



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

VICTOR CÉSAR BEZERRA MARCOLINO

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS  
RODOVIÁRIOS USANDO O VOSVIEWER**

Recife

2023

VICTOR CÉSAR BEZERRA MARCOLINO

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS  
RODOVIÁRIOS USANDO O VOSVIEWER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Reuber Arrais Freire

Coorientador: Me. Orlando de Sousa Lima Júnior

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Marcolino, Victor César Bezerra.

Análise bibliométrica dos métodos de avaliação de pavimentos rodoviários usando o VOSViewer / Victor César Bezerra Marcolino. - Recife, 2023.

82p. : il., tab.

Orientador(a): Reuber Arrais Freire

Cooorientador(a): Orlando de Sousa Lima Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil - Bacharelado, 2023.

1. Índice. 2. Avaliação da Condição de Pavimentos. 3. Revisão Sistemática da Literatura. 4. Análise Bibliométrica. 5. VOSViewer. I. Freire, Reuber Arrais. (Orientação). II. Lima Júnior, Orlando de Sousa. (Cooorientação). III. Título.

620 CDD (22.ed.)

VICTOR CÉSAR BEZERRA MARCOLINO

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS  
RODOVIÁRIOS USANDO O VOSVIEWER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 15 / 05 / 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Reuber Arrais Freire (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Orlando de Sousa Lima Júnior (Co-orientador)  
Universidade do Minho – Escola de Engenharia

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Viviane Adriano Falcão (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade (Examinador Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as suas bênçãos, por ter me guiado através de todo esta trajetória, em todos os momentos de dúvida e dificuldade. Sem Ele, nada seria possível e através dEle essa etapa chega finalmente à sua conclusão.

Agradeço à minha mãe, que está ao meu lado desde o início da jornada na universidade e sem dúvidas foi essencial para que eu conseguisse atravessar essa importante jornada.

Agradeço à minha avó, minha baixinha, a quem eu deixei 6 anos atrás para iniciar a universidade, mas de quem sinto saudades todos os dias. A pessoa que esteve comigo desde o meu nascimento e que merece todos os agradecimentos por cada coisa que fui capaz de conquistar. Agradeço também à minha tia Mana, que desde o início foi uma outra mãe que tive em minha vida, que me cobrou, me apoiou e acima de tudo, me amou.

Agradeço a todo o resto da minha família, a quem sou incapaz de citar nominalmente em sua totalidade. A todos que colaboraram, com qualquer palavra de incentivo, os agradeço por terem colaborado para que chegasse aqui.

Agradeço aos amigos que fiz nessa jornada, do primeiro dia de aula ao último, a todos que me acompanharam, me ajudaram e compartilharam comigo todas as lutas e desafios que nos confrontaram. Agradeço também a todos os amigos que fiz durante a minha jornada na Prisma, pessoas com quem poderei contar sempre e que estiveram ao meu lado durante essa jornada de enorme crescimento.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, da SOTIL, que me auxiliaram no primeiro passo profissional que dei fora da universidade. E agradeço aos meus colegas da Viana & Moura que, com sua cultura de trabalho e companheirismo, estão comigo neste último passo enquanto estudante da graduação.

Agradeço ao meu orientador e co-orientador, Reuber e Orlando, respectivamente. Através de sua ajuda fui capaz de desenvolver esta pesquisa da melhor forma possível, trazendo à tona uma problemática real e uma solução embasada.

Agradeço ao meu amor, com quem compartilho todas as lutas, todos os sonhos, todas as dificuldades e, principalmente, o nosso futuro. Com ela passei por grande parte dessa jornada e, juntos, conquistaremos cada vez mais. Por estar comigo enquanto construímos nossas vidas, sou imensamente grato.

Por fim, agradeço a meu pai, que infelizmente não está aqui para acompanhar esse momento, mas foi a pessoa que mais contribuiu para o meu futuro. Por todos os momentos de

cobrança, de apoio, e por ter feito todo o possível para que a educação fosse a coisa mais importante em minha vida. Tudo isto é por ele.

## RESUMO

A matriz de transporte brasileira concentra 65% da movimentação de cargas e 95% da movimentação de passageiros no modal rodoviário, sendo essencial para a economia nacional. Porém, observa-se a falta de um consenso acerca do melhor método de avaliação de pavimentos empregado no país. Objetivando identificar os principais métodos e métricas de avaliação de pavimentos utilizados pelo mundo foi desenvolvida uma revisão sistemática da literatura, utilizando a base de dados *Scopus*, seguida de uma análise bibliométrica com a utilização do VOSViewer. Os resultados encontrados na RSL evidenciaram a utilização do “Índice de Condição de Pavimento” e do “Índice Internacional de Rugosidade” em relação aos demais índices, sendo estudados em 48,65% e 40,54% dos trabalhos analisados, respectivamente. A análise bibliométrica de co-autoria apresentou uma rede fracamente conectada devido ao pequeno tamanho da amostra analisada. A análise de co-ocorrência de palavras-chave apontou os termos IRI e PCI entre os termos mais citados, corroborando com os resultados da RSL. A partir da identificação dos índices mais citados na literatura, porém recomenda-se o investimento na aplicação e desenvolvimento de novas tecnologias que busquem apresentar resultados de forma mais precisa e ágil para os tomadores de decisão de um SGP.

**Palavras-chave:** Índice. Avaliação da Condição de Pavimentos. Revisão Sistemática da Literatura. Análise Bibliométrica. VOSViewer.

## ABSTRACT

The Brazilian transportation matrix concentrates 65% of cargo movement and 95% of passenger movement in the road mode, being essential to the national economy. However, there is a lack of consensus regarding the best method for evaluating pavements employed in the country. A systematic literature review was developed to identify the main methods and metrics for pavement evaluation used worldwide, using the Scopus database, followed by a bibliometric analysis using VOSViewer. The results found in the systematic literature review highlighted the use of the "Pavement Condition Index" and the "International Roughness Index" in relation to other indices, being studied in 48.65% and 40.54% of the analyzed works, respectively. The co-authorship bibliometric analysis presented a weakly connected network due to the small sample size analyzed. The co-occurrence analysis of keywords pointed out the terms IRI and PCI among the most cited terms, corroborating with the results of the systematic literature review. Although the objectives were achieved by identifying the most cited indices in the literature, it is recommended to invest in the application and development of new technologies that seek to present results more accurately and efficiently for decision-makers of a SGP (Pavement Management System).

**Keywords:** Index. Condition Assessment of Pavements. Systematic Literature Review. Bibliometric Analysis. VOSViewer.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação do Estado Geral: Gestão Concedida e Pública.....	16
Figura 2 - Componentes Básicos de um SGP .....	27
Figura 3 - Hierarquia de um SGP.....	28
Figura 4 - Elementos de um SGP em nível de rede .....	29
Figura 5 - Elementos de um SGP em nível de projeto.....	29
Figura 6 - Atividades do SGP que interagem com o banco de dados .....	32
Figura 7 - Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via .....	35
Figura 8 - Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação .....	36
Figura 9 - Exemplos de extração de corpos de prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso (Método Destrutivo) .....	38
Figura 10 - Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo (Método Semidestrutivo).....	39
Figura 11 - LWD (Light Weight Deflectometer) equipamento de avaliação expedita do módulo elástico de camadas de pavimento (Método Não-Destrutivo).....	39
Figura 12 - Interface do <i>Scopus</i> .....	47
Figura 13 - Aplicação do fluxograma do método PRISMA 2020 .....	49
Figura 14 - Evolução histórica das publicações obtidas através da <i>string</i> de busca .....	51
Figura 15 - Evolução histórica das publicações com valor agregado para a RSL .....	52
Figura 16 - Total de trabalhos publicados por fonte .....	53
Figura 17 - Taxa de citação de cada um dos índices nos trabalhos com valor agregado	53
Figura 18 - Mapa de rede baseado em dados bibliográficos de co-autoria de países .....	67
Figura 19 - Mapa de rede baseado em dados bibliográficos de co-autoria de autores.....	67
Figura 20 - Mapa de rede baseado em dados bibliográficos de co-ocorrência de palavras-chave.....	69
Figura 21 - Mapa de rede baseado em dados bibliográficos de co-citação de autores ...	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frota Total de Veículos por Região: Brasil .....	17
Tabela 2 - Comparativo entre pavimentos rígidos e flexíveis.....	21
Tabela 3 - Níveis de serventia.....	34
Tabela 4 - Resumo dos índices citados nos trabalhos com valor agregado .....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO	American Association of State Highway Officials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CPGP	Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos
DCP	Dynamic Cone Penetrometer
DMI	Distress Measure Index
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FHWA	Federal Highway Administration
FRPCI	Forest Road Pavement Condition Index
HCM	Highway Cost Model
HDM	Highways Design and Maintenance Standards Model
IGG	Índice de Gravidade Global
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IRI	Índice de Irregularidade Internacional
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LVC	Levantamento Visual Contínuo
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PASER	Pavement Surface Evaluation and Rating
PCDI	Pavement Condition Degradation Index
PCI	Pavement Condition Index
PRISMA	Preferred Reporting Items of Systematic reviews and Meta-Analyses
QUOROM	Quality Of Reporting Of Meta-analyses
RDI	Rutting Depth Index
RQI	Riding Quality Index
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
RTIM	Road Transport Investment Model
RUT	Rutting Measure Index
SAD	Sistema de Apoio a Decisão
SDI	Surface Distress Index
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos

SRI	Skidding Resistance Index
TRRL	Transport and Road Research Laboratory
VANT	Veículo aéreo não tripulado
VIZIR	Visualisation de l'Etat des Routes Interurbaines
VSA	Valor da Serventia Atual
WEF	World Economic Forum

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA	15
1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	17
1.3 OBJETIVO GERAL	19
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
2.1 Pavimentação Rodoviária	20
2.2 Sistema de Gerência de Pavimentos	22
2.2.1 Conceituação e Importância	22
2.2.2 Histórico	23
2.2.3 Estrutura de um Sistema de Gerência de Pavimentos	26
2.2.3.1 Banco de Dados	30
2.2.4 Avaliação dos Pavimentos	32
2.2.4.1 Avaliação Funcional	33
2.2.4.2 Avaliação estrutural	36
2.2.4.3 Avaliação Superficial	39
2.3 Análise Bibliométrica	41
2.3.1 Softwares para Análise Bibliométrica	42
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>44</b>
3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	44
3.1.1 ÁREA DE ESTUDO E DEFINIÇÃO DAS QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS	45
3.1.2 RESULTADOS DA BASE DE DADOS	46
3.1.3 PRISMA 2020	47
3.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	49
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>51</b>
4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	51

<b>4.2</b>	<b>PRÁTICAS E BENEFÍCIOS OBSERVADOS</b>	<b>64</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise bibliométrica</b>	<b>66</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Co-Autoria</b>	<b>67</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Co- Ocorrência de Palavras-Chave</b>	<b>68</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Co-Citação de Autores</b>	<b>69</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

O desenvolvimento das atividades sociais e econômicas relaciona-se diretamente com a disponibilidade de sistemas de transporte eficientes e com elevados níveis de qualidade. A matriz de transporte brasileira concentra 65% da movimentação de cargas e 95% da movimentação de passageiros no modal rodoviário. Porém, só cerca de 12,4% da extensão total das rodovias brasileiras é pavimentada, o que corresponde a cerca de 213,5 mil quilômetros (CNT, 2021).

Segundo Santos (2021), a história das ferrovias brasileiras começa em 1835, com as tentativas de estabelecimento de diretrizes para o seu surgimento. Os trens permaneceram como principal veículo de transporte em território brasileiro até os acontecimentos da Segunda Guerra Mundial. Após isto o transporte ferroviário definhou, perdendo espaço para o transporte rodoviário. A beneficência do modal rodoviário em relação ao ferroviário mostrou-se virtuosa e não demorou para que as rodovias desbancassem as vias férreas como o principal modo de transporte em todo o mundo (NAZARES e CORRÊA, 2021).

O crescimento do rodoviarismo no Brasil teve grande impulso na década de 20, com uma importante figura política: o Presidente Washington Luís, autor da célebre frase que direcionava a ação política no sentido de “abrir estradas”. Mais do que isso, devia-se “construir estradas para todas as horas do dia e para todos os dias do ano”. Durante o governo (1926 – 1930) de Washington Luís ocorreram os primeiros investimentos significativos em rodovias (KATZ, 2015).

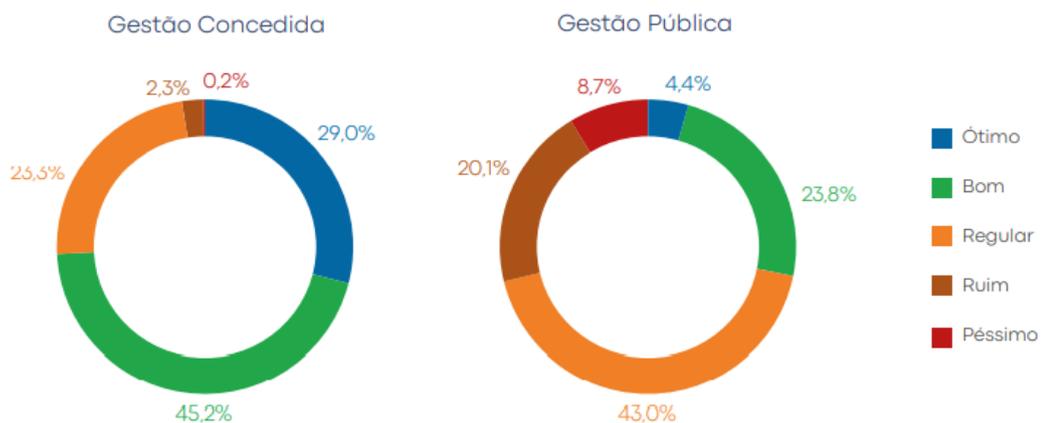
Katz (2015) ainda afirma que é a partir de 1930, com a implantação de um projeto de industrialização mais abrangente que os transportes rodoviários tomaram rumo efetivo. Durante a Era Vargas, incentivou-se a formação de uma indústria de base sustentada por um mercado interno em expansão, mas sem abandonar o âmbito agroexportador, ainda muito importante. Porém, a partir do governo de Juscelino Kubitschek a área dos transportes tomou outros rumos, com a construção de Brasília aliada às obras rodoviárias espalhadas pelo território nacional, o que contribuiu decisivamente, de forma intrínseca, para a criação de um mercado interno. Hoje o que existe é um sistema de transportes dependente das rodovias, o que se configura num obstáculo pois parece consenso a necessidade de um aparelho logístico integrado composto por

rodovias, ferrovias e hidrovias.

Essa dependência do sistema rodoviário para desenvolvimento de atividades cotidianas, assim como para atividades de maior relevância para o sistema econômico nacional pode ser observado ao analisar a recente greve dos caminhoneiros, deflagrada em 2018. Suas causas principais foram a crescente insatisfação da categoria com o aumento do valor do combustível, com a cobrança de pedágios e com a redução do valor do frete. Segundo Candido, Santos e Tavares (2019), as perdas financeiras totais da greve podem ter atingido os R\$ 100 bilhões, divididos entre diversos setores, demonstrando a instabilidade que qualquer problema no sistema rodoviário brasileiro pode causar à economia.

Segundo a CNT (2021), no ano de 2021 foram avaliados um total de 23.636 quilômetros de rodovias sob gestão concedida e 85.467 sob gestão pública. Comparativamente, as rodovias sob concessão apresentam melhores resultados, das quais 74,2% (17.549 quilômetros) da extensão avaliada apresentam condições satisfatórias de qualidade, sendo classificadas como ótimo ou bom no Estado Geral, e 25,8% (6.087 quilômetros) estão em situação regular, ruim ou péssimo. Já nas rodovias sob gestão pública a situação é inversa – 28,2% (24.078 quilômetros) da extensão avaliada foram classificadas como ótimo ou bom e, em 71,8% (61.389 quilômetros), regular (43,0%), ruim (20,1%) ou péssimo (8,7%) no Estado Geral, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Classificação do Estado Geral: Gestão Concedida e Pública



Fonte: CNT (2021).

Ainda segundo a CNT (2021), a região nordeste possui o maior trecho de rodovias federais pavimentadas entre as 5 grandes regiões do país, com cerca de 30,7% do total, e

apresentou um crescimento de 99% na sua frota de veículos, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Frota Total de Veículos por Região: Brasil

Região	2010	2020	Crescimento 2010/2020 (%)
Norte	2.849.014	5.785.095	103,1%
Nordeste	9.469.880	18.841.281	99,0%
Sudeste	33.296.148	51.998.434	56,2%
Sul	13.383.052	21.156.154	58,1%
Centro-Oeste	5.819.880	10.167.407	74,7%
<b>Brasil</b>	<b>64.817.974</b>	<b>107.948.371</b>	<b>66,5%</b>

Fonte: CNT (2021).

Os dados acima descritos evidenciam não somente a tendência recente de crescimento da frota de veículos, como lançam questionamentos acerca das condições das estradas sob responsabilidade da gestão pública, que representam a maioria da malha rodoviária brasileira. Tal panorama associado à enorme dependência econômica nacional do sistema rodoviário dão indícios do alto risco envolvido a esta forma de transporte, além de chamar atenção para fatores associados, como a qualidade das vias.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Segundo o The Global Economy (2023), o indicador da qualidade das estradas é uma das componentes do Índice de Competitividade Global publicado anualmente pelo Fórum Económico Mundial (WEF) e representa uma avaliação da qualidade das estradas num determinado país com base nos dados do Inquérito de Opinião Executivo do WEF. A pontuação do indicador de qualidade das estradas baseia-se nas respostas dos convidados, que classificam as estradas no seu país de operação numa escala de 1 (subdesenvolvida) a 7 (extensa e eficiente pelos padrões internacionais). As respostas individuais são agregadas para produzir uma pontuação por país.

A última pontuação no indicador da qualidade das estradas registrada para o Brasil foi de 3, o que conferia ao país a 114ª posição de um total de 141 países (The Global Economy, 2023). A condição das rodovias brasileiras apresenta ainda uma piora geral ao analisar dados mais recentes. A pesquisa CNT de Rodovias 2022 constatou que o custo operacional para empresas do transporte rodoviário de cargas no Brasil aumenta, em média, 33,1% por conta do

mau estado de conservação do pavimento das rodovias. O percentual representa maiores gastos com manutenção dos veículos e aumento do consumo de combustível por quilômetro rodado, além de redução da segurança viária (CNT, 2022).

Tal cenário por si só já evidencia a importância da fragilizada malha rodoviária e da gestão dos pavimentos das vias nacionais. Essa gestão do pavimento, em seu sentido mais amplo, inclui todas as atividades envolvidas no planejamento e programação, tais como as etapas de projeto, construção, manutenção e reabilitação da parte pavimentada de um programa de obras públicas (HAAS, HUDSON E ZANIEWSKI, 1994).

A partir de 1980, o interesse em implementar um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), cresceu por parte de diversos órgãos públicos brasileiros, em face de inúmeros fatores, como: o envelhecimento dos pavimentos; a exigência por parte dos órgãos financiadores; a escassez dos recursos a serem aplicados no setor rodoviário; o reconhecimento do efeito direto da condição do pavimento nos custos operacionais dos veículos; e o avanço da tecnologia do país, com o emprego de métodos e equipamentos mais modernos (DNIT, 2011).

Ainda segundo o DNIT (2011), na implementação do SGP, a avaliação de pavimentos é uma das etapas mais importantes, por ser o ponto de partida para o planejamento a ser seguido por esse sistema. Esta atividade possibilita que sejam definidas as condições funcionais, estruturais e operacionais dos pavimentos dos segmentos constituintes de uma malha viária em um determinado momento, mediante a obtenção dos dados fundamentais que devem ser alimentados periodicamente.

Borges (2021) propôs a utilização dos métodos do Índice de Gravidade Global (IGG) e do *Pavement Condition Index* (PCI) para avaliar o pavimento asfáltico de duas ruas da cidade de Uberlândia-MG. O autor concluiu que os dois métodos são válidos para a avaliação de pavimentos, porém o método IGG seria mais recomendado quando se necessita de uma análise mais rápida e em grandes extensões, por ser mais simples e fácil de aplicar. E o método PCI seria mais indicado para avaliações em pequenos trechos, em que são exigidos maior riqueza de detalhes.

Vieira *et al.* (2016) também estabelece uma análise comparativa entre as metodologias do IGG e PCI, para avaliação de pavimentos e, por sua vez, afirma que mesmo com a diversidade em relação a quantidades e tipos de defeitos adotados em cada método, na maior parte dos segmentos avaliados pelos dois métodos, o diagnóstico foi próximo. Porém, os dois procedimentos estão sujeitos a deixar de avaliar defeitos importantes, constatando-se que o método do PCI seria mais completo e apropriado.

Assim, é explicitada a falta de um consenso acerca do melhor método de avaliação de pavimentos utilizado no Brasil, o que levanta a necessidade uma análise mais aprofundada sobre qual é a melhor métrica a ser utilizada, levando em consideração os principais estudos desenvolvidos na área.

Para realizar esta análise foi utilizado o *VOSviewer*, ferramenta que, segundo Van Eck e Waltman (2021), pode ter sua funcionalidade resumida em criar mapas com base em dados de uma rede, existente ou criada para a respectiva designação, além de visualizar e explorar estes mapas. Esta ferramenta permitirá observar tendências a partir de uma enorme quantidade de trabalhos publicados, que propõem reflexões essencialmente científicas ou baseadas no estudo de experiências práticas.

### **1.3 OBJETIVO GERAL**

Como objetivo principal deste trabalho, tem-se de analisar os principais métodos e métricas de avaliação de pavimentos utilizados pelo mundo, fazendo uso do software de análise bibliométrica *VOSviewer*.

### **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Já como objetivos específicos, têm-se os seguintes aspectos:

- a. Verificar a existência de possíveis novas metodologias de avaliação a serem implementadas pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Pernambuco;
- b. Identificar o quanto as metodologias utilizadas hoje, no estado de Pernambuco, são compatíveis com as métricas mais modernas em utilização no mundo;
- c. Fornecer insumos acerca das metodologias de avaliação de pavimentos mais empregadas no mundo, de forma a melhor direcionar o investimento público estadual e nacional.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

No período que vai de 30 mil anos a cerca de 10 mil anos atrás, quando se inicia a chamada Revolução Agrícola, a humanidade era essencialmente nômade, mudando-se sistematicamente e carregando o que possuía, sem ainda qualquer tipo de transporte ou animais de carga. Acredita-se que nessa época havia de 5 a 8 milhões de indivíduos distribuídos em milhares de tribos, que viviam em bandos de dezenas, ou no máximo centenas de integrantes, cada bando com diferentes idiomas e culturas. Até esse momento pré-agrícola, há registro de cães domesticados pelo *Sapiens*, mas não de estradas. O deslocamento objetivava a busca de alimentos e a exploração de novas terras (BERNUCCI *et al.*, 2022).

As primeiras estradas pavimentadas de pedra datam de cerca de 4.000 a.C. na Índia e na Mesopotâmia. Para ajudar a apoiar o movimento das legiões por todo o império, os romanos desenvolveram técnicas para construir estradas duráveis usando várias camadas de materiais sobre leitos profundos de pedra britada para drenagem de água. Algumas dessas estradas permanecem em uso mais de 2.000 anos depois, e as técnicas fundamentais formam a base das estradas de hoje (ABRAMS, 2013).

Ainda segundo Abrams (2013), uma das primeiras estradas reportadas em território brasileiro tem início em 1560, à época do terceiro governador-geral do Brasil, Mem de Sá. Trata-se do caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga. Em 1661, o governo da Capitania de São Vicente recuperou esse caminho, construindo o que foi denominada Estrada do Mar (ou Caminho do Mar), permitindo assim o tráfego de veículos.

Segundo o DNIT (2006), os pavimentos são classificados em flexíveis, semi-rígidos e rígidos:

- Flexível: aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.
- Semi-Rígido: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias
- Rígido: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Objetivando estabelecer uma comparação entre os pavimentos rígidos e flexíveis, Bianchi *et. al* (2008) elencou as principais características de cada tipologia de pavimento, como observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativo entre pavimentos rígidos e flexíveis.

PAVIMENTOS RÍGIDOS	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
Estruturas mais delgadas de pavimento.	Estruturas mais espessas (requer maior escavação e movimento de terra) e camadas múltiplas.
Resiste a ataques químicos (óleos, graxas, combustíveis).	É fortemente afetado pelos produtos químicos (óleo, graxas, combustíveis).
Maior distância de visibilidade horizontal, proporcionando maior segurança.	A visibilidade é bastante reduzida durante a noite ou em condições climáticas adversas.
Pequena necessidade de manutenção e conservação, o que mantém o fluxo de veículos sem interrupções.	Necessário que se façam várias manutenções e recuperações, com prejuízos ao tráfego e custos elevados.
Falta de aderência das demarcações viárias, devido ao baixo índice de porosidade.	Melhor aderência das demarcações viárias, devido a textura rugosa e alta temperatura de aplicação (30 vezes mais durável).
Vida útil mínima de 20 anos.	Vida útil máxima de 10 anos (com manutenção).
Maior segurança à derrapagem em função da textura dada à superfície (veículo precisa de 16% menos de distância de frenagem em superfície seca, em superfície molhada 40%).	A superfície é muito escorregadia quando molhada.
De coloração clara, tem melhor difusão de luz. Permite até 30% de economia nas despesas de iluminação da via.	De cor escura, tem baixa reflexão de luz. Maiores gastos com iluminação.
O concreto é feito com materiais locais, a mistura é feita a frio e a energia consumida é a elétrica.	O asfalto é derivado de petróleo importado, misturado normalmente a quente, consome óleo combustível e divisas.
Melhores características de drenagem superficial: escoar melhor a água superficial.	Absorve a umidade com rapidez e, por sua textura superficial, retém a água, o que requer maiores caimentos.
Mantém íntegra a camada de rolamento, não sendo afetado pelas intempéries.	Altas temperaturas ou chuvas abundantes produzem degradação.

Fonte: Adaptado de Bianchi *et. al* (2008).

Biroli (2003) buscou estudar os custos totais da implantação e do gerenciamento durante toda a vida útil de pavimentos flexíveis e rígidos. Foi observado que o custo inicial (custo de construção) de pavimentos rígidos é maior que o custo inicial de pavimentos flexíveis (entre 40% e 60%). Porém, ao analisar a importância dos custos totais de operação dos veículos, observa-se que, exceto para os menores volumes de tráfego e períodos de projeto mais curtos,

os custos totais dos pavimentos flexíveis foram superiores aos custos totais dos pavimentos rígidos, em até 8%.

No Brasil, atualmente estima-se que cerca de 99% das rodovias são construídas em pavimento flexível, ou seja, possuem o asfalto como material principal. Como observado na Tabela 2, esse tipo de pavimento possui uma vida útil, com correta manutenção periódica, de aproximadamente 10 anos. Porém, é comum encontrar rodovias brasileiras deterioradas antes deste prazo de utilização. As causas destes defeitos são diversas, podendo incluir o método de dimensionamento, falhas no processo construtivo e a falta de manutenção preventiva e de fiscalização (CNT, 2021).

## **2.2 SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS**

### **2.2.1 Conceituação e Importância**

Segundo Gonçalves (1999):

O termo gerência de pavimentos pode ser entendido como a coordenação eficiente e integrada das várias atividades envolvidas na concepção, na construção e na manutenção dos pavimentos que fazem parte de uma infraestrutura viária (rodoviária, aeroportuária ou urbana), de modo a permitir que estes proporcionem condições aceitáveis para o usuário a um custo mínimo para a sociedade. Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é um conjunto de ferramentas ou métodos para auxiliar os que tomam decisões a encontrar estratégias ótimas para construir, avaliar e manter os pavimentos em uma condição funcional aceitável, durante um certo período.

Gendreau e Soriano (1998) afirmam que um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) tem o papel ajudar os tomadores de decisão a encontrar estratégias para manter pavimentos em condições de uso em um determinado período da maneira mais econômica possível. Apesar de diferenças, todos os SGPs compartilham um conjunto de características ou funções comuns, essenciais aos seus funcionamentos. Essas características essenciais são: inventário da rede (banco de dados), avaliação da condição dos pavimentos, previsão do desempenho dos pavimentos e métodos de planejamento de gestão.

Gonçalves (1999) ainda aponta que além de auxiliar a tomada de decisões por parte de usuários em diversos níveis dentro da organização responsável, o SGP deve responder a questionamentos como:

- Qual será o padrão futuro da rede, em função dos recursos disponíveis para sua manutenção?
- Qual é a estratégia de manutenção e de construção que resultará no máximo retorno para a sociedade dos investimentos a serem efetuados?
- Quais as estratégias de manutenção que devem ser adotadas, assim como quando e onde, tendo em vista as restrições orçamentárias existentes?
- Como os recursos necessários para manutenção dos pavimentos serão justificados junto à mais alta administração?

Oliveira (2013) complementa as questões que podem ser respondidas com o emprego de um SGP:

- O que precisa ser feito num determinado pavimento?
- Quando serão necessárias intervenções para evitar a ruptura e prolongar a vida em serviço do pavimento?
- Onde se localizam os projetos prioritários?
- Como devem ser executadas as atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos?

Nessa ótica, um Sistema de Gerência de Pavimentos, na verdade, consiste em um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) usado para ajudar a conciliar os menores investimentos possíveis com um nível desejado de serviço do pavimento ou malha rodoviária, através de programas de manutenção e restauração de pavimentos (ALBUQUERQUE, 2007).

### **2.2.2 Histórico**

Segundo Haas, Hudson e Zaniewski (1994), o trabalho de três grupos em contextos distintos ao longo dos anos 1960 fornece uma perspectiva histórica global sobre as primeiras inquietações que vieram a tornar-se o que se compreende hoje como sistemas de gerência de pavimentos. Estes contextos são, respectivamente:

- O estudo, iniciado em 1966, pela *American Association of State Highway Officials* (AASHO) no campo de pavimentação, que resultou em um novo olhar básico por parte de estudiosos da Universidade do Texas sobre pavimentos, utilizando uma abordagem sistêmica.
- Esforços independentes conduzidos ao mesmo tempo no Canadá para estruturar a concepção e gestão global do pavimento e vários dos seus subsistemas.

- O trabalho “*A Systems Approach to the Flexible Pavement Design Problem*” publicado por Scrivner, Moore, McFarland e Carey, no *Texas Transportation Institute of Texas A&M University*, como parte do seu trabalho para o Departamento de Estradas do Texas.

Em seu estágio inicial, o foco das pesquisas era em pavimentos aeroportuários, por apresentarem problemas de dimensionamento à solicitação a que eram submetidos. Porém, a importância da rede de rodovias nacional e a malha viária urbana despertaram o interesse público para a gerência de pavimentos (HANSEN, 2008). Segundo Visconti (2000 apud HANSEN, 2008), a partir de 1980 órgãos rodoviários se interessaram em desenvolver e aplicar os sistemas gerenciais de pavimentos devido aos fatores apontados a seguir:

- O envelhecimento da malha rodoviária pavimentada do país alertava para a necessidade de manutenção oportuna e adequada.
- O órgão financiador Banco Mundial BIRD, passou a estimular através de incentivos financeiros as técnicas racionais, com uso de programas computacionais a exemplo o HDM-III e HDM-IV, visando melhores resultados.
- A exiguidade dos recursos a serem aplicados no setor rodoviário, face às crescentes necessidades motivadas pela deterioração progressiva da rede.
- O efeito da condição dos pavimentos refletia em altos custos operacionais aos usuários, principalmente pneus e consumo de combustível.
- A utilização de avançada tecnologia, envolvendo métodos e equipamentos para avaliação de pavimentos, inclusive o emprego de processos computacionais.

O primeiro SGP foi desenvolvido nos EUA na metade dos anos de 1970, já utilizando um banco de dados digital. A *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) publicou o seu primeiro guia sobre gerência de pavimentos em 1985, denominado “*A Manual on the Management of Highway Structures*” e válido em todo o território americano. Logo depois, a *Federal Highway Administration* (FHWA) estabeleceu que todos os estados norte americanos tinham que implantar um SGP para as suas malhas rodoviárias federais (rodovias interestaduais e principais), como requisito para receber investimentos (ALBUQUERQUE, 2007).

Ainda segundo Albuquerque (2007), Estes dois fatos impulsionaram os estados americanos a implantarem SGPs, com a maior parte deles já tendo o feito na segunda metade

dos anos 1980. Em 1994, 58 das 60 agências (50 estados norte-americanos, 9 províncias canadenses e o Distrito de Columbia) já tinham implantado um SGP.

No ano de 1990 a AASHTO publicou um guia de SGP, elaborado por Fred Finn e Dade Paterson, mais completo que a versão de 1985, que, por sua vez, foi substituída em 2001, quando foi publicado o guia mais recente sobre SGP da AASHTO chamado *Pavement Management Guide* (AASHTO, 2001 apud ALBUQUERQUE, 2007).

A utilização de ferramentas computacionais fez parte de todo o desenvolvimento histórico da gerência de pavimentos. A base de dados utilizada no primeiro modelo para avaliação de projetos rodoviários desenvolvido pelo Banco Mundial, foi obtida através de estudos de projetos de rodovias desenvolvidos pelo Banco Mundial em conjunto com o TRRL e o LCPC. O MIT, contratado pelo Banco Mundial, conduziu as pesquisas e preparou um modelo baseado na informação disponível. O resultado produzido pelo MIT foi o Modelo de Custos Rodoviários, HCM, que representou um avanço em relação aos modelos usados na época para analisar os custos totais da modalidade rodoviária, propondo uma estrutura conceitual baseada na inter-relação dos custos de construção, manutenção e de operação dos veículos (NUNES, 2012).

Nunes (2012) ainda afirma que apesar de o modelo HCM chamar a atenção para áreas onde havia necessidade de pesquisas adicionais havia falta de evidências empíricas sobre as diferentes varçelas que compõem o custo rodoviário. Para suprir essa carência o TRRL realizou, em colaboração com o Banco Mundial, um grande estudo de campo no Quênia, tendo estudado a deterioração de estradas pavimentadas e não pavimentadas, bem como os fatores que afetam os custos operacionais em um país em desenvolvimento. Os resultados foram usados pelo TRRL para produzir a primeira versão do RTIM para países em desenvolvimento. Em 1976, o Banco Mundial financiou a continuação do desenvolvimento do HCM pelo MIT, que resultou na primeira versão do modelo HDM.

Os conceitos e necessidades de implantação de Sistemas de Gerência de Pavimentos logo se espalharam pelo mundo, em grande parte impulsionado pelo programa HDM do Banco Mundial, sendo a aplicação de sua metodologia requerida para a obtenção de investimentos em infraestrutura rodoviária. Com essa imposição, países em desenvolvimento vêm aplicando a metodologia do HDM desde os anos 1980, quando foi desenvolvida a primeira versão do software HDM-III. A versão HDM-III foi utilizada por duas décadas, combinando análises técnica e econômica de projetos de rodovias, para preparar programas de investimentos em rodovias e análise de estratégias. A versão atual do software é o HDM-4, na qual foram implementadas novas ferramentas que auxiliam na análise regionalizada, permitindo a

calibração de modelos utilizados no software e conhecimentos locais de engenharia. (ALBUQUERQUE, 2007).

No Brasil, estudos e trabalhos relacionados ao modelo HDM e à Gerência de Pavimentos já vinham sendo desenvolvidos no antigo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) pelo Grupo do HDM (GHDM), formado na antiga Divisão de Planos e Programas da Autarquia. Esse Grupo foi pioneiro no Brasil, ao utilizar o modelo nas suas versões iniciais, HDM-1 e HDM-2, para a análise de projetos isolados e para a definição das prioridades de investimentos na rede federal pavimentada. No entanto, a implantação do Sistema Gerência de Pavimentos se daria a partir de 1982, quando a Direção da Autarquia, por iniciativa do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), decidiu formalizar a criação da Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos (CPGP), presidida pelo IPR e contando com representantes dos demais setores técnicos do DNER (DNIT, 2011).

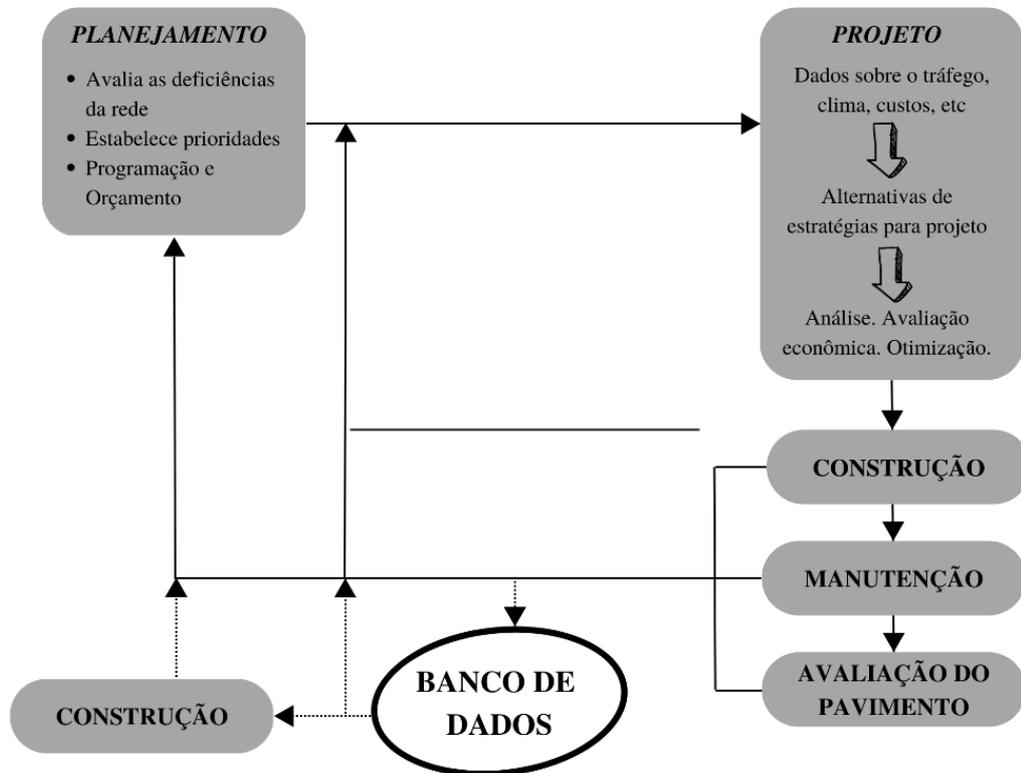
Ainda segundo DNIT (2011), no período 1985/1986, foram estabelecidos a metodologia e os procedimentos para utilização dos resultados dos levantamentos de campo no Sistema HDM-III, selecionado para avaliar economicamente as alternativas de manutenção para todos os trechos da rede federal pavimentada. Desde então, o Sistema HDM-III foi empregado no Sistema de Gerência de Pavimentos para avaliação da rede federal e para a definição das prioridades de restauração. Em 1997, a Divisão de Apoio Tecnológico do IPR concluiu estudos, demonstrando que os levantamentos das condições dos pavimentos realizados em Unidades de Amostragem não apresentam vantagens para a análise em nível de rede, com o modelo HDM-III, podendo-se obter os dados referentes a defeitos diretamente do Levantamento Visual Contínuo (LVC) (DNIT 008/2009 – PRO). Os resultados desses levantamentos certamente devem constituir os principais dados de entrada para nova avaliação econômica da rede federal pavimentada, agora já com a utilização do Sistema HDM-4. Albuquerque (2007) aponta que atualmente existem estados brasileiros que utilizam a versão mais recente, o HDM-4, enquanto outros estão em fase de implantação de SGPs próprios para suas respectivas malhas viárias, encontrando-se a maioria em estruturação de Banco de Dados, como é confirmado por Cruz (2022) para o estado de Pernambuco.

### **2.2.3 Estrutura de um Sistema de Gerência de Pavimentos**

Um Sistema de Gerência de Pavimentos, previamente definido como sistema de apoio a decisão, deve ser estruturado de forma a fornecer da melhor forma possível os insumos necessários para o desenvolvimento de uma estratégia eficiente por parte dos tomadores de

decisão acerca de um determinado contexto. Shoji (2000) apresenta na Figura 2 os componentes básicos de um SGP:

Figura 2 - Componentes Básicos de um SGP



Fonte: Adaptado de Shoji (2000).

Segundo Haas, Hudson e Zaniewski (1994), a gerência de pavimentos é subdividida em uma estrutura hierárquica (Figura 3) de três níveis diferentes. O primeiro nível é um nível administrativo, em que os fundos são alocados entre categorias diferentes da infraestrutura de transporte (obras de arte, obras de sinalização, obras de pavimentação etc.). O segundo nível, nível de rede, as agências de gerência de pavimentos determinam as estratégias de intervenção, identificam as necessidades da malha e programam as atividades de intervenção. Baseado nos resultados otimizados do processo de priorização, as agências indicam os recursos que serão aplicados à rede. Os tratamentos detalhados das intervenções são tratados no nível do projeto.

Albuquerque (2007) afirma que os níveis de rede e de projeto são considerados os níveis de atuação da engenharia rodoviária e podem ser diferenciados quanto:

- Aos objetivos e propósitos de decisão;
- Aos grupos e níveis que a organização realiza suas decisões;
- Ao número de grupos, ou de pessoas, necessárias para desenvolver e revisar as prioridades recomendadas para submeter aos responsáveis pela decisão;
- Ao número de níveis de gerência envolvidos na análise; e
- Ao detalhamento de dados e informações necessárias para dar suporte às decisões.

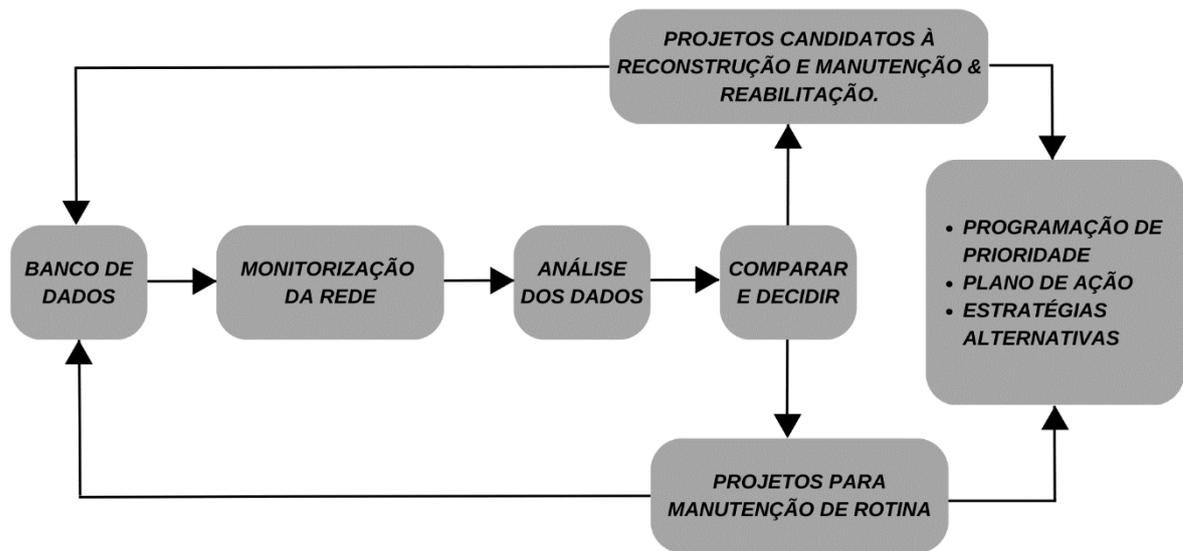
Figura 3 - Hierarquia de um SGP



Fonte: Adaptado de Albuquerque (2007).

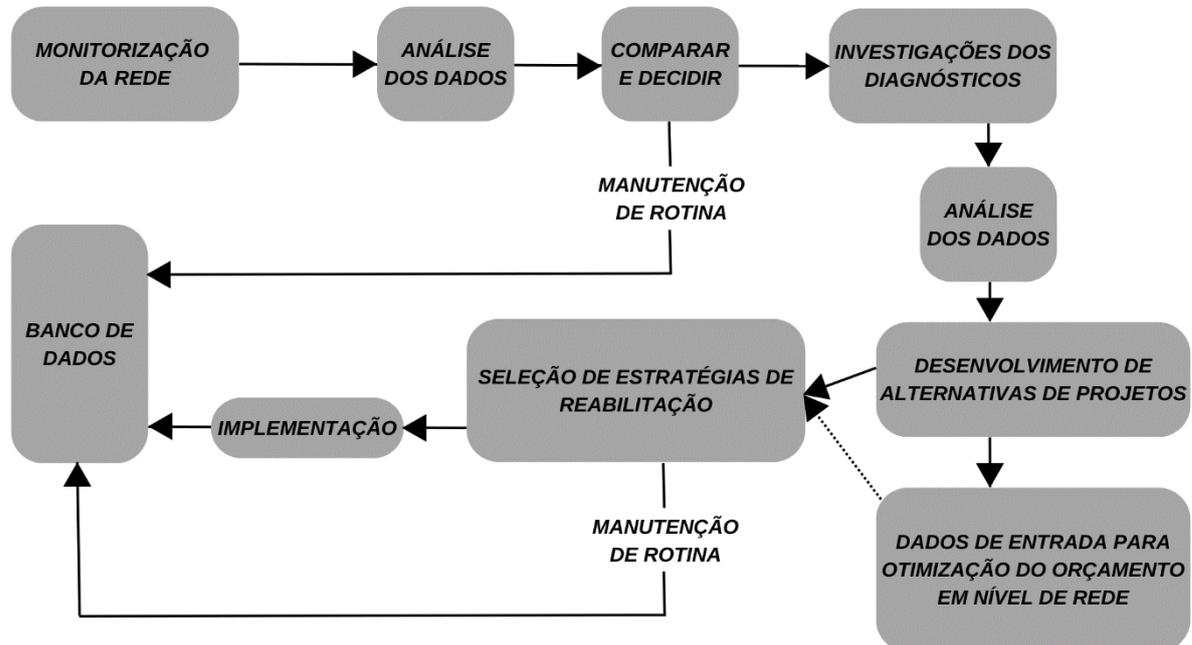
Em um SGP, no nível de rede, são determinados os trechos prioritários da malha rodoviária que devem ser objeto de investimentos e manutenção. Preocupa-se com a escolha da melhor estratégia para a rede como um todo. Já em nível de projeto, observa-se mais detalhadamente um determinado trecho pavimentado em que os dados são coletados de forma mais específica, possibilitando, assim, o tratamento particularizado das intervenções (SILVA, 2018). Abaixo podem ser observados os elementos que compõem as decisões tomadas em um SGP em nível de projeto e nível de rede:

Figura 4 - Elementos de um SGP em nível de rede



Fonte: Adaptado de Shoji (2000).

Figura 5 - Elementos de um SGP em nível de projeto



Fonte: Adaptado de Shoji (2000).

Albuquerque (2007) apresenta e define os seguintes subsistemas, que constituem um SGP:

- Subsistema de pesquisa: Responsável por realizar estudos que visam dar suporte técnico necessário aos demais módulos do SGP, utilizando-se de: Técnicas de avaliação de pavimentos; Modelos de previsão de desempenho; Características dos materiais de construção; Técnicas de conservação e restauração; Estrutura do SGP existente e da organização; e Problemas específicos que envolvam custos significativos para a organização.
- Subsistema de planejamento: Compreende a análise de dados, a priorização das intervenções e a tomada de decisões na abrangência de toda a malha rodoviária. Os resultados são analisados com base em dados simplificados e de levantamento expedito de toda a rede, e adequados através da programação de investimentos para cada projeto da rede, de acordo com prioridades técnicas e restrições orçamentárias de programações plurianuais de investimentos.
- Subsistema de projeto: Analisa projetos de restauração e construção de pavimentos de acordo com a restrição orçamentária dos recursos alocados para cada obra específica realizada pelo subsistema de Planejamento. A partir deste subsistema, define-se a alternativa que tenha o melhor aproveitamento possível para os recursos alocados, necessitando de dados técnicos detalhados quanto aos desempenhos estrutural e funcional, ao tráfego e aos materiais de construção.
- Subsistema de construção e manutenção: É a etapa de execução das obras programadas pelo subsistema de planejamento e detalhada pelo de projeto, devendo-se realizar a correta apropriação de custos e avaliação das características e desempenho técnicos das alternativas empregadas.
- Subsistema de avaliação e monitoramento: Tem o objetivo de realizar o levantamento das condições da malha rodoviária em estudo. Esses levantamentos servem para retroalimentar o banco de dados (*Feedback*).

Além dos subsistemas acima citados, existe o Banco de Dados, que deve ser bem estruturado e fornecer dados confiáveis que auxiliem e interajam com os demais subsistemas de um SGP.

### **2.2.3.1 Banco de Dados**

Haas, Hudson e Zaniewski (1994) apontam que bases de dados devidamente concebidas, operadas e atualizadas são inestimáveis para realizar as atividades tanto a nível da rede como de projeto de um SGP.

Neste âmbito, o banco de dados atua como um “histórico” do trecho estudado, armazenando as informações em relação às características ambientais da região, o histórico de intervenções e a geometria das rodovias, servindo de base para estudos futuros. Portanto, em relação ao desempenho dos pavimentos, o banco de dados deve ser constantemente atualizado, de forma a caracterizar precisamente as estratégias alternativas, afetando diretamente o resultado do SGP (SILVA, 2018).

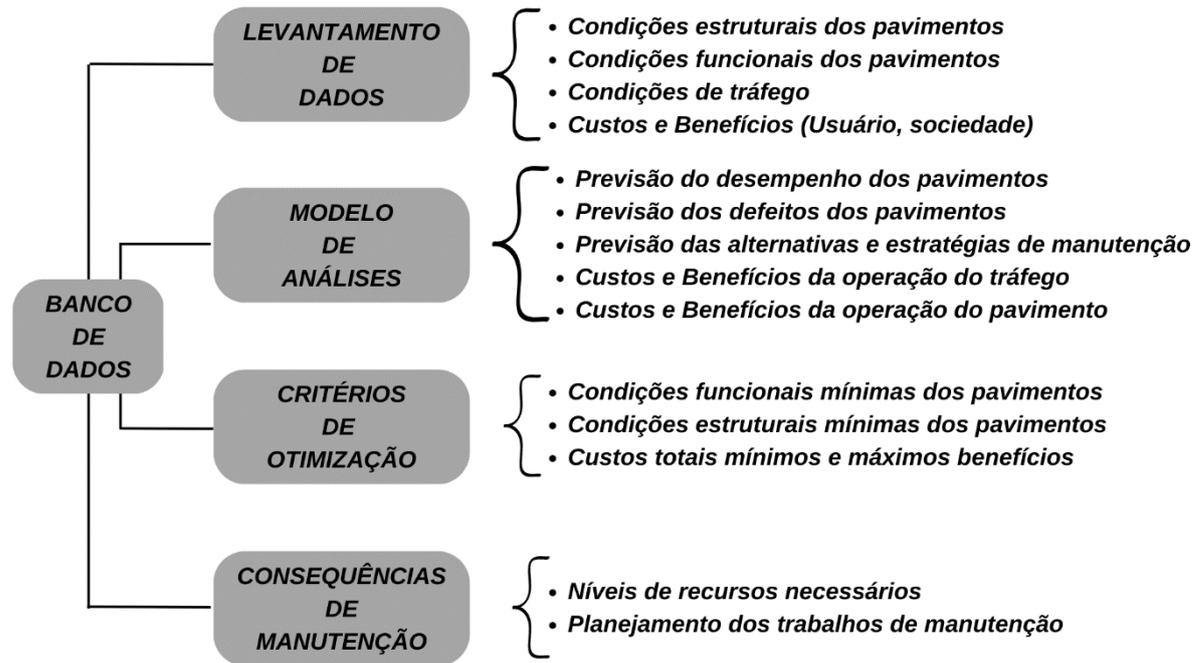
DNIT (2011) indica que o banco de dados deve contemplar a classificação e organização das informações nos seguintes módulos:

- Dados históricos;
- Dados físicos;
- Dados de tráfego e de acidentes;
- Dados relativos ao desempenho funcional;
- Dados relativos ao desempenho estrutural;
- Dados relativos ao desempenho quanto à segurança;
- Dados ambientais;
- Dados de custos de serviços.

Ainda segundo DNIT (2011), para a implementação do banco de dados de um Sistema de Gerência de Pavimentos, os seguintes fatores deverão ser observados:

- Usuários do banco de dados;
- Função do banco de dados;
- Etapas básicas do seu desenvolvimento e implantação;
- Arquivo e entrada de dados;
- Necessidade de processamento dos dados;
- Recuperação e uso dos dados.

Figura 6 - Atividades do SGP que interagem com o banco de dados



Fonte: Adaptado de Cardoso (1994 apud ALBUQUERQUE, 2007).

#### 2.2.4 Avaliação dos Pavimentos

A avaliação é uma parte fundamental da gestão do pavimento porque fornece os meios para observar como os objetivos de planejamento, concepção e construção foram atendidos (HAAS, HUDSON E ZANIEWSKI, 1994). Para Gonçalves (1999) a avaliação de um pavimento compreende um conjunto de atividades destinadas à obtenção de dados, informações e parâmetros que permitam diagnosticar-se os problemas e interpretar-se o desempenho apresentado pelo pavimento, de modo a poder detectar as suas necessidades atuais e futuras de manutenção e se prever as consequências da implementação de estratégias alternativas de manutenção.

Como citado no tópico 2.2.3, as avaliações servem para retroalimentar o banco de dados (*Feedback*), além de ter a abrangência dos parâmetros necessários e estabelecidos para a análise de alternativas em nível de rede ou de projeto, constituindo o “Banco de Dados” do SGP.

A avaliação e o monitoramento das condições do pavimento devem ser feitos de forma periódica suas finalidades específicas variam se o enfoque é em nível de rede ou em nível de projeto. Assim, para Gonçalves (1999):

- Em nível de rede, onde interessa o planejamento orçamentário ao longo do tempo e a alocação de recursos, a avaliação visará o cálculo dos custos

operacionais dos veículos, uma estimativa da vida restante dos pavimentos e a determinação das necessidades atuais e futuras de manutenção (conservação ou restauração) dos pavimentos ao longo da rede viária.

- Em nível de projeto, quando se busca dar a melhor utilização possível aos recursos orçamentários alocados a um determinado segmento, a avaliação tem por finalidade levantar elementos que permitam diagnosticar-se em detalhes os problemas apresentados pelo pavimento, esclarecendo os mecanismos que levaram à sua deterioração, bem como caracterizar a estrutura existente de forma suficientemente completa para que se possa dimensionar o pavimento restaurado dentro de um nível de confiabilidade aceitável, levando a que as medidas de restauração aplicadas sejam não somente efetivas para a correção das deficiências funcionais, mas que sejam também eficazes do ponto de vista econômico.

#### **2.2.4.1 Avaliação Funcional**

DNIT (2011) apresenta a conceituação de avaliação funcional relacionada à apreciação do estado de sua superfície e de como este estado influencia no conforto ao rolamento. Tal definição converge com o que é trazido por Gonçalves (1999), aonde a avaliação funcional trata da condição do pavimento de acordo com a visão do usuário, de modo a se detectar as deficiências merecedoras de atenção. Compreende o levantamento dos aspectos que afetam mais diretamente ao usuário da rodovia, na forma de conforto ao rolamento (relacionado aos custos operacionais dos veículos), tempo de viagem (que também pode ter um custo associado) e segurança (custo de acidentes).

Gonçalves (1999) ainda conceitua:

- Conforto ao Rolamento: depende da irregularidade longitudinal da pista, o que é função primordial dos afundamentos plásticos gerados por acúmulo de deformações permanentes sob cargas repetidas em todas as camadas do pavimento;
- Segurança: tem como principal elemento o atrito em pista molhada (resistência à derrapagem), o qual é função da microtextura e da macrotextura superficiais, ambas afetadas pelo desgaste produzido pela passagem do tráfego. O potencial para hidroplanagem é incrementado pela irregularidade transversal (afundamentos em trilha de roda). A refletividade da superfície é outro item que pode adquirir importância quanto à segurança.

Para o DNIT (2011), dois parâmetros da avaliação são bastante consistentes, quais sejam, o Valor da Serventia Atual (VSA), uma medida subjetiva baseada em notas dadas por técnicos avaliadores e o Índice de Irregularidade Internacional (IRI), parâmetro determinado por meio de medições de irregularidade longitudinal, efetuadas por meio de aparelhos especificamente projetados para este fim.

#### 2.2.4.1.1 Valor da serventia atual – VSA

O primeiro método estabelecido de forma sistemática para a avaliação funcional foi o da serventia de um dado trecho de pavimento, concebido para as pistas experimentais da AASHO (American Association of State Highway Officials, hoje AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials). O Valor da Serventia Atual é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento (DNIT, 2011).

Tabela 3 - Níveis de serventia

<b>Padrão de Conforto ao Rolamento</b>	<b>Avaliação (Faixa de Notas)</b>
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

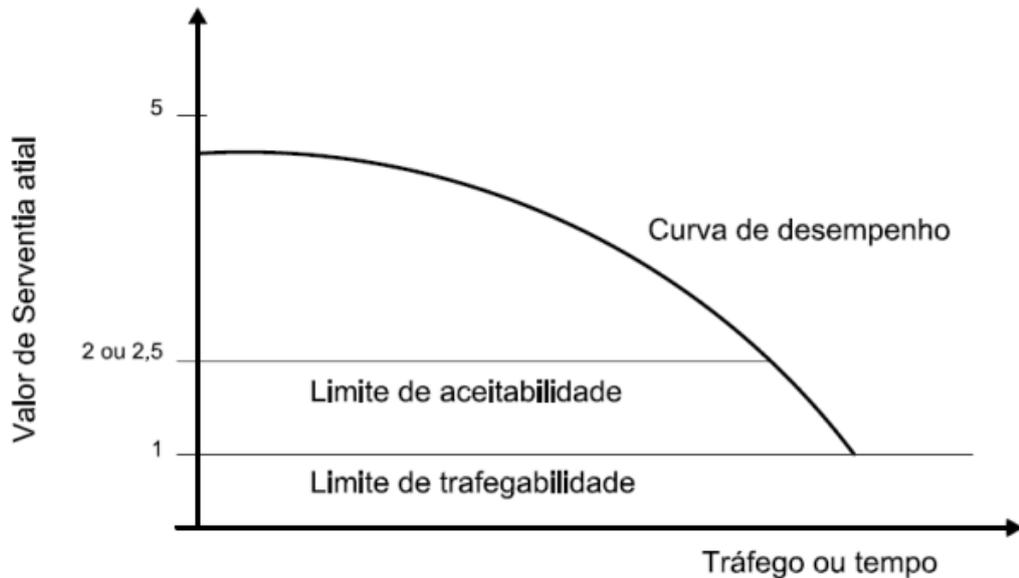
Fonte: Adaptado de DNIT (2011).

Nos Estados Unidos, a avaliação subjetiva de conforto ao rolamento do pavimento é denominada *Present Serviceability Ratio ou rating* (PSR), correspondendo no Brasil ao valor de serventia atual (VSA). Pela simplicidade deste método, apesar do seu caráter subjetivo, ele continua a ser empregado nos EUA, no Brasil e em muitos outros países por ser de fácil aplicação e bem representativo da condição atual da via, quando a equipe de avaliação é bem treinada tecnicamente (BERNUCCI *et al.*, 2022).

DNIT (2011) ainda explana a variação da serventia com o passar do tempo, onde o VSA é, em geral, elevado logo após a construção do pavimento, quando bem executado, pois exibe uma superfície suave, praticamente sem irregularidades, porém diminui com o passar do tempo

por dois fatores principais: o tráfego e as intempéries. Também é citado que a condição de perfeição, sem qualquer irregularidade ( $VSA = 5$ ), não é encontrada na prática, apesar de que com o aprimoramento das técnicas construtivas, é possível obter valores iniciais mais próximos da Nota 5. A forma da curva de serventia com o tempo decorrido de utilização da via é mostrada esquematicamente na Figura 7, apresentada a seguir.

Figura 7 - Variação da serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via

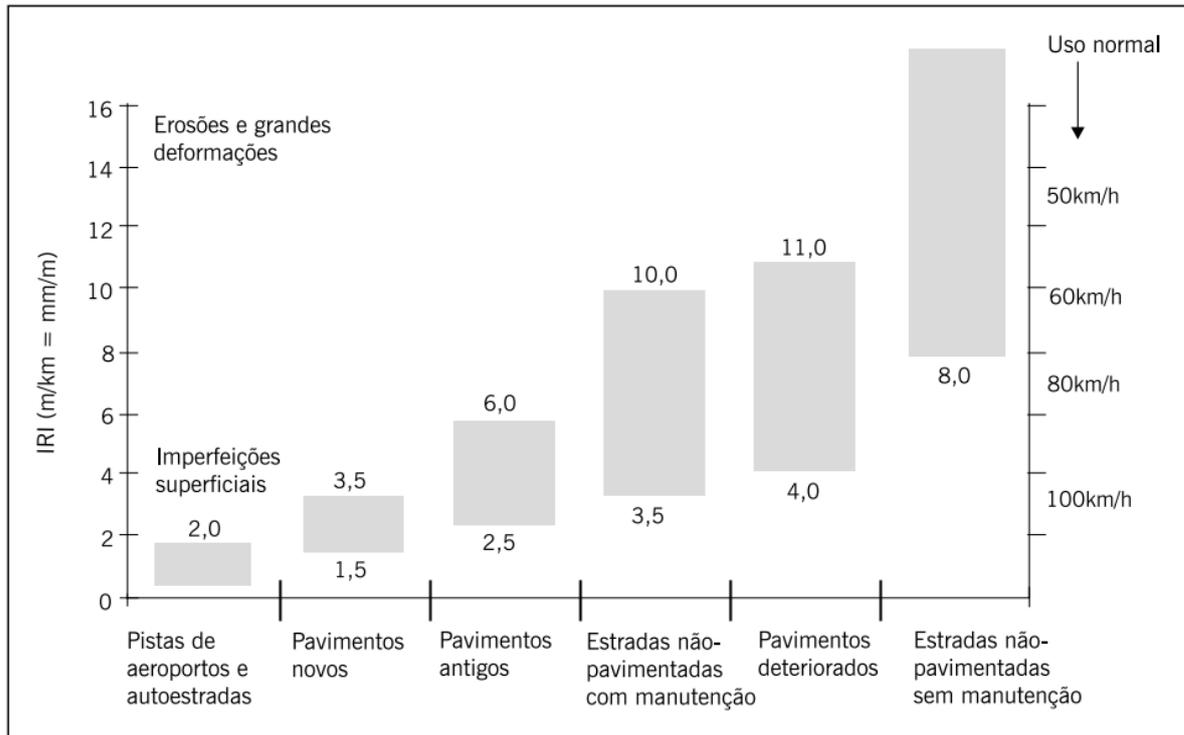


Fonte: DNIT (2011).

#### 2.2.4.1.2 Índice de irregularidade internacional – IRI

A irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, que afeta a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via. O parâmetro utilizado para medida da irregularidade é designado *IRI – International Roughness Index* (Índice de Irregularidade Internacional), um índice estático, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto (DNIT, 2011). Na Figura 8 podem ser observadas as faixas de variação do IRI em diversas situações.

Figura 8 - Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2022)

Segundo BERNUCCI *et al.* (2022), o IRI tem sido utilizado como ferramenta de controle de obras e aceitação de serviços em alguns países. Como ilustração, na Austrália o limite máximo admitidos para autoestradas é de 1,6 m/km e para rodovias em geral de 1,9 m/km; no Canadá, no estado de Ontário, para que o empreiteiro possa receber na plenitude o pagamento acordado em contrato, deve atingir no máximo 1,0 m/km para as autoestradas; na Suécia, os limites máximos dependem da categoria da rodovia e da velocidade de projeto, sendo por exemplo 1,1 m/km quando a velocidade é de 120 km/h e de 1,4 m/km para 100 km/h. É interessante realçar exemplos como a Espanha, que exige para as autoestradas IRI máximo de 2,0 m/km em sua totalidade, 1,8 m/km para 80% de toda rodovia, e 1,5 m/km para 50% de toda rodovia, de forma a evitar que toda a via tenha valores de IRI próximos do limite.

#### 2.2.4.2 Avaliação estrutural

A avaliação estrutural de um pavimento está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Os defeitos estruturais resultam principalmente da repetição das cargas e estão associados às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes (DNIT, 2011).

Hansen (2008) afirma que um retrato completo da condição estrutural de um pavimento deve ser composto pelos seguintes elementos:

- Parâmetros que descrevam a deformabilidade elástica ou viscoelástica dos materiais das camadas, sob as condições de solicitação impostas pelas cargas transientes dos veículos. São utilizados para se calcular as tensões e deformações induzidas pelas cargas do tráfego na estrutura do pavimento.
- Parâmetros que descrevam a resistência dos materiais ao acúmulo de deformações plásticas sob cargas repetidas, os quais são função da natureza do material, de sua condição (densidade, umidade) e do histórico de solicitações.
- Integridade das camadas asfálticas e cimentadas, expressa pelo grau de fissuramento.

BERNUCCI *et al.* (2022) retrata a avaliação estrutural de um pavimento podendo ser feita por três métodos: destrutivo, semidestruutivo ou não destrutivo:

- Um método destrutivo é aquele que investiga a condição estrutural de cada camada que compõe o pavimento por abertura de trincheiras ou poços de sondagem, permitindo recolher amostras de cada material até o subleito e realizar ensaios de capacidade de carga *in situ*. Pela sua própria natureza destrutiva só pode ser empregado em alguns poucos pontos selecionados como representativos de cada segmento a ser avaliado.
- Um método semidestruutivo é aquele que se vale de aberturas menores de poços de sondagem, popularmente denominadas “janelas no pavimento”, que permitam utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento, tal como o uso de cones dinâmicos de penetração – DCP.
- A avaliação mais adequada para ser feita em grandes extensões de pistas e com possibilidade de inúmeras repetições no mesmo ponto, de forma a acompanhar a variação da capacidade de carga com o tempo, é a que lança mão de medidas não-destrutivas, representadas por medidas de deflexão.

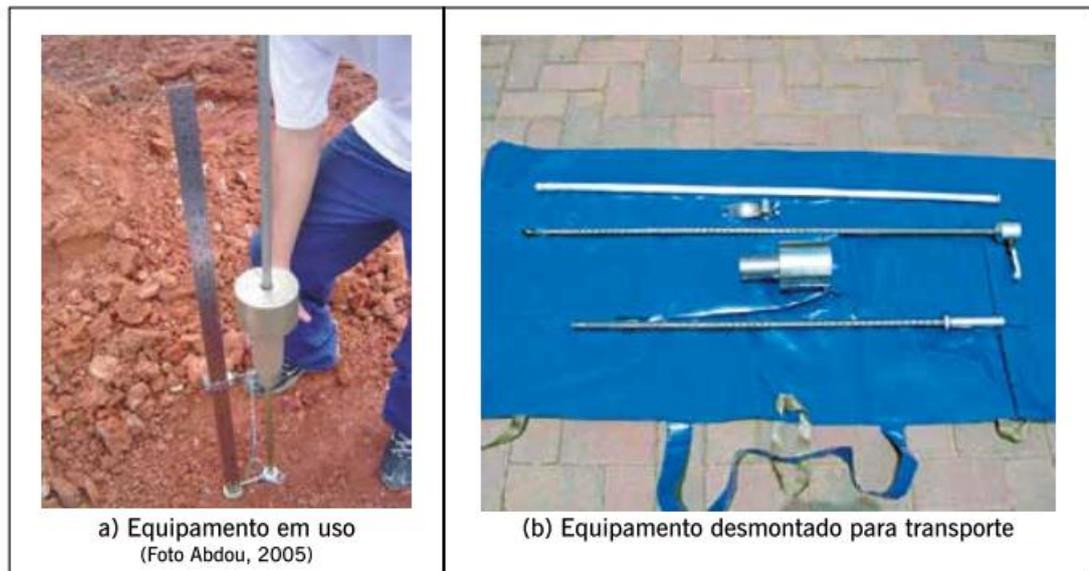
Exemplos de métodos de avaliação estrutural destrutiva, semidestruativa ou não destrutiva podem ser observados respectivamente nas figuras abaixo.

Figura 9 - Exemplos de extração de corpos de prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso (Método Destrutivo)



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2022)

Figura 10 - Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo (Método Semidestrutivo)



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2022)

Figura 11 - LWD (Light Weight Deflectometer) equipamento de avaliação expedita do módulo elástico de camadas de pavimento (Método Não-Destrutivo)



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2022)

### 2.2.4.3 Avaliação Superficial

Dresch (2014) salienta que avaliação superficial de um pavimento consiste em aferir as condições funcionais e estruturais dele através da identificação das patologias ou defeitos presentes na superfície do pavimento e é realizada através de procedimentos padronizados de medidas e inspeções.

Para Gonçalves (1999), a avaliação de superfície de um pavimento consiste no registro da extensão, frequência e severidade dos defeitos de superfície existentes. A norma DNIT 005/2003 estabelece diretrizes para o levantamento de dados e as inspeções visuais, incluindo o formulário apropriado em que devem ser anotados os defeitos observados. Os defeitos de superfície, para sua completa caracterização, devem ser descritos quanto aos seguintes parâmetros:

- **Tipo de Defeito:** dentre trincas, desgaste, exsudação de asfalto ou de água, escorregamento de massa, erosão de bordo, bombeamento de finos, remendos e panelas. As trincas podem ser classificadas quanto à sua configuração geométrica, a qual se relaciona ao mecanismo que deu origem à trinca (couro-de-crocodilo, isoladas, interligadas em padrão irregular, longitudinais, transversais, de bloco);
- **Intensidade:** retrata o grau com que aquele defeito afeta a estrutura do pavimento ou compromete seu desempenho. É usual, em diversas metodologias, avaliá-la por meio de três níveis: baixa, média e elevada. No caso de trincas, por exemplo, esta avaliação depende da relação entre a soma total dos comprimentos das trincas existentes em uma determinada área e o valor dessa área;
- **Gravidade:** é a medida do grau de evolução do defeito. No caso de trincas, refere-se à sua abertura. É comum as metodologias não diferenciarem gravidade de intensidade, adotando um parâmetro único relacionado a ambas e denominado *severidade*;
- **Frequência:** é a distribuição da ocorrência do defeito ao longo de um segmento ou trecho da rodovia, sendo expressa pela relação percentual entre o número de estacas onde ocorre o defeito e o número total de estacas existente dentro do segmento;
- **Extensão:** ilustra a área ocupada pelo defeito em uma determinada estaca. No caso de trincas, tem-se a percentagem de área trincada, como exemplo desse parâmetro de medida.

Segundo Hansen (2008), na maior parte dos métodos, a avaliação da condição de superfície de pavimentos é realizada visualmente, embora alguns métodos necessitem de instrumentos específicos para a realização da medição. Diferem também quanto ao tamanho da amostra de pavimento a ser avaliada, os tipos de defeitos de acordo com o uso do pavimento (aeroportuário, rodoviário ou urbano), o modo de aferir o grau de condição do pavimento e a quais tipos de pavimento se aplicam. Nos métodos de levantamento manuais, os avaliadores

anotam as características de cada seção em planilhas para posterior processamento dos dados. Já em levantamentos realizados por vídeo as imagens capturadas são processadas com o auxílio de um *software*.

### 2.3 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A análise bibliométrica é útil para entender a evolução de um campo de estudo, identificar tendências, padrões de colaboração entre autores, instituições ou países. Nesse contexto, uma possível conclusão a ser tirada é que o primeiro elemento para o desenvolvimento de uma análise bibliométrica é um objetivo. Morgan e Smircich (1980) associam a escolha de um método de pesquisa à natureza do conhecimento de estudo e dos métodos através dos quais esse conhecimento pode ser obtido.

Segundo Vanti (2002), o termo “bibliometria” foi utilizado pela primeira vez por Paul Otlet, em sua obra intitulada *Traité de documentation*, em 1934, porém Alan Pritchard popularizou o uso da palavra, quando sugeriu que esta deveria substituir o termo ‘bibliografia estatística’, que vinha sendo utilizado desde a menção feita em 1922 por Edward Wyndham Hulme.

Do ponto de vista acadêmico, é importante classificar todo o material publicado em um campo de pesquisa, a fim de se preocupar com as principais tendências que ocorrem na disciplina (MÉRIGO, 2016). Para definição dessas tendências geralmente utiliza-se a bibliometria, que estuda de forma quantitativa os materiais bibliográficos (BROADUS, 1987).

A bibliometria, inicialmente voltada para a medida de livros (quantidade de edições e exemplares, quantidade de palavras contidas nos livros, espaço ocupado pelos livros nas bibliotecas, estatísticas relativas à indústria do livro), aos poucos foi se voltando para o estudo de outros formatos de produção bibliográfica, tais como artigos de periódicos e outros tipos de documentos, para depois ocupar-se, também, da produtividade de autores e do estudo de citações (ARAÚJO, 2006).

Alvarado (1984) aponta que atualmente a bibliometria comporta três leis básicas:

- A Lei de Bradford, que descreve a distribuição da literatura periódica numa área específica;
- A Lei de Lotka, que descreve a produtividade dos autores; e
- A Lei de Zipf, que descreve a frequência no uso de palavras num determinado texto.

Alvarado (1984) ainda afirma que a este grupo básico de leis agregaram-se, posteriormente, outros estudos que, apesar de ainda não serem considerados como leis, configuram o corpo das preocupações dos cientistas da informação, a saber:

- A Lei de Goffman, que descreve a difusão da comunicação escrita como um processo epidêmico;
- A Frente de Pesquisa ou Elitismo, que descreve como uma seleta pequena parte da literatura mais recente sendo esta relacionada remota e aleatoriamente a uma parte maior da literatura mais antiga; e
- A Obsolescência/Vida média/Idade da literatura, que descreve a queda da validade ou utilidade de informações no decorrer do tempo.

### 2.3.1 Softwares para Análise Bibliométrica

Softwares são cada vez mais cruciais para estudos científicos e uma das áreas que mais se beneficia da adoção dos softwares acadêmicos é a bibliometria. (MOREIRA, GUIMARÃES e TSUNODA, 2020). Silva, Hayashi e Hayashi (2011) afirmam que um aspecto importante que incrementou a realização de análises bibliométricas, foi o desenvolvimento de softwares especializados no processamento de indicadores bibliométricos e cientométricos. Estes permitem a visualização de redes de colaboração científica traçadas, por exemplo, a partir das citações entre autores, periódicos e artigos científicos. Ainda neste âmbito, é válido ressaltar a definição da cientometria como uma subárea da bibliometria que se concentra na análise quantitativa da produção científica e suas citações, com o objetivo de avaliar o impacto da pesquisa.

Moreira, Guimarães e Tsunoda (2020) estabelece um comparativo entre diferentes softwares empregados para pesquisas bibliométricas. Estruturando sua análise comparativa ao redor de a) *Biblioshiny*; b) *CiteSpace*; c) *Publish or Perish*; e d) *VOSviewer*, chega-se à conclusão de que o *VOSviewer* é uma ferramenta que apresenta, além das opções para ajustes na visualização, uma área com os itens que compõem os clusters e um painel com os parâmetros utilizados na formação da rede. Além disto, o resultado pode ser exportado para diversos formatos de imagem ou ser salvo para futura utilização. Esse conjunto de fatores corrobora para a utilização de *VOSviewer* na busca por desenvolver uma proposta de estudo focada na visualização e apresentação de resultados da pesquisa abordada.

Apesar disto, independe do software com o qual se trabalhe, este deve ser utilizado como uma ferramenta auxiliar ao desenvolvimento do estudo, não devendo ser utilizado colocando diretamente um conjunto de dados brutos. Santos *et al.* (2007) propõe que:

A produção de indicadores da ciência, por métodos bibliométricos, requer um conjunto de dados padronizados, sistematizados e consistentes, em princípio encontráveis nas bases de dados bibliográficos. Essas fontes favorecem as abordagens bibliométricas em razão da forma em que os dados se encontram estruturados. No entanto, na prática, as inconsistências encontradas impedem sua utilização direta, sendo necessário realizar um trabalho prévio de consistência e reestruturação das bases. Para isso, recorre-se a procedimentos e softwares bibliométricos criados especificamente para promover a consistência requerida.

### 3 METODOLOGIA

Esta pesquisa se propôs a investigar quais as principais métricas utilizadas para medir a qualidade dos pavimentos. Visando isto, é essencial salientar a importância desta métrica para o desenvolvimento das atividades humanas. Avaliar a condição dos pavimentos é fundamental para garantir a segurança dos usuários, economizar dinheiro, melhorar a eficiência e o conforto das viagens e proteger o meio ambiente.

Com esta finalidade, índices são frequentemente utilizados em combinação para fornecer uma avaliação mais completa da condição do pavimento e auxiliar na tomada de decisões relacionadas à manutenção e reabilitação do pavimento.

Para atender aos objetivos propostos no tópico 1.4, foi desenvolvida uma revisão sistemática de literatura conduzida de acordo com os dados recolhidos na base de dados *Scopus*, considerando trabalhos escritos em inglês, sem intervalo de datas de pesquisa. Posteriormente a isto, foi elaborada uma análise bibliométrica buscando estabelecer uma relação com os principais índices de avaliação da condição de pavimentos a partir das tendências observadas. Com isto foi possível estabelecer os principais grupos de temas e autores relacionados a este assunto.

#### 3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Okoli (2019) define a revisão sistemática de literatura como:

Um método sistemático, explícito, (abrangente) e reprodutível para identificar, avaliar e sintetizar o corpo existente de trabalhos completos e registrados produzidos por pesquisadores, estudiosos e profissionais. Uma revisão de literatura autônoma rigorosa deve ser sistemática ao seguir uma abordagem metodológica; explícita na explicação dos procedimentos pelos quais foi conduzida; abrangente em seu escopo ao incluir todo o material relevante; e, portanto, reprodutível por outros que desejem seguir a mesma abordagem na revisão do tema.

Galvão e Ricarte (2020) compreendem as etapas da produção de uma revisão sistemática de literatura entre a delimitação da questão de pesquisa, a seleção das bases de dados, a elaboração da estratégia de busca, a seleção dos documentos e a sistematização dos resultados. Para o desenvolvimento desta pesquisa, será empregado o método PRISMA 2020.

Segundo PRISMA (2023), em 1999, para abordar meta-análises, um grupo internacional desenvolveu uma orientação chamada Declaração QUOROM (Quality Of Reporting Of Meta-analyses), que se centrou no relato de meta-análises de ensaios controlados aleatorizados. Em

2009, a orientação foi atualizada para abordar vários avanços conceituais e práticos na ciência das revisões sistemáticas, e foi renomeada PRISMA (Preferred Reporting Items of Systematic reviews and Meta-Analyses). A declaração PRISMA foi publicada em múltiplas revistas e acompanhada por um documento de Explicação e Elaboração. Para assegurar a sua moeda e relevância, em 2017 um grupo internacional decidiu atualizar a declaração PRISMA 2009, incorporando avanços na metodologia e terminologia da revisão sistemática que ocorreram na última década. A declaração PRISMA 2020 foi publicada como uma pré-impressão no MetaArXiv em setembro de 2020 e publicada em março de 2021.

As etapas do processo desenvolvido foram, respectivamente:

- Definição da área da literatura a ser estudada: Esta etapa foi baseada na definição da própria temática deste trabalho e contemplou não somente a área de estudo em seu âmbito geral, como também as próprias questões a serem respondidas.
- Definição dos termos da pesquisa: Nesta etapa delimitaram-se as palavras-chave a serem utilizadas na pesquisa e seus operadores lógicos, formando assim a cadeia de pesquisa. Os termos foram definidos de forma a contemplar uma vasta gama de termos referentes aos questionamentos propostos.
- Aplicação de filtros: Foram definidos os filtros mais adequados ao estudo, de forma a aprimorar a pesquisa, dentre os quais encaixar-se-iam língua de origem, ano de publicação, país, entre outros.
- Aplicação do método PRISMA 2020: Por último, de forma a definir os estudos com maior valor para os questionamentos propostos na origem desta monografia utilizou-se o método previamente citado nos textos oriundos da base de dados utilizada. Os materiais filtrados através do fluxograma PRISMA 2020 constituem o conteúdo central analisado e avaliado, com base no qual foram desenvolvidas as respectivas análises e conclusões.

### **3.1.1 ÁREA DE ESTUDO E DEFINIÇÃO DAS QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS**

O campo de estudo desta pesquisa foi a avaliação da condição dos pavimentos e a lacuna existente entre os principais índices utilizados para esta métrica com o que é empregado no Brasil. Desta forma, os questionamentos propostos basearam-se na definição de um conjunto que contemple os métodos mais utilizados no mundo para avaliação dos pavimentos,

priorizando-se a inovação e os índices com um maior espaço amostral de estudos desenvolvidos.

Assim, a definição das questões a serem respondidas através da análise proposta norteou as palavras-chave e os seus respectivos operadores lógicos (“AND” e “OR”) que, em conjunto, formaram as cadeias de pesquisa que mais se adaptaram-se aos objetivos específicos do trabalho. O conjunto de palavras-chave ou frases, associadas aos operadores lógicos, que são inseridos na barra de pesquisa do banco de dados com o intuito de refinar os resultados da pesquisa é chamado de “*string*”.

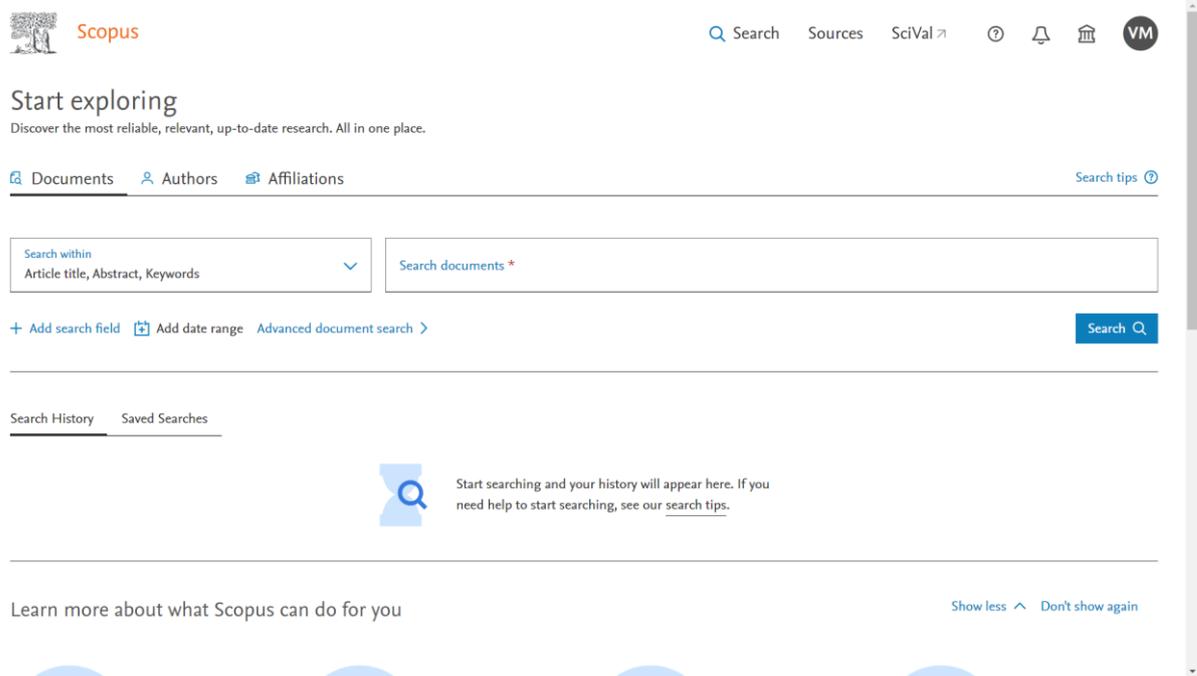
De forma a explicitar o âmbito central da análise, foi elaborada a *string* de busca abaixo descrita:

- (TITLE-ABS-KEY ("evaluation" OR "assessment" AND "method\*" AND "road" AND "condition" AND "pavement" AND "index" AND "surface") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English")))

Considerando a finalidade da pesquisa, em definir as principais métricas utilizadas para definição da condição dos pavimentos, evidencia-se a motivação da utilização dos termos “road”, “condition”, “pavement” e “index”. A partir das possíveis traduções para o termo “avaliação”, optou-se pelo emprego de “evaluation” e “assessment”, juntamente com o conectivo “OR”. Por último, devido à percepção de que os estudos referentes a temática estudada costumeiramente trabalham em alguma esfera com a análise da condição do superficial do pavimento, incluiu-se o termo “surface”.

### 3.1.2 RESULTADOS DA BASE DE DADOS

Como anteriormente citado, nesta monografia foi utilizada uma única base de dados, o *Scopus*, autointitulado como: a maior base de dados de resumos e citações de literatura revisada por pares.

Figura 12 - Interface do *Scopus*

Fonte: O autor (2023)

A definição da *string* de busca final utilizada baseou-se em múltiplas tentativas, objetivando definir um espaço amostral de pesquisa que apresentasse resultados o suficiente para que as conclusões retiradas deste estudo tivessem embasamento o bastante para guiar possíveis decisões futuras. Não foram aplicados filtros referentes a período de publicação ou país, porém filtraram-se somente os textos publicados em inglês.

Inicialmente, a pesquisa retornou 116 resultados no *Scopus*, porém após adicionar o filtro da língua de publicação, resultando na *string* final citada no tópico 3.1.1, o total de textos encontrados regrediu para 105 resultados.

### 3.1.3 PRISMA 2020

A declaração PRISMA 2020 consiste num checklist de 27 itens, uma checklist expandida que detalha relatórios de recomendações para cada item, a checklist resumida do PRISMA 2020 e fluxogramas revisados para revisões de literaturas originais e atualizações (Page *et al.*, 2021). Neste estudo foi apresentado o fluxograma em três etapas utilizado para a revisão sistemática da literatura, partindo da retirada dos textos da base de dados até a escolha daqueles que trazem valor para a pesquisa. As etapas do método PRISMA 2020 são,

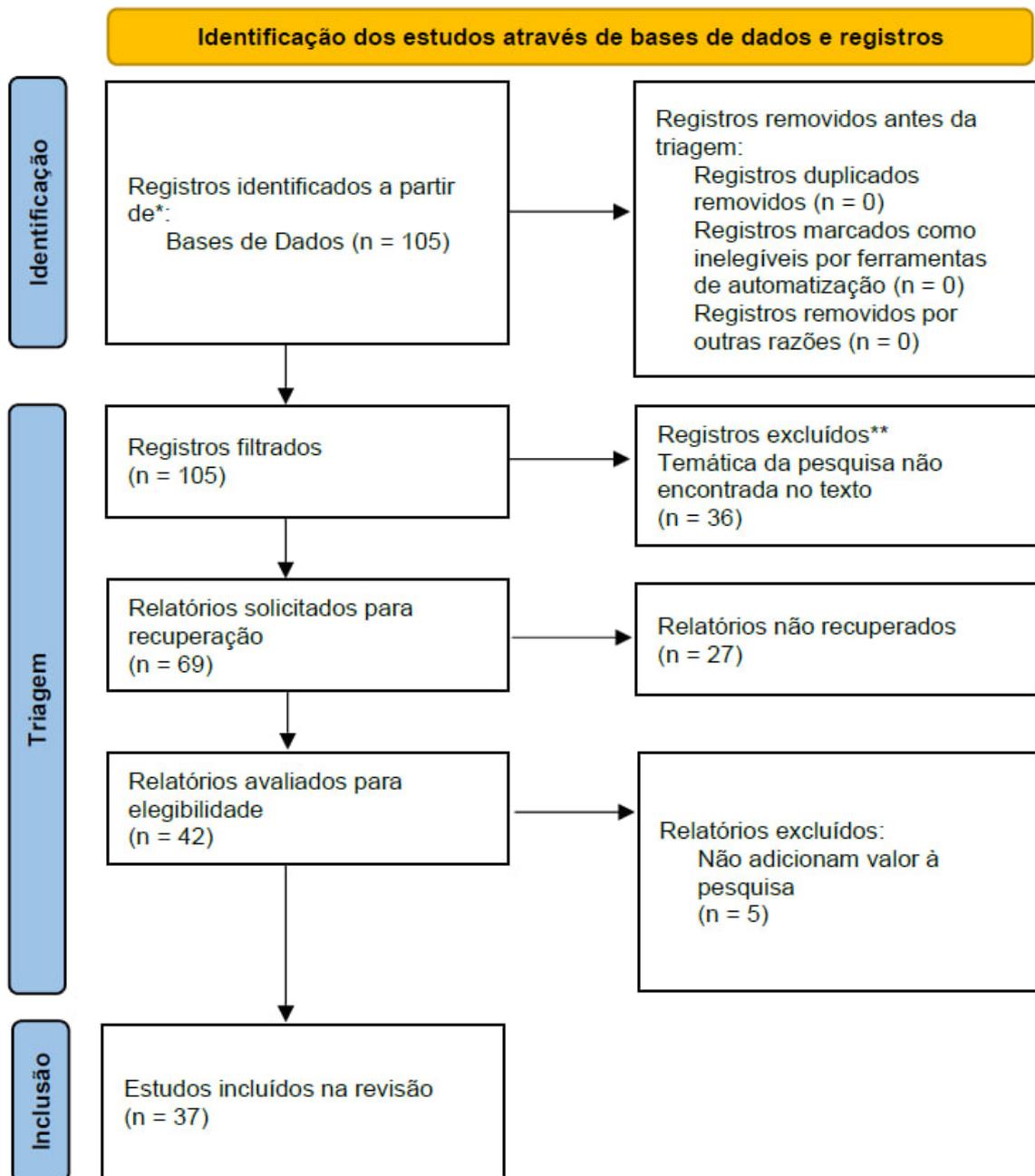
respectivamente: identificação, triagem e inclusão. Este processo pode ser compreendido através da análise do fluxograma presente na Figura 13.

A partir da *string* de busca definida no tópico 3.1.1, foram exportados um total de 105 trabalhos. Seguindo as etapas do fluxograma do método PRISMA 2020, foi verificado se existiriam textos duplicados e, devido ao fato de se trabalhar com uma única base de dados, não foram eliminados textos neste passo.

Para a próxima etapa, de triagem, foram lidos os resumos da base de dados *Scopus* dos 105 trabalhos presentes. A partir deste montante, foram eliminados todos os trabalhos que não pareciam dialogar com os objetivos desta pesquisa. Sendo assim, foram eliminados 36 textos neste momento.

Na terceira etapa, buscaram-se os textos integrais dos 69 resultados vistos como agregadores a este trabalho. Destes, só foi possível obter acesso integral a 42 trabalhos. Para os 42 restantes, foi realizada a leitura integral e foi analisada sua contribuição, resultando na eliminação de mais 5 textos. Assim, os 37 trabalhos que não foram eliminados em nenhuma etapa do processo trouxeram contribuições diretas para a revisão sistemática da literatura, trabalhando com inovações e estudos com base nos índices para a avaliação da condição de pavimentos utilizados atualmente. A Tabela 5 apresenta um resumo da colaboração de cada pesquisa. Além disto, o tópico 3.2 foi desenvolvido com base nos resultados dos estudos selecionados para a revisão sistemática de literatura (RSL).

Figura 13 - Aplicação do fluxograma do método PRISMA 2020



Fonte: O autor (2023)

### 3.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Vanti (2002) aponta algumas possibilidades de aplicação das técnicas bibliométricas, dentre os quais, para esta pesquisa, podem-se destacar:

- Identificar as tendências e o crescimento do conhecimento em uma área;
- Prever as tendências de publicação;
- Medir o grau e padrões de colaboração entre autores;
- Analisar os processos de citação e co-citação;
- Medir o crescimento de determinadas áreas e o surgimento de novos temas.

Assim, esta ferramenta foi utilizada de forma a reforçar a revisão sistemática da literatura desenvolvida através da observação das tendências de publicações elaboradas no contexto de avaliação da condição de pavimentos. Com isto observaram-se os padrões de autoria, citações e crescimento de certos temas no espaço amostral estudado.

Também foi desenvolvida uma análise inicial dos 37 trabalhos com valor agregado identificados através da RSL, identificando a revista de publicação, o total de publicações por ano e a quantidade de pesquisas em que cada índice de avaliação aparece.

Para uma análise mais aprofundada, foi utilizada o software *VOSViewer* e optou-se por fazer co-autoria e co-citação de autores, co-autoria de países e co-ocorrência de palavras-chave analisadas na rede de trabalhos definida. Os dados foram retirados do *Scopus* no dia 9 de abril de 2023, já de acordo com os 37 trabalhos que foram filtrados através do método PRISMA 2020.

Na visualização da rede, os itens são representados pelo seu rótulo e, por padrão, também por um círculo. O tamanho do rótulo e do círculo de um trabalho é determinado pelo seu impacto. Quanto maior for o impacto de um trabalho, maior será o rótulo e maior será o círculo. Para alguns textos, o rótulo pode não ser exibido. Isto é feito em a fim de evitar a sobreposição de rótulos. A cor de um trabalho é determinada pelo agrupamento ao qual pertence. As linhas entre os textos representam ligações. Por padrão, são exibidas no máximo 1000 linhas, representando as 1000 ligações mais fortes. A distância entre dois trabalhos na visualização indica aproximadamente a relação dos periódicos em termos de ligações de co-citação. Em geral, quanto mais próximos dois trabalhos estiverem um do outro, mais forte será sua relação. As conexões mais fortes de co-citação entre periódicos também são representadas por linhas. (VAN ECK e WALTMAN, 2021).

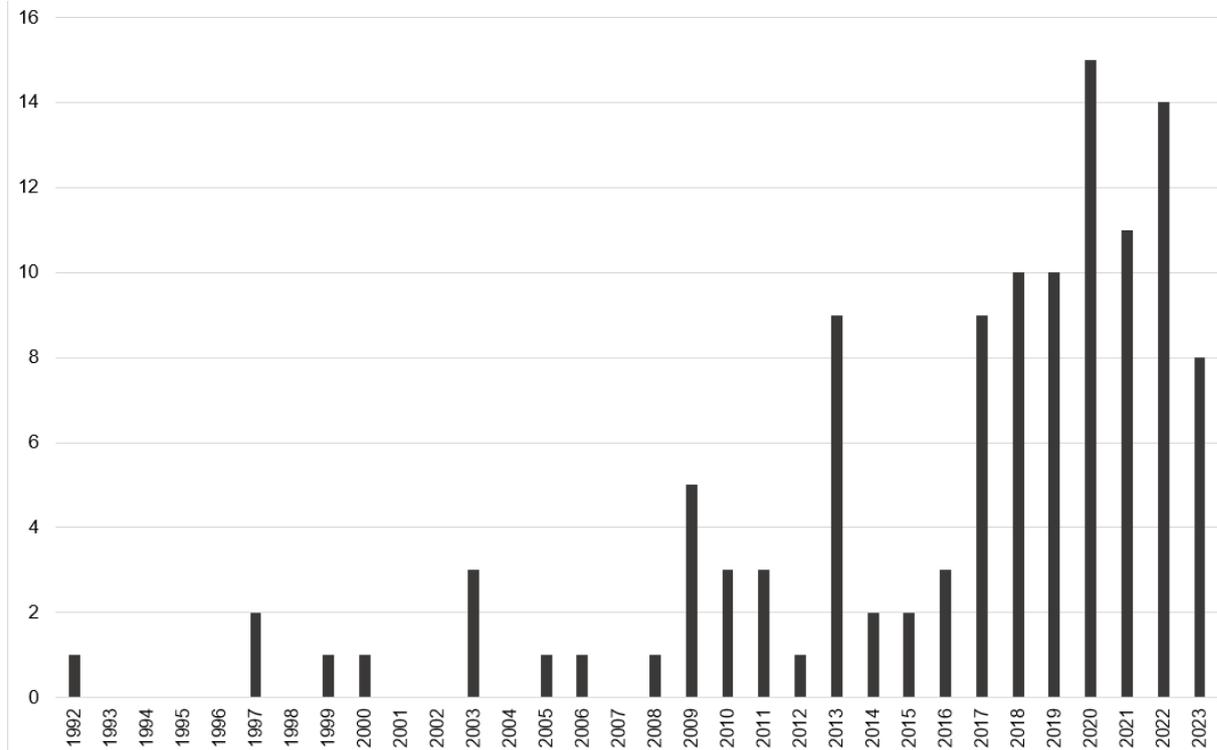
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aqui estão apresentados os principais resultados obtidos através da revisão sistemática da literatura e da consequente análise bibliométrica desenvolvida em cima dos resultados.

### 4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

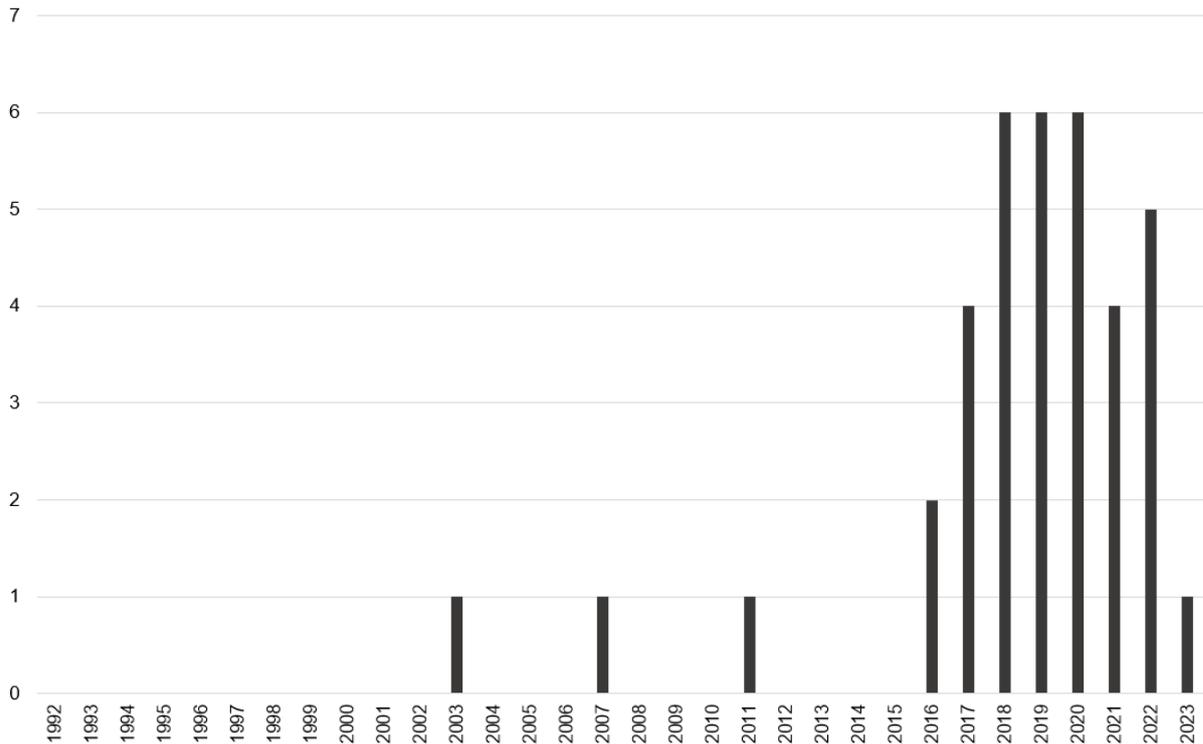
A *string* de busca utilizada retornou 105 resultados na base de dados *Scopus*, levando em consideração o filtro adicionado referente a trabalhos publicados em inglês. Não foi adicionado nenhum filtro referente ao intervalo de datas de publicação pois um dos objetivos era apurar o crescimento dos estudos referentes à temática pesquisada ao longo dos anos, assim como coletar o máximo possível de textos que se adequassem ao que fora proposto. Analisando as Figura 14 e 15 pode-se observar que, para os resultados totais originados a partir da *string* de busca, aproximadamente 66% foram publicados a partir do ano de 2016, enquanto o total de publicações no mesmo intervalo de tempo, para os textos com valor agregado para a RSL, filtrados através da metodologia PRISMA 2020, representavam cerca de 91%.

Figura 14 - Evolução histórica das publicações obtidas através da *string* de busca



Fonte: O autor (2023)

Figura 15 - Evolução histórica das publicações com valor agregado para a RSL

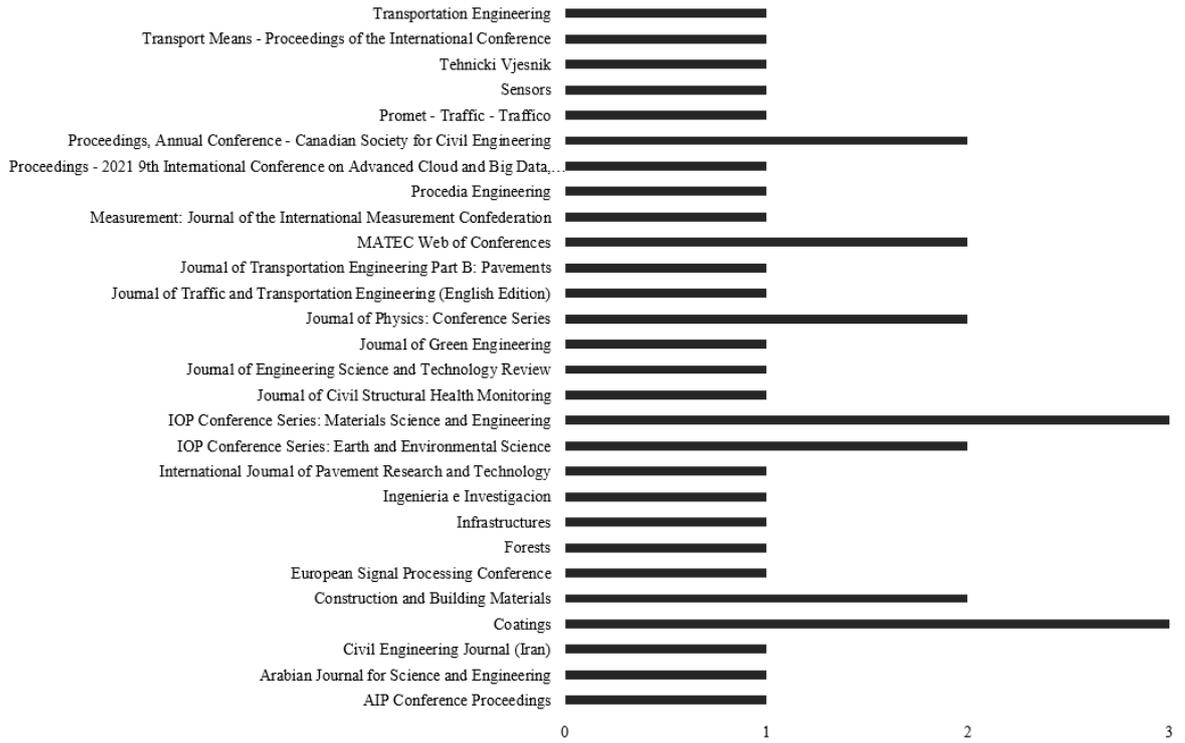


Fonte: O autor (2023)

A Figura 16 identifica as fontes de publicação dos 37 trabalhos com valor agregado. Por mais que não tenha sido observado nenhuma fonte que tenha se destacado na quantidade de trabalhos fornecidos para esta RSL, destacam-se duas, que possuíam 3 contribuições. O primeiro é o “*Coatings*”, jornal científico que publica artigos originais e revisões sobre todos os aspectos de revestimentos e superfícies e é publicado mensalmente pela editora MDPI. A segunda fonte de publicações a ser citada é a “*IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*”, uma série de conferências organizadas pelo *Institute of Physics Publishing (IOP)*, uma das principais editoras de física e ciências relacionadas do mundo.

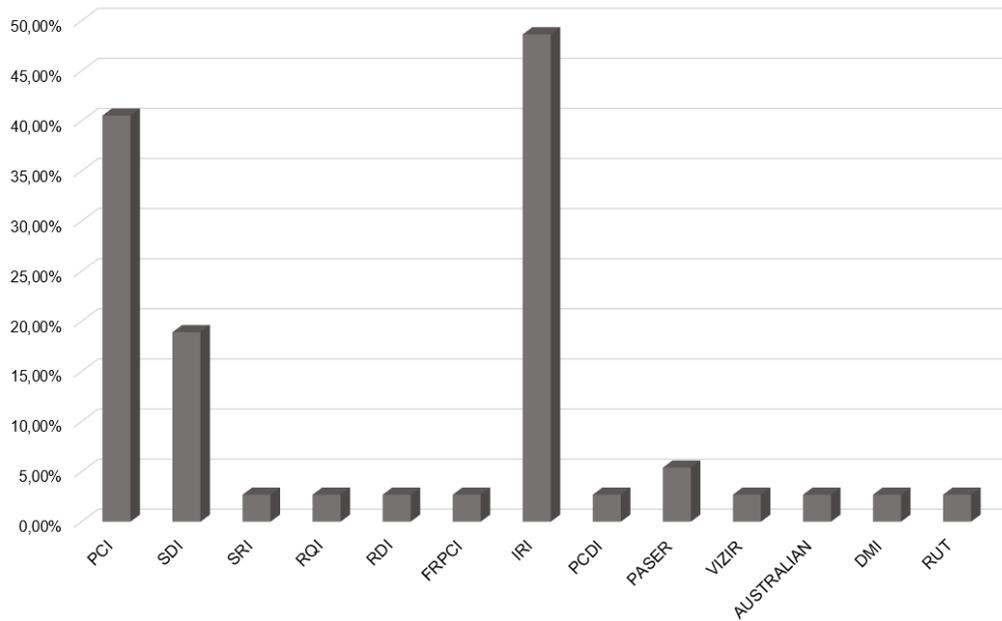
Foi elaborada a Tabela 4, que resume as informações básicas de cada um dos índices de avaliação, além da Figura 17, que demonstra a porcentagem de citação de cada um dos índices no espaço amostral compreendido por esta pesquisa. Destacando-se o “IRI” e o “PCI”, utilizados em 48,65% e 40,54% dos trabalhos analisados, respectivamente. Por fim, para sintetizar a contribuição de cada um dos trabalhos selecionados com valor agregado, foi desenvolvida a Tabela 5.

Figura 16 - Total de trabalhos publicados por fonte



Fonte: O autor (2023)

Figura 17 - Taxa de citação de cada um dos índices nos trabalhos com valor agregado



Fonte: O autor (2023)

Tabela 4 - Resumo dos índices citados nos trabalhos com valor agregado

(Continua)

<b>Índice</b>	<b>Título Original [Título Traduzido]</b>	<b>Proposta</b>
<b>PCI</b>	Pavement Condition Index [Índice de Condição do Pavimento]	Método Utilizado para Avaliação: O PCI é um método de avaliação de pavimentos que utiliza uma escala de 0 a 100 para avaliar a condição do pavimento com base na avaliação visual das condições da superfície do pavimento.
<b>SDI</b>	Surface Distress Index [Índice de Distorção Superficial]	Índice calculado avaliando a quantidade de rachaduras, buracos e outras deformações em uma amostra representativa da superfície da estrada. Os resultados são normalmente apresentados como um número, que varia de 0 a 5.
<b>SRI</b>	Skidding Resistance Index [Índice de Resistência ao Escorregamento]	Índice medido com um dispositivo chamado "pêndulo britânico", que avalia a força de atrito entre uma amostra da superfície da estrada e um pêndulo que simula o peso e a força de um pneu em contato com a pista. O resultado é um valor numérico, que varia de 0 a 100, com valores mais altos indicando uma maior resistência ao escorregamento
<b>RQI</b>	Riding Quality Index [Índice de Qualidade da Rodagem]	O RQI é calculado a partir de uma avaliação subjetiva da superfície da estrada, geralmente realizada por um motorista que conduz um veículo equipado com sensores de movimento e vibração. Durante a avaliação, o motorista registra as vibrações e os movimentos do veículo em resposta às irregularidades da superfície da estrada. Esses dados são então analisados para determinar um valor numérico para o RQI.
<b>RDI</b>	Rutting Depth Index [Índice de Profundidade de Trilhos de Roda]	Índice calculado a partir de uma inspeção visual da superfície do pavimento, geralmente usando um veículo equipado com câmeras e sensores. Durante a inspeção, as dimensões e a extensão dos sulcos são registradas e analisadas para determinar um valor numérico para o RDI. Quanto maior for o valor do RDI, maior será a profundidade e a extensão dos sulcos na superfície do pavimento.
<b>FRPCI</b>	Forest Road Pavement Condition Index [Índice de Condição do Pavimento de Estradas Florestais]	Índice calculado com base em uma série de fatores que incluem a presença de trincas, fissuras, buracos e outros defeitos no pavimento, bem como a profundidade e a extensão desses defeitos. Também é considerada a frequência e o volume de tráfego nessas estradas. Com base nesses fatores, cada segmento da estrada é avaliado e atribuído um valor de FRPCI que varia de 0 a 100. O FRPCI é utilizado para avaliação da condição de pavimentos em florestas.

Tabela 4: Resumo dos índices citados nos trabalhos com valor agregado

(Continuação)

Índice	Título Original [Título Traduzido]	Proposta
<b>IRI</b>	International Roughness Index [Índice Internacional de Irregularidade]	Índice baseado em uma medida padronizada da irregularidade longitudinal da superfície de pavimentos, incluindo rodovias, pistas de aeroporto e outras vias pavimentadas. O índice é baseado em medições precisas da elevação da superfície do pavimento em intervalos regulares ao longo de uma seção da via. O IRI é medido em metros por quilômetro (m/km) e é usado para quantificar a qualidade da superfície do pavimento em termos de conforto ao dirigir, desgaste do veículo, segurança e custos de manutenção.
<b>PCDI</b>	Pavement Condition Degradation Index [Índice de Degradação das Condições do Pavimento]	Índice utilizado para avaliar o desempenho de pavimentos flexíveis. O PCDI é uma medida da degradação do pavimento ao longo do tempo, levando em consideração diversos fatores que afetam a sua vida útil e desempenho. O PCDI é calculado usando uma abordagem de teoria da evidência fuzzy, que leva em conta a incerteza e imprecisão nos dados de entrada. O resultado é um valor numérico, numa escala de 0 a 100, que representa a degradação do pavimento ao longo do tempo.
<b>PASER</b>	Pavement Surface Evaluation and Rating [Avaliação e Classificação da Superfície do Pavimento]	Índice utilizado para avaliar a condição do pavimento em termos de deformação superficial e desgaste, usando uma escala de classificação que varia de 1 (pavimento em péssimas condições) a 10 (pavimento em excelentes condições).
<b>VIZIR</b>	Visualisation de l'Etat des Routes Interurbaines [Visualização do Estado das Estradas Interurbanas]	Índice desenvolvido pelo Laboratório Central de Estradas (LCE) na França. O método é baseado em um conjunto de critérios que são usados para avaliar as condições de pavimentos flexíveis e rígidos, incluindo a presença de rachaduras, buracos, deformações, desgaste e outros sinais de deterioração.
<b>AUSTRALIAN</b>	Australian [australiano]	Índice de avaliação de pavimentos rodoviários desenvolvido na Austrália, utilizado para avaliar as condições de pavimentos flexíveis. Baseia-se na observação visual dos principais tipos de defeitos que afetam os pavimentos flexíveis, incluindo trincas, buracos e deformações. O método é realizado por uma equipe de inspetores treinados, que percorrem a estrada avaliando visualmente a superfície do pavimento.

Tabela 4: Resumo dos índices citados nos trabalhos com valor agregado

(Conclusão)

Índice	Título Original [Título Traduzido]	Proposta
<b>DMI</b>	Distress Measure Index [Índice de Medida de Deterioração]	Índice que mede a quantidade e a severidade de defeitos na superfície do pavimento, incluindo rachaduras, trincas, buracos e outros tipos de deterioração. O índice é calculado a partir da observação visual de uma seção da estrada e é expresso em uma escala de 0 a 5, sendo que 0 representa um pavimento em excelente condição e 5 representa um pavimento severamente deteriorado.
<b>RUT</b>	Rutting Measure Index [Índice de Medida de Afundamento]	Índice que mede a profundidade e a extensão das depressões que se formam na superfície do pavimento devido à deformação do material. Esse tipo de deformação pode ser causado pelo peso do tráfego, pela variação de temperatura ou pela umidade. O índice RUT é expresso em milímetros e é usado para avaliar a capacidade do pavimento de suportar o tráfego sem sofrer deformações excessivas.

Fonte: O autor (2023)

Os diferentes índices citados na Tabela 4 apresentam diferentes metodologias para o seu levantamento. Dos 13 índices citados, o PCI, o SDI, o FRPCI, o PCDI, o PASER, o DMI e o Índice Australiano utilizam levantamento visual para avaliação da condição dos pavimentos. Assim, estão mais suscetíveis a imprecisões e resultados distintos, visto que se baseiam na percepção do avaliador, que pode ser afetada por inúmeros fatores.

Para os demais índices, são utilizados equipamentos específicos para avaliação. O SRI é medido por meio de um equipamento chamado "pêndulo de brita" (também conhecido como "*British pendulum tester*"). O RQI é medido por meio de um equipamento chamado "profilômetro de superfície de pavimento". O RDI é medido por meio de um equipamento chamado "defletômetro de impacto" ou "FWD" (do inglês "*Falling Weight Deflectometer*"). O IRI é medido por meio de um equipamento chamado "profilômetro de superfície de pavimento".

O VIZIR traz uma abordagem francesa para avaliação de pavimentos que utiliza tecnologias de medição, incluindo laser e câmeras de alta resolução, para gerar imagens digitais detalhadas da superfície do pavimento. Por fim, o RUT é medido por meio de um equipamento chamado "profilômetro de superfície".

Tabela 5 - Resumo dos artigos com Valor Agregado

(Continua)

<b>Título Original [Título Adaptado]</b>	<b>Autores</b>	<b>Índices</b>	<b>Ano</b>	<b>Contribuições</b>
Unmanned aerial vehicle implementation for pavement condition survey [Implementação de veículos aéreos não tripulados para o levantamento do estado do pavimento]	Yackob Astor, Yasuyuki Nabesima, Retno Utami, Atmy Verani Rouly Sihombing, Muhammad Adli, Muhammad Rizki Firdaus	PCI SDI	2023	Utilização de veículos aéreos não tripulados para obtenção de dados abrangentes e rápidos sobre o estado das estradas. Ao contrário dos demais estudos, este destaca-se por trazer uma comparação 2D/3D utilizando os métodos SDI e PCI.
Comprehensive performance ranking and impact analysis using the best approximation matter-element model and combined weights [Classificação exaustiva do desempenho e análise de impacto utilizando os melhores modelos de aproximação matéria-elemento e pesos combinados]	Manzhe Xiao, Rong Luo, Wenchao Liu	SRI RQI PCI RDI	2022	Utiliza-se um método baseado em dados (TOPSIS) para classificar diferentes índices. Os autores sugerem que técnicas tradicionais que apenas examinam indicadores funcionais têm limitações e que deve ser considerado o desempenho estrutural e índices de desempenho do material na avaliação.
An Exploration of Recent Intelligent Image Analysis Techniques for Visual Pavement Surface Condition Assessment [Uma Exploração Visual de Técnicas de Avaliação de Imagens Recentes Inteligentes da Condição da Superfície do Pavimento]	Waqar S. Qureshi, Syed Ibrahim Hassan, Susan McKeever, David Power, Brian Mulry, Kieran Feighan e Dymnpna O'Sullivan	-	2022	Propõe a utilização da investigação inteligente para automatizar a avaliação do pavimento. Sugere, no futuro, a possível utilização da tecnologia para detecção automática da condição e dos defeitos de um pavimento a partir de referências de um banco de dados.
Introducing New Index in Forest Roads Pavement Management System [Introdução de um Novo Índice no Sistema de Gestão de Pavimentos de Estradas Florestais]	Mohammad Javad Heidari, Akbar Najafi e Jose G. Borges	FRPCI PCI	2022	Propõe um novo índice para avaliação da condição do pavimento, o FRPCI, que possui sua metodologia e classificações associadas, idênticas ao Índice de Condição do Pavimento (PCI) para estradas pavimentadas.
Predicting Pavement Condition Index Using Fuzzy Logic Technique [Previsão do Índice de Condição do Pavimento Usando a Técnica de Lógica Fuzzy]	Abdualmtalab Ali, Usama Heneash, Amgad Hussein e Mohamed Eskebi	-	2022	Propõe a utilização da técnica da lógica difusa para avaliar a flexibilidade e aflição rígida do pavimento.

Tabela 5: Resumo dos artigos com valor agregado

(Continuação)

<b>Título Original</b> <b>[Título Adaptado]</b>	<b>Autores</b>	<b>Índices</b>	<b>Ano</b>	<b>Contribuições</b>
Assessment of Ride Quality and Road Roughness by Measuring the Response from a Vehicle Mounted Android Smartphone [Avaliação da Qualidade de Viagem e Rugosidade da Estrada através da Medição da Resposta de um Smartphone Android Montado no Veículo]	Lohith Kumar, Teja Tallam, Naveen Kumar	IRI	2022	Propõe um método alternativo de medição do IRI, em que se estima o desnível do pavimento utilizando um smartphone e um sistema baseado em androides que dependem do movimento de um sistema de suspensão em resposta à irregularidade da superfície da estrada percorrida por um veículo.
Evaluation of pavement surface roughness performance under multi-features conditions based on optimized random forest [Avaliação do desempenho da rugosidade da superfície do pavimento em condições de múltiplas características com base na floresta aleatória otimizada]	Yuanjiao Hu, Zhaoyun Sun, Lili Pei, Wei Li, Yingying Li	IRI	2021	Busca estudar um modelo de previsão do IRI baseado no algoritmo aleatório de floresta de multi-análise de características.
Road Handling Using International Roughness Index and Surface Distress Index Method [Manuseio de estradas utilizando o Índice Internacional de Rugosidade e o Método do Índice de Perturbação da Superfície]	Andrew Ghea Mahardika, Herawati, Taufik Rachman, Budi Nuryono, Hetty Fadriani, Iman Hidayat, Givy Devira Ramady	IRI SDI	2021	Determinação, utilizando dados de levantamentos de campo e ferramentas de medição aproximada, do Índice Internacional de Rugosidade (IRI) e do cálculo do Índice de Piso de Superfície (SDI) para pavimentos flexíveis.
Evaluate the accuracy of vehicle type on road surface condition survey using roadroid application [Avaliar a precisão do tipo de veículo no levantamento do estado das estradas utilizando o aplicativo roadroid]	M A Arofah and E Prahara	IRI SDI	2021	Utilização do aplicativo Roadroid para obter o IRI e o SDI. É afirmando que o Roadroid e a observação visual podem ser usados para determinar o valor de IRI com bons resultados e estatisticamente significativos que podem ser comparados com o Roughometer.

Tabela 5: Resumo dos artigos com valor agregado

(Continuação)

<b>Título Original [Título Adaptado]</b>	<b>Autores</b>	<b>Índices</b>	<b>Ano</b>	<b>Contribuições</b>
An innovative approach for high-performance road pavement monitoring using black box [Uma abordagem inovadora para o controlo do pavimento rodoviário de alto desempenho utilizando caixa negra]	Monica Meocci, Valentina Branzi, Andrea Sangiovanni		2021	Apresenta a metodologia da caixa de pavimentação, uma abordagem de detecção de problemas com base na exploração dos dados recolhidos por caixas pretas localizadas no interior dos veículos que passam rotineiramente na rede rodoviária.
Assessing of the Road Pavement Roughness by Means of LiDAR Technology [Avaliação da Rugosidade dos Pavimentos de Estrada por Meios da Tecnologia LiDAR]	Maria Rosaria De Blasiis, Alessandro Di Benedetto, Margherita Fiani and Marco Garozzo	IRI	2020	Estuda a rugosidade (IRI) obtida com um profilómetro e compara com um modelo de elevação digital (DEM) construído utilizando dados do scanner laser móvel (MLS), obtendo assim resultados que apontam que a utilização da tecnologia LiDAR traz resultados igualmente próximos. Este estudo é aplicado em nível de rede.
Smart structural health monitoring of flexible pavements using machine learning methods [Monitoramento inteligente da saúde estrutural de pavimentos flexíveis utilizando métodos de aprendizagem automática]	Nader Karballaezadeh, Danial Mohammadzadeh S., Dariush Moazemi, Shahab S. Band, Amir Mosavi and Uwe Reuter	IRI PCI	2020	Os autores estudaram dois índices principais, o PCI e o IRI. Os autores examinaram a relação entre estes dois parâmetros utilizando métodos de aprendizagem de máquinas para determinar os melhores métodos para a estimativa de PCI.
Application of Pavement Index for the Evaluation of the Running Surface of the Lima-Peru Roads [Aplicação do Índice de Pavimentação para a Avaliação da superfície de rodagem de Estradas em Lima-Peru]	luis Alberto Avila, Doris Esenarro, Ciro Rodriguez, Pervis Paredes, Luis Metzger	PCI	2020	Utilização do PCI para avaliação da condição dos pavimentos em Lima, no Peru.
Performance Assessment of Flexible Pavements: Fuzzy Evidence Theory Approach [Avaliação de Desempenho de Pavimentos Flexíveis: Abordagem da Teoria das Evidências Fuzzy]	Shruti Wadalkar , Ravindra K. Lad, Rakesh K. Jain	PCDI PCI	2020	Uso da teoria Fuzzy para eliminar a imprecisão de dados e determinação do PCDI e PCI para avaliar a condição dos pavimentos.

Tabela 5: Resumo dos artigos com valor agregado

(Continuação)

<b>Título Original [Título Adaptado]</b>	<b>Autores</b>	<b>Índices</b>	<b>Ano</b>	<b>Contribuições</b>
Developing International Roughness Index (IRI) Model from visible pavement distresses [Desenvolvimento do modelo de Índice Internacional de Rugosidade (IRI) de angústias visíveis no pavimento]	Hasan H Joni, Miami M Hilal and Muataz S Abed	IRI	2020	Utilização do IRI para avaliação da condição dos pavimentos estudados.
Evaluation of the Main Roads Network Pavement Condition Index with a 3D Laser Scanner System [Avaliação do Índice de Condições de Pavimentação da Rede de Estradas Principais com um Sistema de Scanner 3D a Laser]	P. Paplauskas, A. Vaitkus	PCI	2020	Utilização de um scanner 3D a laser para determinação automática das condições das vias e tratamento de dados para cálculo do PCI das estradas estudadas da Lituânia.
Proposed SDI equations to improve the effectiveness in evaluating crack damage on the road pavement [Equações de SDI propostas para melhorar a eficácia na avaliação de danos por fissuras no pavimento rodoviário]	B H Setiadji	SDI	2019	Desenvolvimento de uma equação não linear para cada tipo de defeitos no pavimento de forma a melhorar a eficiência do SDI.
Effectiveness and Cost-Effectiveness Evaluation of Pavement Treatments Using Life-Cycle Cost Analysis [Avaliação da eficácia e da relação custo-eficácia de Tratamentos de Pavimento Usando Análise de Custos do Ciclo de Vida]	Linyi Yao; Qiao Dong, Ph.D.; Fujian Ni; Jiwang Jiang; Xianrong Lu; and Yingguang Du	PCI	2019	Comparação da relação custo-eficácia de diferentes tratamentos e estratégias em um pavimento ao longo de um período de análise de 20 anos para definição da solução mais eficaz.
Evaluation Pavement Deteriorating Condition on Surface Distress Index (SDI) Data Using Radial Basis Function Neural Networks (RBFNN) [Avaliação da Condição de Deterioração do Pavimento do Índice de Perturbação da Superfície (SDI) com Dados que Utilizam Redes Neurais com Função de Base Radial (RBFNN)]	Amrina Rosada, Joni Arliansyah and Erika Buchari	SDI	2019	Elaboração de um modelo de deterioração do pavimento (PDM) com dados sobre o SDI atual do pavimento e sua idade.

Tabela 5: Resumo dos artigos com valor agregado

(Continuação)

<b>Título Original [Título Adaptado]</b>	<b>Autores</b>	<b>Índices</b>	<b>Ano</b>	<b>Contribuições</b>
Pavement structural evaluation based on roughness and surface distress survey using neural network model [Avaliação estrutural do pavimento com base na rugosidade e no desconforto superficial utilizando modelo de rede neural]	Mansour Fakhri, Reza Shahni Dezfoulian	PASER IRI	2019	Utilização do PASER e do IRI, associados a outros parâmetros, para constituição de métodos rentáveis para a avaliação da condição do pavimento.
Appraisal of Road Pavement Evaluation Methods [Avaliação dos Métodos de Avaliação de Pavimentos Rodoviários]	G. Papageorgiou	PCI PASE PSI VIZIR AUST*	2019	Apresenta um comparativo entre diferentes métricas da avaliação da condição dos pavimentos.
Implementing unsupervised machine learning to gain a better understanding of the asphalt pavement conditions of Ontario provincial highways [Implementação de máquinas de aprendizagem não supervisionada para obter uma melhor compreensão das condições do pavimento asfáltico das auto-estradas provinciais do Ontário]	Guangyuan Zhao, Ju Huyan, Susan Tighe and Wei Li	PCI IRI DMI RUT	2019	Adoção de técnicas de aprendizagem não supervisionada, ou seja, análise de componentes principais (PCA) para compreender os dados do estado do pavimento asfáltico.
Municipal Infrastructure Anomaly and Defect Detection [Detecção de anomalias e defeitos na infraestrutura municipal]	David Abou Chacra and John Zelek	-	2018	Desenvolvimento de um modelo de detecção de fissuras através de imagens das estradas a serem analisadas.
Pavement condition assessment using soft computing techniques [Avaliação do estado do pavimento utilizando técnicas de computação]	Ajit Pratap Singh, Antriksh Sharma, Raunak Mishra, Makrand Wagle, A.K. Sarkar	IRI	2018	Elaboração de modelos matemáticos para definição de um planejamento estratégico para a manutenção e reabilitação de pavimentos.
Level vulnerability damage of pavement using Pavement Condition Index [Nível de dano de vulnerabilidade do pavimento usando o Índice da Condição do Pavimento]	Siti Nurjanah Ahmad, Tri Harianto, Lawalenna Samang and Muralia Hustim	PCI	2018	Avaliação da condição dos pavimentos utilizando o PCI.

Tabela 5: Resumo dos artigos com valor agregado

(Continuação)

<b>Título Original [Título Adaptado]</b>	<b>Autores</b>	<b>Índices</b>	<b>Ano</b>	<b>Contribuições</b>
Structural and Functional Prediction of Pavement Condition (A Case Study on South Arterial Road, Yogyakarta) [Previsão estrutural e funcional da condição de pavimentação (Um Estudo de Caso na Estrada Arterial Sul, Yogyakarta)]	Untung Rusmanto, Syafi'i, and Dewi Handayani	IRI PCI	2018	Calcular o IRI e o PCI para avaliar o funcionamento e a estrutura do pavimento flexível na estrada arterial sul em Yogyakarta.
Pavement Condition Assessment Using IRI from Roadroid and Surface Distress Index Method on National Road in Sumenep Regency [Avaliação do estado do pavimento utilizando o IRI do Roadroid e o Método do Índice de Perturbação de Superfície na Estrada Nacional em Regência de Sumenep]	T Arianto, M Suprpto and Syafi'i	IRI SDI	2018	Utilização do Roadroid (aplicativo de smartphone) para medição do IRI da estrada, além do cálculo do SDI.
Feasibility study on measurement of a physiological index value with na electrocardiogram tester to evaluate the pavement evenness and driving comfort [Estudo de viabilidade sobre a medição de um valor de índice fisiológico com um testador de electrocardiograma para avaliar a regularidade do pavimento e o conforto de condução]	Jinxi Zhang, Meixia Wang, Dawei Wang, Xinghai Li, Bo Song, Pengfei Liu	IRI	2018	Medição da variabilidade da frequência cardíaca (HRV) do condutor para mensurar a condição do pavimento em que dirige.
The Design of Road Evaluation and Monitoring System based on Geographical Information System [A concepção da avaliação e monitorização sistemática de estradas baseada em um Sistema de Informação Geográfica]	Ary Setyawan, Muhammad Farid Al Alimi, Dewi Handayani, Agus Sumarsono	-	2017	Desenvolvimento de um sistema de detecção de danos nas estradas através de um sistema de sensores implantados em um veículo que deverá percorrer a via a ser estudada.
A Specified Procedure for Distress Identification and Assessment for Urban Road Surfaces Based on PCI [Um procedimento específico para a identificação de danos e Avaliação de Superfícies Rodoviárias Urbanas com base no PCI]	Giuseppe Loprencipe and Antonio Pantuso	PCI	2017	Avaliação da condição dos pavimentos utilizando o PCI.

Tabela 5: Resumo dos artigos com valor agregado

(Continuação)

<b>Título Original [Título Adaptado]</b>	<b>Autores</b>	<b>Índices</b>	<b>Ano</b>	<b>Contribuições</b>
Evaluation of the methodologies used to generate random pavement profiles based on the power spectral density: an approach based on the International Roughness Index [Avaliação das metodologias utilizadas para gerar perfis aleatórios de pavimento com base na densidade espectral de potência: uma abordagem baseada no Índice Internacional de Rugosidade]	B.Goenaga, L. Fuentes and O. Mora	IRI	2017	Avaliação da condição dos pavimentos utilizando o IRI.
The evaluation of functional performance of national roadway using three types of pavement assessments methods [A avaliação do desempenho funcional das vias rodoviárias nacionais utilizando três tipos de métodos de avaliação de pavimentos]	Suryoto, Dendy Paramartha Siswoyo, Ary Setyawan	IRI PCI SDI	2017	Avaliação da condição dos pavimentos utilizando o IRI, o PCI e o SDI e medindo suas correlações.
Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS [Medição e avaliação das condições de rugosidade das estradas com um perfil de estrada compacto e ArcGIS]	Nueraihemaitjiang Abulizi, Akira Kawamura, Kazuya Tomiyama, Shun Fujita	IRI	2016	Utilização do IRI para avaliação da condição dos pavimentos e utilização de informações de um sistema de informação geográfica (SIG), proporcionando um acompanhamento em tempo real da rugosidade do pavimento.
A measurement of roughness as indicator of road network condition - Case study Serbia [Uma medição da rugosidade como indicador do estado da rede rodoviária - Estudo de caso Sérvia]	Nebojša Radović, Igor Jokanović, Bojan Matić, Miloš Šešlija	IRI	2016	Avaliação da condição dos pavimentos utilizando o IRI.
Analysis of vehicle vibrations - new approach to rating pavement condition of urban roads [Análise das vibrações dos veículos - nova abordagem para classificar o estado do pavimento das estradas urbanas]	Stjepan Lakušić, Davor Brčić, Višnja Tkalčević Lakušić	-	2011	Medição da vibração medida nos veículos para avaliação da condição do pavimento.

Tabela 5: Resumo dos artigos com valor agregado

(Conclusão)

<b>Título Original [Título Adaptado]</b>	<b>Autores</b>	<b>Índices</b>	<b>Ano</b>	<b>Contribuições</b>
Development and validation of a pavement condition rating procedure for interlocking concrete pavements [Desenvolvimento de um procedimento de avaliação de condição de pavimento para pavimentos de concreto intertravados]	David Hein, P.Eng., Robert Burak, P.Eng	PCI	2007	Definição de uma metodologia para avaliação da condição do pavimento de concreto intertravado.
Analysis of pavement serviceability for the AASHTO design method - The Chilean case [Análise da capacidade de serviço do pavimento para o método de desenho AASHTO - O caso chileno]	Hernán de Solminihaç T, Ricardo Salsilli, Erwin Köhler and Elva Bengoa	IRI	2003	Avaliação da capacidade de serviço de um pavimento através da medição de sua rugosidade.

\*Australiana

Fonte: O autor (2023)

## 4.2 PRÁTICAS E BENEFÍCIOS OBSERVADOS

Foram observadas durante a leitura dos textos algumas tendências ou hábitos dos escritores na lista de trabalhos presente na Tabela 5. Dentre elas, pode-se citar inicialmente a utilização de mais de um índice. Esta multiplicidade de metodologias aplicadas em um mesmo estudo pode ser utilizada de forma a abranger uma solução mais ampla e/ou precisa para um sistema de gerência de pavimentos, como no caso do trabalho de Xiao, Luo e Liu (2022), onde é proposto um modelo de avaliação de desempenho de pavimentos combinando diferentes índices.

Também foi observada a apresentação de comparações diretas entre diferentes índices. Tal modelo é observado em casos como o estudo desenvolvido por Heidari, Najafi e Borges (2022), em que é estabelecida uma comparação entre o PCI e um novo índice proposto pelos próprios autores, o FRPCI, em estradas florestais, além do trabalho de Papageorgiou (2019), em que são comparados diferentes índices de modo a identificar as suas vantagens e deficiências e, finalmente, avaliar o seu grau de eficiência. Enquanto no primeiro caso é afirmado que o FRPCI é mais adequado para utilização em estradas florestais, no segundo artigo é dito que o método Australiano parece ser o mais completo e confiável, não existe uma resposta absoluta para todos os casos.

Arofah e Prahara (2021) apresentam a utilização do aplicativo “*Roadroid*” para avaliação da condição das estradas. O aplicativo utiliza sensores do próprio celular para coletar dados de vibração e aceleração enquanto o veículo se move na estrada. Esses dados são então processados pelo aplicativo para avaliar a qualidade da estrada, incluindo a presença de buracos, ondulações, e outras imperfeições da via. Os autores concluem que o aplicativo pode ser utilizado como base de dados para o planejamento da manutenção de estradas.

Paplauskas e Vaitkus (2020) apresentam um sistema de avaliação baseado na utilização de um scanner a laser 3D. O sistema de avaliação mede a rugosidade e a espessura do pavimento em toda a largura da estrada, usando um scanner a laser montado em um veículo. O scanner a laser emite um feixe de luz que varre a superfície do pavimento, medindo a distância até a superfície em muitos pontos diferentes. Esses pontos são usados para criar uma nuvem de pontos 3D que representa a superfície do pavimento. Em seguida, esses pontos são usados para calcular a rugosidade e a espessura do pavimento. A rugosidade é calculada como a variação da superfície do pavimento em relação a uma superfície de referência. A espessura é calculada medindo a distância entre a superfície do pavimento e a superfície de referência. Essas medidas são então usadas para calcular o índice de condição do pavimento (PCI) para a estrada.

Apesar de não utilizarem nenhum índice específico na avaliação dos pavimentos, Chacra e Zelek (2018) citam as possíveis dificuldades em se realizar um levantamento da condição de uma estrada. Dificuldades estas que podem ser a imprecisão, em casos em que o levantamento deve ser realizado de forma manual, e econômicos, no caso de utilização de equipamentos caros. Em contraproposta, os autores propõem a utilização de um sistema automatizado que se baseia em imagens das ruas da cidade em que foi desenvolvida a pesquisa, além de utiliza um espectro de métodos de visão computacional e métodos de reconhecimento de padrões para gerar as suas avaliações acerca das condições das vias.

Astor *et al.* (2023) apresenta uma metodologia para avaliação da condição do pavimento usando um veículo aéreo não tripulado (VANT), também conhecido como drone. A metodologia consiste em coletar imagens do pavimento usando um VANT equipado com uma câmera de alta resolução. As imagens são processadas em um software especializado que usa algoritmos de detecção de defeitos para identificar e medir a gravidade dos defeitos. A metodologia é validada comparando-se os resultados obtidos com o VANT com os resultados obtidos usando a metodologia convencional de inspeção visual.

Meocci, Branzi e Sangiovanni (2021), desenvolvem um sistema baseado na utilização de uma “caixa preta”. A abordagem proposta envolve a instalação de sensores em um veículo de coleta de dados (um carro, por exemplo), que coletam informações sobre as condições da

estrada enquanto o veículo se move pela superfície da estrada. Esses sensores podem incluir câmeras de vídeo, sensores de vibração, acelerômetros e outros dispositivos. Essas informações são então enviadas para uma unidade de processamento central, que usa algoritmos avançados para analisar os dados e produzir um relatório detalhado sobre as condições da estrada. A ferramenta proposta é avaliada pelos autores como barata, o que é essencial para sua implantação em larga escala, além de permitir que as equipes de monitoramento colem dados com rapidez e precisão, podendo ser facilmente adaptada para diferentes tipos de estradas e condições de superfície.

Setyawan *et al.* (2017) propõe o desenvolvimento de um sistema de avaliação e monitoramento de rodovias baseado em Sistema de Informação Geográfica (GIS). O objetivo é integrar informações espaciais e temporais, tais como as condições da rodovia e a localização geográfica, para permitir uma avaliação mais precisa e eficiente da condição da estrada. O sistema utiliza uma variedade de técnicas, incluindo sensoriamento remoto, coleta de dados em campo e análise de dados espaciais.

Lakušić, Brčić e Lakušić (2011) trabalham com um novo método para avaliar a condição das estradas urbanas usando as vibrações dos veículos como indicador. O método envolve a instalação de sensores de vibração nos veículos que viajam pelas estradas e a análise dos dados coletados para determinar a condição da estrada. O objetivo é criar um sistema de avaliação não invasivo e de baixo custo que possa ser usado para monitorar regularmente as condições das estradas urbanas.

Numa abordagem diferente das anteriormente citadas, Yao *et al.* (2019) utiliza diferentes índices para avaliar a condição de pavimentos em que foram aplicados cinco tratamentos de pavimentação comuns em estradas e rodovias. Neste caso, a utilização do “*Microsurfacing*”, ou micro revestimento, em que é empregada uma camada de asfalto sobre o pavimento, e de tratamentos preventivos, apresentam uma elevada relação custo-benefício, tornando-se soluções eficientes a serem empregadas pelos tomadores de decisão.

### **4.3 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA**

Neste tópico estão apresentados os resultados da última etapa desta pesquisa, onde foi utilizado o software *VOSViewer* para análise bibliométrica. Os resultados encontrados na análise bibliométrica realizada foram detalhados neste tópico para a co-autoria relacionada aos autores e países, co-ocorrência relacionadas às palavras-chave e co-citações relacionadas aos autores.

### 4.3.1 Co-Autoria

Ao analisar a relação de autores e países, observando a questão da co-autoria, nota-se que se trata de uma rede fracamente conectada. Foram identificados 130 itens, porém a grande maioria deles não estava conectada. Os resultados para co-autoria de autores foram separados em 35 clusters, o que representa, para uma base de dados de entrada que contava com 37 trabalhos, um número muito grande. O resultado para co-autoria de países foi dividido em 3 clusters, sendo China, Canadá, Portugal, Alemanha e Irã os países com maior número de trabalhos lançados.

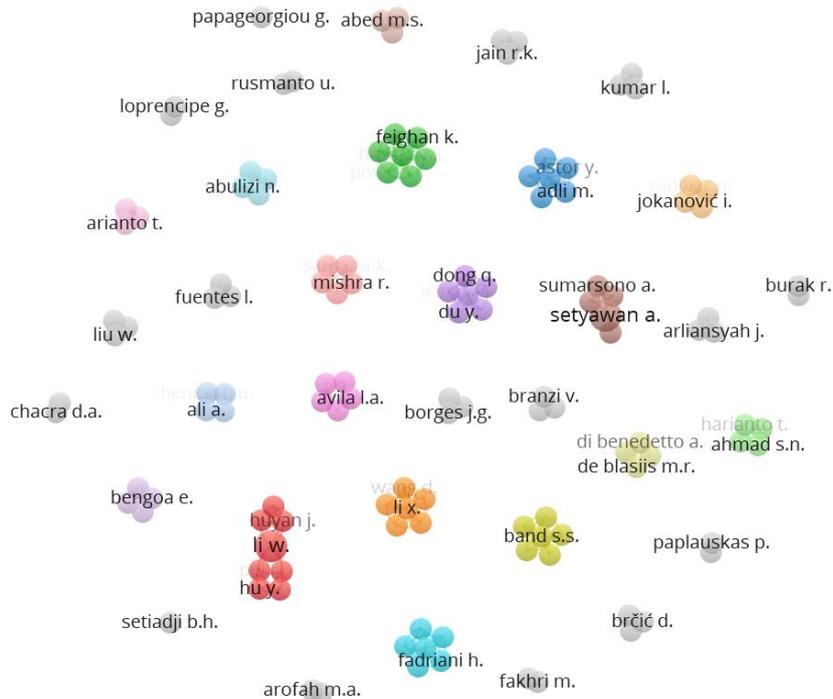
Os resultados se deram, provavelmente, devido à pequena dimensão da amostra. Os mapas para os 2 casos analisados podem ser observados nas Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Mapa de rede baseado em dados bibliográficos de co-autoria de países



Fonte: O autor (2023)

Figura 19 - Mapa de rede baseado em dados bibliográficos de co-autoria de autores



Fonte: O autor (2023)

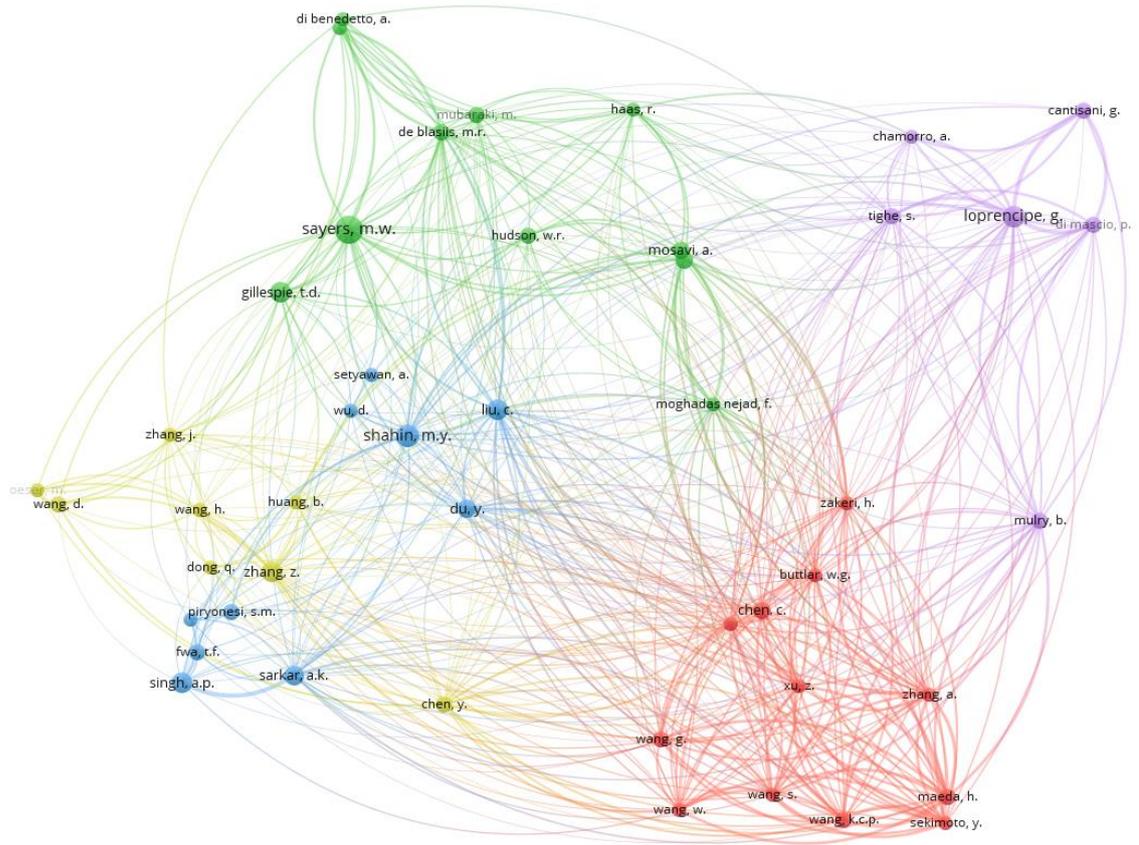
### 4.3.2 Co- Ocorrência de Palavras-Chave

Analisando a relação de palavras-chave para os trabalhos obtidos através da RSL, utilizando a análise de co-ocorrência dos termos. Foram considerados os termos citados ao menos duas vezes. Foi realizada uma análise prévia onde foram substituídos termos semelhantes, que faziam referência ao mesmo assunto, de forma a evitar tendências falsas nos mapas exportados.

Desta forma, foram encontrados 60 itens, separados em 6 clusters, conforme pode ser observado na Figura 20. O cluster 1, exibido em vermelho, é composto por 13 itens e os mais citados são “Índices de Condição de Pavimentos”, “Sistemas de Gerência de Pavimentos”, “Índice de Condição de Pavimento (PCI)” e “Misturas Asfálticas”. O cluster 2, em verde, possui 11 itens e os mais citados são “Sondagens” e “Indexação (trabalho dos materiais)”, “IRI” e “Performance dos pavimentos”. O cluster 3, em azul escuro, possui 10 itens e os mais citados são “Rugosidade da Superfície”, “Estradas e Ruas” e “Índice Internacional de Rugosidade (IRI)”. O cluster 4, em amarelo, possui 10 itens e os mais citados são “Pavimento”, “Condição do Pavimento” e “Desgaste da superfície”. O cluster 5, na cor violeta, possui 9 itens e os mais citados são “Manutenção” e “Análise de Regressão”. O cluster 6, em azul claro, possui 7 itens e os mais citados são “Planejamento rodoviário” e “Condição das Rodovias”. O termo “Pavimento”, presente no cluster 4 é o termo com mais ocorrências na rede, com um total de 23 aparições, seguido pelo termo “Índice Internacional de Rugosidade (IRI)”, com 13 ocorrências.



Figura 21 - Mapa de rede baseado em dados bibliográficos de co-citação de autores



Fonte: O autor (2023)

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver uma análise bibliométrica de forma a identificar quais os principais índices para avaliação da condição de pavimentos utilizados ao redor do mundo e quais as principais inovações aplicadas, que podem ser empregadas no contexto estadual e nacional. Neste sentido, os objetivos propostos foram alcançados.

Através da RSL foram observados e listados 13 índices de avaliação dos pavimentos, dos quais 2 se destacaram majoritariamente em relação aos demais, sendo estes o IRI e o PCI. Já ao desenvolver a análise bibliométrica de co-ocorrência de palavras-chave, foi constatada a presença dos termos “Índice de Condição de Pavimento (PCI)” e “Índice Internacional de Rugosidade (IRI)” entre os termos mais citados, enquanto nenhum dos demais índices foram observados nesta análise. Desta forma, fica evidenciada a sobreposição destes 2 itens na literatura como métricas para se avaliar a condição dos pavimentos.

Ao observar a distribuição do total de publicações com valor agregado ao longo dos anos, percebeu-se que a grande maioria dos trabalhos foram publicados a partir do ano de 2016, o que corrobora para a percepção de que os resultados apresentados são coerentes com a tendência atual de pesquisas.

Ao analisar também a distribuição de pesquisas por fonte de publicação, não foi encontrado um meio de publicação, seja ele um periódico, revista ou congresso, que se destacasse significativamente em relação aos demais. Desta forma, entende-se que a tendência de publicações pode ser compreendida como um fenômeno em caráter mais amplo, visto que a distribuição numérica de publicações não está sendo desbalanceada por uma única fonte.

Os dois métodos observados como sendo os principais no quesito avaliação de pavimentos utilizam dinâmicas distintas para se realizar as avaliações. O PCI se baseia em inspeções visuais onde são registrados dados sobre o estado do pavimento em relação a vários tipos de defeitos, que são utilizadas para se calcular um índice numérico que define a condição das vias. Assim, está sujeito a imprecisões relacionadas às observações subjetivas por parte dos responsáveis.

Enquanto isto, o IRI é expresso em unidades de "metros por quilômetro" (m/km) e representa a quantidade média de desvio vertical da superfície da estrada em relação a uma linha reta. Para isto, são utilizados equipamentos instalados em um veículo que se move sobre a superfície da estrada em uma velocidade constante e medem a elevação da superfície da estrada ao longo de um trecho de comprimento conhecido. O software do equipamento calcula o IRI, que é a média das variações verticais da superfície da estrada por unidade de comprimento. Quanto maior o valor do IRI, maior é a rugosidade da estrada e,

consequentemente, pior é a condição da pavimentação. As possíveis limitações do IRI estão relacionadas à inviabilidade econômica de compra e operação da tecnologia necessária.

Um dos pontos observados na literatura é que mesmo que seja identificado um índice principal para realizar as medições da condição dos pavimentos, não significa que o mesmo possa e deva ser aplicado para todas as situações sem uma análise precisa acerca das condições da via assim como da viabilidade de aplicação da metodologia. Também com base neste raciocínio, foram propostas diferentes soluções que usavam múltiplas métricas de avaliação em conjunto para definição de uma solução mais abrangente, ou utilizam ferramentas externas para desenvolver um produto mais adaptável.

As possíveis ferramentas utilizadas para auxílio da elaboração de uma avaliação da condição dos pavimentos objetivam, em sua maioria, a automatização dos processos. Entre as ferramentas listadas foram sugeridas as utilizações de drones para se realizar o registro das vias, a utilização de aplicativos de celular, sensores ou uma caixa preta para medir as vibrações que o veículo sofria ao percorrer um trajeto em uma estrada e assim medir a sua condição. Juntamente a isto, destacam-se a utilização de ferramentas baseadas em um Sistema de Informação Geográfica (GIS) para fornecer um panorama atualizado de forma constante, além da utilização de um sistema automatizado que se baseia em imagens e um terceiro método, baseado na visão computacional e métodos de reconhecimento de padrões para gerar as suas avaliações.

Para que seja definido um padrão de avaliação dos pavimentos a solução deve estar calcada num tripé composto por baixo custo, capacidade de aplicação de forma ágil e facilidade de aplicação em diferentes contextos físicos e geográficos. Assim, é essencial que, para sua implantação em larga escala, além de permitir que as equipes de monitoramento colem dados com rapidez e precisão em diferentes contextos, vide a pluralidade de características das vias nacionais, a solução possa ser facilmente adaptável para diferentes tipos de estradas e condições de superfície.

Por fim, conclui-se que existe uma distribuição mais acentuada de pesquisas científicas relacionadas a 2 índices específicos, o IRI e o PCI, o que fornece um direcionamento do que é mais empregado em avaliações de pavimentos ao redor do mundo atualmente. Porém, observa-se a constante tendência e necessidade de utilização de ferramentas automatizadas que busquem apresentar resultados de forma mais precisa e ágil para os tomadores de decisão de um SGP. Assim, é imprescindível que seja investido na aplicação e, principalmente, no desenvolvimento de novas tecnologias, de forma que problemas no sistema rodoviário sejam identificados de

forma assertiva, reduzindo assim custos com soluções para danos mais graves nos pavimentos, medições à longo prazo e possíveis danos aos usuários das estradas.

**REFERÊNCIAS**

ABOU CHACRA, D.; ZELEK, J. **Municipal infrastructure anomaly and defect detection**. EUROPEAN SIGNAL PROCESSING CONFERENCE, v. 26, p. 2125-2129, 2018

ABRAMS, S. **The Unseen History of Our Roads**. Road & Track, 2015. Disponível em: <https://www.roadandtrack.com/car-culture/a4447/the-road-ahead-road-evolution/>. Acesso em: 19 fev. 2023.

ABULIZI, N.; KAWAMURA, A.; TOMIYAMA, K.; FUJITA, S. **Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS**. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), [s.l.], v. 3, n. 5, p. 398-411, 2016.

AHMAD, S. N.; HARIANTO, T.; SAMANG, L.; HUSTIM, M. **Level vulnerability damage of pavement using Pavement Condition Index method**. MATEC Web of Conferences, [S.l.], v. 181, n. 11003, 2018.

ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de Gerência de Pavimento para Departamento de Estradas do Nordeste Brasileiro**. 2007. 303 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ALI, Abdualmtalab; HENEASH, Usama; HUSSEIN, Amgad; ESKEBI, Mohamed. **Predicting Pavement Condition Index Using Fuzzy Logic Technique**. Infrastructures, [s.l.], v. 7, n. 7, p. 91, 2022.

ALVARADO, R. U. **A bibliometria no Brasil**. Ciência da Informação, v. 13, n. 2, p. 91-105, 1984.

ARAÚJO, C. A. A. **Bibliometria: evolução histórica e questões atuais**. Em Questão, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.

ARIANTO, T.; SUPRAPTO, M.; SYAFI'I. **Pavement Condition Assessment Using IRI from Roadroid and Surface Distress Index Method on National Road in Sumenep Regency**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, [s.l.], v. 333, n. 1, p. 012091, 2018.

AROFAH, M. A.; PRAHARA, E. **Evaluate the accuracy of vehicle type on road surface condition survey using roadroid application**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 729, n. 1, p. 012039, 2021.

ASTOR, Yackob; NABESHIMA, Yasuyuki; UTAMI, Retno; SIHOMBING, Atmy Verani Rouly; ADLI, Muhammad; FIRDAUS, Muhammad Rizki. **Unmanned aerial vehicle implementation for pavement condition survey**. Transportation Engineering, [S.l.], v. 12, art. no. 100168, 2023.

AVILA, L. A.; ESENARRO, D.; RODRIGUEZ, C.; PAREDES, P.; METZGER, L. **Application of pavement index for the evaluation of the running surface of the Lima-Peru roads**. Journal of Green Engineering, [S.l.], v. 10, n. 10, p. 8129-8141, 2020.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2ª ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022.

BIANCHI, F. R. **Estudo Comparativo Entre Pavimento Rígido e Flexível**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste, São Paulo.

BIROLI, F. C. **Comparação dos custos de pavimentos flexíveis e rígidos com base em conceitos de gerência de pavimentos**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BORGES, C. M. **Avaliação de Pavimento Asfáltico nas Ruas Utilizando os Métodos Índice de Gravidade Global (IGG) e o Pavement Condition Index (PCI)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, 2021.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Gerência de Pavimentos**. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Norma DNIT 008/2009 - PRO**. Rio de Janeiro, 2009.

BROADUS, R. N. **Toward a definition of “bibliometrics”**. *Scientometrics*, v. 12, p. 373-379, 1987.

CANDIDO, R. L.; SANTOS, V. E. S.; TAVARES, F. B. R. **O impacto econômico da greve dos caminhoneiros: uma análise jurídica, fática e econômica dos acontecimentos**. *Research, Society and Development*, Itajubá, v. 8, n. 1, 2019. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560662192046>. Acesso em: 30 jan. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias - 2021**. Brasília: CNT, 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Revista CNT NOV-DEZ/2022 – Situação crítica**. Disponível em: < <https://www.cnt.org.br/revista-cnt> >. Acesso em: 23 fev. 2023.

DE BLASIIS, M. R.; DI BENEDETTO, A.; FIANI, M.; GAROZZO, M. **Assessing of the road pavement roughness by means of lidar technology**. *Coatings*, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 1-19, 2021.

DE SOLMINIHAC T. H.; SALSILLI, R.; KÖHLER, E.; BENGEOA, E. **Analysis of pavement serviceability for the AASHTO design method: The Chilean case**. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v. 28, n. 2 B, p. 143-160, 2003.

DRESCH, F. **Gerência de pavimentos urbanos: utilização de levantamento visual contínuo para avaliação das vias principais pavimentadas de Santa Rosa/RS**. Orientador: José Antônio Santana Echeverria. 2014. 96 f. Monografia (Graduação) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí/RS, 2014.

FAKHRI, M.; DEZFOULIAN, R. S. **Pavement structural evaluation based on roughness and surface distress survey using neural network model**. Construction and Building Materials, [s.l.], v. 204, p. 768-780, 2019.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. (2019) Revisão Sistemática da Literatura: conceituação, produção e publicação. Logeion: Filosofia da Informação, v. 6, n. 1, p. 57-73. DOI: 10.5752/P.2318-078X.2019v6n1p57-73.

GENDREAU, M.; SORIANO, P. **Airport pavement management systems: an appraisal of existing methodologies**. Transportation Research Part A: Policy and Practice, v. 32, n. 3, p. 197-214, 1998.

GOENAGA, B.; FUENTES, L.; MORA, O. **Evaluation of the methodologies used to generate random pavement profiles based on the power spectral density: An approach based on the international roughness index**. Ingenieria e Investigacion, [s.l.], v. 37, n. 1, p. 49-57, 2017.

GONÇALVES, F. J. P. **O diagnóstico e a manutenção dos pavimentos**. Notas de aula. Passo Fundo, RS: outubro 1999. Disponível em <https://docplayer.com.br/5377273-O-diagnostico-e-a-manutencao-dos-pavimentos-notas-de-aula-prof-fernando-pugliero-goncalves.html>. Acesso em 25 fev. 2022.

HAAS. R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Krieger Publishing Company. Malamar, Florida 1994.

HANSEN, A. **Aplicação de SIG em Sistema de Gerência de Pavimentos para a cidade de Maringá**. Orientador: José Kiyinha Yshiba. 2008. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

HEIDARI, Mohammad Javad; NAJAFI, Akbar; BORGES, Jose G. **Introducing New Index in Forest Roads Pavement Management System**. *Forests*, [S.l.], v. 13, n. 10, art. no. 1674, 2022.

HEIN, D.; BURAK, R. **Development and validation of a pavement condition rating procedure for interlocking concrete pavements**. *Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering*, v. 4, p. 2556-2566, 2008.

HU, Y., SUN, Z., PEI, L., LI, W., & LI, Y. **Evaluation of pavement surface roughness performance under multi-features conditions based on optimized random forest**. In *Proceedings - 2021 9th International Conference on Advanced Cloud and Big Data, CBD 2021* (pp. 133-138).

JONI, H. H.; HILAL, M. M.; ABED, M. S. **Developing International Roughness Index (IRI) Model from visible pavement distresses**. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 737, n. 1, p. 012119, 2020.

KARBALLAEZADEH, N.; MOHAMMADZADEH S., D.; MOAZEMI, D.; BAND, S. S.; MOSAVI, A.; REUTER, U. **Smart structural health monitoring of flexible pavements using machine learning methods**. *Coatings*, v. 10, n. 11, p. 1-18, 2020.

KATZ, Elvis Patrik. **Memória e história oral: elementos para a história dos transportes rodoviários no Brasil**. *Revista Em Perspectiva, Fortaleza, CE*, v. 1, n. 1, p. 191-207, 2015.

KUMAR, Lohith; TALLAM, Teja; KUMAR, Naveen. **Assessment of Ride Quality and Road Roughness by Measuring the Response from a Vehicle Mounted Android Smartphone**. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, [S.l.], v. 982, n. 1, p. 012062, 2022.

LAKUŠIĆ, S., BRČIĆ, D., & TKALČEVIĆ LAKUŠIĆ, V. **Analysis of vehicle vibrations - new approach to rating pavement condition of urban roads**. *Promet - Traffic - Traffico*, 23(6), 485-494, 2011.

LOPRENCIPE, G.; PANTUSO, A. **A specified procedure for distress identification and assessment for urban road surfaces based on PCI**. *Coatings*, v. 7, n. 5, p. 65, 2017.

MAHARDIKA, A. G.; HERAWATI; RACHMAN, T.; NURYONO, B.; FADRIANI, H.; HIDAYAT, I.; RAMADY, G. D. **Road Handling Using International Roughness Index and Surface Distress Index Method**. Journal of Physics: Conference Series, v. 1933, n. 1, art. no. 012087, 2021.

MEOCCI, M.; BRANZI, V.; SANGIOVANNI, A. **An innovative approach for high-performance road pavement monitoring using black box**. Journal of Civil Structural Health Monitoring, v. 11, n. 2, p. 485-506, 2021.

MERIGÓ, J. M. **Academic research in innovation: A country analysis**. Scientometrics, v. 108, p. 559-593, 2016.

MOREIRA, P.; GUIMARÃES, A.; TSUNODA, D. **Qual ferramenta bibliométrica escolher? Um estudo comparativo entre softwares**. P2P & Inovação, v. 6, p. 140-158, 2020.

MORGAN, G.; SMIRCICH, L. **The case for qualitative research**. Academy of Management Review, v. 5, p. 491-500, 1980.

NAZARES, E. R., & CORRÊA, N. L. S. (2021). **Transporte Rodoviário de Cargas - História, Panorama Atual e Perspectivas do Setor, Sob a Ótica de um Profissional do Setor e Aluno do Curso de Logística**. Edição do Autor.

NUNES, D. F. **Procedimento para análise de sensibilidade do programa HDM-4**. Orientador: José Leomar Fernandes Jr. 2012. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012

OLIVEIRA, J. J. **Experiência de Implantação de Sistema de Gerência de Pavimentos em Cidade de Médio Porte - Estudo de caso: Anápolis-GO**. 2013. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

OKOLI, C. **Guia Para Realizar uma Revisão Sistemática de Literatura**. EaD em Foco, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, abr. 2019.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOHER, D. **The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews.** PLoS Medicine, v. 18, n. 3, p. e1003583, mar. 2021. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1003583>. Acesso em: 1 abr. 2023.

PAPAGEORGIU, G. **Appraisal of road pavement evaluation methods.** Journal of Engineering Science and Technology Review, v. 12, n. 6, p. 158-166, 2019.

PAPLAUSKAS, P.; VAITKUS, A. **Evaluation of the main roads network pavement condition index with a 3D laser scanner system.** Transport Means - Proceedings of the International Conference, p. 475-480, 2020.

PRISMA. **Site do PRISMA**, 2023. History & Development of PRISMA. Disponível em: <<http://www.prisma-statement.org/PRISMAStatement/HistoryAndDevelopment>>. Acesso em 2 abr. 2023.

QURESHI, Waqar S.; HASSAN, Syed Ibrahim; MCKEEVER, Susan; POWER, David; MULRY, Brian; FEIGHAN, Kieran; O'SULLIVAN, Dymna. **An Exploration of Recent Intelligent Image Analysis Techniques for Visual Pavement Surface Condition Assessment.** Sensors, [S.l.], v. 22, n. 22, art. no. 9019, 2022.

RADOVIĆ, N.; JOKANOVIĆ, I.; MATIĆ, B.; ŠEŠLIJA, M. **A measurement of roughness as indicator of road network condition - Case study.** Tehnicki Vjesnik, v. 23, n. 3, p. 881-884, 2016.

ROSADA, A.; ARLIANSYAH, J.; BUCHARI, E. **Evaluation Pavement Deteriorating Condition on Surface Distress Index (SDI) Data Using Radial Basis Function Neural Networks (RBFNN).** Journal of Physics: Conference Series, [s.l.], v. 1198, n. 3, p. 032008, 2019.

RUSMANTO, U.; SYAFTI; HANDAYANI, D. **Structural and functional prediction of pavement condition (A case study on south arterial road, Yogyakarta)**. AIP Conference Proceedings, [s.l.], v. 1977, n. 1, p. 040014, 2018.

SANTOS, R. N. M.; KOBASHI, N. Y.; BRESSIANI, J. C.; IGAMI, M. P. Z. **Análise cienciométrica de produção científica por meio de dissertações e teses: uma experiência brasileira**. In: VII Congresso Iberoamericano de Indicadores de Ciência e Tecnologia, 2007, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: RICYT, 2007.

SANTOS, Sílvio dos. **Transporte Ferroviário: história e técnicas**. 2. ed. Florianópolis, SC: Ed. do Autor, 2021.

SETIADJI, B. H. **Proposed SDI equations to improve the effectiveness in evaluating crack damage on the road pavement**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, [S.l.], v. 650, n. 1, p. 012007, 2019.

SETYAWAN, A.; AL ALIMI, M. F.; HANDAYANI, D.; SUMARSONO, A. **The Design of Road Evaluation and Monitoring System based on Geographical Information System**. MATEC Web of Conferences, [s.l.], v. 138, p. 07010, 2017.

SHOJI, E. S. **Desenvolvimento de um programa de sistema de gerência de pavimentos urbanos para cidades brasileiras de médio porte**. Orientador: José Leomar Fernandes Júnior. 2000. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SILVA, C. P. **Desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos aplicado ao campus I da Universidade Federal da Paraíba**. Orientador: Dr Ricardo Almeida de Melo. 2018. 86 f. Monografia (Graduação) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SILVA, M. R.; HAYASHI, C. R. M.; HAYASHI, M. C. P. I. **Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo**. Revista de Ciência da Informação e Documentação, Ribeirão Preto, v. 2, n. 1, p. 110-129, 2011.

SINGH, A. P.; SHARMA, A.; MISHRA, R.; WAGLE, M.; SARKAR, A. K. **Pavement condition assessment using soft computing techniques**. International Journal of Pavement Research and Technology, [S.l.], v. 11, n. 6, p. 564-581, 2018.

SURYOTO; SISWOYO, D. P.; SETYAWAN, A. **The Evaluation of Functional Performance of National Roadway using Three Types of Pavement Assessments Methods**. Procedia Engineering, [s.l.], v. 171, p. 1435-1442, 2017.

THE GLOBAL ECONOMY. **Roads quality - Country rankings**. Disponível em: [https://www.theglobaleconomy.com/rankings/roads\\_quality/](https://www.theglobaleconomy.com/rankings/roads_quality/). Acesso em: 15 fev. 2023.

van ECK, N. J.; WALTMAN, L. **Manual for VOSviewer version 1 .6.17**. Leiden University, 2021.

VANTI, N. A. P. **Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento**. Ciência da Informação, Brasília, v. 31, n. 2, p. 152-162, 2002.

VIEIRA, S. A.; PINHO JÚNIOR, A. A. E.; OLIVEIRA, F. H. L.; AGUIAR, M. F. P. **Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos através do IGG e PCI**. Conexões Ciência e Tecnologia, v. 10, n. 3, p. 20-30, 2016.

WADALKAR, S.; LAD, R. K.; JAIN, R. K. **Performance assessment of flexible pavements: Fuzzy evidence theory approach**. Civil Engineering Journal (Iran), v. 6, n. 8, p. 1492-1502, 2020.

XIAO, Manzhe; LUO, Rong; LIU, Wenchao. **Comprehensive performance ranking and impact analysis using the best approximation matter-element model and combined weights**. Construction and Building Materials, [S.l.], v. 364, art. no. 129917, 2023.

YAO, L.; DONG, Q., Ph.D.; NI, F.; JIANG, J.; LU, X.; DU, Y. **Effectiveness and Cost-Effectiveness Evaluation of Pavement Treatments Using Life-Cycle Cost Analysis**. Journal of Transportation Engineering Part B: Pavements, v. 145, n. 2, art. no. 4019006, 2019.

ZHANG, J.; WANG, M.; WANG, D.; LI, X.; SONG, B.; LIU, P. **Feasibility study on measurement of a physiological index value with an electrocardiogram tester to evaluate the pavement evenness and driving comfort.** Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, [S.l.], v. 117, p. 1-7, 2018.

ZHAO, G.; HUYAN, J.; TIGHE, S.; LI, W. **Implementing unsupervised machine learning to gain a better understanding of the asphalt pavement conditions of Ontario provincial highways.** Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering, 2019.