

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIDADES INTELIGENTES E
SUSTENTÁVEIS**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL,
ASSOCIADA A DISPOSITIVOS DE COLETA DE IMAGENS, COMO
FERRAMENTAS PARA A DETECÇÃO DE PATOLOGIAS EM VIAS
PÚBLICAS**

FÁBIO BACELAR MELLO

**São Paulo
2024**

FÁBIO BACELAR MELLO

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL,
ASSOCIADA A DISPOSITIVOS DE COLETA DE IMAGENS, COMO
FERRAMENTAS PARA A DETECÇÃO DE PATOLOGIAS EM VIAS
PÚBLICAS**

**ANALYSE OF THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE,
ASSOCIATED WITH IMAGE COLLECTION DEVICES, AS TOOLS
FOR THE DETECTION OF DISEASES IN PUBLIC ROADS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis**

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ FERNANDO RODRIGUES PINTO

**São Paulo
2024**

Mello, Fábio Bacelar.

Análise da aplicação da inteligência artificial, associada a dispositivos de coleta de imagens, como ferramentas para a detecção de patologias em vias públicas. / Fábio Bacelar Mello. 2024.

109 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2024.

Orientador (a): Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto.

1. *Smart Cities*. 2. Mobilidade urbana. 3. Inteligência artificial. 4. Pavimentação. 5. Detecção de patologias.

I. Rodrigues Pinto, Luiz Fernando.

II. Título.

CDU 711.4

Dedico este trabalho à minha família, que sempre participou ativamente deste trabalho, me incentivando e orando ao Senhor Deus, pedindo a Ele que me concedesse sabedoria, longanimidade e determinação. Sem vocês eu nunca teria chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao Senhor Deus todo poderoso, inicialmente por conceder-me sabedoria e longanimidade ao longo de 3 anos para buscar por uma bolsa de estudos do curso de mestrado e, posteriormente, por conceder-me resiliência e determinação para superar as dificuldades e seguir em frente rumo à caminhada em direção a esta conquista.

A toda a minha família, pelas orações, incentivo e compreensão ao longo da minha jornada para a concretização de um sonho. Eu amo vocês.

Ao meu orientador, mentor e amigo, Prof. Dr Luiz Fernando Rodrigues Pinto, por literalmente transformar e tornar realidade a minha dissertação, além de acreditar no meu projeto, dedicando seu tempo para dirimir minhas inconsistências. Meus sinceros agradecimentos pela sua parceria.

Aos senhores professores integrantes da banca examinadora, Prof^a. Dra. Jaqueline Silva da Rosa, professora da Universidade Federal de Roraima, e Prof. Dr. Cristiano Capellani Quaresma, professor da UNINOVE, que, com suas perfeitas sugestões de melhoria, foram fundamentais para o refinamento da dissertação, permitindo assim que fosse concluída com êxito. Aos senhores meus eternos agradecimentos.

Ao meu Comandante de Organização Militar e amigo, senhor Flavio Caúla Américo dos Reis, Coronel do Exército, Comandante do 1º Batalhão Logístico de Selva e doutor em Ciências Militares, por subsidiar-me ao longo do curso concedendo autorização para ausentar-me do país a fim de participar do módulo internacional do curso na cidade de *Medellín*, na República da Colômbia, por incentivar-me frequentemente ao longo do curso e por viabilizar o *networking* necessário na busca por especialistas para participarem do questionário do mestrado. Não somente eu, mas também minha família, somos eternamente gratos por seu apoio.

A UNINOVE, pela oportunidade concedida quando da concessão da bolsa de estudos, por disponibilizar toda a estrutura necessária ao longo do curso, bem como aos professores e colegas aos quais tive a oportunidade de aprender.

A *Universidad de Medellín*, na República da Colômbia, pela ótima recepção e pelas excelentes aulas ministradas durante a realização do módulo internacional, agregando sobremaneira conhecimentos importantes no contexto de cidades inteligentes e sustentáveis.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES – pela concessão da bolsa de estudos, viabilizando assim a realização do curso.

“E não vou conformeis com este século, mas transformai-vos pela renovação da vossa mente, para que experimenteis qual seja a boa, agradável e perfeita vontade de Deus.”

FÁBIO BACELAR MELLO

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL,
ASSOCIADA A DISPOSITIVOS DE COLETA DE IMAGENS, COMO
FERRAMENTAS PARA A DETECÇÃO DE PATOLOGIAS EM VIAS
PÚBLICAS**

Dissertação apresentada ao
Programa da Pós-Graduação em
Cidades Inteligentes e Sustentáveis
da Universidade Nove de Julho –
UNINOVE, como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre
em Cidades Inteligentes e
Sustentáveis, sendo examinado por
banca formanda por:

PRESIDENTE: PROF. DR LUIZ FERNANDO RODRIGUES PINTO
ORIENTADOR, UNINOVE

Membro: PROF. DR CRISTIANO CAPELLANI QUARESMA
PROFESSOR, UNINOVE

Membro: PROF^a. DR^a JAQUELINE SILVA DA ROSA
PROFESSORA, UFRR

São Paulo-SP, 8 de agosto de 2024.

RESUMO

Visando analisar uma possível inovação do processo de inspeção de vias públicas, o presente trabalho tem como objetivo central investigar a admissibilidade de aplicação dos dispositivos de detecção de imagens, associados às tecnologias da Inteligência Artificial, no trabalho de inspeção de pavimentação, a fim de aumentar a eficiência dos trabalhos, ao mesmo tempo que representaria uma possível oportunidade de melhoria nos trabalhos dos técnicos envolvidos e na qualidade de vida dos usuários. As *smart cities* vem ganhando atenção nos últimos anos por conta do aumento da urbanização global. O conceito tem sido um dos principais norteadores em projetos urbanos e novos modelos de gestão pública. As cidades dependem de inovações arquitetônicas, urbanísticas e tecnológicas para se adaptarem às demandas por um mundo mais sustentável e à expectativa de que se tornem mais humanas. Nesse sentido, a mobilidade é um ponto crucial nos projetos que envolve as *smart cities*, pois o conceito se refere à interação entre a infraestrutura urbana e as pessoas para impulsionar simultaneamente o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. Para alcançar o objetivo proposto, a metodologia empregada, inicialmente, foi uma pesquisa nas bases de dados com vistas à obtenção de material necessário à elaboração do referencial teórico, direcionando a procura por materiais científicos relacionados a temas como mobilidade urbana, *smart cities*, pavimentação, vias públicas, tecnologias da indústria 4.0, inteligência artificial, dentre outros. Posteriormente, foi realizada uma pesquisa de cunho qualitativo, direcionada a especialistas das áreas de engenharia civil e ciências da computação, a fim de obter dados importantes acerca das áreas de manutenção de pavimentação e inteligência artificial, para confrontá-los com os dados elucidados no referencial teórico. Com base nos dados obtidos, os resultados denotam evidências apontam para uma possível admissibilidade da associação da tecnologia da inteligência artificial aos dispositivos de coleta de imagem, no trabalho de identificação de patologias das vias públicas. As contribuições obtidas no trabalho representam oportunidades para estudos de viabilidade técnica para a investigação da implantação da tecnologia no trabalho da engenharia de tráfego, voltado para a inovação do processo de identificação de patologias nas vias públicas, com vistas ao mapeamento de danos na infraestrutura dessas vias.

Palavras-chaves: *Smart Cities*; mobilidade urbana; inteligência artificial; pavimentação; detecção de patologias.

ABSTRACT

Aiming to analyze a possible innovation of the process of inspection of public roads, this work has as its central objective to investigate the admissibility of application of image detection devices, associated with in the work of pavement inspection, in order to increase the efficiency of the works, while representing a possible opportunity for improvement in the work of the technicians involved and in the quality of life of users. Smart cities have been gaining attention in recent years due to the increase in global urbanization. The concept has been one of the main guides in urban projects and new models of public management. Cities depend on architectural, urban and technological innovations to adapt to the demands for a more sustainable world and the expectation that they become more human. In this sense, mobility is a crucial point in projects involving smart cities, because the concept refers to the interaction between urban infrastructure and people to simultaneously boost economic development and quality of life. To achieve the proposed objective, the methodology used initially was a search in databases with a view to obtaining material necessary for the elaboration of the theoretical reference, directing the search for scientific materials related to themes such as urban mobility, smart cities, paving, public roads, Industry 4.0 technologies, artificial intelligence, among others. Subsequently, a qualitative research was conducted, directed to specialists in the areas of civil engineering and computer sciences, in order to obtain important data about the areas of pavement maintenance and artificial intelligence, to confront them with the data elucidated in the theoretical framework. Based on the data obtained, the results indicate evidence points to a possible admissibility of the association of artificial intelligence technology to imaging devices in the work of identifying pathologies of public roads. The contributions obtained in the work represent opportunities for technical feasibility studies to investigate the implementation of technology in the work of traffic engineering, aimed at innovation of the process of identification of pathologies on public roads, with a view to the damage mapping in the infrastructure of these roads.

Keywords: Smart Cities; urban mobility; artificial intelligence; paving; pathology detection.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Contextualização	15
1.2 Problema da pesquisa	17
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Geral	19
1.3.2 Específicos.....	20
1.4 Justificativa.....	20
1.5 Delimitação da pesquisa	22
1.6 Estrutura do trabalho	23
2 REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1 Cidades Inteligentes e Sustentáveis - conceitos e considerações	25
2.2 Pavimentação e desenvolvimento	29
2.2.1 A degradação da pavimentação	31
2.2.2 Metodologias de inspeção das vias públicas	34
2.3 O uso da tecnologia da inteligência artificial para a análise de imagens	36
2.3.1 Aprendizado de máquina	37
2.3.2 Visão Computacional de Aprendizado Profundo	40
2.3.3 Redes Neurais	41
2.4 Emprego de tecnologias no trabalho de inspeção da pavimentação	43
3 MÉTODO DE PESQUISA	49
3.1 Metodologia	49
3.2 Classificação da pesquisa	50
3.3 Delimitação do público-alvo	51
3.4 Técnicas de coleta de dados	52
3.5 Técnicas de análise de dados	57

4 RESULTADOS	61
4.1 Procedimentos de análise e interpretação de dados	63
4.1.1 Pavimentação	63
4.1.2 Inteligência Artificial	69
4.2 Correlação com os objetivos específicos	75
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	80
5.1 Associação entre a manutenção da pavimentação das vias públicas e a segurança viária	80
5.2 Patologias nas vias públicas, tecnologia e o capital humano	83
5.3 A inteligência artificial e a possibilidade de inovação do processo de inspeção	87
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
REFERÊNCIAS	96
APÊNDICE 1 – ROTEIRO DO QUESTIONÁRIO COM PERGUNTAS GERAIS, DIRECIONADAS AOS PROFISSIONAIS DAS ÁREAS RELACIONADAS AOS OBJETIVOS DO TRABALHO	101
APÊNDICE 2 – ROTEIRO DO QUESTIONÁRIO COM PERGUNTAS ESPECÍFICAS, DIRECIONADAS AOS PROFISSIONAIS DE ENGENHARIA CIVIL, DO RAMO DE PAVIMENTAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS	103
APÊNDICE 3 - ROTEIRO DO QUESTIONÁRIO COM PERGUNTAS ESPECÍFICAS, DIRECIONADAS AOS PROFISSIONAIS DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO, DO RAMO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes que influenciam na segurança de um sistema rodoviário	30
Figura 2 - Mapa das condições das rodovias federais da região Sudeste, Sul e Nordeste	30
Figura 3 - Exemplo de anomalias em vias públicas, como rachaduras e buracos	33
Figura 4 - Exemplo de trincas longitudinais em pavimento	33
Figura 5 - Domínios de AI, ML, DL e algoritmos	36
Figura 6 - Pipeline de visão computacional	37
Figura 7 - Inteligência Artificial e seus subconjuntos	38
Figura 8 - Categorização do aprendizado de máquina	38
Figura 9 - Desenvolvimento do algoritmo de aprendizado supervisionado de máquina	39
Figura 10 - Exemplo de uma arquitetura típica de Rede Neural Convolucional	42
Figura 11 - Análise de imagens de fissura em estrutura com o emprego de algoritmo de rede neural convolucional	43
Figura 12 - Representação visual do sistema de Realidade Mista, alimentado por Inteligência Artificial	44
Figura 13 - Exemplo de robô utilizando sensor LIDAR para detecção de anomalias	45
Figura 14 - Imagens de duas patologias detectadas com câmeras instaladas em robôs	45
Figura 15 - Imagens de um veículo aéreo não tripulados com câmeras instaladas	46
Figura 16 - Exemplo de imagem detectada por infravermelho	47
Figura 17 - Representação de formações de buracos no asfalto camadas de profundidade d1 e d2	47
Figura 18 - Abordagem empírica para detecção de buracos por imagens 2D	48
Figura 19 – Revisão Sistemática da Literatura	49
Figura 20 - Codificação dos dados obtidos nas entrevistas com profissionais de engenharia civil	63
Figura 21 - Gráfico com os dados relativos à contribuição da manutenção da via pública para a segurança viária	64
Figura 22 - Gráfico com os dados relativos à durabilidade da infraestrutura de uma via pública	65
Figura 23 - Gráfico com os dados relativos fatores que contribuem para a deterioração do asfalto	65
Figura 24 - Gráfico com os dados relativos à periodicidade da inspeção da pavimentação ...	66

Figura 25 - Gráfico com os dados relativos aos métodos da inspeção da pavimentação	66
Figura 26 - Gráficos com os dados relativos ao tempo médio de duração de trabalho de inspeção e quantidade de profissionais para o desempenho do trabalho	67
Figura 27 - Questão relativo ao emprego de novas tecnologias no trabalho de inspeção de vias públicas	67
Figura 28 - Codificação dos dados do ramo de inteligência artificial	69
Figura 29 - Gráfico com os dados acerca do emprego inteligência artificial em trabalhos de identificação de falhas em estruturas	70
Figura 30 - Gráfico dos dados acerca do emprego da inteligência artificial no reconhecimento de imagens	71
Figura 31 - Gráfico dos dados acerca da precisão da inteligência artificial no reconhecimento de imagens	72
Figura 32 - Gráfico dos dados acerca da funcionalidade da inteligência artificial no trabalho de identificação de patologias na pavimentação imagens e subcampos mais indicados	72
Figura 33 – Gráfico dos dados acerca da possibilidade da inteligência artificial no trabalho de classificação de patologias da pavimentação e possibilidade de medir extensão dos danos	74

Lista de Tabelas

Tabela 1 Quadro demonstrativo das categorias de dados	55
Tabela 2 Resumo das respostas do questionário da área de engenharia civil e ciências da computação	57
Tabela 3 Relação codificada dos especialistas do ramo de inteligência artificial	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O investimento em modernização da infraestrutura das cidades, visando a aumentar a qualidade de vida dos cidadãos, tem sido uma necessidade recorrente ao longo dos anos, visto que o crescimento populacional, o desenvolvimento econômico e a rápida urbanização levaram ao aumento da exposição e vulnerabilidade dos sistemas estruturais e de infraestrutura aos perigos (Wang et al., 2022). Nesse aspecto, um novo conceito de cidade vem aumentando significativamente em diversas partes do mundo, tanto em relação à infraestrutura, quanto em relação à sustentabilidade e os benefícios cobrem quase todas as funções e domínios das cidades, sejam aspectos sociais, econômicos e ambientais, ou desenvolvimentos físicos, institucionais e orientados para o cidadão (Li e Xuan, 2017).

Menos sacrificante, considerações acerca do conceito de cidades inteligentes, a inovação tecnológica se insere nas estratégias de desenvolvimento principalmente porque, com o progresso da economia social e da ciência e tecnologia, o processo de urbanização continua a se aprofundar e o progresso da indústria da construção muda constantemente, algo que representa uma oportunidade de melhoria significativa rumo ao desenvolvimento sócio-econômico (Li e Xuan, 2017).

Sob o ponto de vista tecnológico, cidade inteligente é uma forma avançada de informatização de uma cidade que utiliza novas tecnologias de informação baseadas na sociedade do conhecimento em todas as esferas da vida, onde são voltadas para a empresa social e a plataforma de serviço público, representando assim um novo conceito e modo de planejamento urbano, construção, gerenciamento e serviço (Li e Xuan, 2017). Segundo Shahat et al. (2021), uma cidade inteligente pode ser identificada a partir do ponto de vista composto por um prisma formado pelos seguintes componentes: tecnológico, humano e institucional, onde os principais domínios podem ser vistos como transporte, meio ambiente, energia, saúde, segurança e educação.

Em relação à melhoria da eficiência do planejamento urbano, as oportunidades que a inovação tecnológica pode proporcionar às infraestruturas urbanas são inúmeras, pois a infraestrutura básica de informações possui uma fonte de dados vastas, incluindo sensores, câmeras, comunicações móveis, informações de rede, sensoriamento remoto etc (Li e Xuan, 2017).

No que tange à manutenção da infraestrutura urbana, a integridade das estruturas físicas tornou-se uma grande preocupação e como avaliar com eficiência e precisão da sua integridade estrutural é importante no desenvolvimento de planos de manutenção (Osman et al., 2022). E

dentro dessas estruturas urbanas inclui-se as vias urbanas, as quais, devido ao crescimento populacional, conseqüentemente tem gerado aumento do tráfego de veículos, impactando em sua infraestrutura uma vez que gera anomalias nas vias e estradas como trincas, buracos, rachadura, dentre outros.

O trabalho de manutenção de infraestruturas danificadas envolve muitas vezes a inspeção visual e avaliação do seu estado para garantir a sua integridade (Guzmán-Torres, 2023). No entanto, por exemplo, a detecção de anomalias em vias públicas é uma tarefa muito trabalhosa se realizada por meio de inspeção visual manual, visto que os elementos de infraestrutura precisam ser verificados regularmente e, portanto, não é viável, pois exigirá recursos humanos significativos, ao mesmo tempo que se trata de um trabalho tedioso e fatigante, podendo impactar na saúde dos engenheiros e técnicos, assim como resultar em casos em que as anomalias não são detectadas (Cubero-Fernandez et al., 2017).

Sob o aspecto tecnológico, segundo Ibrahim, Haworth e Cheng (2021), embora o contexto acerca das cidades seja um tema complexo por sua natureza, a visão computacional mostra progresso na abordagem a partir de uma variedade de tarefas visuais físicas e não físicas complexas, uma vez que suas aplicações representam um potencial promissor na compreensão da dinâmica realista das cidades. Associando estudos voltados à implementação das tecnologias no contexto das cidades, identifica-se que a missão da cidade inteligente envolve melhorias em infraestrutura e serviços com o uso de tecnologia para gerar crescimento econômico e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos (Kumar et al., 2020).

Nesse sentido, no contexto das tecnologias inteligentes, o estudo da inovação por meio das tecnologias da indústria 4.0 apresenta um leque de oportunidades a serem aplicadas em diversas áreas pelo fato de agregar diferentes ferramentas promissoras que são implementáveis das mais variadas formas, expressas por uma inovação composta por Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial, Big Data, Robótica, Cloud Computing, Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada, Digital Twin, menos sacrificante (Baduge, et al., 2022).

Ainda segundo Baduge, *et al.* (2022), a Indústria 4.0, também conhecida como quarta revolução industrial, está relacionada com a transformação das práticas tradicionais da indústria e métodos de fabricação em sistemas inteligentes autônomos, a partir de tecnologias digitais de ponta. E, associando sua aplicação no ramo de construção 4.0, pode ser identificada como a confluência de sistemas de produção industrial de ponta, sistemas ciberfísicos e tecnologias digitais e de computação para redefinir o projeto de construção e infraestrutura, construção, Operação, e manutenção considerando a circularidade.

Com isso, visando à inovação dos processos voltados ao trabalho de inspeção de vias públicas, a realização da detecção automática de defeitos na infraestrutura representa uma oportunidade para garantir sua eficácia e confiabilidade, a partir do emprego de equipamentos de vídeo, agregado às tecnologias da indústria 4.0, com o desenvolvimento de técnicas de captura e processamento automático de imagens, a fim de garantir melhores resultados de desempenho e robustez na detecção de anomalias nas vias públicas (Karaaslan, Bagci e Catbas, 2019).

1.2 Problema de Pesquisa

O trabalho de inspeção de vias públicas vem passando por mudança, no qual a tecnologia está cada vez mais presente, visando a desenvolver métodos mais eficientes, ao mesmo tempo que aumente a qualidade de vida dos engenheiros e técnicos envolvidos no trabalho de inspeção, ao substituir o método convencional manual. A partir da revisão bibliográfica da literatura, foi possível encontrar estudos relacionados à inspeção das vias públicas, sua importância, assim como os meios de sua realização pelos mais variados métodos. Conforme explica Huang (2018), uma vez que as estradas são componentes essenciais da infraestrutura nacional, a avaliação de suas condições é uma tarefa crucial das agências de transporte responsáveis por estabelecer cronogramas de manutenção e alocar orçamentos de manutenção.

Segundo Ho, Lin e Huang (2020), as inspeções rodoviárias frequentes são essenciais para manter a qualidade das estradas e evitar acidentes associados às más condições das estradas. Segundo Peraka, Bibligiri e Kalidindi (2021), com vistas à atualização da infraestrutura e contribuição da economia do país, as agências rodoviárias têm dispensado esforços no sentido de projetar e construir novos sistemas de pavimentação. Assim também, segundo Cubero-Fernandez et al. (2017), a importância das boas condições da infraestrutura rodoviária é uma das principais preocupações na atualidade, em razão de que seu uso generalizado intensivo demanda a manutenção do seu pavimento, com vistas a diminuir os acidentes e, como consequência direta, diminuir as vítimas mortais.

No entanto, é possível perceber a partir da revisão da literatura que os métodos convencionais de inspeções de infraestruturas em si possuem certas limitações, além de comprometer os profissionais envolvidos. Segundo Karaaslan, Bagci e Catbas (2019), os métodos de avaliação visual de infraestruturas físicas apresentam algumas limitações, tais como subjetividade dos dados coletados, longo tempo de inspeção e alto custo de mão de obra.

Segundo Coenen e Golroo (2017, p.2), “a inspeção manual de pavimentos exige muita mão-de-obra e depende do inspetor, é propensa à subjetividade e a custos elevados de mão-de-obra”.

Segundo Cubero-Fernandez et al. (2017), o trabalho de detecção de fissuras realizado por meio de supervisão humana é uma etapa extra para confirmar a detecção. E ainda, segundo Ohma et al. (2017), a qualidade do trabalho de detecção de buracos necessita de medidas que forneçam informações sobre as regiões e limites segmentados, uma vez que a segmentação é um problema mal definido e não existe uma única segmentação manual verdadeira com a qual a saída de um algoritmo possa ser comparada.

No que tange às infraestruturas de vias públicas, considerando-se a extensão territorial do país, é possível observar por meio dos trabalhos de alguns autores que a missão de inspeção das vias públicas não é uma tarefa fácil, por se tratar de uma atividade desgastante, prejudicando sua precisão e a saúde do capital humano, além de ser tedioso e gerar um custo elevado. Segundo Ho, Lin e Huang (2020), inspeções da pavimentação realizadas a partir do índice de condição do pavimento (PCI) são demoradas e trabalhosas, e o método de inspeção atual depende de empreiteiros que registram os tipos de desgaste do pavimento. Segundo Huang (2018, p. 1):

“Nos países em desenvolvimento, o buraco no pavimento é frequentemente detectado manualmente por inspetores das agências de transporte locais durante levantamentos periódicos de campo. Embora esse método convencional possa ajudar a adquirir uma avaliação precisa de buracos, ele também apresenta baixa produtividade tanto na coleta quanto no processamento de dados.”

Conforme Zakeri, Nejad e Fahimifar (2017), o trabalho de inspeção e avaliação de infraestrutura por especialistas humanos expõe os fiscais a condições perigosas de trabalho nas rodovias. Cubero-Fernandez et al. (2017) explicam que a inspeção visual tem sido a técnica mais comum para a manutenção do asfalto e, considerando-se a extensão das redes rodoviárias, é caro e difícil manter corretamente tantos quilômetros de asfalto com os recursos limitados. Segundo Osman et al. (2023), com vistas à manutenção de estradas de qualidade, estas somente podem ser mantidas por meio de um sistema eficiente de gerenciamento de pavimentos, com a utilização de sistemas automatizados.

No entanto, a partir dos artigos obtidos na revisão bibliográfica da literatura e em outros referenciados nos artigos da revisão, é possível observar que, embora novas tecnologias tenham sido desenvolvidas para o trabalho de inspeção de vias públicas, a identificação em longas distâncias ainda é um desafio, visto que os equipamentos empregados somente podem detectar patologias no pavimento em curtas distâncias. Segundo Cubero-Fernandez et al. (2017), para o trabalho de captura no pavimento, o protótipo foi desenvolvido por meio de um sistema que,

instalado em um veículo, à uma distância entre a câmera e o pavimento de 1,2 m, detecta uma fissura existente.

Peraka, Bibligiri e Kalidindi (2021) explicam em seus trabalhos que, a partir de levantamentos automatizados realizados em um veículo equipado com uma série de câmeras, sensores a laser, sistema de posicionamento global, radar de penetração no solo e acelerômetros, é possível a coleta de dados de emergência na forma de imagens e sinais do pavimento enquanto atravessa a superfície do pavimento. Assim também, conforme Osman et al. (2023), com o emprego de sistemas implantados em veículos automatizados mais sofisticados, é possível avaliar as condições da pavimentação, substituindo a abordagem manual tradicional.

Segundo Huang et al. (2022), a partir do uso da tecnologia de aquisição de imagem sem fio em veículos aéreos não tripulados (UAV), os pesquisadores aplicaram a possibilidade de detecção de patologias estruturais. Tal tecnologia poderia representar um potencial importante para solucionar os impasses existentes no trabalho da inspeção realizado pelo método manual, tais como subjetividade, longo tempo de inspeção e alto custo de mão de obra, redução da qualidade de vida e saúde da equipe.

Das, Ichi e Dorafshan (2023) propõem o uso de câmeras digitais para o trabalho de coleta de dados digitais necessários aos métodos de processamento de imagem. Outrossim Karaaslan, Bagci e Catbas (2019) propõem uma estrutura inteligente de realidade mista (MR) que, integrada a um dispositivo de fone de ouvido holográfico vestível, pode ser utilizado na análise automática de um determinado defeito como uma rachadura.

A partir da revisão bibliográfica da literatura, foi possível verificar uma série de métodos que podem ser utilizados no trabalho de inspeção de estruturas físicas, tais como as vias públicas. No entanto, todos os meios verificados, embora eficazes, possuem como limitação a possibilidade de cobertura de uma área a ser inspecionada muito pequena, fato que representa uma lacuna que pode ser subsidiada com estudos voltados para tal fim. Assim sendo, visando a colaborar com uma proposta inovadora, este trabalho gira em torno da seguinte pergunta: Como as tecnologias baseadas em Inteligência Artificial, associadas a dispositivos de coleta de imagens, podem contribuir de maneira eficiente para a melhoria e celeridade na detecção de patologias em vias públicas?

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Investigar a admissibilidade de aplicação dos dispositivos de detecção de imagens, associados às tecnologias da Inteligência Artificial, no trabalho de inspeção de pavimentação.

1.3.2. Específicos

Como objetivos específicos, esse estudo pretende:

- (a) Abordar a importância das políticas públicas voltadas à manutenção da pavimentação das vias públicas e estradas em geral;
- (b) Explicar as características da tecnologia da Indústria 4.0 – Inteligência Artificial;
- (c) Explicitar as características das principais anomalias responsáveis pela degradação da pavimentação em vias públicas; e
- (d) Abordar os mecanismos de identificação de patologias nas vias públicas.

1.4 Justificativa

A justificação deste trabalho pode ser relacionada a alguns aspectos importantes. Sob a ótica social, investigar a importância de uma boa pavimentação e a sua conservação, de modo que garanta o bem-estar e a segurança de pessoas, bens produzidos, e produtos adquiridos e transportados em vias públicas, se relaciona à qualidade de vida dos cidadãos, pois está relacionada com segurança viária, sendo esta vital para a mobilidade urbana da população.

A segurança das vias é um direito básico dos cidadãos e uma responsabilidade do Estado criar políticas e medidas que assegurem condições de segurança de todos os usuários das vias, sejam eles pedestres, ciclistas, motociclistas ou motoristas. Uma boa gestão pública pode ainda trazer outros benefícios em relação à segurança viária, tais como a redução da taxa de acidentes de trânsito e aumento da mobilidade urbana e, conseqüentemente, redução de despesas com saúde pública e meio ambiente.

Sob a ótica da economia, a logística e a gestão da cadeia de suprimentos são atividades que caminham juntas e, uma vez que a alta qualidade do produto e a entrega rápida são buscadas tanto pela indústria quanto pelos clientes e que a qualidade do produto e o prazo de entrega comprometido têm um impacto significativo nas escolhas dos clientes, a mobilidade urbana é um fator de suma importância para a prestação de serviços logísticos relacionados ao transporte.

Uma vez que o modal rodoviário é o meio mais utilizado no país para a prestação de serviços de transportes, é de extrema importância uma infraestrutura viária de qualidade pois, como o principal meio para o escoamento de mercadorias, é eminente que a administração dos entes políticos responsáveis para manutenção e cuidado das vias públicas disponibilize para o setor infraestruturas de qualidade.

A degradação da pavimentação influencia também na estrutura de custos operacionais, uma vez que as patologias existentes no pavimento afetam diretamente os custos dos serviços do transporte rodoviário, tornando a atividade menos eficiente. O aumento do custo logístico

para o deslocamento de mercadorias prejudica tanto o consumidor, que acaba por receber produtos mais caros ou pagar um preço mais elevado pelo frete, quanto o produtor, que perde competitividade.

A existência de deteriorações no pavimento também provoca redução da velocidade operacional e aumenta o tempo em que o veículo realiza um trajeto, fato que eleva o número de deslocamentos por ano e, conseqüentemente, as despesas envolvidas na realização desses serviços, além de impactar no desgaste e/ou uso dos insumos, como pneus, peças dos veículos, sistemas de freios, reparos mecânicos etc.

Assim também, a importância das vias públicas de qualidade pode ser estribada sob um prisma composto por três elementos importantes. Primeiro, o conceito de *Smart City* tem sido um dos principais vetores em projetos urbanos e novos modelos de gestão pública, estando cada vez mais sedimentado e presente na sociedade mundial e sendo responsável pela integração de informações, distribuição, programação e auxiliam os gestores da cidade na tomada de decisões, visando à melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, uma vez que o processo de construção de uma cidade inteligente é de grande importância para a vida urbana sustentável.

Uma vez que o aprofundamento da integração entre urbanização e informatização tem influenciado na construção de cidades inteligentes, há que se considerar os problemas existente nas cidades que representam grandes desafios para a melhoria do nível de inteligência urbana e da força motriz endógena do desenvolvimento sustentável, visando oferecer grandes oportunidades para as principais tecnologias e práticas de engenharia de sistemas de cidades inteligentes orientadas por dados, dentre os quais encontra-se a infraestrutura física voltada para a mobilidade urbana.

O segundo elemento é a tecnologia. A tecnologia está tornando as cidades mais eficientes, amplificando com isso o potencial das *smart cities*. À medida que as cidades se tornam mais digitais e automatizadas, a importância da utilização de tecnologias para gerenciamento dos diversos sistemas e serviços só tende a crescer. A confiança na infraestrutura integrada de tecnologia de informação e comunicação e na plataforma de tecnologia voltadas para o armazenamento de dados, análise, modelagem, visualização e suporte à tomada da decisão podem servir como uma ferramenta importante na prestação de serviços dos departamentos governamentais, seja visando ao compartilhamento de informações, ou à inovação das políticas públicas.

A partir do monitoramento de dados, é possível cruzar informações para fornecer diversas estimativas à gestão de cidades, como por exemplo horário de pico e fluxo de carros, melhorar a logística das frotas comerciais impacta na pessoa física, obter informações acerca das

infraestruturas físicas etc. Tais fatores podem ser utilizados como subsídios para um possível emprego da tecnologia como solução para alguns dos problemas relacionados à mobilidade urbana, pelo fato de que seu emprego ser considerado uma ferramenta importante dentro das estratégias inovadoras, estando cada vez mais presente em diversas áreas, tanto no setor privado como no público.

Nesse contexto, as tecnologias da indústria 4.0 são meios importantes dentro de processo de inovação, constituídas por ferramentas como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial, *Big Data*, Robótica, menos sacrificante, sendo utilizadas em diversos ramos, sempre voltadas para a melhoria e o aperfeiçoamento de processos.

O terceiro e último elemento - engenharia civil - especificamente no setor de construção e manutenção de vias públicas, diante das diversas lacunas existentes, há que se considerar uma mudança de paradigma buscando processos inovadores, visando tornar os trabalhos de inspeção mais eficientes e menos onerosos para o capital humano.

A engenharia socialmente responsável não está focada somente no domínio das habilidades técnicas do profissional, mas sim, na compreensão de tais conhecimentos inter-relacionados com as diversas áreas da sociedade. Ressalta-se que tais áreas são por exemplo a relação socioeconômica, ambiental e ainda jurídica relacionadas às obras de pavimentação, principalmente em âmbito urbano. A prática da engenharia com responsabilidade social cultiva a curiosidade do profissional ao mesmo tempo em que questiona novas soluções a partir de uma ideia original, que é frequentemente o ponto de partida de uma nova orientação para o desenvolvimento de uma nova tecnologia.

As contribuições da engenharia para o tema são muito significativas pensando dentro de um contexto em que, partindo da premissa que as tecnologias emergentes também têm sido aplicadas de diversas formas, os ganhos seriam tanto em termos de eficiência de processos, como também em redução de onerosidade do capital humano e redução de custos do trabalho de revitalização, construção e manutenção das vias públicas.

1.5 Delimitação da Pesquisa

Segundo Ibrahim, Haworth e Cheng (2021), a compreensão da dinâmica das cidades ainda é uma questão complexa. Dentro do contexto do presente estudo, essa dinâmica estaria relacionada ao fato de que as cidades são ecossistemas abertos, sofrendo com isso influências de outros subsistemas como ambiental, jurídico, político, sociais, econômico, dentre outros, havendo então a necessidade de se considerar vários aspectos quando da busca por promover mudanças nas cidades. Segundo Ibrahim, Haworth e Cheng (2021, p. 2), “a natureza

heterogênea dessas questões dificulta o desenvolvimento de métodos transferíveis de modelagem urbana”.

Com isso, embora detectar patologias na pavimentação de vias urbanas seja um aspecto importante para engenheiros e planejadores das cidades, buscando estudar novas oportunidades de melhoria no trabalho de inspeção de infraestruturas urbanas, há que se considerar certas limitações relacionadas ao estudo, uma vez que as cidades do país são heterogêneas, no que tange aos aspectos relacionados à infraestrutura. Conforme Ibrahim, Haworth e Cheng (2020) a modelagem da aparência física de áreas urbanas complexas é uma questão multifacetada vital para planejadores e formuladores de políticas na tomada de decisões, com vistas à promoção da melhoria das condições de vida nas cidades.

Ibrahim, Haworth e Cheng (2020), embora a tecnologia esteja presente, o desafio reside na capacidade de combinar diferentes modelos a uma estrutura que lhes permita lidar com problemas complexos. Em decorrência da descentralização administrativa dos entes políticos as cidades foram projetadas de formas distintas, materializadas por vias urbanas mais longas ou mais curtas, estruturas mais planas ou outras mais curvas, infraestruturas mais largas ou mais estreitas. No entanto, ainda segundo Ibrahim, Haworth e Cheng (2020), as tecnologias de aprendizado profundo e visão computacional têm um grande potencial na área para lidar com tipos de dados heterogêneos, muitos dos quais são baseados em imagens.

1.6 Estrutura do trabalho

A fim de alcançar os objetivos propostos, este trabalho está estruturado em 6 capítulos, dos quais, o primeiro é a introdução, onde são apresentados e contextualizados os assuntos pertinentes ao tema proposto, de modo a embasar os respectivos conceitos para a compreensão do presente trabalho.

No segundo capítulo, faz-se necessário uma revisão bibliográfica, que tem por objetivo o desenvolvimento do estado da arte, estabelecer fundamentos teóricos necessários e levantar a lacuna existente na literatura que justifica essa oportunidade de pesquisa. Ainda no capítulo 2, foram estribados aspectos relativos aos conceitos e considerações no contexto das cidades inteligentes para contextualização, visando à equalização de conhecimentos.

O terceiro capítulo refere-se à metodologia do estudo científico, esclarecendo o método e os procedimentos utilizados, as estratégias de abordagem da pesquisa e todo o detalhamento metodológico.

No capítulo quatro foram apresentados os resultados alcançados, os quais foram seus dados coletados junto aos especialistas diretamente relacionados aos objetos do tema deste trabalho.

Na sequência, no quinto capítulo, foi realizada uma discussão com o objetivo de comparar os resultados obtidos por meio da revisão bibliográfica da literatura, confrontando com aqueles levantados em estudos de casos junto aos órgãos diretamente envolvidos com o trabalho objeto desta pesquisa.

No sexto capítulo, foram apresentadas as conclusões com as possíveis colaborações para a teoria literária e prática, assim como a indicação de possíveis limitações e sugestões para trabalhos futuros, contribuindo assim para o avanço da pesquisa e do conhecimento.

Finalizando, foram apresentadas as referências que serviram de subsídios para a elaboração do referencial teórico deste trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica desta pesquisa, baseada no material filtrado pela base de dados. Desta forma, este capítulo é composto por três subtítulos: o primeiro trata sobre os conceitos e considerações relacionados às cidades inteligentes, abordando aspectos relacionados ao planejamento urbanos, complexidade do contexto das cidades, inovação, tecnologia e segurança viária, associando-os ao desenvolvimento da qualidade de vida dos cidadãos.

O segundo subtítulo aborda o contexto da pavimentação, trazendo aspectos relacionados à integridade da infraestrutura física da rede viária, degradação da pavimentação e tipos de patologias existentes nas vias públicas. Dentro desse tema foi abordada a metodologia de inspeção das vias, apresentando os principais métodos de trabalho voltados para a inspeção das vias públicas, bem como a importância da implementação de novos métodos de inspeção.

No subtítulo seguinte foi abordado o emprego da tecnologia da inteligência artificial voltado para a análise de imagens, descrevendo como as funcionalidades da tecnologia frente a esse trabalho, bem como os diversos subcampos que a compõem e seus diferentes empregos e oportunidades. E o último subtítulo traz as tecnologias utilizadas no trabalho de inspeção da pavimentação, oportunidade em que foram abordadas tecnologias emergentes como realizada mista, robótica, radar de penetração no solo e varredura por espectro infravermelho, como meios na atividade de detecção de danos nas infraestruturas físicas.

2.1 Cidades Inteligentes – conceitos e considerações

As cidades são geralmente sistemas complexos que incluem diferentes partes interessadas, como cidadãos, atividades econômicas, infraestrutura física, habitação, serviços e utilidades, que oferecem muitos serviços e oportunidades aos seus cidadãos, onde, como consequência da rápida urbanização e o aumento da população, houve um aumento de pressão nas infraestruturas da cidade e na prestação de serviços, requerendo dessa forma o desenvolvimento de estratégias fortes e planejamento inovador para modernizar a vida urbana, com vistas à melhoria da qualidade e o desempenho dos serviços urbanos, seja por meio de instrumentos digitalizados e/ou e inteligentes (Kumar et al, 2020).

A busca pela promoção da melhoria na qualidade de vida dos cidadãos representa um verdadeiro paradigma para os governantes, considerando-se a complexidade do assunto e os desafios encontrados quando se trata do tema relacionado às cidades. E tal consideração encontra barreiras uma vez que, devido à complexidade acerca do tema, fruto de sua natureza

heterogênea, seu desenvolvimento encontra dificuldades em produzir métodos importantes para a modelagem urbana (Ibrahim et al., 2021).

E a complexidade do tema “cidade” se dá pelo fato de não representar um sistema automatizado cujo entendimento e previsibilidade estão presentes em seu contexto, pois se trata de um sistema vivo e, como tal, evolui constantemente, principalmente porque envolve outros subsistemas como construções físicas, atividades econômicas e políticas, contextos sociais e culturais e sistemas ecológicos (Shahat, Hyun e Yeom, 2021). Com o objetivo de minimizar a complexidade desse tema e, considerando-se o aprofundamento da integração entre urbanização e informatização, a construção de cidades inteligentes entrou em pauta e vem ganhando gradativamente discussão no contexto prático (Fang, Shan e Wang, 2021).

Segundo Li e Xuan (2017), cidade inteligente é um novo conceito cujo modelo envolve fatores como planejamento urbano, construção, gerenciamento e serviço, associados às tecnologias de informação da nova geração tais como IoT, computação em nuvem, dados grandes e integração de informações espaciais. Segundo Englund et al. (2021), as cidades inteligentes abrangem um campo de investigação emergente composto por muitos tópicos, sendo promovido por grandes avanços na tecnologia, mudanças nas operações comerciais e desafios ambientais globais.

Assim também Wang, Wu e Wang (2022, p. 1) explicam que “cidades inteligentes são responsáveis pela integração de informações, distribuição, programação e auxiliam os gestores da cidade na tomada de decisões”. Nesse contexto, é possível observar que cidades inteligentes estão intrinsecamente relacionadas às tecnologias emergentes modernas, as quais representam uma oportunidade de melhoria da qualidade de vida da sociedade.

Segundo Shahat, Hyun e Yeom (2021), o tema relacionado à cidade inteligente está ganhando atenção significativa em todo o mundo, como uma possível alternativa voltada para a melhoria da qualidade de vida de seus cidadãos. O conceito de cidade inteligente está se tornando mais acessível, tangível e compreensível, em decorrência do desenvolvimento da tecnologia da informação e seu estímulo representar uma oportunidade de aplicação da informatização urbana, voltado para construção de cidades inteligentes, fazendo com que sua construção se dê de forma acelerada (Li e Xuan, 2017).

Consequentemente, a rápida construção e desenvolvimento de cidades inteligentes levou gradualmente ao surgimento proeminente de problemas relacionados à interconexão e interoperabilidade de sistemas de negócios, agregação e compartilhamento de dados, e tais problemas representam grandes desafios para a melhoria do nível de inteligência urbana e da força motriz endógena do desenvolvimento sustentável, ao mesmo tempo que oferecem grandes

oportunidades para as principais tecnologias e práticas de engenharia de sistemas de cidades inteligentes orientadas por dados (Fang, Shan Wang, 2021).

Segundo Kumar et al. (2020, p. 2), “O processo de transformação da cidade depende da integração coletiva de componentes tecnológicos, de governança, institucionais e de transição”. Conforme Li e Xuan (2017), a cidade inteligente no futuro representará uma verdadeira banda larga da rede, a intelectualização da gestão, a indústria de ponta e a cidade da aplicação da tecnologia da informação é o novo modo de desenvolvimento urbano na era da informação. Conforme Englund et al. (2021), no contexto da conectividade aplicado às cidades inteligentes, algumas tecnologias de informação e comunicação (TIC) que ligam infraestruturas, recursos e serviços a sistemas de vigilância de dados e de gestão de ativos.

Assim, a partir da explanação dos autores, é possível identificar a influência das tecnologias da indústria 4.0 no contexto do desenvolvimento das *smart cities*, representando ótimas oportunidades de inovação das cidades. Segundo Kumar et al. (2020), o processo de transformação da cidade envolve uma integração coletiva composta por elementos tecnológicos, de governança, institucionais e de transição, sendo necessário um estudo sistemático para o desenvolvimento de um planejamento estratégico e integrado voltado à projeção de serviços visando à transformação em cidades inteligente.

Li et al. (2023) propôs o emprego da tecnologia da inteligência artificial, a partir do uso do subcampo da visão computacional baseado em aprendizagem profunda, associando a imagens do *Street View*, para identificar mudanças nas faixas de pedestres marcadas no nível dos cruzamentos em torno de mais de 4.000 estações de transporte público dos EUA, visando melhorar o ambiente construído como estratégia para apoiar a caminhada e aumentar a sustentabilidade urbana e a facilidade de caminhar.

Kumar et al. (2020) propôs um *Framework* visando ao desenvolvimento de infraestrutura básica e soluções inteligentes voltados à transformação uma cidade em uma cidade inteligente, a partir da associação do *crowdsourcing* às tecnologias da indústria 4.0, com vistas à melhoria dos serviços. O modelo visa ao planejamento e à integração adequados da infraestrutura física das cidades a partir de dispositivos como IoT, sensores, plataforma de rede e análise de dados, a fim de permitir o compartilhamento de recursos e o uso de aplicativos de cidadãos comuns para otimizar os serviços.

Ibrahim et al. (2020) propôs o modelo de uma estrutura para modelagem urbana realista dinâmica multiuso usando redes neurais convolucionais profundas, visando desvendar as complexidades da informalidade para avançar na modelagem urbana e resolver problemas complexos em muitos domínios, com o objetivo duplo de sentir e detectar informalidade e

favelas em cenas urbanas a partir de imagens aéreas e do nível da rua e detectar modos de pedestres e transporte, a fim de oferecer um ambiente realista para a compreensão das cidades, visa georreferenciar e mapear alguns dos agentes das cidades (pedestres, modos de transporte e condições de povoamento).

Zhang (2021) também propôs em seu estudo uma proposta de solução voltado à gestão de segurança de pessoal da construção civil, baseada em um dos subcampos na tecnologia da inteligência artificial, visão de máquina, como o objetivo de melhorar o nível de gerenciamento de segurança dos trabalhadores na indústria da construção, ajudando as empresas de construção civil a alcançarem melhor a qualidade, tempo, custo, meio ambiente e outras metas de gerenciamento de gerenciamento de construção, assim como melhorará a imagem empresarial social das empresas.

Com base nos estudos dos autores supramencionados, é possível verificar as inúmeras aplicabilidades das tecnologias da indústria 4.0, em especial a inteligência artificial, no contexto das cidades inteligentes, seja no campo social, econômico, operacional etc. Segundo Kumar et al. (2020, p. 2), “O processo de transformação da cidade depende da integração coletiva de componentes tecnológicos, de governança, institucionais e de transição”. Em uma análise realizada na literatura, muitas dessas aplicabilidades se relacionam com a busca pela eficiência em serviços, sempre visando melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

Segundo Englund et al. (2021, p. 14):

“[...] a tecnologia baseada na IA alcançou muitas coisas excelentes e promete enormes benefícios em geral, no que diz respeito ao crescimento econômico, ao desenvolvimento social e à qualidade de vida – e, em particular, à redução dos impactos ambientais e à melhoria da segurança rodoviária[...]”.

Uma vez que a segurança viária também pode ser relacionada ao contexto das *smart cities*, também representa uma oportunidade de melhoria da qualidade de vida da população, visto que as fissuras nas estruturas físicas sob responsabilidade dos entes públicos podem ter consequências graves em relação à segurança e aos custos, havendo com isso grande interesse em uma plataforma de aquisição de dados de baixo custo aliada a um sistema automatizado, visando à detecção de fissuras baseado em Inteligência Artificial (Daneshgaran et al., 2019).

Dessa forma, uma vez que a inteligência artificial tem uma aplicabilidade em diversas áreas, há que se considerar a possibilidade de sua implementação na segurança viária, visando a inspeção da pavimentação das vias públicas.

2.2 Pavimentação e desenvolvimento

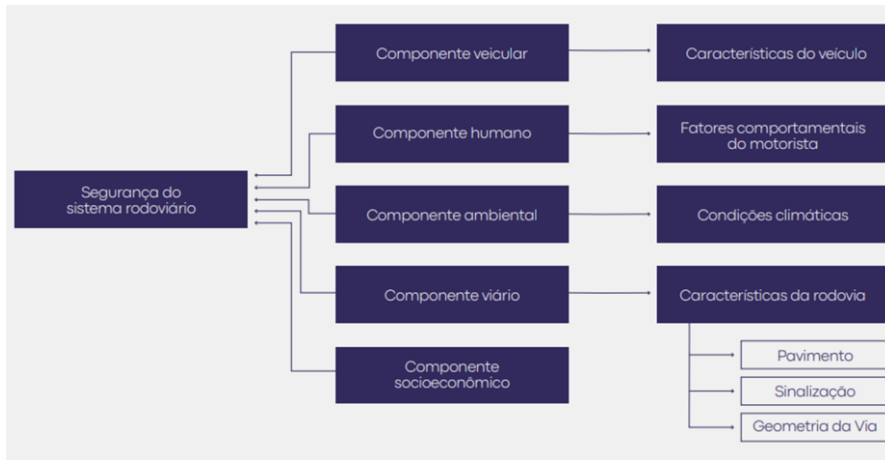
No que tange às políticas públicas voltadas para a mobilidade urbana, a missão da engenharia civil se concentra em projetar, construir, supervisionar e manter a infraestrutura urbana (Guzmán-Torres, 2023). Segundo Hoang (2018), as redes rodoviárias são componentes essenciais da infraestrutura nacional. De modo geral, as estradas, sejam elas ruas, avenidas ou rodovias, tem um papel importante para a economia do país. Conforme explica Osmar (2022), as redes rodoviárias de qualidade são fundamentais para o movimento seguro de pessoas, bens e transferência de serviços, facilitando com isso o desenvolvimento social e econômico de todas as nações.

Em vista disso, segundo Peraka, Bibligiri e Kalidindi (2021), as agências rodoviárias têm se esforçado muito para manter os ativos existentes, visando atualizar a infraestrutura e, com isso, contribuir para a economia do país. Assim, é possível verificar a importância do investimento em estradas em geral, em decorrência de o benefício atender a sociedade, tanto do ponto de vista econômico, como do social.

No entanto, conforme Nomura, Inoue e Furuta (2022), os últimos anos chamaram a atenção quanto à integridade estrutural das infraestruturas físicas, em decorrência do seu envelhecimento, pois se tornaram inseguras, sendo considerada então um fator de grande preocupação, representando um desafio para a engenharia no sentido de como avaliar com eficiência e precisão a sua integridade estrutural é importante no desenvolvimento de planos de manutenção.

Conforme explica Hoang (2018, p. 1), “avaliar as condições das estradas é uma tarefa crucial das agências de transporte responsáveis por estabelecer cronogramas de manutenção e alocar orçamentos de manutenção”. A segurança viária pode ser influenciada por diversos fatores, conforme se observa na figura 1.

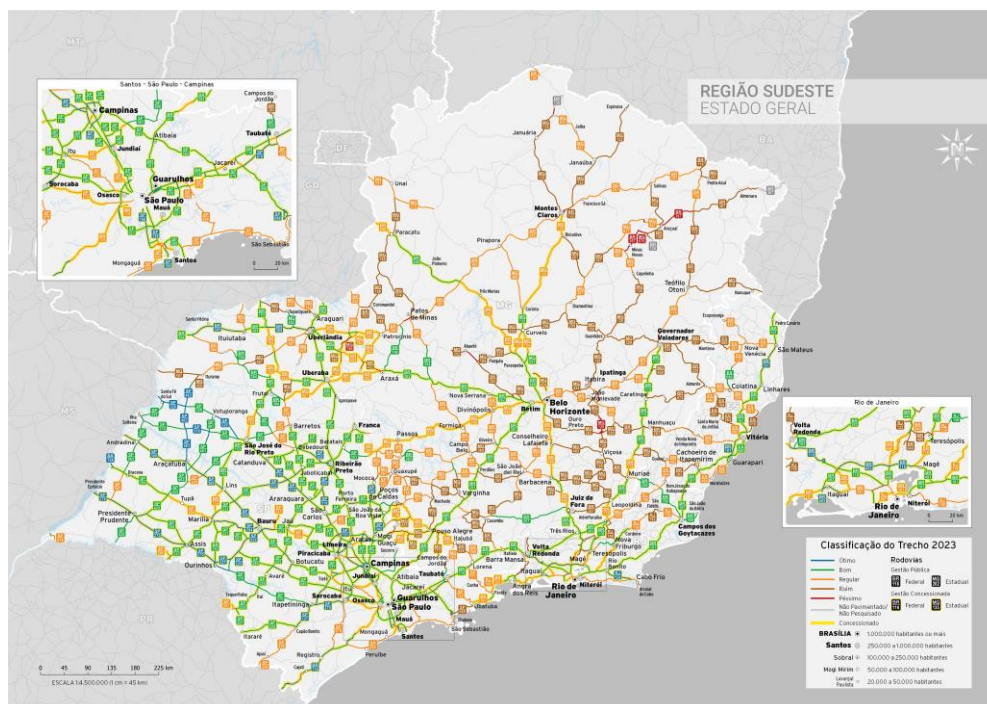
Figura 1: Componentes que influenciam na segurança de um sistema rodoviário

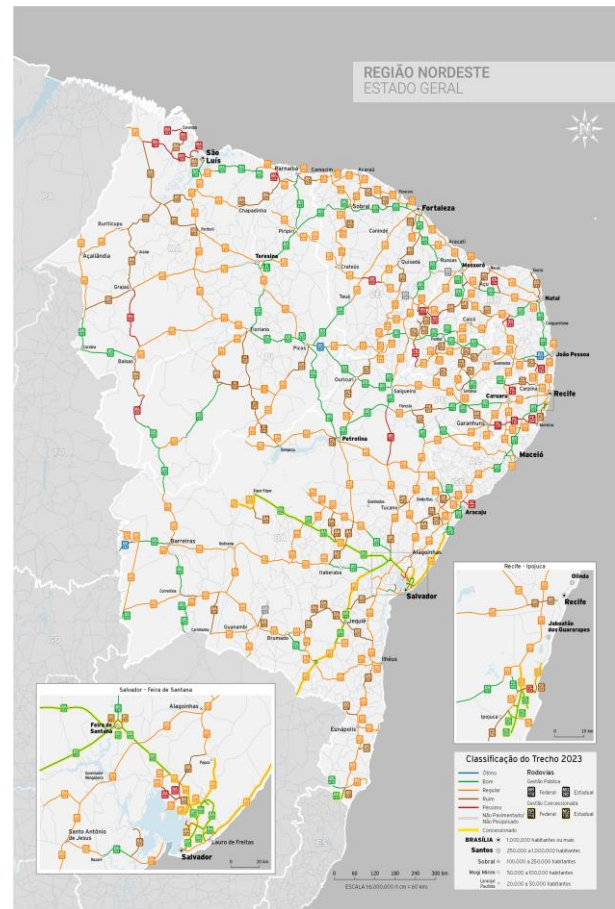
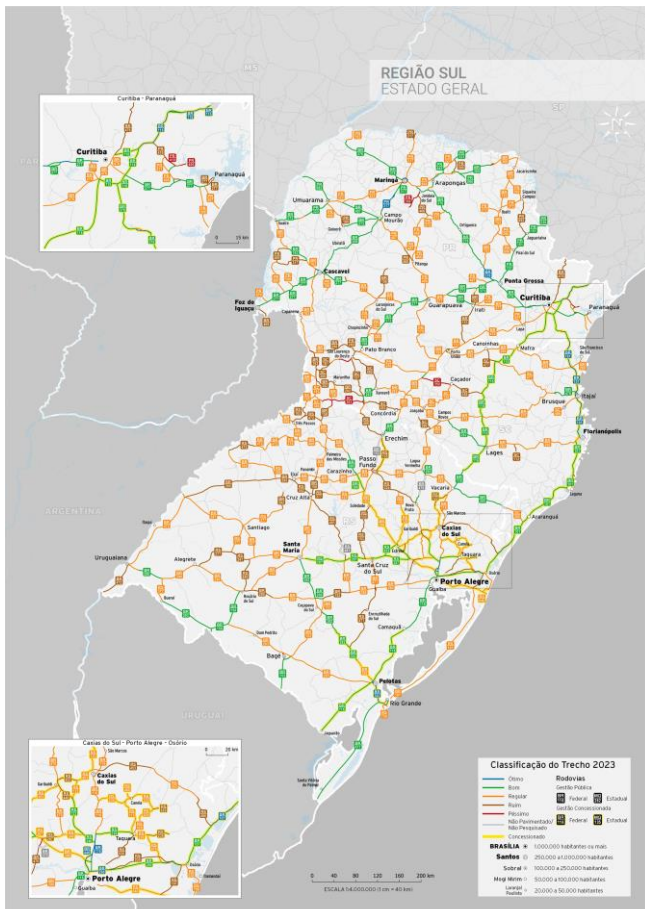


Fonte: CNT (2024).

Segundo relatório gerencial da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2023), um dos elementos que influenciam na segurança do sistema viário é o componente viário, considerando-se para isso características como pavimento, sinalização e geometria da via. No entanto, é possível observar que a situação da pavimentação das vias do país não possui condições adequadas como esperado.

Figura 2: Mapa das condições das rodovias federais das regiões Sudeste, Sul e Nordeste





Fonte: CNT (2024)

Uma vez que tal fator pode vir a contribuir para o número de acidentes de trânsito, é essencial a preocupação com a melhoria da pavimentação das vias. Ainda segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024), no ano de 2021, o número de acidentes de trânsito nas rodovias federais foi de 64.452, sendo 30,56% nas rodovias da região sudeste, 30,63% nas rodovias da região sul e 20,99% nas estradas da região nordeste.

Assim sendo, o trabalho de inspeção das condições das vias públicas em geral se faz necessário para a manutenção e desenvolvimento da sociedade e seu estudo envolve não somente os novos métodos de construção como também o monitoramento de sua estrutura.

2.2.1 A Degradação da pavimentação

Segundo Munawar et al. (2021), as estruturas físicas como estradas, pontes, edifícios e pavimentos são frequentemente expostas a estresse físico extremo, dentre os quais cita o uso diário. Assim também Peraka, Bibligiri e Kalidindi (2021) explicam que os ativos de pavimento existentes são propensos a deteriorações estrutural e funcional atribuídas a fatores como condições de carregamento, variações sazonais e climáticas, estrutura e resistência das camadas

subjacentes e fatores demográficos. Hoang (2018) explica que o problema da degradação das estradas asfálticas tem um impacto muito negativo no desenvolvimento econômico, havendo necessidades práticas de melhorar a eficácia do processo de manutenção do pavimento.

Uma vez que as vias públicas estão suscetíveis de receber veículos de diversos portes, desde os mais leves como veículos de passeio e motocicletas, até veículos mais pesados, um sistema eficiente de gerenciamento voltado para a manutenção da qualidade dos pavimentos impacta na qualidade das estradas de maneira geral e, conseqüentemente, afeta positivamente os transportes, facilitando o desenvolvimento social e econômico de quaisquer nações (Osmar et al., 2022). Assim, devido à importância de se estabelecer e manter uma boa rede rodoviária, governos e agências de gerenciamento de estradas investem em ferramentas modernas para gerenciar as condições do pavimento de suas redes rodoviárias (Osmar et al., 2022).

Anualmente, milhões de dólares são gastos na aquisição de ferramentas e ativos, com o objetivo de detectar defeitos na infraestrutura principal, que inclui estradas, pontes, edifícios e corpos d'água (Munawar et al., 2021). Segundo Karaaslan, Bagci e Catbas (2019), como resposta ao envelhecimento dos sistemas estruturais, decisões críticas sobre reparo ou substituição precisam ser tomadas, visando a evitar a degradação iminente da infraestrutura civil.

Segundo Cubero-Fernandez et al. (2017, p.1):

“As fissuras longitudinais têm duas causas principais: fadiga e más articulações. As fissuras por fadiga são produzidas por uma sobrecarga contínua devido a veículos pesados. As juntas são geralmente as áreas menos densas do pavimento. Se as juntas estiverem localizadas em uma região de alta tensão, poderá aparecer uma trinca.”

Conforme explica Hoang (2018), há uma relação entre a deterioração das estradas e o número crescente de acidentes de trânsito, fato que levou a uma preocupação o tema da segurança no trânsito muitos países. O autor explica ainda que “o processo de vistoria de segurança viária geralmente consiste na detecção dos defeitos [...] (2018, p. 1)”. Alguns autores explicitam alguns tipos de defeitos existentes nas estradas e nas pontes, dentre os quais estão as rachaduras e os buracos, os quais possuem formas bem peculiares, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 3: Exemplo de anomalias em vias públicas, como rachaduras e buracos



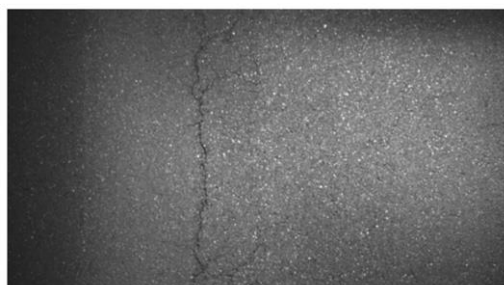
Fonte: Peraka, Bibligiri e Kalidindi (2021)

Ouma e Hahn (2017) explicam que um sistema de detecção de buracos deve ser eficiente para verificar a existência de buracos e estimar a extensão da área e, a identificação tanto da profundidade quanto o diâmetro dos defeitos do buraco são particularmente cruciais para fins de classificação e priorização. Karaaslan, Bagci e Catbas (2019) citam a existência de defeitos na pavimentação como trincas, rachaduras, laminação e lascas. Segundo Ho, Lin e Huang (2020), existem três tipos de trincas, que podem ser longitudinais, transversais ou de jacaré.

Hoang (2018) explica que, dentre as diversas formas de degradação dos pavimentos, os buracos são comumente conhecidos como uma depressão em forma de tigela na superfície do pavimento com um diâmetro plano mínimo de 150 mm, representando importantes indicadores de defeitos viários, os quais devem ser detectados em tempo hábil para as tarefas de manutenção e reabilitação de pavimentos asfálticos. Segundo Munawar et al. (2021), em decorrência da exposição das estruturas físicas, incidentes podem causar um colapso dessas estruturas ou podem levar a danos físicos representados em forma de rachaduras.

Tipo de patologia menos expressiva visualmente em relação à rachadura e ao buraco, as trincas possuem uma espessura mais afinada em relação às rachaduras, conforme se observa no exemplo na Figura 3.

Figura 4: Exemplo de trincas longitudinais em pavimento



Fonte: Peraka, Bibligiri e Kalidindi (2021)

Patologia presente em muitas estruturas do modal rodoviário, as trincas surgem em nível microscópico na superfície do componente da infraestrutura, provocando enfraquecimento da pavimentação, além de reduzirem a capacidade de carga das vias públicas e levarem a superfície

a descontinuidades, e, quando não são detectadas no estágio inicial, podem se espalhar pela superfície e levar ao colapso total da estrutura, resultando em fatalidades, ferimentos e perdas financeiras (Munawar et al., 2021). Com isso, é possível identificar as diferentes formas de degradação da pavimentação, ao mesmo tempo em que tal fato representa uma oportunidade de desenvolvimento de novas técnicas de análise e identificação das anomalias.

2.2.2 Metodologias de inspeção das vias públicas

Ho, Lin e Huang (2020) explicam que “inspeções rodoviárias frequentes são essenciais para manter a qualidade das estradas e evitar acidentes associados às más condições das estradas”. Por fazerem parte dos ativos dos entes públicos, as vias públicas necessitam de inspeções para verificação de suas condições, pois, por serem importantes meios para o deslocamento de cargas e pessoas, estão sujeitos à degradação, a qual pode oferecer riscos aos stakeholders. Ouma e Hahn (2017) explicam que é importante detectar buracos nos estágios iniciais a fim de evitar que a profundidade da anomalia exceda as profundidades projetadas da camada asfáltica.

Hoang (2018) explica que, em países em desenvolvimento, a identificação de buracos no pavimento é frequentemente feita utilizando o método convencional, o qual é efetuado manualmente por inspetores durante levantamentos periódicos de campo. Os métodos manuais de detecção de trincas envolvem especialistas que examinam o componente visualmente e o uso de ferramentas para identificar qualquer deficiência no componente. Conforme Jenkins *et al.* (2019), tradicionalmente, o monitoramento estrutural altamente manual tem sido uma tarefa realizada por engenheiros ou técnicos especialmente treinados.

No entanto, trata-se de um método criticado por alguns autores. Hoang (2018) explica que é um método é tedioso, trabalhoso e sujeito a erros humanos. Conforme Karaaslan, Bagci e Catbas (2019, p. 1), “Os métodos convencionais de avaliação visual de infraestruturas civis apresentam algumas limitações, como subjetividade dos dados coletados, longo tempo de inspeção e alto custo de mão de obra”. Segundo Huang *et al.* (2022), o método tradicional, em decorrência do uso prolongado do olho nu para inspecionar causará um certo grau de fadiga visual, afetando com isso a precisão do julgamento do inspetor. Segundo Ho, Lin e Huang (2020), o método de inspeção manual das condições do pavimento é considerado o mais preciso, porém, é demorado e caro.

Assim também, segundo Mohan *et al.* (2021), há uma necessidade crescente de inspeção rodoviária rapidamente escalável em decorrência do aumento contínuo do tráfego nas rodovias interestaduais e a demanda por padrões de segurança mais elevados, envolvendo com isso

operações manuais que apresentam como desvantagens o aumento dos custos de mão de obra, limitação da escalabilidade e a cobertura da inspeção e riscos adicionais à segurança dos trabalhadores rodoviários e dos fiscais rodoviários.

E ainda, conforme Huang (2018), embora o método convencional permita a identificação de anomalias como buracos, ele também apresenta baixa produtividade, tanto na coleta quanto no processamento de dados, em decorrência de um inspetor de pavimento só poder inspecionar menos de 10 km por dia e, considerando-se um grande número de trechos que precisam ser inspecionados rotineiramente, a automação da detecção de buracos torna-se uma necessidade premente por parte do poder público.

Coenen e Golroo (2017) explicam que a tomada de decisão acerca do planejamento da manutenção do pavimento, no que tange à inspeção da condição do pavimento, pode ser determinada de duas maneiras, sendo manualmente, onde, a inspeção manual de pavimentos exige muita mão-de-obra e depende do inspetor, é propensa à subjetividade e apresenta custos elevados de mão-de-obra, ou automaticamente, em que, a partir de estudos desenvolvimentos na ciência da computação, verifica-se que cada vez mais possibilidades para detecção e classificação automatizadas de problemas no pavimento em que, com o uso de equipamentos automatizados de medição de perigos e condições das estradas, são determinados o estado da estrada e detectar perigos e, após a detecção, o processamento automatizado de dados é usado para classificação e revisão.

Mohan *et al.* (2021) explica que uma solução inteligente para reduzir o custo do trabalho manual, aumentar a precisão dos modelos baseados em dados e aumentar a eficiência das inspeções seria a automatização do processo de inspeção das vias, a qual, menos sacrificante tecnologias como a indústria 4.0, drones, dentre outras.

De acordo com Cubero-Fernandez *et al.* (2017), a maioria das técnicas modernas empregadas nesse trabalho concentra-se em um procedimento de duas etapas, das quais as primeiras são capturadas por câmeras as imagens das estradas pavimentadas e, na segunda etapa, as imagens são analisadas para posterior estudo realizados pelo capital humano. Assim, é possível observar oportunidades de implementação de novos métodos de inspeção, ao mesmo tempo em que o desenvolvimento de novas técnicas associadas às tecnologias, representa não somente uma oportunidade de tornar o trabalho mais eficiente e preciso, como também de menos sacrificante, além de permitir que sejam utilizadas em regime de colaboração ao capital humano.

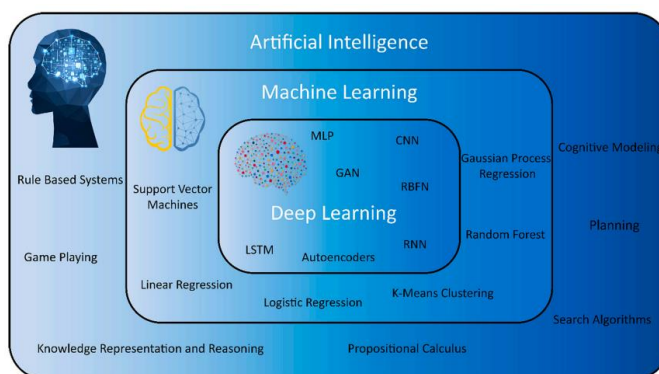
2.3 O uso da tecnologia da Inteligência Artificial para análise de imagens

Atualmente a busca por soluções criativas e inovadores tem chamado a atenção dos profissionais do ramo de TI, uma vez que, com o emprego da tecnologia cada vez mais intensificado, a digitalização da informação (dados) representa uma oportunidade de melhoria dos processos operacionais nas diversas áreas (Albatayneh, Forslof e Ksaibati, 2020). Segundo Ibrahim, Haworth e Cheng (2021), construir o conhecimento sobre as cidades a partir de imagens não é um conceito novo e a análise em larga escala de imagens digitais e padrões de recursos capturados, considerando-se as limitações dos olhos humanos, pode potencialmente permitir que vários problemas urbanos sejam resolvidos.

O uso de técnica de análise e processamento de imagens, associado ao emprego de equipamentos de detecção visual de baixo custo, tem sido muito empregado nos últimos anos, abrindo caminho para vários métodos nos mais diversos processos (Hoang, 2018). Segundo Guzmán-Torres *et al.* (2023), lidar com imagens ou vídeos como dados de entrada é uma rotina típica dos processos que empregam a visão computacional.

Com a inovação da tecnologia as imagens se tornaram um dado importante que pode ser detectado e, a partir do emprego da inteligência artificial, trabalhadas para fornecer informações acerca de irregularidades. Segundo Guzmán-Torres *et al.* (2023, p. 2), “visão computacional (CV) emerge da teoria DL, que se concentra em sistemas de visão que executam uma tarefa específica em imagens e vídeos. Essas tarefas detectam, classificam e segmentam objetos em imagens, fotografias e vídeos”. Ainda, segundo os autores, os sistemas de visão consistem em dois componentes principais, a saber, dispositivos de detecção de imagens como câmeras e dispositivos de interpretação, os quais normalmente são estações de trabalho ou outros dispositivos de computação, conforme ilustrado na figura 5.

Figura 5: Domínios de AI, ML, DL e algoritmos

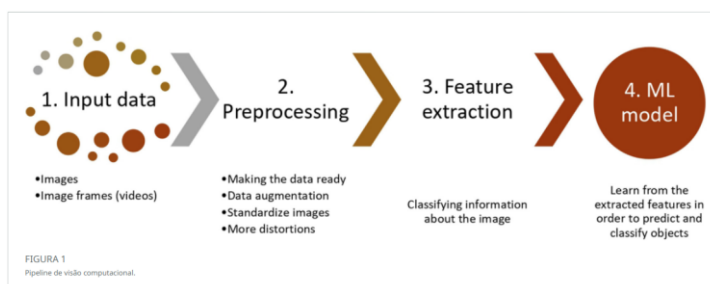


Fonte: Baduge *et al.* (2022)

Com seu conceito introduzido na década de 1940, a Inteligência Artificial (AI) pode ser identificada como a ciência oriunda do desenvolvimento de máquinas inteligentes ou programas de computador cujo objetivo é imitar a inteligência humana (Baduge *et al.*, 2022). Considerando-se que a difícil missão para o cérebro humano em reconhecer identificar imagens e, ao mesmo tempo, o reconhecimento de imagem tratar-se de uma das aplicações inovadoras da inteligência artificial rumo à otimização precisa dos resultados, os modelos de aprendizado de máquina de última geração fizeram um enorme progresso no reconhecimento e classificação de imagens (Albatayneh, Forslöf e Ksaibati, 2020).

A inteligência artificial (IA) é uma área emergente da ciência da computação, sendo uma funcionalidade em diferentes tipos de máquinas e sensores com o objetivo de imitar o comportamento humano inteligente (Osman *et al.*, 2022). Segundo Baduge *et al.* (2022), a inteligência artificial é uma ferramenta em cuja capacidade permite o processamento de grandes quantidades de dados, reconhecimento de padrão e a capacidade de construir modelos estatísticos em larga escala, permitindo com isso o processamento dos dados digitalizados. Com isso, a tecnologia emergente classificada como um dos ramos da indústria 4.0 está transformando todos os segmentos de vários setores (Mohammadpour, Karan e Asadi, 2019).

Figura 6: Pipeline de visão computacional



Fonte: Guzmán-Torres *et al.* (2023)

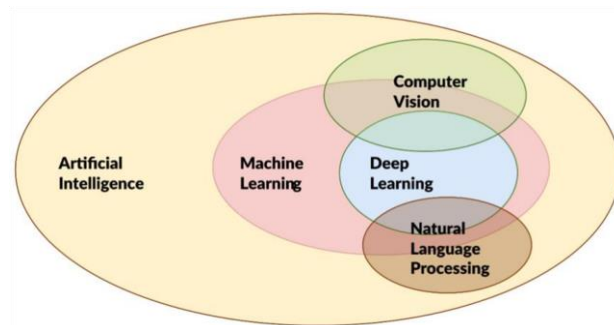
Considerando-se seus avanços nos últimos anos a partir de vários domínios como visão computacional, robótica, veículos autônomos, tradução de idiomas, jogos, medicina, diagnóstico, reconhecimento de fala e projetos generativos, o campo da Inteligência Artificial teve uma melhoria substancial, tendo como as principais tecnologias por trás desses avanços o aprendizado de máquina e aprendizado profundo (Baduge *et al.*, 2022).

2.3.1 Aprendizado de Máquina

O aprendizado de máquina é um subcampo da IA que desenvolve algoritmos que aprendem com exemplos e experiências, em vez de depender de regras codificadas, e, considerando-se que possui diversas ramificações mais amplas, os modelos de aprendizado

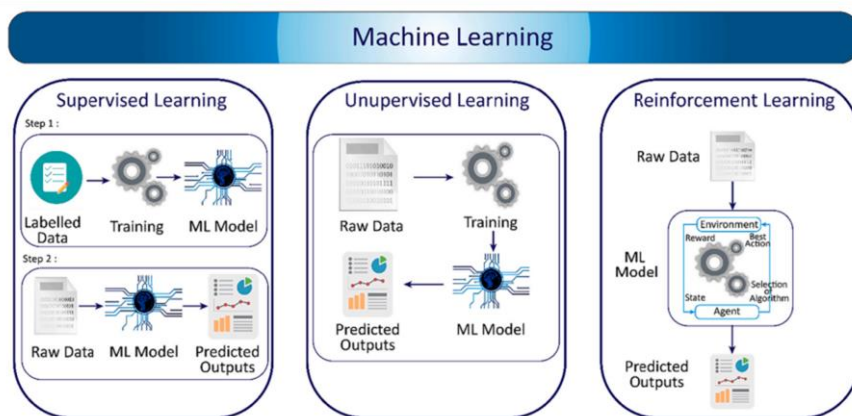
profundo são considerados métodos de aprendizado de máquina que são capazes de construir notáveis e inteligentes algoritmos gentis para resolver problemas complexos que, por meio do trabalho humano ou por outros recursos, décadas atrás nem sequer eram viáveis de serem resolvidos (Albatayneh, Forslof e Ksaibati, 2020). Guzmán-Torres *et al.* (2023) explicam que o uso de técnicas a partir do uso do aprendizado de máquina continua a aumentar, possuindo uma variedade de aplicações.

Figura 7: Inteligência Artificial e seus subconjuntos



Fonte: Rampini et al. (2022)

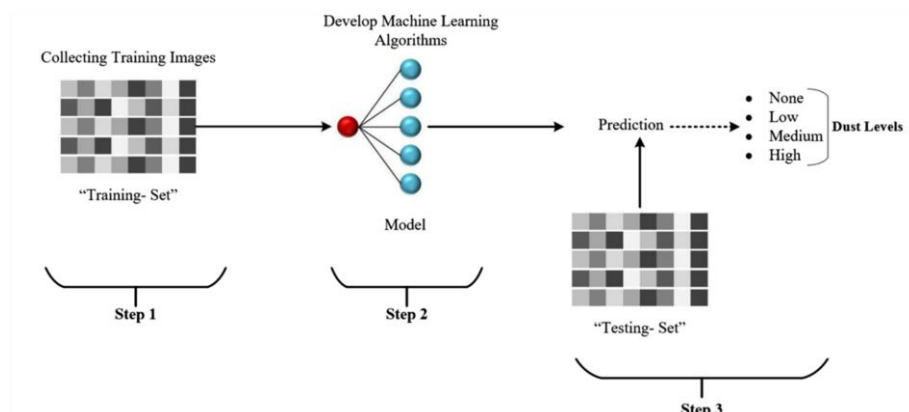
Figura 8: Categorização do aprendizado de máquina



Fonte: Baduge *et al.* (2022)

O aprendizado de máquina é um dos algoritmos mais utilizados para treinar dados para otimizar sistemas, e seus avanços permitem o desenvolvimento de aplicativos complexos, conforme ilustrado na figura 9 (Albatayneh, Forslof e Ksaibati, 2020).

Figura 9: Desenvolvimento do algoritmo de aprendizado supervisionado de máquina



Fonte: Albatayneh, Forslof e Ksaibati (2020)

Segundo Mohammadpour, Karan e Asadi (2019), o aprendizado de máquina trata-se de um estudo baseado em modelos matemáticos e estatísticos, além de algoritmos e aplicações de inteligência artificial onde as máquinas são utilizadas visando à melhoria seu desempenho, aprendendo e melhorando com sua experiência, e, considerado uma mudança de paradigma, pode ser explicado a partir de uma analogia onde um programador escreveria um código de computador, estabelecendo as regras para processar entradas de dados e produzir uma saída e, recebidos pelo computador, bem como as respostas esperadas, tais regras são usadas em novos dados para gerar resultados exclusivos, sendo com isso um sistema treinado e desenvolvido em três tipos: i) aprendizagem supervisionada, ii) aprendizagem não supervisionada e iii) aprendizagem por reforço (RL).

O tipo de aprendizado de máquina baseado em aprendizagem supervisionada é um tipo de técnica é onde o conjunto de dados tem tanto os preditores quanto os resultados que são denominados rótulos (Bagude *et al.*, 2022). Segundo Xu *et al.* (2021), esse tipo de tecnologia pode aprender um padrão a partir de dados rotulados, produzindo resultados de novas entradas com base nesse padrão.

Conforme explicam Albatayneh, Forslof e Ksaibati (2020), esse tipo de algoritmo utiliza uma técnica que divide seu trabalho em três passos: inicialmente com exemplos (imagens) do problema que está sendo resolvido; em um segundo momento utiliza as imagens de entrada para treinar o classificador usando modelos pré-treinados e algoritmos de aprendizado; e no último momento, encontra os padrões nas imagens treinadas. Hoang (2018) explica que os modelos ANN e LS-SVM são exemplos de algoritmos de aprendizado supervisionado que podem, por

exemplo, serem utilizados para processamento de imagens coletadas por dispositivos como câmeras digitais.

Segundo Bagude *et al.* (2022), no aprendizado não supervisionado, um conjunto de dados não rotulado é usado para determinar padrões ocultos ou estruturas intrínsecas nos dados, sendo amplamente utilizado para tarefas como agrupamento, detecção de anomalias e detecção de novidade, visualização e redução de dimensionalidade.

Esse tipo de algoritmo se concentra na redução de dados e problemas de agrupamento, além de descobrir conhecimento de dados não rotulados, e os principais algoritmos desse modelo de aprendizagem de máquina são Análise de Componentes Principais (PCA), t-SNE e K-means (Rampini *et al.*, 2022). Segundo Mohammadpour, Karan e Asadi (2019), no modelo de aprendizado de máquina não supervisionado máquina aprende durante o processo sem orientação, usando dados que não são rotulados, classificados ou categorizados.

2.3.2 Visão Computacional e Aprendizado Profundo

O aprendizado de máquina também possui alguns subcampos, onde o seu emprego ocorre em camada mais ocultas. Segundo khallaf e khallaf (2021, p. 2), “o aprendizado profundo é um subconjunto do aprendizado de máquina que permite que os computadores aprendam com a experiência passada”. Com o crescimento dos campos de aprendizado profundo e visão computacional, entender as cidades através dos olhos de um computador abre as portas para a análise de atributos ausentes da dinâmica da cidade, sobretudo com o emprego da tecnologia de aprendizado profundo, uma vez que possui um tremendo potencial no trabalho para lidar com tipos de dados heterogêneos, dentre os quais aqueles baseados em imagens (Ibrahim, Haworth e Cheng, 2021). Conforme Guzmán-Torres et al. (2023 p. 2):

“O emocionante campo da visão computacional (CV) emerge da teoria DL, que se concentra em sistemas de visão que executam uma tarefa específica em imagens e vídeos. Essas tarefas detectam, classificam e segmentam objetos em imagens, fotografias e vídeos.”

O algoritmo de aprendizado profundo, ou Deep Learning (DL), tem como uma de suas funcionalidades a possibilidade de, a partir da identificação e processamento de objetos e imagens, analisar algumas de suas características, como por exemplo os danos existentes. Segundo Nistor, Ileni e Darabant (2020), diferentes algoritmos de aprendizado profundo podem ser utilizados no trabalho de solução de muitas tarefas. Segundo Baduge et al. (2022), geralmente os algoritmos de aprendizado profundo são utilizados em conjunto com dados

dimensionais superiores como imagens, vídeo e áudio, devido à presença de longos caminhos computacionais.

À semelhança do cérebro humano, durante o trabalho de análise dos dados, o aprendizado profundo processa, rotula e categoriza a entrada recebida, em decorrência de sua capacidade de criar vários conjuntos de dados e distinguir e aprender vários níveis de complexidade que alguns algoritmos de aprendizado de máquina podem não ser capazes de fazer (Khallaf e Khallaf, 2021). E conforme Baduge *et al.* (2022), os algoritmos de aprendizado profundo, em consonância com dados dimensionais superiores como imagens, vídeo e áudio, devido à presença de longos caminhos computacionais, são amplamente usados no setor de construção e na indústria de construção.

Segundo Nouredin *et al.* (2023), os modelos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo vêm aumentando suas aplicações no ramo da engenharia civil. Segundo Khallaf e Khallaf (2021), o aprendizado profundo demonstrou ser uma ferramenta eficaz na solução de muitos problemas relacionados ao reconhecimento de objetos e monitoramento de processos, com vistas à melhoria do ciclo diário de construção.

Conforme Jenkins *et al.* (2019), a ascensão da aprendizagem profunda e da tecnologia de visão computacional começou a influenciar fortemente o campo da engenharia de monitoramento estrutural e levou a um aumento dramático na procura de automação ou tecnologias de apoio ao monitorização estrutural e, nessa seara, a análise de estradas e pavimentos, especificamente a identificação de fissuras superficiais, é uma área que pode beneficiar enormemente da aplicação de aprendizagem profunda e visão computacional.

Há uma infinidade de aplicações de Inteligência Artificial na construção civil, a maioria dessas aplicações devido ao aumento do poder computacional para processamento de unidades gráfico (GPU) de alto desempenho, disponibilidade de algoritmos avançados de ML (Baduge *et al.*, 2020). No entanto, outras funcionalidades da tecnologia são possíveis de serem empregadas no ramo da engenharia, a partir de emprego de outros subcampos como as redes neurais.

2.3.3 Redes Neurais

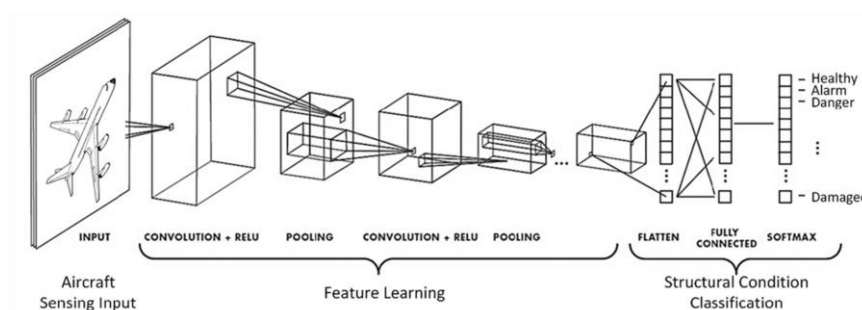
Segundo Nistor, Ileni e Darabant (2020), nos últimos anos, as redes neurais profundas obtiveram avanços grandes em decorrência de ser um tipo de algoritmo que pode ser usado para processar grandes quantidades de dados, algo que seriam impossíveis se manipulados manualmente. Subcampo do aprendizado profundo, o sistema baseado na Rede Neural Convolucional (CNN) é um tipo único de Deep Learning que pode ser usado para processar

dados com topologia semelhante a grade, sendo aplicado principalmente na classificação usando imagens e aplicativos de visão computacional a partir, principalmente, de três tipos de camadas em sua arquitetura: convolução, pooling e camada totalmente conectada (FC) (Baduge *et al.*, 2022). Ainda, segundo Baduge *et al.* (2022, p. 3)

“O aprendizado profundo geralmente é realizado usando uma pilha de camadas chamadas redes neurais. A aprendizagem profunda com uma pilha de redes neurais de convolução (CNN) é uma técnica amplamente utilizada atualmente devido ao aprimoramento do poder do computador e isso é usado extensivamente nos domínios de reconhecimento de objetos visuais, reconhecimento de fala, síntese de imagem, síntese de fala e tradução automática”.

Segundo Tabian, Fu e Sharif Khodaei (2019), a camada de convolução é utilizada para extrair informações de sua entrada por meio do uso de uma série de filtros que são automaticamente ensinados a detectar certas características em uma imagem, sendo o tamanho dos filtros e seus números são determinados pelo usuário. Segundo Ouma e Hahn (2017), as redes neurais artificiais são redes inerentemente paralelas e seu processamento é utilizado com o objetivo de simular um computador serial padrão onde, em razão das muitas interconexões utilizarem-na, as informações espaciais podem ser facilmente incorporadas em seus procedimentos de classificação.

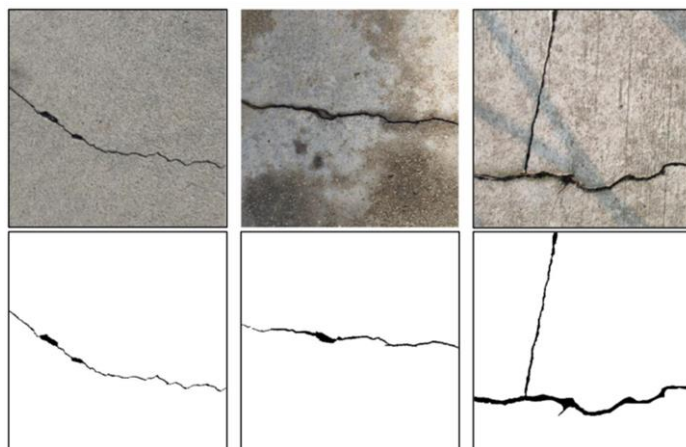
Figura 10: Exemplo de uma arquitetura típica de Rede Neural Convolutional



Fonte: Tabian, Fu e Sharif Khodaei (2019)

No que tange ao trabalho de inspeção de pavimentação e estruturas rodoviárias, o emprego da Inteligência Artificial por meio das Redes Neurais Artificiais mostrou-se uma técnica muito eficiente e promissora, tendo uma funcionalidade bem dinâmica. Segundo Osman *et al.* (2022), a Rede Neural Artificial (ANN) pode ser empregada para examinar a viabilidade de modelar e prever danos no pavimento de várias faixas em decorrência de danos na pavimentação de uma única faixa adjacente e sua implementação possui potencial de reduzir os requisitos de energia e tempo no estágio de avaliação de condições em pelo menos metade, quando se trata de uma rodovia multipista uniforme.

Figura 11: Análise de imagens de fissura em estrutura com o emprego de algoritmo de rede neural convolucional



Fonte: Liu *et al.* (2019)

Segundo Shim *et al.* (2023), combinada com tecnologia de sensores, o algoritmo de detecção com uma rede neural baseada em aprendizado profundo pode ser utilizado para detectar e medir danos dentro de um túnel de concreto, extraíndo danos na superfície de concreto a partir de imagens capturadas com uma câmera instaladas em um sistema de robô de inspeção em um veículo não tripulado e um manipulador que pode viajar dentro de um túnel e acessar livremente a área danificada.

2.4 Emprego de tecnologias no trabalho de inspeção da pavimentação

Conforme ilustram Jenkins *et al.* (2018), atualmente, a deterioração das condições da superfície das estradas e dos pavimentos é um problema que afeta diretamente a maior parte do mundo em decorrência da estrutura complexa e as semelhanças texturais das fissuras superficiais, bem como a variação do ruído e da iluminação da imagem, tornando com isso a detecção automatizada uma tarefa desafiadora. Segundo Nistor, Ileni e Darabant (2020, p. 2), “À medida que a ciência da computação progride, mais e mais domínios aproveitam o poder da computação”.

A tecnologia da informação representa uma ferramenta que permite encurtar caminhos e, com isso, inovar, em razão de sua aplicação dinâmica, permitindo sua implementação tanto na área comercial como em serviços. Segundo Karaaslan, Bagci e Catbas (2019), tecnologias avançadas de detecção têm a capacidade de entender melhor a condição atual, proporcionando aperfeiçoamentos da resolução e da precisão.

E ainda, conforme Li e Xuan (2017), a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 podem tornar uma cidade mais facilmente percebida, pois seus ativos serão mais facilmente integrados. Assim também, segundo Khallaf e Khallaf (2021), a capacidade de automatizar tarefas permite

a detecção de variâncias com mais celeridade, proporcionando assim a intervenção mais rápida para reduzir quaisquer possíveis impactos adversos.

No que tange às tecnologias empregadas no trabalho voltado à manutenção das vias públicas, é possível perceber, a partir de sua aplicação recorrente, a importância da Inteligência Artificial no processo de inspeção. Huang *et al.* (2022) explicam que a inteligência artificial, sob uma abordagem baseada em aprendizado profundo pode ser uma ferramenta utilizada na classificação inteligente, a partir de imagens, da doença única do concreto. Assim também, segundo Gao e Mosalam (2018), por meio de inteligência artificial e aprendizado profundo levou à melhoria da precisão dos trabalhos de inspeções de infraestruturas sociais, como pontes, a partir do reconhecimento de imagem.

Segundo Khallaf e Khallaf (2021), o aprendizado profundo tem sido uma ferramenta benéfica no trabalho de detecção de rachaduras e segmentação em infraestrutura. Conforme Guzmán-Torres et al. (2023, p. 2), “A implementação de algoritmos de Machine Learning aumentou a eficácia da avaliação da infraestrutura”.

A Inteligência Artificial é estruturada em outras duas tecnologias, das quais o algoritmo de Machine Learning pode ser utilizado no trabalho de identificação e análise de padrões complexos que são mais difíceis de serem detectados por humanos.

Figura 12: Representação visual do sistema de Realidade Mista, alimentado por Inteligência Artificial

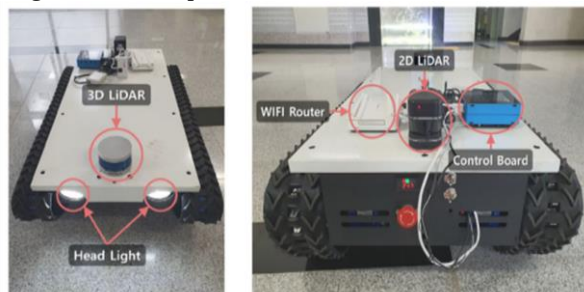


Fonte: Karaaslan, Bagci e Catbas (2019)

Segundo o Shim *et al.* (2023), a tecnologia de visão computacional pode ser usada como um sensor para medir rachaduras, uma vez que, devido à alta resolução, sua aplicação permite que até mesmo as rachaduras menores possam ser detectadas. Nesse sentido, Karaaslan, Bagci e Catbas (2019) explicam que a tecnologia de Realidade Mista é uma excelente plataforma para interação uma vez que aumenta o ambiente virtual para o real, permitindo a informação em tempo real, e, sendo integrada a um dispositivo de fone de ouvido holográfico vestível, permite um inspetor analisar automaticamente um determinado defeito, como uma rachadura que ele vê

em um elemento, e exibir suas informações de dimensão em tempo real junto com o estado da condição.

Figura 13: Exemplo de robô utilizando sensor LIDAR para detecção de anomalias

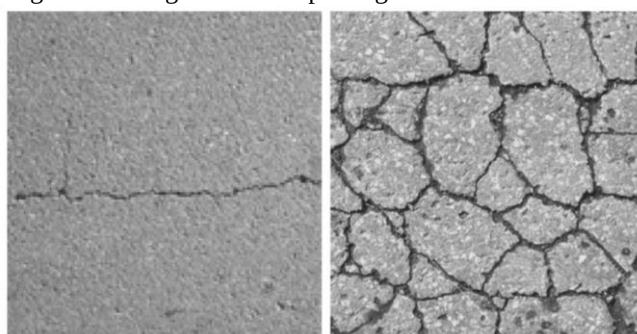


Fonte: Shim et al. (2023)

Os autores ainda explicam que o sistema de realidade mista integrado à Inteligência Artificial pode auxiliar o inspetor acelerando certas tarefas de rotina, como medir todas as rachaduras em uma região de defeito ou calcular uma área de lasca, uma vez que um sistema de Inteligência Artificial pode detectar danos em tempo real e analisar a avaliação da condição com precisão razoável.

Segundo Coenen e Golroo (2017), as câmeras individuais regulares são usadas no trabalho de detecção de diferentes problemas com base em imagens bidimensionais (2-D), efetuando uma varredura de área e de varredura de linha, as quais, por meio de uma iluminação mais forte, podem ser usadas para identificação de manchas, entre rachaduras e buracos, pois esses três tipos de desgaste possuem características 2-D claras.

Figura 14: imagens de duas patologias detectadas com câmeras instaladas em robôs



Fonte: Cubero-Fernandez *et al.* (2017)

Segundo Peraka, Bibligiri e Kalidindi (2021), umas das tecnologias da indústria 4.0 utilizadas em campo para auxiliarem o trabalho humano, a robótica também é empregada no trabalho de inspeção de vias públicas a partir da instalação de câmeras em veículos terrestre não tripulado de pesquisa onde, voltadas para baixo, realizam a captura por vídeos da condição da superfície do pavimento, armazenando em um formato de arquivo não compressível para manter a qualidade, sendo esses vídeos segmentados em várias imagens, pré-processados e

analisados, com a utilização de técnicas de processamento de imagem (IP) de última geração, algoritmos de inteligência artificial (IA) de ponta, ou ambos, para detectar problemas no pavimento, conforme figura 18.

Figura 15: imagens de um veículo aéreo não tripulados com câmeras instaladas



Fonte: Zakeri, Nejad e Fahimifar (2017)

Segundo Shim *et al.* (2023), a tecnologia da robótica envolve sistemas de robôs que são empregados em trabalhos de inspeção, incluindo um veículo não tripulado, muito conhecidos como drones, o qual possui um sistema de gerenciamento controla remotamente o robô por meio de comunicação sem fio e monitora o status da inspeção em tempo real. Essa tecnologia tem como vantagem a facilidade da mobilidade, podendo ser empregadas ao longo de vias.

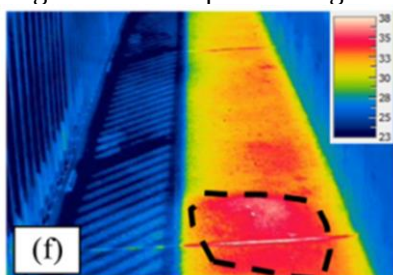
Coenen e Golroo (2017) explicam que a aplicação das câmeras do trabalho de detecção de imagens deve ser usada para identificação de manchas, entre rachaduras e buracos, pois esses três tipos de desgaste possuem características 2-D claras. Ainda segundo explicam Ouma e Hahn (2017, p. 2):

“[...] as imagens de visão 2D são consideradas apropriadas para levantamento rápido das condições das estradas e para a detecção precoce de buracos em pavimentos asfálticos. No entanto, o processamento de imagens 2D para avaliações de superfícies de pavimentos é uma tarefa desafiadora devido às complexidades inerentes às características da imagem e ao processamento de defeitos no pavimento.”

Conforme Karaaslan, Bagci e Catbas (2019), a visão computacional pode ser usada para processar o solo a partir de imagens de radar de penetração (GPR). Shim *et al.* (2023) explicam que esse tipo de sistema funciona a partir da instalação de uma câmera que, associada a um sensor de radar de penetração no solo (GPR) na parte traseira de um veículo, é utilizado para investigar as condições do pavimento, vindo a câmera a detectar rachaduras no pavimento e o sensor GPR a medir a espessura do asfalto. Segundo Coenen e Golroo (2017), o GPR, quando combinado com imagens de câmeras, para criar um perfil 3D do pavimento.

Karaaslan, Bagci e Catbas, 2019 explicam que termografia infravermelha (IRT) é uma tecnologia útil para identificar delaminação formada dentro de estruturas de concreto, conforme ilustrado da figura 16.

Figura 16: Exemplo de imagem detectada por infravermelho

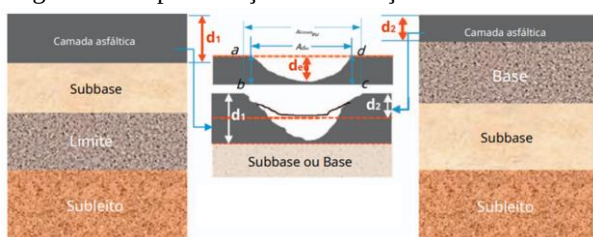


Fonte: Karaaslan; Bagci; Catbas, 2019

Conforme Coenen e Golroo (2017), o espectro infravermelho é uma tecnologia que pode ser utilizada para o reconhecimento de fissuras, manchas e delaminação, sendo uma técnica adequada para detecção de fissuras devido à mudança de temperatura que ocorre entre as fissuras e o restante da superfície asfáltica pois, a combinação das duas técnicas na inspeção e caracterização de fissuras em asfalto permitem a estimativa da profundidade da fissura, a detecção da presença de material de enchimento e a identificação preliminar das origens e gravidade da rachadura.

Segundo Ouma e Hahn (2017), os buracos em pavimentos asfálticos podem ser detectados através de um sistema de visão por imagens 2D ou 3D. Conforme explicam Coenen e Golroo (2017), os sensores 3D oferecem uma abordagem de detecção integral com o emprego de medições de profundidade em combinação com imagens, conforme a figura 17.

Figura 17: Representação de formações de buracos no asfalto camadas de profundidade d1 e d2



Fonte: Ouma e Hahn (2017)

Segundo Coenen e Golroo (2017, p. 10), “Como os buracos muitas vezes são resultado de cargas de tráfego intensas, eles não são incomuns nos caminhos das rodas do pavimento, o que também é o caso de empurrões”. Devido às características dessa patologia, como diâmetro e profundidade, há possibilidade de realização de categorizá-lo, visando uma classificação de acordo com a gravidade.

Segundo Ouma e Hahn (2017), os buracos, remendos e sangramentos são defeitos relacionados à elevação da superfície, os quais podem ser categorizados de acordo com a profundidade da área, tendo sua formação causada principalmente pela perda de agregados da camada da estrada as informações de área de superfície e profundidade ou elevação são um

fator geométrico importante na determinação da extensão e gravidade do defeito, sendo tais informações relativas à área de superfície e profundidade ou elevação importantes para a determinação da extensão e gravidade do defeito, conforme abordado na figura 18.

Figura 18: Abordagem empírica para detecção de buracos por imagens 2D



Fonte: Ouma e Hahn (2017)

Segundo Xu *et al.* (2021), tanto o solo como as paredes são detectados sem segmentação a partir de imagem de aprendizagem profunda, uma vez que as nuvens de pontos 3D formam um plano, característico de muitos objetos urbanos e, ao remover as nuvens de pontos 3D do solo e das paredes, os objetos urbanos podem ser facilmente segmentados, sendo, em seguida, as nuvens de pontos 3D do objeto urbano segmentado projetadas em múltiplas imagens 2D de diferentes ângulos, o que leva à ampliação do conjunto de dados. Conforme Ouma e Hahn (2017), a utilização da geometria 3D dos defeitos dos buracos possibilita que vários estudos de pesquisa adotem informações relativas à profundidade, obtidas a partir da estereovisão 2D ou da varredura a laser 3D.

Segundo Ouma e Hahn (2017), uma outra forma de medir a profundidade e criar desta forma uma imagem 3D é por meio do radar, que vem de forma diferente uma vez que utiliza ondas de rádio para determinar o alcance e o ângulo dos objetos e faz uso de impulsos eletromagnéticos curtos, sendo uma técnica cada vez mais comum na detecção de perigos e é usada, por exemplo, por empresas como a Pathway Services Inc., VOTERS, AID, ERI, Roadscanners, SITECO e International Cybernetics para determinar o IRI.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para a realização da Revisão Sistemática da Literatura, explicitando as strings utilizadas na base de dados para obter os materiais científicos e os filtros empregados para limitá-los ao essencial para a elaboração do referencial teórico, apresentando, na oportunidade, o passo-a-passo para se chegar aos artigos científicos que contribuíram para a primeira parte da obtenção de dados da pesquisa.

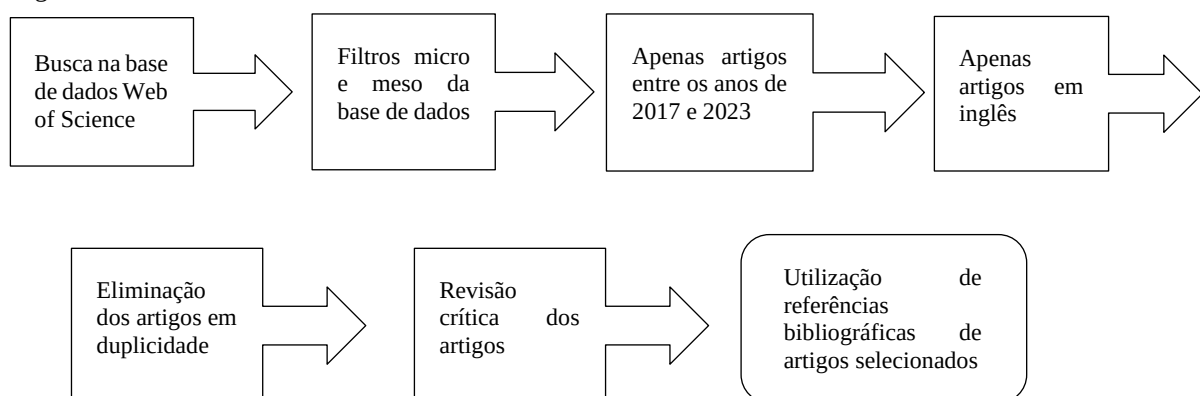
Posteriormente, são apresentados quatro subtítulos mencionando a classificação da pesquisa, explicitando a caráter da pesquisa, outro relacionado à delimitação do público-alvo, onde será explanado a forma de seleção dos especialistas participantes do questionário utilizado secundariamente na obtenção da dados necessários ao confronto com os dados obtidos no referencial teórico, um outro subcapítulo versando sobre as técnicas de coleta de dados e, finalizando, outro versando sobre as técnicas na análise dos dados.

3.1 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura (SLR) direcionada para identificar e relatar pesquisas anteriores, de maneira metódica e eficiente, com o objetivo de obter artigos que servissem como subsídios teóricos necessários à explicitação de conceitos e outras características importantes relacionados a cidades inteligentes, tecnologias da indústria 4.0, vias públicas, mobilidade urbana, planejamento urbano, dentre outros.

Para obter os artigos de pesquisa para este estudo, a pesquisa foi realizada em abril de 2023, cujo motor de busca escolhido foi a base de dados Web Of Science, por encontrar os mais recentes desenvolvimentos e pesquisas interdisciplinares no campo, visando à obtenção de artigos relacionados ao tema a ser investigado, conforme ilustrado na figura 19.

Figura 19: Revisão Sistemática da Literatura



Fonte: Elaboração própria

Na primeira etapa, após efetuar uma busca com as strings na figura 19, a base de dados retornou um total de 518.400 artigos. Depois do refinamento inicial do primeiro lote de artigos, visando à segregação de itens mais relevantes para a pesquisa daqueles que não poderiam agregar, foi realizada uma triagem em que a base de dados efetuasse uma busca por tópicos de citação meso e micro, somente artigos relacionados aos seguintes temas: “detecção de danos”, “Identificação do sistema”, “Convecção”, “Detecção de falhas”, “Compactação do solo”, “Solos insaturados”, “Desgaste”, “Segmentação de imagem”, “Indústria 4.0”, “Diagnóstico de falhas”, “Aprimoramento de imagem”, “Teste de software”, “Modelo de aceitação de tecnologia”, “Detecção de defeitos”.

A base de dados retornou 380 artigos. Em seguida, um outro filtro foi realizado, solicitando que fossem designados apenas artigos publicados entre os anos de 2017 e 2023 e somente artigos e artigos de revisão. A base de dados retornou 326 artigos. Em seguida, um outro filtro foi realizado, solicitando que fossem designados apenas artigos em inglês. A base de dados retornou 213 artigos.

No estágio 2, os arquivos extraídos foram processados com a utilização do site www.rayyan.com.br, sendo excluídos os artigos em duplicidade, resultando em uma base consolidada de 189 artigos. No 3º estágio, após a eliminação dos artigos em duplicidade, com o escopo de realizar a revisão sistemática da literatura de forma mais rápida, foi realizada uma revisão crítica dos artigos, visando ao direcionamento de estudos futuros, a partir de uma leitura sumária nos resumos dos artigos, visando selecionar aqueles em cujo conteúdo fosse direcionado predominantemente às vias e estradas públicas, associados ainda às tecnologias da Indústria 4.0, sintetizando descobertas e identificando possíveis direções de pesquisa. Ao final da análise, foram selecionados 43 artigos.

Em um último estágio, visando subsidiar a revisão bibliográfica a partir do material obtido, foram também utilizados mais 10 artigos que serviram de referência bibliográfica para os artigos obtidos por meio de revisão sistemática da literatura e que foram citados pelos autores durante a elaboração desses artigos.

3.2 Classificação da pesquisa

A pesquisa trata-se de uma abordagem qualitativa pois não visa à mensuração de números, mas sim buscar entender aspectos subjetivos, como pontos de vista, ideias e experiências, a partir de profissionais das áreas de engenharia civil e de ciências da computação, tentando associá-los a um possível método inovador de inspeção de vias públicas.

Tem por objetivo aprofundar-se no mundo dos conceitos e características de uma das tecnologias da indústria 4.0 – Inteligência Artificial – visando investigar sua aplicabilidade para suprir uma lacuna existente na política pública voltada para a inovação da engenharia civil, materializada pela apresentação de um possível método de detecção de danos em vias públicas, uma vez que a tecnologia possui uma aplicação ampla em praticamente quase todas as áreas.

A pesquisa possui um caráter exploratório, visto que investiga hipóteses de aplicação das tecnologias ao tema proposto, abrindo espaço para novas pesquisas relacionadas ao objeto do trabalho. Assim também a pesquisa possui um cunho descritivo, uma vez que tem por objetivo descrever o contexto das patologias existentes nas vias públicas, possuindo características fortes, baseadas em registros e análise dos fenômenos, sem contudo manipulá-los.

3.3 Delimitação do público-alvo

Visando alcançar os objetivos específicos 2 e 4, a saber - abordar os mecanismos de identificação de patologias nas vias públicas e explicar as características da tecnologia da Indústria 4.0 – Inteligência Artificial, para a coleta de dados, o público-alvo foi composto apenas por profissionais das áreas de engenharia civil, cujo desempenho dos cargos está relacionado ao ramo de construção e manutenção de pavimentação, e de profissionais de ciências da computação, cujos cargos se relacionam com o ramo de inteligência artificial.

Com relação aos profissionais da área de engenharia civil, foram consultados especialistas que trabalham no ramo de pavimentação, uma vez que, pelo fato de eu ser militar do Exército facilitar o acesso até esses profissionais, são engenheiros militares que trabalham nos Batalhões de Engenharia de Construção, cujo desempenho das funções ocorre nessas organizações militares, além de um funcionário do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) lotado na unidade na cidade de Boa Vista-RR, o qual foi consultado pessoalmente.

Com relação aos profissionais da área de ciências da computação, alguns são especialistas militares formados pelo Instituto Militar de Engenharia, cujo acesso até esses profissionais se deu de forma congruentes aos engenheiros militares da área de engenharia civil. Quanto as especialistas que trabalham em empresas civis, alguns foram indicações de professores universitários e outros são pessoas conhecidas já há um tempo considerado, cujo contato foi realizado diretamente.

Com relação aos profissionais da área de engenharia civil, quantos às empresas e organizações onde trabalham, 100% do público-alvo selecionado são profissionais que

desempenham seus cargos em organizações públicas. Já no que tange aos profissionais do ramo de ciências da computação, 75% do público-alvo selecionado são profissionais que desempenham seus cargos em empresas privadas e 25% em organizações públicas. Com o escopo de preservar a identidade dos profissionais participantes, foram atribuídos acrônimos para cada um, onde foram representados por duas letras, relativas aos profissionais de engenharia civil (EG) e aos profissionais de ciência da computação (IA), seguidas por número, individualizando cada especialista.

3.4 Técnica de coleta dos dados

Segundo Marconi e Lakatos (2017), o questionário é um instrumento de coleta de dados constituído por uma série de perguntas a serem respondidas por escrito e sem a presença do pesquisador, em que é enviado ao informante e, depois de preenchido, é devolvido da mesma forma que o recebeu. Uma vez que possui algumas vantagens como economia de tempo, viagens e obter um grande número de dados, atingir um maior número de pessoas simultaneamente e abranger uma área geográfica mais ampla, considerando-se as diferentes localizações geográficas dos participantes deste trabalho, foi a forma escolhida mais coerente a ser empregada.

Desta maneira, a busca de dados juntos aos profissionais foi realizada por meio de questionário com questões compostas, firmado em teorias extraídas do referencial teórico com o objetivo de apresentar, de maneira organizada, o trabalho por um roteiro de apoio formado por um conjunto de questões que visam orientar o objeto do estudo, sem contudo restringir a condução do pesquisador junto aos especialistas, possibilitando anotações de possíveis observações e percepções.

As questões aventadas tiveram por objetivo, inicialmente, identificar o perfil dos profissionais relativo a aspectos como idade, formação e especialização, tempo de formação na área, esfera do órgão onde trabalham e tempo de experiência (Apêndice 1). Posteriormente, para a coleta de dados, as questões consideradas foram de ordem técnica, com o escopo de levantar dados que serviriam de suporte para a formação de opinião durante a discussão de resultados.

As questões foram elaboradas com base no referencial teórico, a partir dos dados obtidos em revistas científicas, a fim de confrontá-las, futuramente, com as opiniões dos especialistas. Para isso, foram elaboradas buscando a opinião dos especialistas quanto às características específicas dos temas relacionados à pavimentação (Apêndice 2), tais como a importância da pavimentação para a segurança viária, métodos de inspeção de vias públicas mais utilizados em

um possível trabalho de inspeção de infraestruturas, a opinião quanto às contribuições da tecnologia no trabalho de inspeção de vias públicas, funcionalidades dos subcampos da inteligência artificial em possíveis trabalhos de inspeção, possíveis subcampos que poderiam ser utilizados no trabalho de inspeção da pavimentação inteligência artificial (Apêndice 3) etc.

Em razão de envolver especialistas de diferentes áreas, os questionários foram formulados de duas formas: uma primeira parte, visando para levantar dados do perfil profissional dos especialistas, conforme se verifica no apêndice 1; e na segunda parte, visando obter dados específicos que se relacionam com o objeto da pesquisa, conforme se verifica nos apêndices 2 e 3.

Em razão da limitação geográfica, havia inviabilidade de se efetuar uma entrevista de modo presencial junto aos especialistas, uma vez que encontram-se distribuídos por órgãos conexos ao investigado em outras cidades do país. Quanto aos órgãos relacionados os trabalhos de engenharia, foram selecionadas organizações militares do Exército Brasileiro cujas atividades são relacionadas à construção e revitalização de estradas e infraestruturas físicas, localizados nos municípios de Porto Velho-RO, Picos-PI e São Paulo-SP, e organização civil localizada no município de Boa Vista-RR cujas atividades se dedicam ao monitoramento das condições da infraestrutura de estradas. A pesquisa foi realizada juntos aos especialistas no mês de abril de 2024.

Quanto aos órgãos de ciência da computação, foram selecionadas organizações públicas e privadas que dedicam seu trabalho na área de inteligência artificial nas cidades de São Paulo-SP, Brasília-DF e Rio de Janeiro-RJ. Dessa forma, os questionários foram enviados a especialistas que desempenham seus trabalhos em diversas cidades do país, por meio da ferramenta *Google Forms*, a qual foi realizada no mês de abril de 2024.

Visando obter informações acerca dos procedimentos voltados para a identificação e detecção de patologias em pavimentação, a pesquisa tem por proposta obter dados de engenheiros graduados em engenharia civil, especializados na área congruente à engenharia construção e manutenção de estradas e vias públicas, além de técnicos de áreas conexas, os quais exercem suas funções também na área de engenharia de construção, mais especificamente nos trabalhos de construção e manutenção de estradas e vias públicas, com o escopo de levantar dados importantes que possam contribuir para o objetivo desta pesquisa.

Visando também a obter dados sobre as tecnologias da informação exploradas no trabalho, a proposta desta pesquisa é também obter dados de profissionais da área de TI que trabalham e/ou pesquisam as tecnologias da Indústria 4.0, preferencialmente em inteligência artificial, uma vez que é a tecnologia a ser investigada neste trabalho, tendo em vista a

oportunidade de sua aplicabilidade na área. A escolha dos tipos e quantidade de questões a serem utilizadas na criação do roteiro foram determinadas com base na revisão bibliográfica que determinou o mapa do trabalho focado no objeto desta pesquisa.

Por meio da tabela 1, demonstra-se a relação entre os objetivos do projeto, o objeto abordado e a técnica de coleta desse estudo.

Tabela 1: Quadro demonstrativo da correlação dos objetivos com os dados da pesquisa

OBJETIVOS	OBJETO	TÉCNICAS DE COLETA	ITEM DA PESQUISA
Abordar a importância das políticas públicas voltadas à manutenção da pavimentação das vias públicas e estradas em geral;	Características da construção de uma via pública de qualidade.	Questões 11 a 15 do roteiro de perguntas do questionário para os profissionais do ramo de engenharia civil.	2.2
	Características ligadas à degradação da pavimentação das vias públicas	Questões 16 a 20 do questionário direcionado aos profissionais do ramo de engenharia civil.	2.2.1
Explicitar as características das principais anomalias responsáveis pela degradação da pavimentação em vias públicas; Abordar os mecanismos de identificação de anomalias nas vias públicas.	Importância do trabalho de inspeção das vias públicas; Trabalho desenvolvidos para identificar as anomalias nas vias públicas.	Questão 18, da letra “a” até a letra “f” e questões de 21 a 24 do questionário direcionado aos profissionais do ramo de engenharia civil.	2.2.2
Explicar as características e funcionalidades da tecnologia da Indústria 4.0 – inteligência artificial;	Conceitos e características da inteligência artificial; Subcampos da inteligência artificial.	Questão de 10 do questionário direcionado aos profissionais do ramo de tecnologia da informação, fragmentada em 06 subitens, e questões de 11 a 15 do	2.3

		mesmo questionário, com questões objetivas com espaço para dissertação explicativa dos profissionais.	
--	--	---	--

Fonte: Produção própria

3.5 Técnica de análise de dados

No que tange ao percurso de análise dos dados a serem obtidos quando do preenchimento dos questionários pelos especialistas, foi utilizada a técnica de Bardin (1970), seguindo três etapas: a) pré-análise; b) exploração do material; e c) tratamento e interpretação dos dados, recorrendo-se à técnica de análise de conteúdo temática por frequência. Na primeira etapa, foi realizada uma leitura exploratória das respostas dos questionários, visando compreender os dados obtidos para confrontá-los com os obtidos na pesquisa realizada por meio da revisão bibliográfica. Na etapa seguinte, o material foi revisitado, visando à apresentação da opinião dos participantes, para empregá-los da discussão dos resultados.

Na fase de tratamento e interpretação dos dados, trechos dos dados foram associados de forma a categorizar as respostas, tomando por base aquelas respostas congruentes dos profissionais de cada uma das áreas exploradas, considerando-se, para isso, no mínimo, 60% de opiniões de cada pauta abordada. Por fim, visando à discussão dos resultados, foram criadas a partir das congruências obtidas durante uma análise realizada, considerando-se para isso o alinhamento entre as citações diretas e indiretas explicitadas na revisão bibliográfica com os discursos proferidos pelos especialistas.

Visando organizar esses dados, e assim disponibilizá-los para uma visualização holística, foram montadas redes de visualização com a utilização do software Cmap Tools. Com o auxílio da ferramenta, foi realizada a seleção dos dados com base nas respostas que mais se repetiram, com o escopo de discutir os resultados, interpretá-los e realizar uma triangulação com os dados obtidos no referencial teórico.

Tabela 2: Resumo das respostas do questionário da área de engenharia civil e ciências da computação

ÁREA	OBJETO	
	Questionamento	Resumo das respostas
Engenharia Civil	Tempo de durabilidade de uma via asfaltada	O tempo é relativo
	Fator que mais contribui para a deterioração do asfalto	Qualidade do material
	Periodicidade média da realização da inspeção de uma via pública	O período é relativo
	Método de inspeção mais empregado	Método visual
	Tempo de durabilidade médio do trabalho de inspeção de uma via	O tempo é relativo

	Quantidade de profissionais envolvidas na inspeção	A quantidade é relativa
	O emprego das tecnologias pode contribuir no trabalho de inspeção das vias públicas	Sim, as tecnologias contribuem

ÁREA	OBJETO	
	Questionamento	Resumo das respostas
Ciências da Computação	Machine Learning	Algoritmos capazes de aprender sem previamente serem programados
	Deep Learning	Neurônios artificial utilizados para padrões complexos
	Rede Neural Artificial	Arquitetura empregada para a construção de redes
	Rede Neural Recorrente	Arquitetura empregada para trabalhar com sequência de dados
	Visão Computacional	Arquitetura utilizada para interpretar o mundo visual, a partir do processamento de imagens
	Rede Neural Convolutacional	Arquitetura utilizada para processar dados em forma de grade
	O emprego das tecnologias pode contribuir no trabalho de inspeção das vias públicas	Sim, as tecnologias contribuem
	A inteligência artificial é aplicável em trabalhos de inspeção de vias	A tecnologia é aplicável
	A inteligência artificial é aplicável Para identificar defeitos na pavimentação	A tarefa é totalmente executável
	Precisão da tecnologia quando aplicada a trabalhos de inspeção	Alta

	A inteligência artificial é aplicável em trabalhos de reconhecimento, quando associada a câmeras	Totalmente possível
	Quando associada a dispositivos de coleta de imagens, a tecnologia poderia medir a extensão e profundidade dos danos em pavimentação	Sim
	Subcampo da tecnologia aplicável em trabalhos de inspeção de vias públicas	Visão Computacional

Fonte: Elaboração própria

Tal interpretação foi realizada separando os resultados mais fortes e comparando-os com o ponto de vistas dos autores. Assim, à medida que os dados foram sendo obtidos, foram comparados com o material obtido no referencial teórico, visando identificar congruências e incongruências existentes entre as duas fontes e verificar a viabilidade dos objetivos propostos neste trabalho.

Como parte da metodologia de interpretação dos dados, buscou-se dividir em duas partes a apresentação das opiniões dos especialistas: na primeira parte, buscou-se identificar, com base nas respostas oriundas dos profissionais do ramo de construção e manutenção de pavimentação, qual é a importância das vias públicas no contexto da mobilidade urbana, bem como em outros possíveis contextos não citados na pesquisa, mas que estejam relacionados com o objeto pesquisado.

No momento seguinte, analisar os aspectos citados pelos profissionais do ramo de engenharia civil acerca da deterioração da pavimentação, buscando verificar as anomalias apresentadas pelos especialistas e os métodos de empregados para sua detecção, visando compreender se são congruentes com aqueles dados relacionados na revisão bibliográfica ou, caso não tenham sido citadas, se poderiam agregar posteriormente à pesquisa. Em uma última análise deste contexto, buscou-se também observar as tecnologias citadas pelos especialistas, visando verificar se foram citadas na revisão da bibliografia, agregando ao trabalho caso algumas não tenham sido citadas.

Na segunda parte, assim como na parte relacionada à engenharia civil - pavimentação, buscou-se analisar as opiniões dos especialistas que trabalham no ramo de tecnologia da informação acerca das tecnologias da inteligência artificial, relativas aos seus subcampos e suas funcionalidades, a fim de identificar possíveis potencialidades da tecnologia no possível emprego em um processo de identificação e classificação de imagem real, seu possível emprego com dispositivos de detecção de imagem, conhecer seus subcampos e, com o escopo de conciliar os dados obtidos com o citado na revisão bibliográfica, verificar se poderiam ou não ser empregadas no contexto do processo de detecção de anomalias em estruturas.

4 RESULTADOS

Neste capítulo foram apresentados os dados coletados por ocasião do preenchimento dos questionários, explicitando, inicialmente, informações relativas ao perfil dos especialistas participantes e, posteriormente, dados específicos de cada área, relacionados aos objetivos deste trabalho. Para selecionar os especialistas, priorizou-se as organizações onde os profissionais com formação ou especialização exerciam cargos nas áreas específicas, sejam eles públicos ou privados, cujas atividades desenvolvidas fossem especificamente nas áreas exploradas nos objetivos deste trabalho.

Em um momento posterior, serão apresentados três subcapítulos: o primeiro, explicando os procedimentos para análise e interpretação dos dados, momento em que serão abordadas as respostas específicas obtidas nos questionários de cada área dos profissionais envolvidos, relacionando-as com os objetivos do trabalho.

Tabela 3: Relação codificada dos especialistas do ramo de inteligência artificial

Cod	Área	Formação	Cargo	Esfera	Escolaridade	Tempo de trabalho na área/cargo	Idade
IA1	Tecnologia da informação	Engenheiro da Computação	Fundador/CEO	Privada	Mestrado	7 anos	40 anos
IA2	Tecnologia da informação	Comunicação, Criatividade e Educação	Serial Thinker & Problems Killer	Privada	Mestrado	22 anos	65 anos
IA3	Tecnologia da informação	Informática	Desenvolvedor/DBA	Pública	Superior completo	1 ano e meio	29 anos
IA4	Tecnologia da informação	Ciência da computação	Coordenador de curso e professor	Privada	Doutorado	20 anos	52 anos
IA5	Tecnologia da informação	Engenharia mecatrônica	Gerente de Engenharia	Privada	MBA completo	4 anos	24 anos
IA6	Tecnologia da informação	Engenharia de controle e automação	Analista de desenvolvimento / engenheiro de dados	Privada	Mestrado	2 anos	35 anos
IA7	Tecnologia da informação	Física	Especialista em ciência de dados	Privada	PhD	4 anos	38 anos

IA8	Tecnologia da informação	Ciência Militares	Chefe da Divisão de Desenvolvimento de Softwares	Pública	Mestrando	3 anos	47 anos
EG1	Engenharia	Engenharia Civil	Engenheira Civil	Pública	Graduação	1 ano	26 anos
EG2	Engenharia	Engenharia Civil	Adjunto da seção técnica	Pública	Mestrado	13 anos	37 anos
EG3	Engenharia	Engenharia Civil	Analista em infraestrutura de transportes	Pública	Pós-graduação	11 anos	39 anos
EG4	Engenharia	Engenharia Civil	Adjunto da seção técnica	Pública	Pós-graduação	1 ano	32 anos
EG5	Engenharia	Engenharia Civil	Especialista em engenharia estrutural	Pública	Pós-graduação	1 ano e 11 meses	32 anos

Fonte: Elaboração própria

Com relação aos sociodemográficos, foram considerados para a pesquisa profissionais voluntários de ambos os sexos, com idade superior aos 18 anos e que estivessem, especificamente, desempenhando cargos nas áreas conexas aos objetivos propostos neste trabalho, no mínimo, 1 ano.

Dessa forma, dentre os especialistas, foram excluídos aqueles profissionais que, embora tivessem formação e especialização nas áreas supramencionadas, não atendiam aos critérios como exercício em cargos cujos trabalhos não se relacionassem com inteligência artificial, no caso dos profissionais de tecnologia da informação, assim como profissionais que exercem cargos cujos trabalhos não se relacionassem com construção e manutenção de pavimentação, no caso dos profissionais da área de engenharia civil, além de profissionais que não trabalhavam em órgãos cujas atividades estivessem relacionadas às duas áreas pesquisadas.

A busca pelos especialistas da área de engenharia civil foi realizada por meio de networking por meio de contato direto ou indireto com os profissionais da área, em decorrência da oportunidade de rastreá-los com mais facilidade, em razão de todos trabalharem esfera pública cujo ramo de atividade coincide com esperado nesta pesquisa.

Dentre os especialistas que aceitaram participar respondendo o questionário e que atendiam aos critérios, 04 são do sexo masculino e 01 do sexo feminino, dos quais, com relação aos órgãos onde trabalham, 01 é do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o qual exerce seu cargo na cidade de Boa Vista-RR, e os demais, todos militares do

Exército Brasileiro, dos quais 01 exercer seu cargo no 5º Batalhão de Engenharia de Construção, organização militar localizada na cidade de Porto Velho-RO, 02 exercerem seus cargos no 3º Batalhão de Engenharia de Construção, organização militar localizada na cidade de Picos-PI, e 01 exercer seu cargo no Conselho Regional de Obras da 2ª Região Militar, organização militar localizada na cidade de São Paulo-SP.

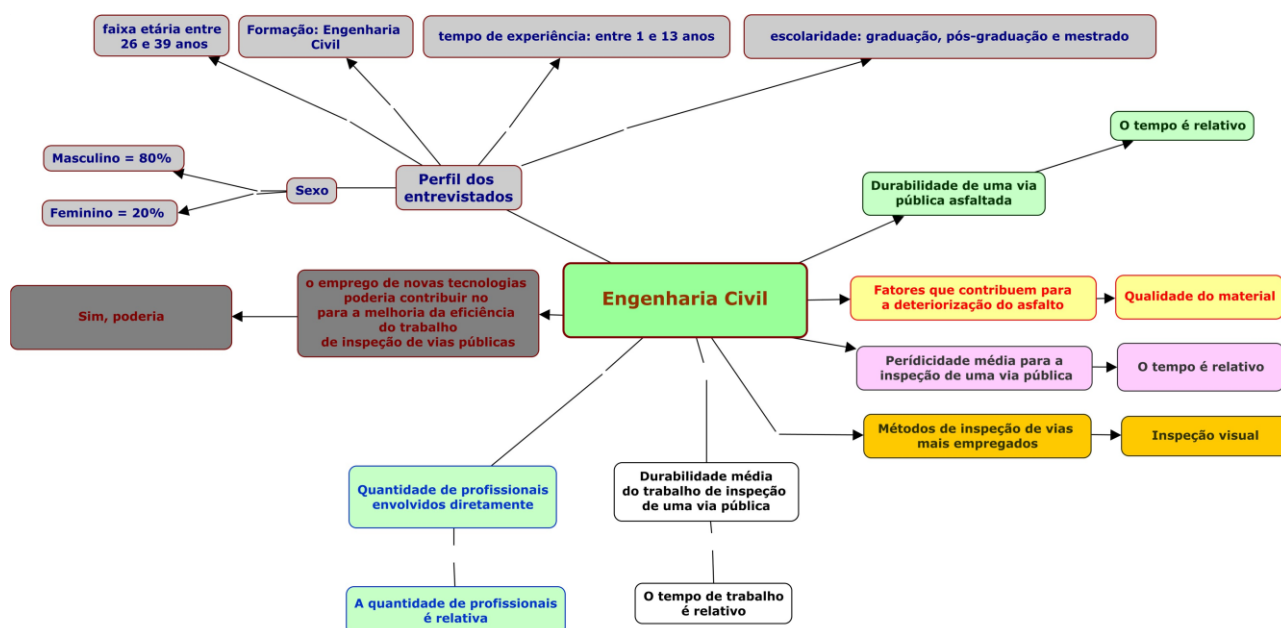
A busca pelos especialistas da área de tecnologia da informação foi realizada também por meio de *networking*, dos quais 77,8% trabalham na esfera privada e 22,2% na esfera pública. Dentre os especialistas que aceitaram participar do questionário e que atendiam aos critérios, foram selecionados 08 profissionais de variados cargos, todos do sexo masculino, dos quais, com relação ao tempo de existência das organizações onde trabalham, 02 entre 5 e 10 anos, 01 entre 10 e 20 anos e 04 superior a 20 anos, e, com relação às áreas de atuação dessas organizações, 03 são de consultoria, 02 do setor de defesa, 01 de educação executiva, 01 de *cloud computing* e 01 no mercado financeiro, todos na área de inteligência artificial.

4.1 Procedimentos de análise e interpretação de dados

4.1.1 Pavimentação

Com base no Quadro 1, bem como com os dados obtidos junto aos profissionais da área de engenharia civil, foi efetuado o recorte das respostas do questionário dos dados relativos à área de pavimentação para analisar e interpretá-los, discriminados conforme explicitado na figura 20 para, posteriormente, confrontá-los objetivamente com os dados descritos no referencial teórico.

Figura 20: Resumo das respostas relativas aos dados obtidos juntos aos profissionais de engenharia civil



Há um consenso entre os especialistas em pavimentação quanto ao fato de que a infraestrutura das vias públicas pode contribuir para a segurança viária. Estudos que apontam para a necessidade de investimentos em manutenção das vias públicas existentes no país, há possibilidade de que benefícios como redução de acidentes, gastos com manutenção de veículos e fluxos do tráfego com mais celeridade sejam alcançados a partir da disponibilidade de vias em melhores qualidades.

Figura 21: Gráfico com os dados relativos à contribuição da manutenção da via pública para a segurança viária



Fonte: Elaboração própria

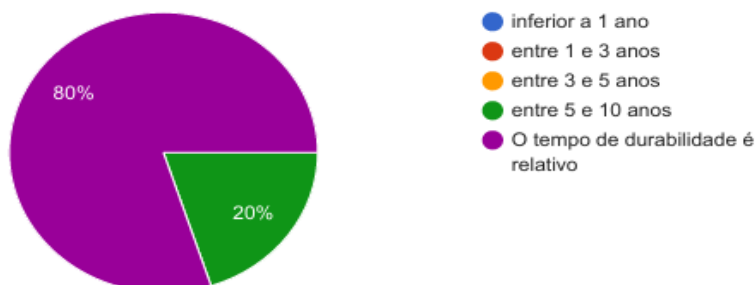
No que tange à infraestrutura de uma via urbana, 100% dos especialistas responderam que aquelas contribuem para a manutenção da segurança viária. EG1 explicou que o impacto direto na rede pluvial, na rede de esgoto e na energia elétrica. EG3 utilizou como argumento as considerações relativas aos elementos como sinalizações horizontal e vertical nela contidos e os elementos gerais de norteiam o projeto das vias públicas como geometria, distância de visibilidade e raio da curva. EG5 explicou que a drenagem de uma via pode evitar alagamentos e formação de lâminas de água na superfície do pavimento e, consequentemente, evitar acidentes decorrentes de aquaplanagem em veículos.

No entanto, um possível indicador da qualidade das vias públicas pode ser evidenciado de acordo com o tempo de durabilidade da infraestrutura de uma via pública, conforme a figura 22.

Figura 22: Gráficos com os dados relativos à durabilidade da infraestrutura de uma via pública

14. Normalmente, qual é o tempo médio de durabilidade da infraestrutura de uma via pública asfaltada ?

5 respostas



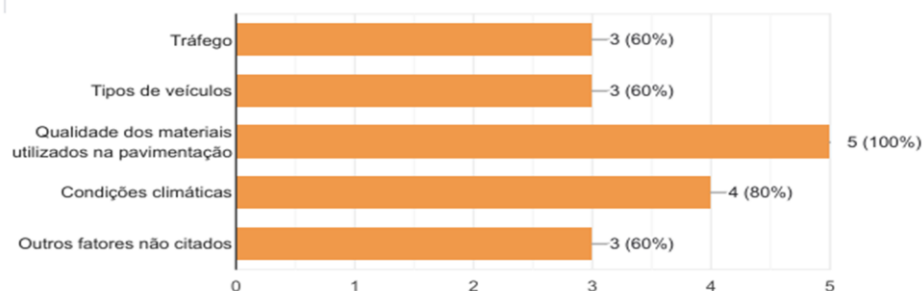
Fonte: Elaboração própria

Dos especialistas do ramo de pavimentação, 20% acreditam que o tempo de durabilidade da infraestrutura de via pública pode variar entre 5 e 10 anos, e os outros 80% acreditam que o tempo de durabilidade é relativo, apresentando como justificativa que depende de alguns fatores. Dependendo do prazo de durabilidade determinado da pavimentação, estará esta sujeita à deterioração, evidenciada por alguns fatores conforme se observa na figura 23 e, com isso, também estará suscetível a inspeções periódicas, conforme estribado na figura 24.

Figura 23: Gráficos com os dados relativos fatores que contribuem para a deterioração do asfalto

16. Quais são os fatores que contribuem para a deteriorização da integridade do asfalto de uma via pública

5 respostas



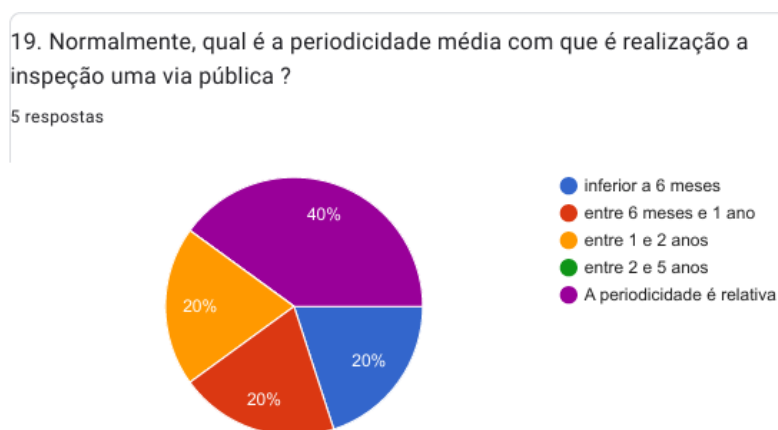
Fonte: Elaboração própria

No que tange à deterioração da integridade do asfalto, uma vez que a questão abria oportunidades para mais de uma resposta, 100% dos profissionais responderam que a qualidade dos materiais utilizados na pavimentação é um dos fatores que contribuem para a degradação da via pública. Enquanto isso, 80% dos especialistas responderam que as condições climáticas contribuem para a degradação das vias públicas, fatores como o tráfego e tipos de veículos, além do citado por EG5 – que o processo executivo do pavimento como traço de usinagem,

equipamentos de execução equipe executiva com qualidade técnica também são fatores determinantes para evitar a deterioração precoce da pavimentação.

Uma vez que o material a ser empregado nas obras de pavimentação dependam de fatores como recursos disponíveis e gestão dos entes públicos, pode-se dizer que a necessidade de manutenção estará atrelada à cada gestão desses entes e, com isso, também o trabalho de inspeção das vias públicas terá uma variação da periodicidade, conforme ilustrado na figura 24.

Figura 24: Gráficos com os dados relativos à periodicidade da inspeção da pavimentação



Fonte: Elaboração própria

Dos especialistas, 40% concordam que a periodicidade da inspeção das vias públicas é relativa, uma vez que dependeria de fatores como órgão responsável pela gestão da via e política de conservação. No contexto das cidades, dada extensão territorial, somado ainda o fluxo do tráfego e o tipo de veículo que trafegam, os trabalhos de inspeção demandariam uma frequência variada, uma vez que as vias públicas estariam sujeitas a uma maior ou menor deterioração, algo que demandaria com isso uma estratégia por parte do órgão responsável pelo monitoramento das vias em adotar um método de inspeção condizente às suas necessidades, conforme estribado na figura 25.

Figura 25: Gráfico com os dados relativos aos métodos da inspeção da pavimentação



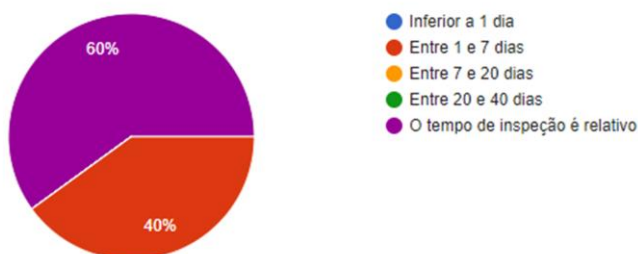
Fonte: Elaboração própria

Conforme se observa na figura 25, 100% dos especialistas concordam que o método de inspeção mais empregado pelos órgãos é o visual, o qual é realizado pelos técnicos responsáveis pelo trabalho de monitoramento das vias. A escolha do método a ser utilizado teria, conseqüentemente, influência no tempo de duração do trabalho de inspeção e na quantidade de profissionais envolvidos, conforme estribado na figura 26.

Figura 26: Gráficos com os dados relativos ao tempo médio de duração de trabalho de inspeção e quantidade de profissionais para o desempenho do trabalho

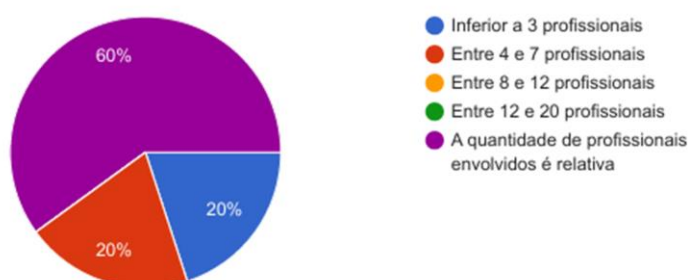
23. Qual é o tempo média de duração do trabalho de inspeção de vias públicas ?

5 respostas



25. Normalmente, em média, quantos profissionais são envolvidos diretamente no trabalho de inspeção das vias públicas ?

5 respostas



Fonte: Elaboração própria

Conforme se observa na figura 26, 60% dos especialistas acreditam que a duração média do trabalho de inspeção de vias públicas é relativa, uma vez que, segundo mencionado pelos especialistas, depende de fatores como tamanho da via, grau de inspeção e a necessidade dos órgãos fiscalizadores. Assim também, no que tange à quantidade de profissionais envolvidos no trabalho de inspeção, 60% dos especialistas em pavimentação também responderam que é relativo, uma vez que para se determinar o quantitativo necessário, depende de fatores como tamanho da missão, equipe disponível e qualificação técnica dos profissionais.

Com o objetivo de investigar possibilidades de inovação no trabalho de inspeção de vias públicas, também foi colocado em pauta no questionário a questão da inserção de novas tecnologias, conforme se observa na figura 27.

Figura 27: Questão relativo ao emprego de novas tecnologias no trabalho de inspeção de vias públicas



Fonte: Elaboração própria

Conforme se observa no gráfico, 60% dos profissionais acreditam que o emprego de novas tecnologias melhoraria a eficiência do trabalho de inspeção de vias. Considerando-se as tecnologias da indústria 4.0, há um leque de oportunidades a ser estudado, com vistas à inovação de processos.

EG2 explica que as inspeções manuais e visuais demandam experiência dos avaliadores, algo que está cada vez mais em escassez, e que as tecnologias eletrônicas por câmeras ajudariam sobremaneira no trabalho. Já EG4 explica que as novas tecnologias vêm para facilitar o trabalho. Por fim, EG5 explicou que, com o emprego de novas tecnologias, ganha-se em tempo, otimização de recursos, qualidade, bem como em menos esforço dispendido.

No entanto, 20% dos profissionais concordam apenas parcialmente. EG3 explica que, embora as tecnologias sejam muito úteis em racionalizar o processo de levantamento, a presença do capital humano se faz necessária diante da tecnologia em diferenciar se um ponto é uma sombra, uma mancha de óleo, uma exudação, ou trinca. Assim também, outros 20% dos especialistas discordaram parcialmente. EG1 argumentou que o fator humano se faz necessário tendo em vista algumas particularidades da área, como necessidade de experiência, a depender do caso, e das similaridades entre situações diferentes.

No que tange às características das anomalias, com relação à trinca, EG1 explica que é um tipo de dano gerado por variação de temperatura. EG3 explica que trata-se de uma fenda existente no revestimento. Resumidamente, EG4 explicou que trata-se de fissuras superficiais e, EG5, explicou que é uma anomalia consequência de excesso ou falta de ligante asfáltico na

mistura. Com relação ao buraco, EG2 explica que trata-se de uma desagregação tanto do asfalto quanto das camadas inferiores.

Já nas palavras de EG3, é uma cavidade formada no revestimento, consequência de fatores como falta de aderência entre as camadas superpostas, gerando com isso deslocamento das camadas. E EG5 explica que trata-se de uma anomalia causada por, dentre outros fatores, drenagem insuficiente. Com relação a uma outra anomalia – rachadura – EG2 explica que trata-se de uma trinca com uma profundidade maior, atingindo inclusive camadas inferiores. Já EG1 explica que é um dano causado em decorrência de forma inadequada de construção da pavimentação.

Alguns dos especialistas explicaram ainda a existência de outras anomalias não citadas na revisão bibliográfica. EG3 explica que, além das anomalias citadas, há também uma outra conhecido por afundamento de trilho de roda. E EG4 explica que há também duas outras anomalias chamadas de trina em malha e couro de jacaré.

Acerca da periodicidade com que se realiza a inspeção de uma via pública, 40% dos especialistas em pavimentação responderam que a periodicidade é relativa, onde EG5 explica que tal fato trata-se de uma questão política, onde há escassez de recursos destinados à destinação. Já EG2 explica que a periodicidade é relativa, pois quando se trata de uma via sob concessão, costuma-se ter uma regularidade maior de inspeções, em comparação de quando tal serviço é realizado pelos servidores dos poderes locais.

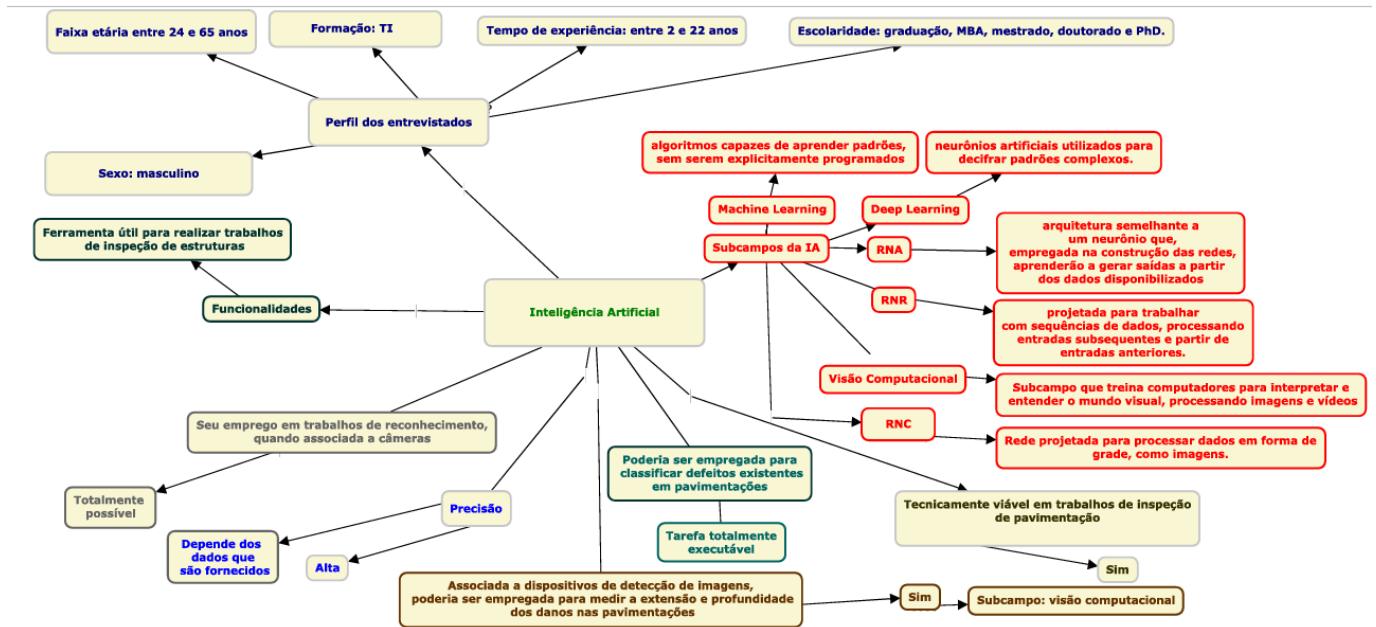
Acerca da duração média do trabalho de inspeção de uma via pública, 60% dos especialistas em pavimentação responderam que o tempo do trabalho é relativo, onde EG4 explicou que depende do grau necessário na inspeção, opinião congruente com o exposto por EG5, o qual explicou ser relativo porque depende das necessidades do órgão competente. Já EG3 explica que o tempo é relativo porque depende de tempo necessário para os servidores responsáveis visitarem o trecho defeituoso e para o processamento dos dados da inspeção.

Acerca da quantidade média de profissionais a serem envolvidos em um trabalho de inspeção de vias públicas, 60% dos especialistas em pavimentação responderam também ser relativo. EG2 explica que a relatividade se dá porque depende da extensão toda das vias a serem inspecionadas. Já EG4 explicou que é relativo porque depende de fatores como o grau de inspeção, da necessidade de levantamento topográfico, ensaios etc. Já EG5 explicou que depende da suficiência de pessoal qualificado no respectivo órgão.

4.1.2 Inteligência Artificial

Assim também, com base do Quadro 1, foi realizado também a seleção dos dados relativos ao ramo da inteligência artificial, conforme a figura 28, a partir das respostas do questionário dirigido aos profissionais da área de tecnologia da informação.

Figura 28: Resumo das respostas relativas aos dados do ramo de tecnologia da informação



Fonte: Elaboração própria

Com o auxílio da ferramenta Cmap Tools, foi realizado um resumo dos dados obtidos junto aos especialistas em inteligência artificial, de forma semelhante a uma codificação. Essa codificação foi realizada com base nas referências para afirmações, de maneira a serem utilizadas para subsidiarem a discussão dos resultados.

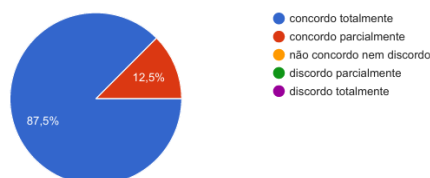
O resumo das respostas visava apresentar aqueles dados que mais frequentemente se repetiram quando das respostas pelos especialistas, servindo com isso de respostas mais frequentes de cada uma das questões, materializadas por um percentual mínimo de 60% de respostas congruentes. Atualmente, a inteligência artificial tem se mostrado um ramo da ciência da computação muito amplo, cujas funcionalidades têm sido eficiência em diversas áreas.

Na busca por investigar possíveis funcionalidades em trabalhos de inspeção, os especialistas foram questionados acerca da utilização da inteligência artificial, visando identificar falhas em estruturas, como se observa na figura 29.

Figura 29: Gráfico com os dados relativos ao emprego da inteligência artificial em trabalhos de identificação de falhas em estruturas

12. De modo geral, dentre as diversas funcionalidades, a Inteligência Artificial pode ser utilizada em trabalhos relacionados à inspeções, visando identificar falhas em estruturas?

8 respostas



Fonte: Elaboração própria

A respeito do ramo de inteligência artificial, acerca do seu emprego em trabalhos de inspeção visando identificar falhas em estruturas, 87,5% dos avaliados informaram ser totalmente possível. IA3 explicou ser possível uma vez que a aplicabilidade para fins de Identificação de padrões de falhas e análises de imagens de estruturas baseada nos dados. IA4 explicou que pode ser extremamente útil para inspeções, especialmente na identificação de falhas em estruturas, sendo sua aplicabilidade nessa área parte de um campo mais amplo conhecido como inspeção automatizada, que utiliza técnicas avançadas como visão computacional, aprendizado de máquina e sensores inteligentes.

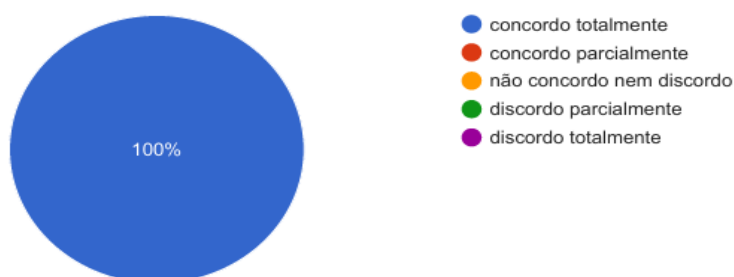
IA7 explicou que, por meio do subcampo correto da inteligência artificial, os computadores conseguem enxergar e interpretar o mundo ao seu redor, realizando dessa forma, inspeções em estruturas. No entanto, 12,5% concordaram apenas parcialmente, apresentando alguns argumentos. EG3 argumentou que a sociedade ainda não está preparada para delegar funções que possam acarretar perdas humanas totalmente para meios computacionais, se fazendo necessário dessa forma algum tipo de supervisão humana.

Visando conhecer um pouco mais a respeito da tecnologia, questionou-se os especialistas acerca do possível emprego da inteligência artificial em trabalhos de identificação e reconhecimento de coisas, a partir de imagens obtidas por câmeras de vídeo, conforme se observa na figura 30.

Figura 30: Gráfico dos dados acerca do emprego da inteligência artificial no reconhecimento de imagens

14. A partir de uma coleta por imagem por câmeras de vídeo, a tecnologia da Inteligência Artificial poderia ser empregada no sentido de identificar e reconhecimento de coisas ? (pessoas, objetos, veículos etc)

8 respostas



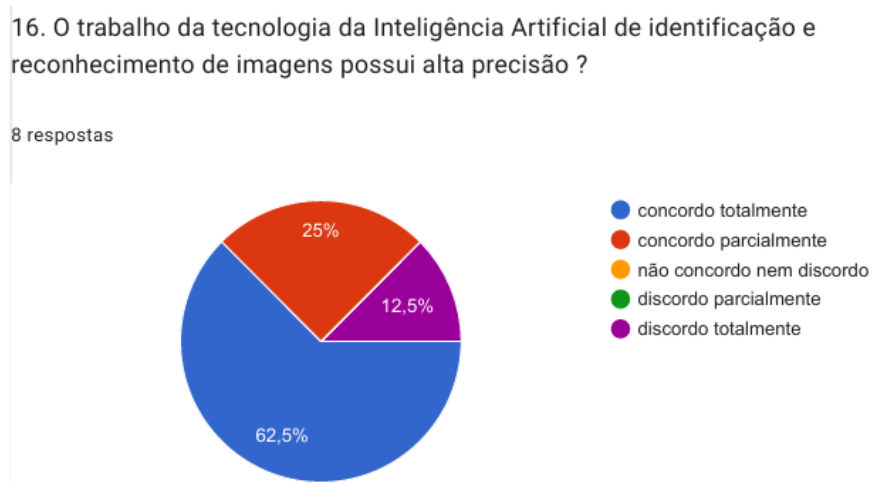
Fonte: Elaboração própria

No que se refere ao emprego da tecnologia, no sentido de identificar e reconhecimento de pessoas e coisas como objetos, veículos etc, a partir de coletas de imagens por câmeras de vídeo, 100% dos especialistas responderam ser plenamente possível. IA1 explicou inclusive que a inteligência artificial já vem sendo empregada nesse tipo de trabalho. IA3

explicou que tal funcionalidade é amplamente utilizada em uma variedade de aplicações, desde segurança até sistemas autônomos de veículos. Assim também IA8 explicou que é possível gerar semântica identificando pessoas, veículos e outros objetos em imagens ou vídeos usando tecnologias de visão computacional.

Com vistas a investigar a eficiência do trabalho da inteligência artificial quanto ao trabalho de reconhecimento de coisas, questionou-se também os especialistas em TI acerca da precisão da tecnologia na missão supramencionada, conforme se observa na figura 31.

Figura 31: Gráfico dos dados acerca da precisão da inteligência artificial no reconhecimento de imagens



Fonte: Elaboração própria

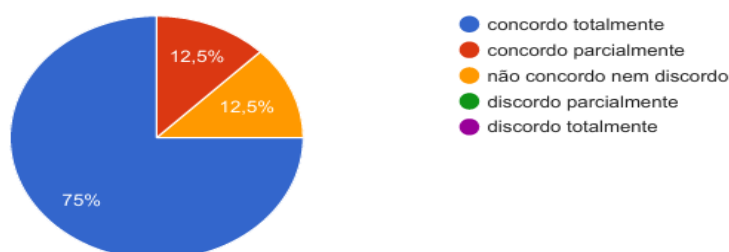
No que se refere à precisão da inteligência artificial no trabalho de identificação e reconhecimento de imagens, 62,5% dos profissionais responderam que a tecnologia tem grande precisão. IA1 explicou que a precisão dependerá do modelo e do método de treinamento. IA2 da tecnologia de inteligência artificial (IA) em tarefas de identificação e reconhecimento de imagens melhorou significativamente nos últimos anos, principalmente devido ao avanço em técnicas de deep learning, como as Redes Neurais Convolucionais (CNNs). E IA6 explicou que, havendo dados suficientes para treinar o modelo de IA a ser empregado, ele atingirá a precisão desejada em ambientes controlados.

Visando ainda verificar a possibilidade de emprego da tecnologia no ramo da engenharia civil, no processo de reconhecimento de imagens na pavimentação, com vistas a tornar mais eficiente o trabalho de identificação de patologias, questionou-se os especialistas nesse sentido, buscando verificar também, caso fosse possível tal tarefa, qual(is) subcampos seriam os mais indicados, conforme se observa nas figuras 32.

Figura 32: Gráfico dos dados acerca da funcionalidade da inteligência artificial no trabalho de identificação de patologias na pavimentação imagens e subcampos mais indicados

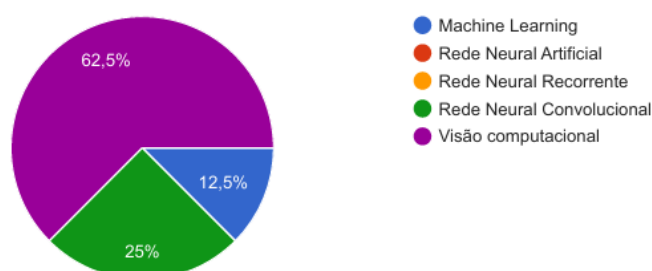
18. No que tange ao trabalho da engenharia civil voltado para as vias públicas, o processo de reconhecimento de imagens de pavimentos, visando identificar possíveis anomalias e falhas em sua estrutura, a fim de tornar mais eficiente o trabalho, poderia ser realizado por meio da tecnologia da informação ?

8 respostas



20. Em um possível emprego, visando identificar um defeito em uma pavimentação, qual(is) subcampo(s) da tecnologia da Inteligência Artificial seria(m) mais indicados para ser(em) empregado(s) ?

8 respostas



Fonte: Elaboração própria

No que diz respeito ao emprego da inteligência artificial junto à área de engenharia civil, mais especificamente no processo de reconhecimento de imagens de pavimentos, visando identificar possíveis patologias e falhas em sua estrutura, 75% dos especialistas concordaram totalmente que a tecnologia poderia ser empregada. IA1 explicou que tal tarefa pode ser efetuada com algoritmos de identificação e imagens e padrões.

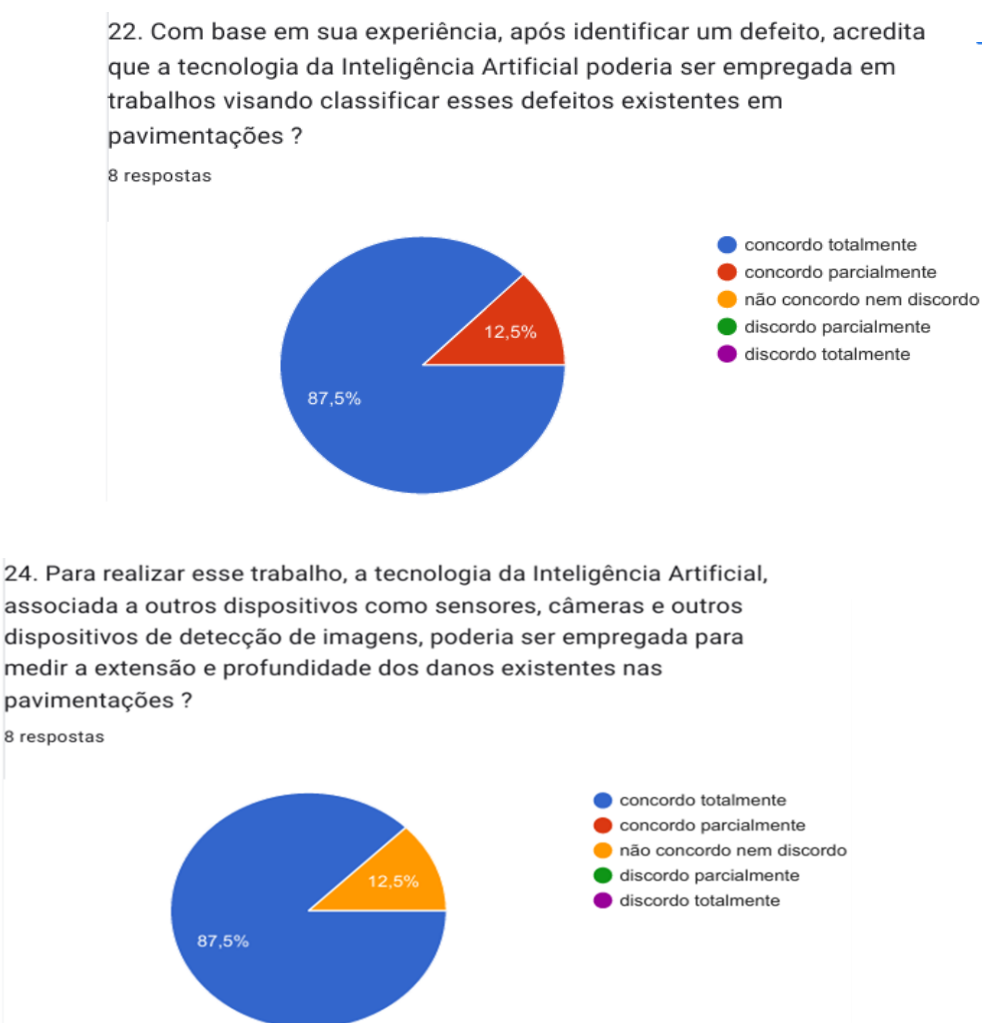
IA2 comentou que a integração dessas tecnologias permite uma gestão mais inteligente e baseada em dados dos recursos de infraestrutura viária, e que com a automação do processo de inspeção e o uso contínuo de coleta de dados, as autoridades podem monitorar a condição das estradas em tempo real e priorizar intervenções de manutenção. E IA8 comentou que aprendizado de máquina é uma ferramenta de apoio que pode exarar probabilidades e possibilidades que o ser humano não tenha observado, alertando para todas as possíveis previsões, além das mais lógicas pensadas de forma heurística.

Já no que diz respeito aos tipos de quais subcampos da tecnologia da Inteligência Artificial que poderiam ser empregados nessa tarefa, 62,5% responderam que a visão

computacional seria a mais indicada para ser empregada, enquanto 25% responderam que o subcampo mais apropriado ser o Rede Neural Convolutacional e 12,5 % responderam o *Machine Learning*.

E ainda, visando obter informações acerca da possibilidade de a tecnologia realizar classificação de patologias existentes na pavimentação, a partir das imagens coletadas, apresentando também a profundidade e extensão dos danos, também questionou-se os profissionais nesse sentido, conforme se observa na figura 33.

Figura 33: Gráfico dos dados acerca da possibilidade da inteligência artificial no trabalho de classificação de patologias da pavimentação e possibilidade de medir extensão dos danos



Fonte: Elaboração própria

No que tange ao emprego da tecnologia da Inteligência Artificial, associada a outros dispositivos como sensores, câmeras e outros dispositivos de detecção de imagens, visando medir a extensão e profundidade dos danos existentes nas pavimentações, 87,5% dos especialistas concordaram totalmente com a viabilidade de seu emprego nessa tarefa. IA1

explicou que tal tarefa é possível principalmente com sensores. IA3 explicou que os algoritmos avançados podem quantificar tamanhos e profundidades, oferecendo uma avaliação detalhada que é crucial para um planejamento de reparo eficiente.

IA7 explicou que, a partir da associação dos equipamentos e dados essenciais à tarefa, é possível desenvolver uma inteligência artificial para executar esse trabalho. Por semelhante modo, IA8 explicou que com a combinação de tecnologias, além do aprendizado LLM oriundos dos livros de engenharia civil, esse objetivo é alcançável.

No entanto, 12,5% dos profissionais responderam que não concordam nem discordam, sob o argumento de que não dá para afirmar sem conhecer o problema em questão.

4.2 Correlação com os objetivos específicos

Com o escopo de verificar a viabilidade de se alcançar os objetivos propostos neste trabalho, de forma organizada, foram fragmentados abaixo trechos citados na referencial teórico, trechos citados pelos profissionais que possuam relação com estes e as possíveis correlações com os objetivos propostos inicialmente, buscando verificar uma correlação entre os três dispositivos. A partir dos trechos citados, buscou-se na revisão bibliográfica outras citações feitas por outros autores, relacionando-as com os objetivos propostos, com o objetivo de sustentar as conclusões do trabalho.

No que tange à pesquisa acerca da engenharia civil, especificamente no ramo de pavimentação, um dos objetivos propostos nesta pesquisa foi abordar a importância das políticas públicas voltadas à manutenção da pavimentação das vias públicas e estradas em geral. Alinhados a esse objetivo, de acordo com Ho, Lin e Huang (2020, p. 1), “Inspeções rodoviárias frequentes são essenciais para manter a qualidade das estradas e evitar acidentes associados às más condições das estradas”. Nessa mesma linha, conforme Hoang (2018, p. 1), “Avaliar as condições das estradas é uma tarefa crucial das agências de transporte responsáveis por estabelecer cronogramas de manutenção e alocar orçamentos de manutenção”.

É possível verificar um alinhamento das citações acima consoante às abordagens de alguns autores. Segundo Hoang (2018), em razão de degradação ter como consequência o impacto negativo no desenvolvimento econômico dos países, é de necessidade prática a melhoria da eficácia do processo de manutenção do pavimento asfáltico. Conforme Munawar *et al.* (2021), as estruturas civis como estradas, pontes, edifícios e pavimentos são frequentemente expostas a estresse físico extremo, dentre os quais cita o uso diário. E também, de acordo com Hoang (2018), há uma relação entre a deterioração das estradas e o número

crescente de acidentes de trânsito, fato que levou a uma preocupação o tema da segurança no trânsito de muitos países.

Em resposta ao questionário, EG3 explicou que a infraestrutura de uma via urbana contribui para a manutenção da segurança viária tendo em vista que os elementos de segurança como sinalização horizontal e vertical, radares, entre outros estão contidos nela, bem como os elementos gerais que nortearam o seu projeto como geometria, distância de visibilidade, raio de curva, etc.

Em uma análise a partir dos dados que envolvem o objetivo supramencionado, é possível verificar uma convergência de entendimentos no sentido de que a importância das políticas públicas voltadas para as vias públicas se alicerça em três fatores: 1) Infraestrutura urbana, estando relacionada à engenharia civil e arquitetura sob responsabilidade dos entes públicos; 2) Manutenção, a qual envolve a segurança viária; e 3) Estradas e pavimentos, uma vez que tratam-se de ativos pertencentes aos entes públicos.

O segundo objetivo proposto seria explicar as características da tecnologia da Indústria 4.0 – Inteligência Artificial. Alicerçado sobre esse objetivo, de acordo com Guzmán-Torres et al. (2023, p. 2), “visão computacional (CV) emerge da teoria Deep Learning (DL), que se concentra em sistemas de visão que executam uma tarefa específica em imagens e vídeos. Essas tarefas detectam, classificam e segmentam objetos em imagens, fotografias e vídeos”.

Ainda sobre o tema, consoante ao citado na revisão da literatura, segundo Baduge et al. (2022, p. 3):

“O aprendizado profundo geralmente é realizado usando uma pilha de camadas chamadas redes neurais. A aprendizagem profunda com uma pilha de redes neurais de convolução (CNN) é uma técnica amplamente utilizada atualmente devido ao aprimoramento do poder do computador e isso é usado extensivamente nos domínios de reconhecimento de objetos visuais, reconhecimento de fala, síntese de imagem, síntese de fala e tradução automática”.

Segundo outros autores durante a revisão da literatura, identifica-se que uma das características da inteligência artificial como sendo uma área emergente da ciência da computação cuja funcionalidade se alicerça em diferentes tipos de máquinas e sensores com o objetivo de imitar o comportamento humano inteligente (Osman et al., 2022). Também durante a revisão da literatura, observa-se que, segundo explicou Baduge et al. (2022), que inteligência artificial é uma ferramenta em cuja capacidade permite o processamento de grandes quantidades de dados, reconhecimento de padrão e a capacidade de construir modelos estatísticos em larga escala, permitindo com isso o processamento dos dados digitalizados.

Assim também, Albatayneh, Forslof e Ksaibati (2020) explicitaram que, considerando-se que a difícil missão para o cérebro humano em reconhecer identificar imagens e, ao mesmo tempo, o reconhecimento de imagem tratar-se de uma das aplicações inovadoras da inteligência artificial rumo à otimização precisa dos resultados, os modelos de aprendizado de máquina de última geração fizeram um enorme progresso no reconhecimento e classificação de imagens.

Alinhado ao tema em questão, o especialista IA2 explicou que, especialmente através de técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina, é extremamente eficaz na identificação e no reconhecimento de objetos, pessoas, veículos e outros elementos a partir de imagens capturadas por câmeras de vídeo, pois essas tecnologias são amplamente utilizadas em uma variedade de aplicações, desde segurança até sistemas autônomos de veículos (IA2).

Continuando, explicou também que sistemas de inteligência artificial podem alcançar uma precisão extremamente alta em tarefas específicas, como reconhecimento facial, identificação de placas de veículos e diagnóstico médico por imagens, muitas vezes superando a performance humana em termos de velocidade e consistência.

Diante dos dados abordados acima nas três frentes, alicerçados ao objetivo proposto no trabalho, verifica-se que as características da inteligência artificial se amoldam nas seguintes abordagens: 1) Comportamento humano, em razão da tecnologia ser empregada em trabalhos com o objetivo de imitar o cérebro humano; 2) Reconhecimento, pois os subcampos explicados têm uma relação direta ao trabalho de identificação de diversos itens; e 3) Imagens, pois a tecnologia é capaz de efetuar o processamento de imagens.

Um terceiro objetivo específico proposto seria explicitar as características das principais anomalias responsáveis pela degradação da pavimentação em vias públicas. Neste sentido, é possível extrair da revisão da literatura que:

“As fissuras longitudinais têm duas causas principais: fadiga e más articulações. As fissuras por fadiga são produzidas por uma sobrecarga contínua devido a veículos pesados. As juntas são geralmente as áreas menos densas do pavimento. Se as juntas estiverem localizadas em uma região de alta tensão, poderá aparecer uma trinca” (CUBERO-FERNANDEZ et al., 2017, p.1).

Na mesma linha, segundo Cubero-Fernandez et al. (2017, p.1), “as trincas tipo jacaré são uma combinação de causas de fadiga e bases asfálticas instáveis”. E ainda, conforme abordado por Coenen e Golroo (2017, p. 10), “Como os buracos muitas vezes são resultado de cargas de tráfego intensas, eles não são incomuns nos caminhos das rodas do pavimento, o que também é o caso de empurrões”. Já nas citações indiretas, Hoang (2018) explicou que os

buracos são comumente conhecidos como uma depressão em forma de tigela na superfície do pavimento com um diâmetro plano mínimo de 150 mm.

E de acordo com Munawar et al. (2021), patologia presente em muitas estruturas do modal rodoviário, as trincas surgem em nível microscópico na superfície do componente da infraestrutura, provocando enfraquecimento da pavimentação, além de reduzirem a capacidade de carga das vias públicas e levarem a superfície a descontinuidades.

Consoante ao mesmo tema, EG2 explicou que uma trinca pode ser comparada a uma linha na superfície, a qual pode ter diversas geometrias, larguras e profundidades, limitadas a uma mesma camada. Já acerca do buraco, EG3 explicou que trata-se de uma cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.

Acerca de uma terceira anomalia, EG2 explicou que laminação trata-se de uma anomalia que ocorre principalmente quando uma camada não é adequadamente ligada à outra, ocorrendo o descolamento superficial por forças cisalhantes basicamente horizontais. Assim, com base nos dados extraídos das três fontes, é possível identificar uma convergência acerca de algumas das principais anomalias presentes na pavimentação de uma via pública como sendo buracos, trincas e laminações.

E um quarto objetivo específico deste trabalho tem como propósito abordar os mecanismos de identificação de anomalias nas vias públicas. Dessa forma, conforme algumas das citações apresentado na revisão da literatura, de acordo com Ouma e Hahn (2017, p. 2):

“As imagens de visão 2D são consideradas apropriadas para levantamento rápido das condições das estradas e para a detecção precoce de buracos em pavimentos asfálticos. No entanto, o processamento de imagens 2D para avaliações de superfícies de pavimentos é uma tarefa desafiadora devido às complexidades inerentes às características da imagem e ao processamento de defeitos no pavimento”.

Assim também, segundo Karaaslan, Bagci e Catbas (2019, p. 1), “Os métodos convencionais de avaliação visual de infraestruturas civis apresentam algumas limitações, como subjetividade dos dados coletados, longo tempo de inspeção e alto custo de mão de obra”. Complementando os dados apresentados acima, com base nas citações indiretas apresentadas neste trabalho, segundo Hoang (2018), em países em desenvolvimento, a identificação de buracos no pavimento é frequentemente feita utilizando o método convencional, o qual é efetuado manualmente por inspetores durante levantamentos periódicos de campo.

Já conforme (Jenkins et al., 2019), o monitoramento estrutural altamente manual tem sido uma tarefa realizada por engenheiros ou técnicos especialmente treinados. Acerca do tema

em questão, segundo Coenen e Golroo (2017), a tomada de decisão acerca do planejamento da manutenção do pavimento, no que tange à inspeção da condição do pavimento, pode ser determinada de duas maneiras, sendo manualmente, onde, a inspeção manual de pavimentos exige muita mão-de-obra e depende do inspetor, é propensa à subjetividade e apresenta custos elevados de mão-de-obra, ou automaticamente, em que, a partir de estudos desenvolvimentos na ciência da computação.

As câmeras são usadas no trabalho de detecção de diferentes problemas com base em imagens bidimensionais (2-D) (Coenen e Golroo, 2017). Uma das tecnologias da indústria 4.0 utilizadas em campo para auxiliarem o trabalho humano, a robótica também é empregada no trabalho de inspeção de vias públicas a partir da instalação de câmeras em veículos terrestre não tripulados (Peraka, Bibligiri e Kalidindi, 2021). Conforme Shim et al. (2023), a partir da instalação de uma câmera que, associada a um sensor de radar de penetração no solo (GPR) na parte traseira de um veículo, é utilizado um sistema para investigar as condições do pavimento, vindo a câmera a detectar rachaduras no pavimento e o sensor GPR a medir a espessura do asfalto.

Assim também, segundo Ouma e Hahn (2017), os buracos em pavimentos asfálticos podem ser detectados através de um sistema de visão por imagens 2D ou 3D. Ainda acerca do tema supracitado, EG2 explicou quando respondeu ao questionário que as inspeções manuais, visuais etc, demandam experiência dos avaliadores, o que é cada vez mais raro, sendo, portanto, as tecnologias eletrônicas embarcadas em viaturas úteis para ajudar sobremaneira na missão de inspecionar a qualidade de uma via. Analisando-se os dados apresentados acima, é possível identificar uma convergência que se alinha em torno dos seguintes fatores: pavimento, inspeção visual, detecção e imagens.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, por ocasião da defesa deste trabalho, são apresentadas análises dos resultados encontrados por ocasião dos questionários, confrontando com os dados encontrados na revisão da literatura, com o escopo de abordar os aprendizados adquiridos, buscando também apresentar a relevância do tema, o alcance dos objetivos propostos, as limitações encontradas durante o processo e as contribuições na prática.

5.1 Associação entre a manutenção da pavimentação das vias públicas e a segurança viária

De forma primária direciona-se o olhar para as questões sociais que envolvem a engenharia civil e as tecnologias, visto a relevância existente por se tratar de um fenômeno sociocultural presente na sociedade contemporânea. Uma vez que a segurança, em sentido amplo, é um dos prismas mais importantes da sociedade, há que se considerar as diversas oportunidades de estudos voltadas à sua melhoria. Dentro desse contexto, a segurança viária é um tema relevante a ser analisado, considerando-se a realidade do tema no país.

Com relação ao tema em questão, segundo o relatório apresentado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024), o país possui um número elevado de acidentes de trânsito nas rodovias federais, onde mais de 80% do total se concentra nas rodovias das regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Coincidentemente, ainda segundo a pesquisa da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024), as rodovias federais também estão em condições inadequadas, onde mais de 80% do total se concentra nas regiões Sul, Sudeste e Norte. Conforme explicitado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024) na revisão bibliográfica, dentre os cinco componentes que compõem a segurança do sistema rodoviário encontra-se o componente viário, onde é composto pelas seguintes características: pavimento, sinalização e geometria da via.

Uma vez que a segurança viária depende de vários fatores, a qualidade das vias públicas é um tema a ser considerado nos estudos principalmente porque, conforme estudos de alguns autores estribados no referencial teórico, as implicações decorrentes das más condições das vias impactam no campo social, estrutural, político, econômico e operacional. No campo social, Nomura, Inoue e Furuta (2022) ponderam que a falta de integridade das infraestruturas físicas as torna inseguras, considerando-se apenas o fator envelhecimento. Já no campo econômico, segundo Huang (2018), a degradação do asfalto tem impacto negativo no desenvolvimento econômico.

Há um consenso também por parte dos especialistas do ramo de engenharia civil que responderam ao questionário, no sentido de que as condições da pavimentação estão

relacionadas à segurança viária. Assim, 100% dos especialistas concordaram plenamente que a infraestrutura urbana contribui para a segurança viária. Os especialistas justificam tal fato considerando-se diferentes fatores. EG4 justifica de forma genérica, afirmando que uma via pública bem estruturada torna-se mais segura como um todo. EG1 explicou que as condições da pavimentação têm impacto direto na rede pluvial, esgoto e energia elétrica. Nesse sentido, a segurança viária teria relação com outras estruturas físicas dos serviços essenciais.

EG3 justificou que a infraestrutura de uma via urbana contribui para a manutenção da segurança viária considerando outros elementos de segurança integrantes dela como sinalização horizontal e vertical, radares, entre outros, assim também considerando-se os elementos gerais que nortearam o seu projeto como geometria, distância de visibilidade, raio de curva etc. Dessa forma, uma infraestrutura de qualidade teria duas vertentes: a manutenção dos dispositivos necessários à educação no trânsito e à estrutura física propriamente direcionada ao deslocamento de veículos.

EG5 justifica associando a manutenção de uma via pública à prevenção da ocorrência de fenômenos naturais. O especialista explica que sistema de drenagem bem projetado previne a ocorrência de alagamentos, evitando com isso o surgimento de lâminas de água na superfície do pavimento, fato que ocasionaria aquaplanagem de veículos e, conseqüentemente, acidentes de trânsito. Dessa forma, o especialista justifica informando que a manutenção das vias públicas proporciona uma melhor drenagem da via, prevenindo acidentes de trânsito.

De maneira mais simples e objetiva, EG2 justifica que manutenção das vias públicas sob a ótica financeira, afirmando ser necessária porque uma infraestrutura degradada ocasiona mais manutenção, impactando com isso nos gastos públicos. Embora a justificativa apresentada não possua ligação com a segurança viária, no entanto, aborda uma vertente importante da gestão pública, qual seja, a gestão de recursos. Conforme abordado no referencial teórico, na parte da justificativa, são gastos muitos recursos financeiros em atividades decorrentes da segurança viária, como despesas hospitalares em razão de acidentes de trânsito e manutenção de infraestrutura.

Além dos gastos públicos, há também os gastos despendidos pelos usuários com a manutenção dos veículos em decorrência de infraestruturas precárias. Durante o preenchimento dos questionários, os especialistas em pavimentação abordaram a questão relacionada à durabilidade da infraestrutura de uma via pública asfaltada, oportunidade em que 80% responderam ser relativa. EG1 explicou que a durabilidade dependeria de fatores

como a qualidade da manutenção feita pela prefeitura e adaptabilidade em relação ao clima local. Já EG4 explicou que a durabilidade depende do estudo do tráfego e da solução adotada.

EG5 ponderou que, considerando-se que cada camada que compõe o pavimento possui uma durabilidade diferente (subleito, sub-base, base, camada de rolamento), em regiões em que o alto índice de pluviométrico anual é intenso, as vias públicas tendem a ter uma vida útil menor, não deixando de lado que o projeto não bem executado ou não adequado para a localidade também afeta de forma significativa em sua durabilidade. É possível verificar que as opiniões dos especialistas convergem para uma mesma direção, qual seja, a qualidade da infraestrutura das vias públicas.

Conforme explicitado no referencial teórico pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024), dado a expressividade dos riscos aos veículos e à segurança viária, os buracos expressam indicadores de defeitos viários que devem ser detectados em tempo hábil, para fins de manutenção. Com isso, é possível considerar que a importância da detecção rápida e eficiente das patologias nas vias públicas tem como premissas também o aspecto social, uma vez que impacta na segurança viária, como no econômico, pois quanto mais celeridade houver na identificação dos danos, mais rapidamente se pode planejar a manutenção coerente a cada um.

A importância da manutenção das infraestruturas físicas para a segurança viária ficou evidenciada durante este trabalho, tomando por base os dados obtidos a partir das fontes pesquisadas. Conforme evidenciado durante o trabalho por Munawar et al. (2021), estruturas físicas disponíveis ao público se relacionam com estradas, ruas, avenidas, pontes, calçadas etc, sendo a custódia de sua preservação de responsabilidade dos entes públicos. Conforme demonstrado, a negligência quanto às responsabilidades acarreta problemas como acidentes, quebra de veículos, congestionamentos, gastos públicos.

Devido ao grande fluxo de pessoas e veículos, impulsionado pelo crescimento urbano e da população em ritmo acelerado, problemas que afetam o meio ambiente, a sustentabilidade econômica e social das diversas cidades tem feito parte do cotidiano das cidades do país. A segurança viária é um fator de grande preocupação visto que o modal rodoviário é o modal de maior predominância do sistema de transporte do país e, considerando-se a extensão territorial, é importante que estudos sejam realizados com vistas a buscar processos de identificação de patologias nas vias públicas.

Por esse motivo, a manutenção das vias públicas é um tema de interesse público, pois precisam comportar todas essas pessoas e veículos com índices de qualidade satisfatórios. Para isso, é importante a realização de intervenções corretivas de forma esporádica, focando sempre em ações de prevenção. Vale ressaltar que quanto mais eficientes os métodos de detecção de

patologias nas vias, mais rapidamente são realizados os trabalhos de manutenção e, conseqüentemente, a ocorrência de problemas à segurança viária.

5.2 Patologias nas vias públicas, tecnologia e o capital humano

A gestão pública em muitas cidades do país torna-se mais complexa principalmente porque as diferenças de desenvolvimento econômico de cada região limitam a gestão municipal, proporcionando diferenças em termos de arrecadação tributária e, com isso, poucos recursos para atender ao planejamento de forma eficiente. Dentro desse contexto, no que tange ao objeto desse estudo, a falta de recursos pode vir a prejudicar, por exemplo, investimentos em infraestrutura das vias públicas, inviabilizando a execução de um planejamento mais adequado, dando lugar a realização de obras de infraestrutura viária com redução de custos.

Conforme explicado pelos especialistas da área de engenharia civil, a integridade do asfalto nas vias públicas está suscetível a deterioração devido a fatores como qualidade do material utilizado na pavimentação, condições climáticas, tráfego, tipos de veículos. Conforme explicou EG1, a infraestrutura é a parte abaixo do revestimento, materializada pelo aterro, sub-base e base e, caso a via pública não tenha sido planejada para receber um tráfego composto por veículos com cargas mais pesadas, terá sua durabilidade reduzida.

EG4 explicou que em regiões onde índice pluviômetro é alto, as vias públicas tendem a ter sua vida útil reduzida, principalmente se as camadas que compõem a pavimentação não tiverem uma estrutura bem sedimentada. Uma vez que durabilidade do asfalto varia de acordo com alguns fatores que nem sempre estão no controle dos entes públicos e, considerando-se que muitas vezes as condições peculiares de cada gestão municipal inviabilizam um melhor planejamento da pavimentação das vias públicas, estas estariam sujeitas ao surgimento de patologias.

Conforme abordado por Segundo Munawar et al. (2021) no referencial teórico, uma vez que as estruturas físicas estão suscetíveis ao estresse, os riscos ao surgimento de patologias nas vias públicas são iminentes. EG1 explicou que a qualidade e as condições climáticas impactam diretamente nas condições físicas das vias públicas, e se a qualidade da pavimentação for baixa, tanto o tráfego como as condições climáticas irão deteriorar mais rápido uma via. EG4 ponderou que uma via deve ser projetada para suportar o tráfego e tipos de veículos que trafegam nela, levando-se em consideração o crescimento urbano, porém o asfaltamento feito sem uma boa execução, boas taxas, e bom material, pode inferir em um desgaste precoce.

Conforme uma abordagem ampla realizada no referencial teórico por Hoang (2018), as patologias são defeitos surgidos na pavimentação fruto de diversos fatores, sendo os defeitos

mais comuns materializados por buracos, rachaduras, trincas, das quais podem ser longitudinais, transversais ou jacaré, fissuras e laminações. EG3 explicou que uma trinca é fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada.

EG2 explicou que uma trinca pode ser comparada a uma linha na superfície, a qual pode ter diversas geometrias, larguras e profundidades, limitadas a uma mesma camada, nas qual a superfície da pavimentação perde seu formato original, dando lugar a diversas formas geográficas de vários tamanhos, visivelmente prejudicada.

Segundo explicaram EG3 e EG4, as trincas são fissuras superficiais causadas por alterações na temperatura entre quente e frio, provocando assim uma ruptura no asfalto. Considerando-se as variações climáticas em regiões cuja temperatura atingem níveis mais baixos, somado ao fluxo de veículos de diferentes portes, é possível imaginar a suscetibilidade de ocorrência de defeitos dessa natureza.

Patologia muito presente nas vias públicas, conforme abordado no referencial teórico, os buracos são depressões em forma de tigela na superfície da pavimentação, resultado de tráfego de veículos com cargas intensas. EG3 explicou que buraco é uma cavidade formada no revestimento como consequência de diversas causas, as quais provocam deslocamento das camadas, com possibilidade de alcançar até as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação das camadas.

EG1 abordou os buracos como sendo uma consequência da intrusão de água. EG5 explicou que o buraco é uma consequência do excesso ou falta de ligante asfáltico na mistura ou da baixa qualidade da mistura asfáltica. Conforme abordado no referencial teórico, os buracos se formam na superfície do pavimento com um diâmetro plano mínimo de 150 mm. Analisando as figuras acima e, a partir do formato dessa patologia, é possível concluir que o empossamento de água, somado ao fluxo de veículo que se deslocam pela via pública, tende a aumentar a profundidade dessa patologia, assim como alcançar as camadas inferiores da pavimentação.

Embora outras patologias não citadas no referencial teórico, foram mencionadas por alguns dos especialistas durante o preenchimento do questionário, tais como o afundamento de trilho de roda, trilha em malha e couro de jacaré, comparando a outras patologias, aparentemente o buraco deve ser o causador dos maiores danos, uma vez que ao alcançar camadas mais profundas do pavimento, podem provocar os maiores danos aos veículos, retardar o trânsito e demandar maiores gastos públicos à manutenção.

Considerando-se as melhorias obtidas em outras áreas, a análise da implementação da tecnologia no contexto de inspeção das vias públicas pode ser um estudo interessante, principalmente sob as óticas técnica e social. No contexto da ótica social porque, conforme explicitado no referencial teórico, o método de inspeção convencional, ou seja, realizado diretamente por engenheiros ou técnicos treinados durante os levantamentos periódicos, é o mais empregado no trabalho de inspeção de vias públicas. De forma congruente, a partir do preenchimento dos questionários pelos especialistas, essa questão também foi abordada.

Conforme o questionário do *google forms* dirigido aos profissionais de engenharia civil, quando questionados acerca dos métodos de inspeção de vias públicas mais empregados, 100% dos participantes responderam ser o método de inspeção visual. EG5 explicou que há necessidade de investimento em capacitação de profissionais e pesquisas na área, visando melhorar as mazelas do sistema rodoviário do país. EG2 explicou que as inspeções manuais e visuais demandam certa experiência dos avaliadores, ponderando ainda que tal fato é algo cada vez mais raro no universo de profissionais.

Conforme abordado no referencial teórico, o método de inspeção convencional tem como desvantagens ser um trabalho tedioso, trabalhoso, sujeito a erros humanos, uma vez que causa estresse visual, influenciando na precisão do trabalho, além de demorado é demandar um custo elevado. No entanto, conforme abordado por EG1, o fator humano é necessário, considerando-se a presença de várias particularidades na área, as quais necessitarão da experiência humana. EG3 explicou que, embora as tecnologias existentes no processo sejam úteis, há que se considerar fatores presentes na pavimentação como manchas de óleo, sombras e exudação, não são diferenciados pelas tecnologias.

No que tange ao emprego da tecnologia, EG2 explicou que as tecnologias embarcadas em viaturas ajudam na missão de inspecionar as vias públicas. Conforme explicitado no referencial teórico, tecnologia como o sensor LIDAR, embarcado sobre um robô, é empregado de modo pontual no trabalho de inspeção de vias públicas, transmitindo ao final imagens bidimensionais (2-D). Outra tecnologia citada no referencial teórico, o radar de penetração do solo (GPR) também é uma tecnologia embarcada em viatura utilizado no trabalho de inspeção de vias públicas, fornecendo imagens 3D ao final.

Diante do abordado acima, é possível tirar algumas conclusões acerca do prisma composto por patologias das vias públicas, tecnologia e capital humano. A primeira, uma vez que as patologias são uma consequência de diversos fatores, alguns deles fora do controle da administração pública, mas que impactam na infraestrutura das vias públicas, é iminente a intervenção dos órgãos fiscalizadores na busca por encontrar soluções eficientes para a

detecção. Na gestão municipal nem sempre há continuidade do trabalho de gestões anteriores, assim como também, uma vez que muitas vezes as limitações ou negligências no trabalho de gestões anteriores causam dificuldades à administração posterior.

Dentro desse contexto de paradigmas, com vistas à administração das infraestruturas físicas, pode ser inserida uma mudança de planejamento na gestão das vias públicas, visando promover melhorias no processo de inspeção, a fim de torná-lo mais eficiente e, ao mesmo tempo, buscar economicidade a partir de um trade-off. E nessa ótica estaria implementação de novas tecnologias ao trabalho de inspeção das vias públicas.

Segunda, cada vez mais presentes na sociedade nas mais variadas áreas, as tecnologias têm sido utilizadas como uma alternativa visando à promoção de melhorias em processos. Nessa linha, em se tratando do contexto de inspeção de vias públicas, há oportunidades de pesquisa que permitem investigar a implementação de novas tecnologias no processo de inspeção. Nesse sentido, conforme explicitado pelos especialistas, as tecnologias são muito úteis em racionalizar processos de levantamento em inspeções, de modo a inovar métodos, ao mesmo tempo em que promove outros ganhos como celeridade, economicidade, qualidade e redução de esforços.

Considerando-se os dispositivos já existentes na administração das vias públicas, tais como câmeras de monitoramento fixas, câmeras *speed dome*, radares fixos e móveis, há que analisar as possibilidades de associar as tecnologias inovadoras a esses dispositivos, com vistas à inovação dos processos de inspeção, ao mesmo tempo em que se realiza com economicidade, agregando assim melhorias tanto em termos operacionais quanto em economia de recursos.

Terceira e última, conforme dados expostos no referencial teórico, o capital humano é necessário no trabalho de inspeção de vias públicas, sendo mais empregado na prática da identificação e classificação das patologias. No entanto, conforme o referencial teórico, a inspeção realizada pelo método convencional, ou manual, traz como desvantagens o subjetivismo do resultado, fruto de fatores como estresse, uma vez que trata-se de um trabalho sacrificante, além de ser de alto custo, considerando-se os direitos sociais.

EG1 ponderou que para o trabalho de inspeção o fator humano é necessário, considerando-se as várias particularidades da área, demandando experiência dependendo do caso e das similaridades entre situações diferentes. Os profissionais de engenharia civil cujo desempenho do cargo se relaciona com o trabalho de inspeção de vias públicas são empregados na identificação e classificação de patologias. EG3 também ponderou que o capital humano é necessário para a identificação e classificação considerando alguns fatores que não seriam diferenciados pelas tecnologias, tais como sombra, mancha de óleo e exudação.

Analisando-se as respostas dos especialistas, é possível perceber um certo grau de protecionismo em relação ao mercado de trabalho. No entanto, o capital humano continuaria sendo empregado no trabalho de inspeção, porém em segundo momento, operacionalizando as tecnologias inovadoras, ficando o trabalho de identificação e classificação para as tecnologias empregadas, a partir da coleta de dados pelos dispositivos existentes.

5.3 A inteligência artificial e a possibilidade de inovação do processo de inspeção

Tecnologia que integra a indústria 4.0, a inteligência artificial é uma ferramenta que tem sido cada vez mais empregada nos diversos processos, ajudando a inová-los, e tem transformado métodos de modo a simplificar a execução. Conforme explicitado no referencial teórico, a inteligência artificial é uma tecnologia que visa tornar as máquinas mais inteligentes ao imitar a inteligência humana, efetuando o trabalho mais sacrificante que seria ao capital humano, trabalhando assim em regime de colaboração.

As diversas aplicabilidades da inteligência artificial se materializam pelo fato de seus subcampos possuírem diferentes habilidades, abrindo portas para a inovação de processos de trabalhos, tornando cada vez mais a tecnologia presente na rotina da sociedade, seja no mundo empresarial, na educação, no entretenimento, possibilitando que as máquinas aprendam com experiências e se ajustem a novas entradas de dados, performando as tarefas dos seres humanos. As pessoas não percebem mas a inteligência artificial já está presente em nosso dia a dia, por meio de sistema e aplicativos, e ainda em projetos das cidades, nos quais determinados espaços urbanos são palco de experiências de uso intensivo de tecnologias.

Os subcampos da inteligência artificial possuem diferentes aplicabilidades que vem transformando processos. Conforme abordado, o *Machine Learning* é um subcampo que, por meio de algoritmos, permite que as máquinas aprendam a partir de exemplos e experiências, com o escopo de resolver problemas complexos, sendo com isso um dos algoritmos mais utilizados para treinar grandes conjuntos de dados para otimizar sistemas. Segundo abordado por IA1, é uma tecnologia que permite que sistemas aprendam e melhorem a partir de experiências passadas, utilizando dados, sem serem explicitamente programados para isso.

IA2 explicou que é uma subárea que foca no desenvolvimento de algoritmos capazes de aprender padrões a partir de dados e fazer previsões ou tomar decisões baseadas nesses dados, sem serem explicitamente programados para isso, podendo ser supervisionado, não supervisionado, semi-supervisionado ou por reforço, de acordo com os dados apresentados ao sistema. IA7 explicou que, basicamente, a tecnologia funciona com coleta de dados, preparação, escolha do algoritmo, treinamento do modelo, avaliação do modelo e implementação onde será

usado. É possível verificar que a tecnologia tem sua aplicabilidade voltada para execução de processos por meio da retroalimentação pela aprendizagem autônoma.

No que tange à inovação do processo de inspeção de vias públicas, o *machine learning* possui sua aplicabilidade a partir da implementação de suas subáreas. Conforme abordado no referencial teórico, a visão computacional é uma subárea do *deep learning*, um outro subcampo do *machine learning*, que possui a capacidade de enxergar o mundo real. Conforme explicou IA1, a visão computacional é uma subárea que treina computadores para interpretar e entender o mundo visual, processando imagens e vídeos de maneira similar aos humanos. IA3 também explicou que Busca permitir aos computadores perceberem o ambiente de forma similar aos seres humanos e interagir de igual forma.

Uma outra subárea do *machine learning* que também tem como uma das funcionalidades o processamento de imagens, a rede neural convolucional é uma técnica poderosa amplamente utilizada, extensivamente nos domínios de reconhecimento de objetos visuais, reconhecimento de fala, síntese de imagem, síntese de fala e tradução automática. Conforme abordado por IA1, a tecnologia é um tipo de rede neural profunda especializada em processar dados com uma grade topológica, como imagens, usando filtros que identificam padrões espaciais.

Na mesma linha de IA1, IA8 explicou que a rede neural convolucional é o ramo da IA capaz de processar imagens de forma que o computador a entenda, transformando imagens bidimensionais e tridimensionais em assinaturas hierárquicas, para que o computador possa interpretar. Diante dos dados apresentados acima é possível observar que a inteligência artificial é aplicável em trabalhos de inspeção que envolvem o processamento de imagens, por meio das tecnologias da visão computacional ou da rede neural convolucional.

Uma vez que o ramo da engenharia civil voltado para a manutenção de vias públicas possui um *gap* no que tange à fiscalização eficiente, é interessante analisar a admissibilidade da tecnologia da inteligência artificial nessa área, visando à inovação do processo de detecção. Conforme abordado por EG4 e EG5, as novas tecnologias vêm para facilitar os processos e pesquisas científicas em novas tecnologias para materiais, equipamentos e métodos executivos são úteis em termos de eficiência.

Conforme mencionado anteriormente, a gestão pública voltada para a engenharia de tráfego possui equipamentos que são empregados no monitoramento do trânsito, como câmeras de monitoramento modelo *Speed Dome*.

As câmeras modelos *Speed Dome* são um tipo de equipamento utilizado pela administração pública no monitoramento das áreas públicas, as quais, por meio de um *joystick*,

possuem mobilidade para girar em um ângulo de 360°, sendo instaladas em pontos estratégico das cidades, cobrindo dessa forma uma área mais ampla. Assim também a gestão de vias públicas também dispõe de outras câmeras fixas e radares de monitoramento.

Conforme mencionado no referencial teórico, o radar possui uma aplicabilidade poderosa uma vez que é capaz de medir a profundidade e criar desta forma uma imagem 3-D é o radar, a partir da utilização de ondas de rádio para determinar o alcance e o ângulo dos objetos e faz uso de impulsos eletromagnéticos curtos. Tal dispositivo está presente em praticamente todas as gestões municipais destinadas ao monitoramento do trânsito nas cidades.

Com o escopo de obter subsídios necessários para verificar a empregabilidade da inteligência artificial no trabalho de reconhecimento de coisas, a partir de imagens coletadas por câmeras. IA2 explicou que a inteligência artificial, especialmente através das técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina, é extremamente eficaz na identificação e no reconhecimento de objetos, pessoas, veículos e outros elementos, a partir de imagens capturadas por câmeras de vídeo.

Acerca do assunto, IA3 explicou que a inteligência artificial já vem sendo empregada em ferramentas incumbidas de processar imagens. IA8 também ponderou que é possível gerar semântica identificando pessoas, veículos, e outros objetos em imagens ou vídeos usando a tecnologia da visão computacional. Diante do abordado pelos especialistas em tecnologia da informação, é possível observar que a inteligência artificial é aplicável em consonância com dispositivos de coletas de imagens, de forma secundária, ou seja, processando as imagens a partir de sua captura.

Do ponto de vista dos especialistas, é possível a aplicação da tecnologia da inteligência artificial associada ao trabalho de inspeção das vias públicas de forma complementar, de modo a permitir a identificação e classificação de patologias. Conforme mencionado anteriormente, quando questionados acerca da capacidade da Inteligência Artificial de, após identificada uma patologia, poderia ser utilizada para classificá-la, 87,5% dos especialistas concordaram totalmente. IA1 explicou que já existem métodos da tecnologia que realizam essa classificação.

IA2 explicou que a tecnologia é altamente eficaz não apenas para detectar uma patologia, mas também para classificá-la, inclusive determinando a severidade, o tipo e a urgência das intervenções necessárias. IA3 abordou um pouco mais além, informando que a inteligência artificial poderia classificar um dano na pavimentação, tendo a causa como alvo, ou seja, a natureza do causador, tal como desgaste natural, sobrepeso, fluxo de água etc. IA7 também explicou que a tecnologia poderia sim ser empregada para a classificação de patologias em pavimentações, sendo necessário a obtenção de bons dados para a criação do modelo.

Em uma análise dos dados coletados durante juntos aos especialistas, confrontando com o referencial teórico, é possível identificar congruência de informações, com vistas ao potencial da inteligência artificial no trabalho de classificação de patologias. Conforme abordado no referencial teórico, a ascensão da aprendizagem profunda e da tecnologia de visão computacional passaram a influenciar fortemente o campo da engenharia de monitoramento estrutural, levando a tecnologia apoiar a monitorização estrutural e, com isso, a análise de estradas e pavimentos, especificamente a identificação de fissuras superficiais.

Em uma última análise, a fim de obter a opinião dos especialistas quanto ao potencial da inteligência artificial para um trabalho mais aprofundado, confrontando com o referencial teórico, foi questionado acerca do emprego da tecnologia, associada a outros dispositivos como sensores, câmeras, radares e outros dispositivos de detecção de imagens, com vistas a medir a extensão e a profundidade das patologias existentes na pavimentação. Conforme se observa na figura 33, 87,5% dos especialistas concordaram totalmente com a possibilidade.

IA1 explicou que os sistemas de sensoriamento são a base para a efetividade da tarefa, tendo como única ressalva a implementação do sistema em uma cidade grande, citando como exemplo a cidade de São Paulo-SP. IA2 explicou, resumidamente, ser possível principalmente com o emprego de sensores. IA3 ponderou que seria necessário a criação de um tipo de processo de detecção, por meio da passagem de sensores ou da simulação de desgaste. IA7 explicou que, em conjunto com sensores e câmeras, a inteligência artificial é eficaz na medição da extensão e profundidade de danos em pavimentações, permitindo inclusive uma análise detalhada e precisa para o planejamento eficiente das reparações e manutenção da infraestrutura.

IA8 explicou que, a partir da disponibilidade dos equipamentos e dados necessários, é possível criar uma inteligência artificial capaz de medir tanto a extensão como a profundidade dos danos existentes na pavimentação. Conforme explicitado por Tabian, Fu e Sharif Khodaei (2019), a camada de convolução tem a capacidade de extrair informações de entrada da dados por meio do uso de uma série de filtros que são automaticamente ensinados a detectar certas características em uma imagem.

Assim também, conforme mencionado no referencial teórico em outro momento, uma vez que a inteligência artificial pode ser combinada com tecnologia de sensores, o algoritmo de detecção com base em uma rede neural profundo é capaz de ser empregado para detectar e medir danos, extraíndo-os na superfície de concreto a partir de imagens capturadas com uma câmera.

Diante do apresentado acima, é possível observar que a inteligência artificial é uma ferramenta poderosa que, associada aos meios certos, viabiliza a realização de diversos tipos de

trabalho, com vistas à inovação de processos. A tecnologia é interessante porque se fragmenta em subcampos que possuem funcionalidades distintas, potencializando com isso o emprego da tecnologia. A capacidade de trabalho com grandes quantidades de dados é um dos principais fatores que potencializam o emprego da tecnologia nas mais variadas áreas.

No estudo dos métodos de inspeção de infraestrutura viária, verifica-se que a tecnologia tem estado presente a cada dia nos processos, contribuindo para a melhoria. Tecnologias como veículos autônomos, radares de penetração no solo e sensores infravermelhos são alguns tipos de tecnologias empregadas no trabalho de inspeção de infraestruturas, facilitando o trabalho de inspeção. No entanto, ainda percebe-se uma lacuna no trabalho que podem ser preenchidas com outras tecnologias, dentre as quais a inteligência artificial se insere como uma ferramenta promissora, uma vez que seu emprego está cada vez mais presente nos diversos processos.

Conforme mencionado pelos especialistas em Inteligência Artificial, a tecnologia pode contribuir sobremaneira no processo de identificação de patologias a partir do emprego com os recursos corretos. Uma vez que a inteligência artificial é capaz de processar imagens a partir da leitura no mundo real, por meio de uma das subáreas do *deep learning* - visão computacional - seriam interessantes estudos com vistas a propostas de sua aplicabilidade, visando avaliar a viabilidade técnica de sua implementação em projetos voltados para a inovação de processos de detecção e classificação de patologias em vias públicas, a partir dos dispositivos como câmeras, sensores, radares e veículos aéreos não tripulados já presentes nos órgãos fiscalizadores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as conclusões obtidas compostas pelo cumprimento dos objetivos propostos, as contribuições para o avanço do conhecimento, a prática e a sociedade, sugestões de estudos e limitações da pesquisa.

Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo principal investigar a admissibilidade da associação da inteligência artificial aos dispositivos de coleta de imagens, para aplicação no trabalho de inspeção de vias públicas, sendo tal objetivo alcançado a partir da análise realizada associando os dados elucidados no referencial teórico com os obtidos junto aos especialistas dos ramos de engenharia civil e de ciências da computação, por meio de questionários objetivos, respondendo à questão da pesquisa: Como tecnologias compostas pela Inteligência Artificial, associada a dispositivos de coletas de imagens, poderiam contribuir, eficientemente, para a melhoria e celeridade no trabalho de detecção de patologias em vias públicas ?

Conforme mencionado o Capítulo 5 – Discussão dos Resultados, a inteligência artificial é uma ferramenta poderosa que, associada aos meios certos, viabiliza a realização de diversos tipos de trabalho. Os subcampos da tecnologia possuem diferentes funcionalidades, sendo a visão computacional um subcampo com a capacidade de processar imagens obtidas por meio de câmeras de vídeo ou fotográficas, a partir de sua identificação no mundo real e analisar suas características.

Com isso, uma vez que as cidades possuem dispositivos de monitoramento de vias como câmeras modelos *speed dome*, câmeras fixas, radares fixos e móveis e drones, tal tecnologia, se aplicável aos dispositivos supramencionados, seria plenamente capaz de identificar e classificar patologias nas vias públicas, além de apresentar outras características como profundidade, extensão e diâmetro, melhorando assim a gestão dos serviços de inspeção dessas vias. Essa constatação foi apurada confrontando as declarações dos especialistas da área de ciências da computação que trabalham com inteligência artificial e com os dados obtidos no material científico desenvolvido no referencial teórico.

Como contribuição teórica, cita-se a extensa revisão da literatura realizada com a descrição das características das patologias existentes nas vias públicas e das tecnologias atualmente aplicadas no trabalho de detecção, além das funcionalidades dos subcampos da inteligência artificial, revelando o estado da arte da tecnologia aplicado aos diversos dispositivos como câmeras de vídeos e fotográficas e sensores em estruturas físicas.

Por meio do estado da arte, foi estruturado o questionário da pesquisa que foi dirigido aos especialistas das áreas de engenharia civil e de ciências da computação, cujos trabalhos são voltados pavimentação e inteligência artificial, respectivamente, a fim de verificar uma possível

aplicabilidade da tecnologia no trabalho de inspeção de vias públicas. A partir das contribuições dos especialistas que operam a inteligência artificial, verificou-se a possibilidade de aplicação da tecnologia aos dispositivos como câmeras e sensores já existentes nos órgãos públicos responsáveis pela engenharia de tráfego, com vistas à detecção de patologias nas vias públicas.

Uma vez que a integração da inteligência artificial nas cidades, por meio de um de seus subcampos, tem quantidade grande de oportunidades, como já ocorre por exemplo com o sistema de reconhecimento facial, visando aumentar a segurança pública em grandes eventos, há que se considerar sua aplicação prática no processo voltado para trabalhos de detecção de patologias nas vias públicas.

Uma vez aplicável a associação da inteligência artificial aos dispositivos de coleta de imagem existentes na engenharia de tráfego, possivelmente melhoraria a mobilidade urbana, pois, aumentando a eficiência do processo de detecção de patologias nas vias públicas, impactaria em termos de qualidade de vida tanto dos cidadãos-usuários das estruturas físicas, reduzindo os problemas de manutenção de veículos e acidentes de trânsito, como dos trabalhadores envolvidos no processo de identificação e classificação de danos nas vias públicas, assim como dos órgãos públicos com a redução de despesas tanto no trabalho de detecção de patologias como em possíveis despesas com a saúde decorrentes dos acidentes de trânsito.

Com vistas à promoção da contribuição prática e possibilidades de trabalhos futuros oriundos desta pesquisa, têm como foco principais o desenvolvimento da tecnologia da inteligência artificial, quando associada aos dispositivos supramencionados, voltado para duas possíveis hipóteses. A primeira, uma possível potencialização dos dispositivos de detecção de imagens utilizados nos órgãos públicos no sistema de monitoramento da engenharia de tráfego, com vistas à identificação de patologias nas vias públicas. Normalmente as câmeras e sensores possuem uma certa autonomia no que tange ao alcance máximo para coleta de imagens.

Uma vez que as cidades possuem longas avenidas, seriam interessantes estudos voltados para a amplificação do alcance das câmeras, radares e sensores, de forma que permitir a identificação de danos nas vias a distâncias mais longas. Nesse sentido, durante o estudo deste trabalho, visando a investigar a existência de alguma forma que pudesse realizar a potencialização desses dispositivos, identificou-se uma tecnologia conhecida como SAR (*Synthetic Aperture Radar*), que, traduzindo, significa Radar de Abertura Sintética, nos dispositivos supramencionados.

Tal tecnologia trata-se de um radar de micro-ondas que combina todas as operações climáticas e resolução, permitindo a criação de imagens de objetos e funciona através de ondas

eletromagnéticas, sendo que ele mesmo gera e irradia energia para o ambiente externo quando capta uma parcela do que é retratado pelo alvo, sendo assim, classificado como um sensor ativo. A tecnologia é empregada no país em um equipamento conhecido como Radar de Vigilância SENTIR M20, o qual foi projetado pelo Centro Tecnológico do Exército (CTEx), Organização Militar do Exército Brasileiro, e fabricado pela Empresa Brasileira de Aeronáutica S/A – EMBRAER.

O SENTIR M20 é um radar de vigilância terrestre empregado nas faixas de fronteira com outros países que, a partir de operação em Banda X, é capaz de detectar e acompanhar o deslocamento de alvos terrestres, tais como homens a pé, a uma distância de até 1 km e veículos a mais de 30 km. Em uma futura pesquisa, visando aprofundar conhecimentos acerca da tecnologia do SAR, seriam interessantes estudos e pesquisas voltados à análise de uma possível admissibilidade do emprego da tecnologia nos dispositivos de coleta de imagens existentes nas esferas públicas responsáveis pelo monitoramento da engenharia de tráfego, com vistas a investigar uma possível amplificação desses dispositivos.

Uma segunda possibilidade de contribuição prática seria a possibilidade de melhoria da eficiência na gestão da manutenção das vias públicas, em termo de economicidade. Uma vez que a tecnologia pudesse ser utilizada para potencializar a autonomia dos dispositivos de coleta de imagem, alcançando com isso distâncias mais longas para identificar e classificar patologias nas vias públicas, seria possível efetuar o mapeamento desses danos, apresentando sua localização no mapa da cidade, descrevendo o tipo das patologias e suas características.

Com a inteligência artificial associada aos dispositivos de coleta de imagens, seria então realizada a identificação e classificação das patologias existentes nas vias públicas, a partir de um *software* de mapeamento da cidade, representando tais patologias no mapa por pontos de diferentes cores, semelhantemente ao sistema *KanBan*, classificando-as de acordo com o tipo de defeito e gravidade, priorizando-se, conseqüentemente, a manutenção daqueles danos mais graves ou mais impactantes, facilitando assim a gestão do serviço de manutenção das vias, gestão de recursos e de mão-de-obra necessária.

A melhoria se materializaria tanto em termos de qualidade de vida para a população, que usufruiria dos benefícios de um monitoramento mais rápido e eficiente, o qual possibilitaria a manutenção mais rápida das vias públicas, assim como qualidade de vida para os trabalhadores envolvidos no trabalho de inspeção, uma vez que, com o emprego da tecnologia na detecção e classificação de patologias, o trabalho se tornaria menos sacrificante para os profissionais, os quais se concentrariam apenas no trabalho secundário de mapeamento das necessidades.

Como limitação desta pesquisa, destacam-se duas dificuldades de encontrar nas bases de dados. A primeira, de encontrar materiais científicos que trouxessem fotografias e imagens que abordassem, em um contexto amplo as *smart cities*, ao mesmo tempo, tanto as tecnologias inteligentes e a sustentabilidade em termos de arborização e outras estruturas naturais. A segunda dificuldade foi de encontrar também materiais científicos que abordassem, ao mesmo tempo, as calçadas às *strings* pesquisadas como vias públicas, limitando assim explorar o tema em questão à pesquisa, uma vez que também faz parte desse contexto, principalmente porque também reflete em qualidade de vida aos cidadãos.

REFERÊNCIAS

ALBATAYNEH, Omar; FORSLOF, Lars; KSAIBATI, Khaled. Image retraining using Tensor Flow implementation of the pretrained inception-v3 model for evaluating gravel road dust. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 26, n. 2, p. 04020014, 2020.

BADUGE, Shanaka Kristombu *et al.* Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. **Automation in Construction**, v. 141, p. 104440, 2022.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo. São Paulo: Edições**, v. 70, p. 229, 1970.

COENEN, Tom BJ; GOLROO, Amir. A review on automated pavement distress detection methods. **Cogent Engineering**, v. 4, n. 1, p. 1374822, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT rodovias 2024 - Relatório Gerencial**. 2023. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em 03 jun. 2024.

CUBERO-FERNANDEZ, A. *et al.* Efficient pavement crack detection and classification. **EURASIP Journal on Image and Video Processing**, v. 2017, p. 1-11, 2017.

DANESHGARAN, Fred *et al.* Use of deep learning for automatic detection of cracks in tunnels: prototype-2 developed in the 2017–2018 time period. **Transportation research record**, v. 2673, n. 9, p. 44-50, 2019.

DAS, Amrita; ICHI, Eberechi; DORAFSHAN, Sattar. Image-Based Corrosion Detection in Ancillary Structures. **Infrastructures**, v. 8, n. 4, p. 66, 2023.

ENGLUND, Cristofer *et al.* AI perspectives in Smart Cities and Communities to enable road vehicle automation and smart traffic control. **Smart Cities**, v. 4, n. 2, p. 783-802, 2021.

FANG, Yufei; SHAN, Zhiguang; WANG, Wei. Modeling and key technologies of a data-driven smart city system. **IEEE Access**, v. 9, p. 91244-91258, 2021.

FRASER, Márcia Tourinho Dantas; GONDIM, Sônia Maria Guedes. Da fala do outro ao texto negociado: discussões sobre a entrevista na pesquisa qualitativa. **Paidéia (Ribeirão Preto)**, v. 14, p. 139-152, 2004.

GAO, Yuqing; MOSALAM, Khalid M. Deep transfer learning for image-based structural damage recognition. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 33, n. 9, p. 748-768, 2018.

GUZMÁN-TORRES, J. A. *et al.* Damage detection on steel-reinforced concrete produced by corrosion via YOLOv3: A detailed guide. **Frontiers in Built Environment**, v. 9, p. 1144606, 2023.

HO, Min Che; LIN, Jyh Dong; HUANG, Chih Fong. Automatic image recognition of pavement distress for improving pavement inspection. **GEOMATE Journal**, v. 19, n. 71, p. 242-249, 2020.

HOANG, Nhat-Duc. An artificial intelligence method for asphalt pavement pothole detection using least squares support vector machine and neural network with steerable filter-based feature extraction. **Advances in Civil Engineering**, v. 2018, 2018.

HUANG, Caiping; ZHAI, Kai-kai; XIE, Xin; TAN, Jinjia. Deep residual network training for reinforced concrete defects intelligent classifier. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 26, n. 15, p. 7540-7552, 2022.

IBRAHIM, Mohamed R.; HAWORTH, James; CHENG, Tao. Understanding cities with machine eyes: A review of deep computer vision in urban analytics. **Cities**, v. 96, p. 102481, 2020.

IBRAHIM, Mohamed R.; HAWORTH, James; CHENG, Tao. URBAN-i: From urban scenes to mapping slums, transport modes, and pedestrians in cities using deep learning and computer vision. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 48, n. 1, p. 76-93, 2021.

JENKINS, Mark David et al. A deep convolutional neural network for semantic pixel-wise segmentation of road and pavement surface cracks. In: **2018 26th European signal processing conference (EUSIPCO)**. IEEE, 2018. p. 2120-2124.

KARAASLAN, Enes; BAGCI, Ulas; CATBAS, Fikret Necati. Artificial intelligence assisted infrastructure assessment using mixed reality systems. **Transportation Research Record**, v. 2673, n. 12, p. 413-424, 2019.

KHALLAF, Rana; KHALLAF, Mohamed. Classificação e análise de aplicações de aprendizagem profunda na construção: uma revisão sistemática da literatura. **Automação na construção**, v. 129, p. 103760, 2021.

KUMAR, Harish et al. Moving towards smart cities: Solutions that lead to the Smart City Transformation Framework. **Technological forecasting and social change**, v. 153, p. 119281, 2020.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica** – 8. ed. – São Paulo: Atlas, 2017.

LI, Chen; XUAN, Wangchen. Green development assessment of smart city based on PP-BP intelligent integrated and future prospect of big data. **Acta Electronica Malaysia (AEM)**, v. 1, n. 1, p. 1-4, 2017.

LI, Meiqing et al. Marked crosswalks in US transit-oriented station areas, 2007–2020: A computer vision approach using street view imagery. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 50, n. 2, p. 350-369, 2023.

LIU, Zhenqing et al. Computer vision-based concrete crack detection using U-net fully convolutional networks. **Automation in Construction**, v. 104, p. 129-139, 2019.

MOHAMMADPOUR, Atefeh; KARAN, Ebrahim; ASADI, Somayeh. Artificial intelligence techniques to support design and construction. In: **ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**. IAARC Publications, 2019. p. 1282-1289.

MOHAN, Shrey; SHOGHLI, Omidreza; BURDE, Adrian; TABKHI, Hamed. Low-power drone-mountable real-time artificial intelligence framework for road asset classification. **Transportation Research Record**, v. 2675, n. 1, p. 39-48, 2021.

MUNAWAR, Hafiz Suliman et al. Image-based crack detection methods: A review. **Infrastructures**, v. 6, n. 8, p. 115, 2021.

NOMURA, Yasutoshi; INOUE, Masaya; FURUTA, Hitoshi. Evaluation of crack propagation in concrete bridges from vehicle-mounted camera images using deep learning and image processing. **Frontiers in Built Environment**, v. 8, p. 972796, 2022.

NISTOR, Sergiu Cosmin; ILENI, Tudor Alexandru; DARABANT, Adrian Sergiu. Automatic development of deep learning architectures for image segmentation. **Sustainability**, v. 12, n. 22, p. 9707, 2020.

NOURELDIN, Mohamed; ABUHMED, Tamer; SAYGI, Melike; KIM, Jinkoo. Explainable probabilistic deep learning framework for seismic assessment of structures using distribution-free prediction intervals. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, 2023.

OSMAN, Sami Abdullah *et al.* Intelligent Assessment of Pavement Condition Indices Using Artificial Neural Networks. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 561, 2022.

OUMA, Yashon O.; HAHN, M. Pothole detection on asphalt pavements from 2D-colour pothole images using fuzzy c-means clustering and morphological reconstruction. **Automation in Construction**, v. 83, p. 196-211, 2017.

PERAKA, Naga Siva Pavani; BILIGIRI, Krishna Prapoorna; KALIDINDI, Satyanarayana N. Development of a multi-distress detection system for asphalt pavements: Transfer learning-based approach. **Transportation Research Record**, v. 2675, n. 10, p. 538-553, 2021.

RAMPINI, Luca *et al.* Artificial intelligence in construction asset management: A review of present status, challenges and future opportunities. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 27, p. 884-913, 2022.

SHAHAT, Ehab; HYUN, Chang T.; YEOM, Chunho. City digital twin potentials: A review and research agenda. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 3386, 2021.

SHENG, H.; Zhang, Y.; WANG, W.; SHAN, Z.; FANG, Y.; LYU, W.; XIONG Z. Avaliação altamente confiável para serviços de cidades inteligentes. *Frente. Ambiente. Ciência*, 2022.

SHIM, Seungbo; LEE, Seong-Won; CHO, Gye-Chun; KIM, Jin; KANG, Sung-Mo. Remote robotic system for 3D measurement of concrete damage in tunnel with ground vehicle and manipulator. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, 2023.

TABIAN, Iuliana; FU, Hailing; SHARIF KHODAEI, Zahra. A convolutional neural network for impact detection and characterization of complex composite structures. **Sensors**, v. 19, n. 22, p. 4933, 2019.

XU, Yayin et al. Machine learning in construction: From shallow to deep learning. **Developments in the built environment**, v. 6, p. 100045, 2021.

WANG, Ruiping; WU, Shihong; WANG, Xiaoping. The Core of Smart Cities: Knowledge Representation and Descriptive Framework Construction in Knowledge-Based Visual Question Answering. **Sustainability**, v. 14, n. 20, p. 13236, 2022.

WANG, Xiaowei et al. Machine learning for risk and resilience assessment in structural engineering: Progress and future trends. **Journal of Structural Engineering**, v. 148, n. 8, p. 03122003, 2022.

ZAKERI, Hamzeh; NEJAD, Fereidoon Moghadas; FAHIMIFAR, Ahmad. Image based techniques for crack detection, classification and quantification in asphalt pavement: a review. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 24, p. 935-977, 2017.

ZHANG, Yuting. Safety management of civil engineering construction based on artificial intelligence and machine vision technology. **Advances in civil engineering**, v. 2021, n. 1, p. 3769634, 2021.

APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO COM PERGUNTAS GERAIS, DIRECIONADOS AOS PROFISSIONAIS DAS ÁREAS RELACIONADAS AOS OBJETIVOS DO TRABALHO.

1. O(a) senhor(a) trabalha em qual empresa ou Órgão ?

2. O(a) senhor(a) exerce qual cargo nessa empresa/órgão ?

3. Há quanto tempo o(a) senhor(a) atua na área desse cargo ?

4. Qual a sua escolaridade ?

5. Qual é a sua área de formação ?

6. Sexo

() Masculino

() Feminino

7. Idade

8. A qual esfera pertence a empresa ou órgão que o(a) senhor(a) trabalha ?

() Pública Privada

() Mista

9. Quanto tempo de existência possui a empresa ou órgão que o(a) senhor(a) trabalha ?

() Inferior a 1 ano

() entre 1 e 5 anos

() entre 5 e 10 anos

() entre 10 e 20 anos

() Superior a 20 anos

10. Qual é a área de atuação da empresa que o(a) senhor(a) trabalha ?

APÊNDICE 2 – ROTEIRO DO QUESTIONÁRIO COM PERGUNTAS ESPECÍFICAS, DIRECIONADO AOS PROFISSIONAIS DE ENGENHARIA CIVIL, DO RAMO DE PAVIMENTAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS.

11. A infraestrutura de uma via urbana pode contribuir para a manutenção da segurança viária.

- ☐ concordo totalmente concordo
- ☐ parcialmente não concordo
- ☐ não discordo nem discordo
- ☐ discordo parcialmente
- ☐ discordo totalmente

13. Poderia justificar a resposta da questão anterior ?

14. Normalmente, qual é o tempo médio de durabilidade da infraestrutura de uma via pública asfaltada.

- ☐ inferior a 1 ano
- ☐ entre 1 e 3 anos
- ☐ entre 3 e 5 anos
- ☐ entre 5 e 10 anos
- ☐ O tempo de durabilidade é relativo

15. Poderia apresentar algum comentário acerca a resposta da questão anterior.

16. Quais são os fatores que contribuem para a deteriorização da integridade do asfalto de uma via pública.

- ☐ Tráfego
- ☐ Tipos de veículos
- ☐ Qualidade dos materiais utilizados na pavimentação
- ☐ Condições climáticas
- ☐ Outros fatores não citados

17. Poderia elucidar um pouco acerca da resposta da questão anterior.

18. O que caracteriza as anomalias abaixo relacionadas, encontradas nas vias públicas.

a. Trinca

b. Buraco

c. Laminação

d. Rachadura

e. Lascas

f. Haveria alguma outra anomalia não citado na questão anterior que o(a) senhor(a) gostaria de acrescentar ?

19. Normalmente, qual é a periodicidade média com que é realizada a inspeção uma via pública.

() inferior a 6 meses

() entre 6 meses e 1 ano

() entre 1 e 2 anos

() entre 2 e 5 anos

() A periodicidade é relativa

20. O(a) senhor(a) gostaria de acrescentar algo na resposta da questão anterior ?

21. Qual(as) os métodos de inspeção de vias públicas mais empregados pelo órgão que o(a) senhor(a) trabalha.

- ☐ Inspeção manual
- ☐ Inspeção visual
- ☐ Inspeção eletrônica
- ☐ Inspeção por equipamentos
- ☐ mecânicos
- ☐ Outros métodos não citados

22. O(a) senhor(a) poderia gostaria de acrescentar algo na resposta da questão anterior.

23. Qual é o tempo média de duração do trabalho de inspeção de vias públicas.

- ☐ Inferior a 1 dia
- ☐ Entre 1 e 7 dias
- ☐ Entre 7 e 20 dias
- ☐ Entre 20 e 40 dias
- ☐ O tempo de inspeção é relativo

24. Poderia justificar a resposta da questão anterior ?

APÊNDICE 3 - ROTEIRO DO QUESTIONÁRIO COM PERGUNTAS ESPECÍFICAS, DIRECIONADO AOS PROFISSIONAIS DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO, DO RAMO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.

11. Sumariamente, poderia explicar como funcionam as tecnologias da Inteligência Artificial abaixo relacionadas.

a. Machine Learning

b. Deep Learning

c. Rede Neural Artificial

d. Rede Neural Recorrente

e. Visão Computacional

f. Rede Neural Convolucional

12. De modo geral, dentre as diversas funcionalidades, a Inteligência Artificial pode ser utilizada em trabalhos relacionados às inspeções, visando identificar falhas em estruturas.

() concordo totalmente concordo

() parcialmente não concordo

() não discordo nem discordo

() discordo parcialmente

() discordo totalmente

13. Poderia justificar a resposta da questão anterior ?

14. A partir de uma coleta por imagem por câmeras de vídeo, a tecnologia da Inteligência Artificial poderia ser empregada no sentido de identificar e reconhecimento de coisas (pessoas, objetos, veículos etc).

☐ concordo totalmente concordo

☐ parcialmente não concordo

☐ não discordo nem discordo

☐ discordo parcialmente

☐ discordo totalmente

15. Poderia justificar a resposta da questão anterior ?

16. O trabalho da tecnologia da Inteligência Artificial de identificação e reconhecimento de imagens possui alta precisão.

☐ concordo totalmente concordo

☐ parcialmente não concordo

☐ não discordo nem discordo

☐ discordo parcialmente

☐ discordo totalmente

17. Poderia justificar a resposta da questão anterior ?

18. No que tange ao trabalho da engenharia civil voltado para as vias públicas, o processo de reconhecimento de imagens de pavimentos, visando identificar possíveis anomalias e falhas em sua estrutura, a fim de tornar mais eficiente o trabalho, poderia ser realizado por meio da tecnologia da informação.

☐ concordo totalmente concordo

☐ parcialmente não concordo

☐ não discordo nem discordo

☐ discordo parcialmente

☐ discordo totalmente

19. Poderia justificar a resposta da questão anterior ?

20. Em um possível emprego, visando identificar um defeito em uma pavimentação, qual(is) subcampo(s) da tecnologia da Inteligência Artificial seria(m) mais indicados para ser(em) empregado(s).

- ☐ Machine Learning
- ☐ Rede Neural Artificial
- ☐ Rede Neural Recorrente
- ☐ Rede Neural Convolucional
- ☐ Visão computacional

21. Poderia justificar a resposta da questão anterior ?

22. Com base em sua experiência, após identificar um defeito, acredita que a tecnologia da Inteligência Artificial poderia ser empregada em trabalhos visando classificar esses defeitos existentes em pavimentações.

- ☐ concordo totalmente concordo
- ☐ parcialmente não concordo
- ☐ não discordo nem discordo
- ☐ discordo parcialmente
- ☐ discordo totalmente

23. Poderia justificar a resposta da questão anterior ?

24. Para realizar esse trabalho, a tecnologia da Inteligência Artificial, associada a outros dispositivos como sensores, câmeras e outros dispositivos de detecção de imagens, poderia ser empregada para medir a extensão e profundidade dos danos existentes nas pavimentações.

- ☐ concordo totalmente concordo
- ☐ parcialmente não concordo
- ☐ não discordo nem discordo
- ☐ discordo parcialmente
- ☐ discordo totalmente

25. Poderia justificar a resposta da questão anterior ?
