túneis e o dimensionamento de pavimentos. Embora estudos mais detalhados sobre o tipo de solo da região possam ser mais demorados, eles geram mais economia em termos financeiros e de planejamento. A negligência na análise do tipo de solo pode ser uma das razões pelas quais muitas rodovias estão em mais condições.

No estudo do trecho em questão, através de ensaios de laboratório conseguiu-se observar que a maior parte do solo naquela região é composto por areia, e quando feita uma boa compactação, não apresentam recalques significantes devido as ações das cargas verticais. Esse fator, juntamente com o tipo de tráfego da região, tornam o pavimento flexível uma boa alternativa para aplicação. Exemplificando assim, que o

pavimento flexível também pode ser financeiramente mais viável em determinadas situações.

Outra análise que pode exemplificar a viabilidade do pavimento flexível é a de Hey *et al.*, (2020) onde através de planilhas de execuções gerenciais do DNIT a execução de uma pista simples com faixa de 3,6 m e acostamento de 2,5 revestida por uma camada de 10 cm de Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ) é necessário investir um valor médio de R\$ 3.159.000,00 a cada quilômetro, já para o a implantação do pavimento rígido com 18 cm de revestimento o custo giraria em torno de R\$ 5.430.000,00 por quilômetro. Ficando clara a diferença de valores entres os tipos de pavimento. Porém, como já visto, existem fatores que devem ser levados em consideração afim de analisar de fato qual a melhor alternativa. Desse modo, os autores buscaram analisar o Volume Diário Médio (VDM), que de acordo com O Quadro 4 abaixo nos casos em que o VDM se encontra entre 500 e 750, o pavimento flexível se torna mais vantajoso. Mas por outro lado quando este valor vai além dos 2000 o pavimento rígido se torna mais viável em termos de custo-benefício.

Quadro 4: Custos de implantação por km.

VDMc	Pavimento Rígido	Pavimento Flexível
500	R\$ 1.066.000,40	R\$ 791.484,50
750	R\$ 1.104.463,30	R\$ 938.060,27
2000	R\$ 1.104.463,30	R\$ 1.138.449,29
3500	R\$ 1.142.926,20	R\$ 1.285.548,61
5000	R\$ 1.181.389,10	R\$ 1.341.571,64
10000	R\$ 1.219.852,00	R\$ 1.532.054,61

Fonte: Moschetti (2015)

4.3 Considerações finais

A fim de se obter uma melhor compreensão das informações tratadas anteriormente, o Quadro 5 e o Quadro 6 abaixo trazem uma síntese das principais características e distinções entre os pavimentos, no que se refere a parte técnica e econômica.

Quadro 5: Síntese dos aspectos técnicos

	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEVÍVEL
VANTAGENS	Menor necessidade de manutenção	Menor tempo e facilidade de execução
	Menor necessidade de recursos naturais	Menor qualificação de mão de obra
	Resiste bem ao tráfego de alta intensidade	Tráfego de baixa e média intensidade
DESVANTAGENS	Maior tempo de execução	Maior necessidade de manutenção
	Maior complexidade de execução	Maior necessidade de recursos naturais
	Mão de obra mais especializada	Melhor adaptação variações térmicas e movimentações do solo

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Quadro 6: Síntese dos aspectos econômicos

	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEVÍVEL
VANTAGENS	Maior vida útil (20 anos em média)	Menor custo inicial
	Praticamente sem custos nos primeiros 20 anos	Menor custo de manutenção
DESVANTAGENS	Maior custo inicial	Menor vida útil
	Custo de manutenção elevado	Pode ter custos de manutenção nos 5 primeiros anos

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5 CONCLUSÃO

Com base na revisão bibliográfica realizada, pode-se concluir que ambos os sistemas apresentam suas vantagens e desvantagens, e a escolha entre eles deve levar em consideração diversos fatores, tais como o volume do tráfego, o clima, as condições do solo, disponibilidade de materiais, a vida útil esperada, os custos de manutenção e de execução, entre outros.

A pavimentação rígida, embora mais resistente e com menos necessidade de manutenção, no entanto apresenta altos custos de instalação e manutenção a longo prazo, além de ser mais complexa e mais demorada de se executar. Por outro lado, a pavimentação flexível apresenta menor custo de instalação e maior facilidade na execução, mas necessita de manutenção mais frequente e tem menor vida útil.

Dessa forma, é importante realizar uma análise criteriosa de custo-benefício para escolher o sistema de pavimentação mais adequado para cada caso, buscando-se o equilíbrio entre a execução, manutenção, e os custos envolvidos.

A revisão bibliográfica realizada permitiu compreender as principais características dos sistemas de pavimentação rígidos e flexíveis, bem como os fatores que devem ser considerados para a escolha do sistema mais adequado. Conclui-se, portanto, que as análises de viabilidade técnica e econômica entre esses sistemas construtivos são fundamentais para a tomada de decisão em projetos de pavimentação.

Como recomendações para trabalhos futuros pode-se realizar estudos mais aprofundados sobre o desempenho dos sistemas de pavimentação em diferentes condições, considerando fatores como tráfego, clima, solo, impactos ambientais e materiais utilizados. Isso permitirá uma análise mais precisa das vantagens e desvantagens de cada sistema em cenários específicos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Marcelo Almeida et al. **Análise comparativa de métodos de pavimentação–pavimento rígido (concreto) x flexível (asfalto)**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. Ano, v. 1, p. 187-196, 2016.

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

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.

BARBOSA, Césio Curado, Jr. **Comparativo técnico-econômico entre pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos**. Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis - GO, 2014

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L.M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES; J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

CAVALET, Victor N. et al. **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**. Balneário Camboriú, v. 33, 2019.

CIMENTO ITAMBÉ. 9 razões que fazem o pavimento de concreto ser competitivo. **Cimento Itambé**. 2018. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/9-razoes-que-fazem-o-pavimento-de-concreto-ser-competitivo-2/>> Acesso em: 16 abr. 2023.

CIMENTO ITAMBÉ. Rodovias do futuro tendem a unir concreto e asfalto. **Cimento Itambé**. 2014. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/rodovias-do-futuro-tendem-a-unir-concreto-e-asfalto/>> Acesso em: 08 mar. 2023.

CIPRIANO, Luiz Florival; LIMA, Raynner Cristhofer Santos; SILVESTRE, Kelen Cristina Crivelaro. **ESTUDO COMPARATIVO DE PAVIMENTO RÍGIDO X PAVIMENTO FLEXÍVEL ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SOLO NA PB 008**. Acta Scientia, v. 3, n. 2, 2022.

Confederação Nacional do Transporte – CNT. **Relatório Gerencial** Brasília, CNT, 2022.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Manual de Pavimentação Rodoviária**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

DNER, DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Manual de Pavimentação**, Rio de Janeiro, 320p. 1996.

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

KUSTER, Maikell Portes; RODGHER, Sandra Fabiana. **PAVIMENTO DE CONCRETO: VIABILIDADE E SEUS BENEFÍCIOS**, 2018.

MAIA, Jaqueline Amarante et al. **Relação custo benefício entre pavimentos rígidos e flexíveis nas vias urbanas no município de Itacoatiara Amazonas**, v. 8, n. 10, p. 68969-68985, 2022.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de aula da disciplina Pavimentação**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, Minas Gerais, 2006.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ, 1997.

MOSCHETTI, Ricardo. **O Pavimento de Concreto é uma Realidade Nacional, Por quê?** Seminário Pavimento de Concreto, 2015. Disponível em: <
http://viasconcretas.com.br/cms/wpcontent/files_mf/pav_concreto_ricardo_moschetti.pdf>. Acesso em 18 fev 2023.

MOTTA, LMG da; MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**. 2005.

NBR 7207:82. Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

PARIZOTTO, Duane et al. **REVISÃO SISTEMÁTICA DA APLICABILIDADE DA PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA E FLEXÍVEL EM RODOVIAS**. Brasil Escola, 2020.

PEREIRA, Ana Caroline de Sousa; JÚNIOR, Antônio da Silva Sobrinho. **Conservação de rodovias: análise de um trecho da PB-293**. Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, 2022.

PETZOLD, Augusto dos Santos; BERNARDI, Rickson Marinho; MATTEONI, Stefano. **PAVIMENTOS RÍGIDOS: O FUTURO DAS ESTRADAS**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v. 1, p. 01, 2021.

PREGO, Atahualpa Schmitz da Silva. **A memória da pavimentação no Brasil**. Associação Brasileira de Pavimentação, 2001.

SANTANA, H. Mecânica dos pavimentos de baixo custo. 27ª Reunião Anual de Pavimentação. **ABPv, Teresina, PI**, v. 1, p. 489-521, 1993.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2ª Edição. São Paulo; Editora Pini, 2007.

SILVA, B.G. Mattos, Iago Coutinho. REYNOSO William **COMPARATIVO: PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA E FLEXÍVEL PARA APLICAÇÃO EM UMA VIA**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXIX, Nº. 000158, 2019.

STRAUSS, Anselmo; CORBIN, Julieta. **Noções básicas de técnicas de pesquisa qualitativa**. 1998.

VOTORANTIM CIMENTOS. PAVIMENTO RÍGIDO: SOLUÇÃO PARA CORREDORES DE ÔNIBUS. **Mapa da obra**. 2018. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/pavimento-rigido-para-corredores-de-onibus/>> Acesso em: 19 abr. 2023.