


EMANUEL JERONYMO LIMA OLIVEIRA

**USO DE ARP PARA GESTÃO DE ATIVOS DE INFRAESTRUTURA
RODOVIÁRIA: APLICAÇÃO EM UM TRECHO DA RODOVIA PB-400**


Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 10 de Julho de 2023.


Documento assinado digitalmente
 CAROLINE MUNOZ CEVADA JERONYMO
Data: 19/07/2023 14:59:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Caroline Muñoz Cevada Jeronymo – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientadora


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 GASTAO COELHO DE AQUINO FILHO
Data: 19/07/2023 15:06:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Presidente da banca e Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 AMANDA JESSICA RODRIGUES DA SILVA
Data: 19/07/2023 20:26:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Amanda Jéssica Rodrigues da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinadora 2

Documento assinado digitalmente
 GABRIEL LINCOLN LOPES CARVALHO
Data: 19/07/2023 16:37:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gabriel Lincoln Lopes Carvalho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 3

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

O48p Oliveira, Emanuel Jeronymo Lima.
Uso de ARP para gestão de ativos de infraestrutura rodoviária :
aplicação em um trecho da rodovia PB-400 / Emanuel Jeronymo Lima
Oliveira. – 2023.

35f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da
Paraíba, Cajazeiras, 2023.

Orientador(a): Prof^ª. Me. Caroline Muñoz Cevada Jeronymo.

1. Engenharia rodoviária. 2. Malha rodoviária - Inspeção. 3.
Monitoramento remoto. 4. Pavimentação asfáltica. I. Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Artigo apresentado à Coordenação do curso como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

USO DE ARP NA GESTÃO DE ATIVOS DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA: APLICAÇÃO EM UM TRECHO DA RODOVIA PB-400

EMANUEL JERONYMO LIMA OLIVEIRA (discente)

emanueljeronimo@gmail.com

CAROLINE MUÑOZ CEVADA JERONYMO (orientadora)

caroline.jeronimo@ifpb.edu.br

RESUMO

A pesquisa explorou o potencial das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) na gestão e manutenção de ativos rodoviários para melhorar a qualidade e segurança das rodovias. Um estudo de caso foi conduzido em um trecho piloto de 2 km da rodovia PB-400, comparando-o com a avaliação recente da Confederação Nacional do Transporte em relação ao pavimento e sinalização. O método envolveu pesquisa bibliográfica, levantamento com ARP e análise dos resultados. Foram gerados um ortomosaico e um modelo digital de elevação para avaliar o trecho, comparando-os com imagens de satélite e normas de avaliação de pavimentos. Os resultados revelaram deficiências na infraestrutura, como problemas no pavimento, falta de sinalização e invasões na faixa de domínio, prejudicando a segurança e usabilidade da rodovia. Concluiu-se que existem muitas vantagens no uso de ARPs na avaliação de rodovias, como economia de tempo e eficiência na coleta de dados; também foram feitas reflexões sobre a comparação entre ortomosaico e imagens de satélite, bem como a consistência entre os produtos gerados por ARP e as normas de avaliação e manutenção de pavimentos.

Palavras-Chave: aeronave remotamente pilotada (ARP); nuvem de pontos; ortomosaico; avaliação de rodovias; drones.

ABSTRACT

The research explored the potential of Remotely Piloted Aircraft (RPAs) in the management and maintenance of road assets to improve the quality and safety of highways. A case study was conducted on a 2 km pilot section of the PB-400 highway, comparing it with the recent evaluation by the National Transport Confederation regarding pavement and signage. The method involved literature research, data collection using RPAs, and analysis of the results. An orthomosaic and a digital elevation model were generated to assess the section, comparing them with satellite images and pavement evaluation standards. The results revealed deficiencies in the infrastructure, such as pavement problems, lack of signage, and encroachments on the right of way, which negatively impacted the safety and usability of the highway. It was concluded that there are many advantages in using RPAs for highway assessment, such as time savings and data collection efficiency. Reflections were also made on the comparison between orthomosaic and satellite images, as well as the consistency between the products generated by RPAs and the pavement evaluation and maintenance standards.

Keywords: remotely piloted aircraft (RPA); point cloud; orthomosaic; highway assessment; drones.

1 INTRODUÇÃO

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), popularmente conhecidas por drones, têm seu uso difundido para fins produtivos, inclusive para as áreas de planejamento e monitoramento de infraestruturas urbanas e rurais. O destaque dessa tecnologia não está só na possibilidade de captura de imagens aéreas, mas a depender do equipamento, pode vir embarcado com sensores e outras tecnologias capazes de criar uma reconstituição do ambiente através de nuvem de pontos com precisões centimétricas, podendo gerar ortofotos e modelos digitais de elevação (MDE), de terreno (MDT) e em

3D de alta precisão.

O Brasil tem uma forte dependência do modal rodoviário para transporte, com cerca de 67,72% do transporte de carga e aproximadamente 95,18% do transporte de pessoas entre cidades sendo realizados por meio de rodovias, conforme dados da Empresa de Planejamento e Logística (EPL, 2021). Nesse contexto, tem-se como premissa deste trabalho que é essencial destacar que a infraestrutura rodoviária requer monitoramento constante para prevenir acidentes e subsidiar decisões sobre investimentos em manutenção e requalificação das infraestruturas existentes.

A avaliação de rodovias é objeto de diversas pesquisas acadêmicas e institucionais em nível nacional, visando estudar novos métodos de avaliação, como o Modelo de Avaliação Funcional apresentado por Guzen (2005) ou o Método de Avaliação e Classificação de Rodovias da Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2022a). Além disso, é importante mencionar iniciativas de planejamento, como o Inventário dos Bens de Infraestrutura do estado de Goiás (GOINFRA, 2021), que também contribuem para aprimorar a gestão e a manutenção das rodovias.

O uso de ARP na área de infraestruturas rodoviárias tem sido apresentado no Brasil para avaliação de manifestações patológicas no revestimento asfáltico¹, para levantamento e precisão de dados para projeto e construção de estradas (CAVALCANTE; LIMA, 2021) e para levantamento de infraestrutura para execução de projetos de sinalização rodoviária em BIM (OLIVEIRA; JERONYMO, 2022). Já as pesquisas internacionais avançam para a automatização da avaliação da qualificação de pavimentos através de imagens de drone e recursos de programação avançados como exemplo de uso de redes neurais (JIENG; XIE; REN, 2018) e de técnicas de *machine learning* – aprendizagem da máquina (MOON; LEE, 2022).

Destarte, o objetivo desta pesquisa foi explorar o potencial das ARPs na gestão e manutenção de ativos rodoviários. Como as rodovias são responsáveis por conectar cidades, regiões e países, sua infraestrutura é crucial para garantir a segurança e a eficiência do transporte; além de que a experiência dos usuários geralmente envolve sua geometria, revestimento e sinalização. Para alcançar o objetivo proposto, esta pesquisa investigou o uso de ARPs em um trecho piloto de 2 km da rodovia estadual PB-400, que conecta os Municípios de Cajazeiras-PB e Conceição-PB (Figura 1). A CNT (2022b) classificou esse trecho como ruim ou péssimo em relação aos parâmetros de pavimentação e sinalização, de acordo com a Pesquisa Nacional de Rodovias de 2022. Nesta aplicação prática, demonstramos como o uso estratégico de uma ARP pode aprimorar esses aspectos e coletar uma quantidade significativa de informações para melhorar a qualidade da rodovia, garantindo segurança e conforto aos usuários, em contraste com os dados previamente obtidos na pesquisa nacional mencionada. Essa experiência também suscitou reflexões sobre as perspectivas futuras dos avanços tecnológicos relacionados às ARPs e seu papel na manutenção da infraestrutura urbana.

Figura 1 – Localização do trecho piloto.



Fonte: Editado pelos autores a partir de base de dados do OpenStreetMap (2023).

¹ São exemplos de contribuições as pesquisas com uso de ARP de Carvalho (2017), Monte (2019), Bezerra e Pedroza (2019) e Fernandez *et al.* (2021).

Na segunda seção, foi construído o referencial teórico da pesquisa com conceitos e reflexões sobre gestão de ativos, gêmeos digitais (*digital twin*) e ciclo de vida das construções e tecnologias. A terceira seção descreveu o método da pesquisa, que incluiu a construção do repertório bibliográfico e referencial, a pesquisa de campo com o estudo de caso do uso de drone em trecho de rodovia e a análise do produto gerado pela ARP. Na quarta seção, os resultados da experiência prática foram apresentados e foi feita uma reflexão sobre o cenário brasileiro e internacional, que vem avançando em novas tecnologias. Na última seção foram apontadas as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A gestão eficiente e a manutenção adequada dos processos urbanos são desafios constantes para as cidades modernas. Nesse contexto, a tecnologia e a criatividade desempenham um papel fundamental na busca por soluções mais eficientes. Segundo Ayarkwa *et al.* (2022), é essencial explorar essas novas possibilidades para alcançar resultados mais eficientes. Uma das tecnologias que vem ganhando destaque é o uso de drones, que oferecem novas possibilidades para a gestão e manutenção dos processos urbanos. As aeronaves remotamente pilotadas, popularmente conhecidas como drones, são um exemplo de tecnologia que pode ser utilizada nesse contexto.

A Federal Highway Administration (FHA, 2021) define como *unmanned aerial systems*² (UAS) uma aeronave operada sem intervenção humana direta, composta por estação de controle, carga útil e piloto. Dentro do conjunto das UAS estão as aeronaves remotamente pilotadas, popularmente conhecidas como drones. As ARPs podem ser utilizadas para coletar dados de alta qualidade sobre a condição da infraestrutura, permitindo que as equipes de gerenciamento de ativos avaliem a necessidade de manutenção, reparos e melhorias. Algumas aplicações associadas, como a segurança rodoviária, o monitoramento de tráfego e o gerenciamento de infraestrutura rodoviária, são apresentadas na revisão realizada por Outay, Mengash e Adman (2020).

Uma aplicação bastante divulgada na literatura das ARPs na gestão de infraestruturas rodoviárias é a inspeção de pontes e viadutos. Neste caso, os drones são usados para avaliar a condição dessas estruturas, identificar rachaduras e outros danos, e coletar dados de imagem e vídeo de alta resolução que podem ser usados para planejar reparos e manutenção (BENCKE; PEREZ; ARMENDARIS, 2017). Para Resende, Bernucci e Quintanilha (2012), estão sendo buscadas novas técnicas para monitorar a condição dos pavimentos rodoviários de forma ágil, utilizando imagens hiperespectrais de sensor digital aeroembarcado. Isso é importante porque o monitoramento da condição das rodovias brasileiras é uma tarefa demorada e dispendiosa; e com o surgimento de novos satélites e sensores aeroembarcados de sensoriamento remoto, como o caso dos drones, é possível obter imagens de alta resolução espacial.

Nesta perspectiva, compreendeu-se que a aplicação de ARPs na gestão de infraestruturas rodoviárias é um tópico de grande relevância e atualidade, e está intrinsecamente relacionada a três temas fundamentais, norteadores dos próximos subtópicos e da construção conceitual deste estudo. Primeiramente, foi apresentada uma revisão sobre o conceito de gestão de ativos e o papel que desempenha nesse contexto; em segundo lugar, discussões teóricas e literatura internacional demonstraram que os gêmeos digitais (*digital twins*) emergem como uma tecnologia-chave na construção civil, e sua relação com a gestão de ativos é notória, ao criar réplicas virtuais precisas das infraestruturas rodoviárias. Por fim, foram relacionados o ciclo de vida das construções e as tecnologias aplicadas, incluindo as ARPs ou tecnologias embarcadas nos mesmos, que são citados em referências internacionais da indústria da construção.

2.1 GESTÃO DE ATIVOS

Um ativo é algo que possui valor real ou potencial para uma organização, podendo ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro; e esse valor pode variar entre diferentes organizações e suas partes interessadas (*stakeholders*) (COUTINHO, 2017). No caso das rodovias, a gestão de ativos se

² No Brasil, a expressão estrangeira é amplamente divulgada, mas também pode ser encontrada na forma traduzida: aeronave não tripulada, conforme encontrado na plataforma do Departamento de Controle Aéreo (DECEA), o órgão que gerencia e controla as atividades relacionadas ao controle do espaço aéreo nacional (DECEA, S.i.).

torna importante porque contribui para a maximização do valor, a manutenção adequada, a segurança e o planejamento de longo prazo desses ativos, resultando em uma melhor infraestrutura rodoviária e uma experiência mais segura para os usuários.

Conforme destacado por Prates (2019), a gestão eficiente de ativos desempenha um papel cada vez mais relevante nas infraestruturas. Para Kartado (2023), a gestão dos ativos da rodovia é essencial e envolve etapas como implementação, fiscalização, monitoramento e substituição dos ativos instalados.

As organizações responsáveis pela gestão, operação e manutenção de infraestruturas rodoviárias buscam reduzir despesas de capital e custos operacionais, assegurando um nível adequado de serviço ao longo do ciclo de vida e alcançando seus objetivos estratégicos. Inclusive, para Meireles (2018), os custos operacionais são significativamente maiores do que os custos de capital, exigindo consideração durante o processo de aquisição.

No Brasil, a gestão de ativos é orientada pela Norma Brasileira (NBR) ISO 55000 (ABNT, 2014), que se baseia nas diretrizes internacionais da *International Organization for Standardization* (ISO) para a gestão de ativos. Suas principais regulações estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Regulações do conjunto de NBR ISO 55000.

NBR ISO	Regulações
55001	estabelece os requisitos para um sistema de gestão de ativos, orientando sua implementação, manutenção e melhoria contínua
55002	fornece diretrizes adicionais para a aplicação da ISO 55001, ajudando as organizações a interpretar e implementar os requisitos de forma eficaz, com exemplos e explicações detalhadas sobre os princípios da gestão de ativos
55003	oferece orientações para a implementação do sistema de gestão de ativos, abrangendo a estrutura, o planejamento, o controle de implementação e a integração com outros sistemas de gestão

Fonte: Produção dos autores (2023).

Em conjunto, a NBR ISO 55000 fornece diretrizes abrangentes e requisitos essenciais para uma gestão eficaz de ativos em uma organização. A gestão de ativos desempenha um papel fundamental na administração de infraestruturas, permitindo que as organizações gerenciem seus ativos de forma eficiente e maximizem seu valor (ABNT, 2014). Para Panegossi e Silva (2020), estas normas transformaram a gestão de ativos, fornecendo orientações essenciais e ferramentas para planejamento e implementação, garantindo o sucesso da gestão de ativos, desde que fundamentos e princípios sejam seguidos. A implementação do sistema de gestão de ativos requer acompanhamento e monitoramento para comprovar quantitativamente os benefícios da adoção da filosofia da ISO 55001 (MEIRELES, 2018).

Segundo Radopoulou e Brilakis (2016), o monitoramento das condições das estradas enfatiza a necessidade de uma abordagem holística e automatizada, superando as limitações dos métodos existentes para fornecer uma solução abrangente e econômica que aborde todos os defeitos das estradas e forneça informações de manutenção eficientes. Além disso, a Austroads, importante órgão australiano de transporte e infraestrutura rodoviária, lançou recentemente um modelo de relatório de gestão de pavimentos que exemplifica os dados necessários para a gestão de ativos no setor rodoviário, abrangendo informações de seção, inventário, condição, histórico de manutenção e aspectos ambientais, entre outros (AUSTROADS, 2023).

A União Europeia (UE) está buscando ativamente a digitalização como uma forma de aprimorar a eficiência e a sustentabilidade do setor da construção. Por meio de propostas recentes, estão sendo estabelecidas conexões entre diferentes escalas e profissionais, com o objetivo de otimizar processos, promover transparência e melhorar a tomada de decisões. Essa abordagem é impulsionada pela necessidade de acelerar a adoção digital em um setor que historicamente tem sido mais lento nessa área. As iniciativas da UE e dos países membros têm apoiado ativamente a digitalização, e é fundamental assegurar a participação de todos os atores do setor nessa transformação para alcançar os objetivos climáticos e de sustentabilidade estabelecidos (CE, 2021).

A digitalização em países desenvolvidos inspira o Brasil a replicar práticas de sucesso como gêmeos digitais, BIM, CIM e GIS, fortalecendo a gestão de ativos na construção civil. Todos os atores do setor devem compreender esses conceitos e tecnologias e se envolver ativamente. A colaboração entre governos, empresas, profissionais e acadêmicos impulsionará a implementação e a adoção, alcançando eficiência, transparência e tomada de decisões embasadas em dados. Assim, a digitalização

impulsionará o desenvolvimento sustentável e aprimorará a gestão de ativos na construção civil.

2.2 GÊMEOS DIGITAIS, BIM, GIS, CIM E SUAS RELAÇÕES COM A GESTÃO DE ATIVOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A revolução digital está constantemente introduzindo novos termos que rapidamente se tornam clichês e frases populares. Um desses termos é o "gêmeo digital" (*digital twin*), que ganhou popularidade com o avanço da infraestrutura digital em indústrias, cidades e comunidades. O gêmeo digital é uma representação digital de um processo físico que corresponde em tempo real à sua operação (BATTY, 2018). Para Vieira *et al.* (2022) a utilização de sensores e aquisição inteligente de dados tem contribuído para aprimorar o ciclo de vida dos ativos, abrangendo desde o *design* e fabricação até a distribuição, manutenção e reciclagem. O conceito de gêmeos digitais se baseia nessas tecnologias, permitindo a integração entre objetos virtuais e físicos ao longo de todo o ciclo de vida.

Neste sentido, o papel do *design* e da inovação na abordagem de desafios importantes, principalmente em ambientes urbanos, é ressaltado, destacando sua relevância no enfrentamento de questões como as mudanças climáticas e na criação de cidades mais sustentáveis. Para Ratti (DISCURSO..., 2022), o conceito de gêmeos digitais é fundamental nesse contexto, referindo-se à convergência de elementos digitais e físicos, especialmente nas cidades. Isso implica que a internet está se tornando a Internet das Coisas (IoT), penetrando nas cidades e transformando a maneira como as compreendemos e projetamos, por meio do uso de dados.

Os gêmeos digitais, o *building information modeling* (BIM) e o *geographic information system* (GIS) se apresentam como conceitos complementares e interconectados no contexto da transformação digital na indústria da construção, do planejamento à infraestrutura. Para Eastman *et al.* (2014), BIM é uma abordagem holística que envolve a criação de modelos digitais detalhados e a gestão de informações ao longo do ciclo de vida de uma construção. É um processo colaborativo que integra arquitetos, engenheiros, construtores e proprietários, proporcionando visualização, análise e tomada de decisões em todas as fases do projeto.

Em um trabalho envolvendo o uso de drone para levantamento de nuvem de pontos de uma edificação com valor de patrimônio histórico, Barazzetti *et al.* (2015) exploram a relação BIM-GIS em um modelo completamente virtual, ofertando os atributos da realidade aumentada e de perspectivas positivas de possibilitar às pessoas de distintas localizações compreender produtos mesmo de natureza completa, e com rigor adequado.

Os dados do GIS fornecem dados geoespaciais sobre cidades e funções de análise espacial que são essenciais para o projeto urbano e, para Xia *et al.* (2022), combinação dessas tecnologias poderia fornecer uma tecnologia central para o gêmeo digital, a fim de apoiar projetos inteligentes e sustentáveis. Numa perspectiva mais macro de uso de BIM, GIS e gêmeos digitais, surge a modelagem de informações da cidade, ou *city information modeling* (CIM), que é uma tecnologia que faz parte do conceito de gêmeo digital e é fundamental para a transformação de cidades inteligentes em realidade, bem como da manutenção real da cidade, resolvendo problemas de tráfego, por exemplo (SOUZA; BUENO, 2022). O CIM envolve a criação de um modelo digital da cidade, que inclui a modelagem, monitoramento, análise e simulação de informações (XIA *et al.*, 2022).

No Brasil, implementar gêmeos digitais com BIM e GIS coaduna com a Estratégia BIM BR, uma iniciativa governamental brasileira que visa promover a adoção e implementação da metodologia BIM em projetos e obras públicas (BRASIL, 2019a). Seu objetivo é melhorar a eficiência, qualidade e sustentabilidade das construções, além de promover a integração e o compartilhamento de informações entre os diferentes agentes envolvidos no ciclo de vida do empreendimento.

A Lei nº 14.133 (BRASIL, 2021), conhecida como Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos, é outro marco legal que pode ter um impacto significativo no uso do BIM, gêmeos digitais e projetos de rodovias. Essa lei incentiva o uso do BIM em licitações e contratos públicos, estabelecendo requisitos para a apresentação de modelos digitais e promovendo a adoção de gêmeos digitais para gestão e fiscalização de obras. Além disso, a lei busca fortalecer a transparência e o controle dos empreendimentos, visando aprimorar a eficiência, qualidade e transparência das obras de rodovias. Ao utilizar essas tecnologias digitais, é possível facilitar o compartilhamento de informações, prevenir irregularidades e melhorar a gestão dos projetos de rodovias.

Embora a ideia de um gêmeo digital apresenta promessas para aprimorar a manutenção e o planejamento de sistemas reais, ainda enfrenta desafios de integração e requer a desconexão do sistema real para ser explorado e utilizado como uma ferramenta de aprendizado. Conforme destacado por Menegon e Isatto (2023), a implementação dos gêmeos digitais ainda enfrenta algumas dificuldades, incluindo a ineficiência na integração e gerenciamento de dados, problemas de interoperabilidade, questões operacionais e desafios na gestão e utilização do conhecimento adquirido ao longo do ciclo de vida do produto. Portanto, é fundamental avaliar a viabilidade financeira do uso de gêmeos digitais em diferentes cenários, a fim de identificar as situações críticas que justifiquem de forma mais eficiente a sua adoção.

3 MÉTODO DA PESQUISA

A natureza da pesquisa descrita foi classificada como uma pesquisa aplicada e exploratória. Essa classificação se baseia no fato de que a pesquisa envolve a análise de um trecho específico de uma rodovia e busca aplicar métodos e tecnologias, como o uso de drone, para melhorar a qualidade e a segurança da infraestrutura.

O método empregado neste estudo envolveu quatro etapas estruturadas da seguinte forma: 1) pesquisa documental e referencial; 2) pesquisa de campo; 3) análise dos resultados obtidos; e 4) apresentação e discussão dos resultados. Essas etapas foram delineadas no fluxograma metodológico apresentado como Fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Esquema metodológico.



Fonte: Produção dos autores (2023).

A **pesquisa bibliográfica e referencial (01)** envolveu a busca, seleção e análise de fontes relevantes, incluindo trabalhos acadêmicos e artigos científicos que abordaram a avaliação de rodovias ou pavimentos, com ou sem o uso de ARP. O objetivo foi identificar lacunas de conhecimento e embasar o desenvolvimento deste estudo. Para isso, foram utilizadas bases de dados como o Google Scholar, Periódicos Capes e Elsevier, abrangendo temas como avaliação de manifestações patológicas rodoviárias, uso de drones/ARP para avaliação rodoviária, modelos de avaliação rodoviária, gestão de ativos e suas implicações em modelos de gêmeos digitais na construção civil, além do uso de ARP para digitalização de ativos rodoviários.

Nesta etapa foi selecionado um trecho de 2 km da rodovia estadual PB-400, entre Cajazeiras-PB e Conceição-PB, como objeto de estudo para aplicação prática. Essa escolha foi motivada pela disponibilidade de uma avaliação recente realizada pela CNT (2022b), o que possibilitou a verificação e comparação dos parâmetros de pavimento e sinalização, validando ou contestando os resultados obtidos neste estudo. Além disso, também foram avaliadas as imagens de satélite disponíveis no *geolocation* do Civil 3D, utilizando a versão educacional do *software*.

Para a **pesquisa de campo (02)** foi utilizado o levantamento o modelo de ARP DJI MIINI 2,

onde foi seguido o seguinte fluxo: planejamento do voo, onde foi delimitado a área do voo através do *software* livre QGroundControl > programação de voo, com auxílio do aplicativo licenciado Litchi > solicitação de autorização do voo no SARPAS/DECEA > realizado o voo através do aplicativo Litchi > processamento das imagens com uso do *software* Recap Pro, versão educacional. Não foram utilizados pontos de controle.

O levantamento foi realizado no dia 17 de dezembro de 2022, em um sábado, às 12h, por cerca de uma hora. Essa escolha de horário foi estratégica para minimizar a presença de sombras durante o levantamento, visando obter dados mais precisos. Além disso, optou-se por realizar o levantamento em um momento em que o tráfego de veículos fosse menor, levando em consideração períodos fora do horário comercial e de movimentos pendulares. Essa decisão foi tomada para evitar interferências e garantir resultados mais confiáveis.

Durante o levantamento, foram necessárias duas pessoas para executar a tarefa. Isso ocorreu devido à limitação do equipamento para manter a conexão de radiofrequência entre o rádio controlador e a aeronave. Portanto, o piloto contou com a presença de um motorista guiando próximo à aeronave para assegurar a comunicação eficiente e o bom funcionamento do equipamento durante o levantamento.

Para a **análise do produto (03)** foram gerados o ortomosaico e o modelo digital de elevação (MDE) para realizar a avaliação qualitativa do trecho da rodovia. Inicialmente foi traçado um alinhamento no eixo da rodovia e gerado estaqueamento a cada 10m para facilitar a locação das observações do objeto. A partir do ortomosaico produzido foram verificados principalmente os seguintes ativos rodoviários: condições do pavimento, condição de sinalização horizontal, existência de dispositivos auxiliares de sinalização e elementos como drenagem e delimitadores laterais.

Essa etapa demandou aproximadamente oito horas de trabalho em escritório, incluindo o planejamento e a execução do processamento das fotografias aéreas. Em parte desse período, o pesquisador não precisou estar diretamente envolvido na manipulação da máquina.

Os **resultados e discussões (04)** incluíram a comparação entre a imagem de satélite de base acessível e o ortomosaico, o produto gerado e sua possibilidade de aplicação de acordo com normas vigentes de avaliação e manutenção de pavimentos flexíveis e semirrígidos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), sobre faixa não-edificável, além de discutir redução de riscos e custos, bem como perspectivas de outras tecnologias integradas.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

Em relação aos resultados obtidos, percebeu-se que algumas questões e apontamentos estavam diretamente relacionados ao experimento e foram apresentados no primeiro subtópico deste texto. No entanto, importantes discussões surgiram que geraram reflexões sobre a aplicação de ARPs na gestão de rodovias, também relevantes para o estudo, as quais foram abordadas no segundo subtópico, conforme os textos a seguir.

4.1 AVALIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA DE UM TRECHO DA PB 400

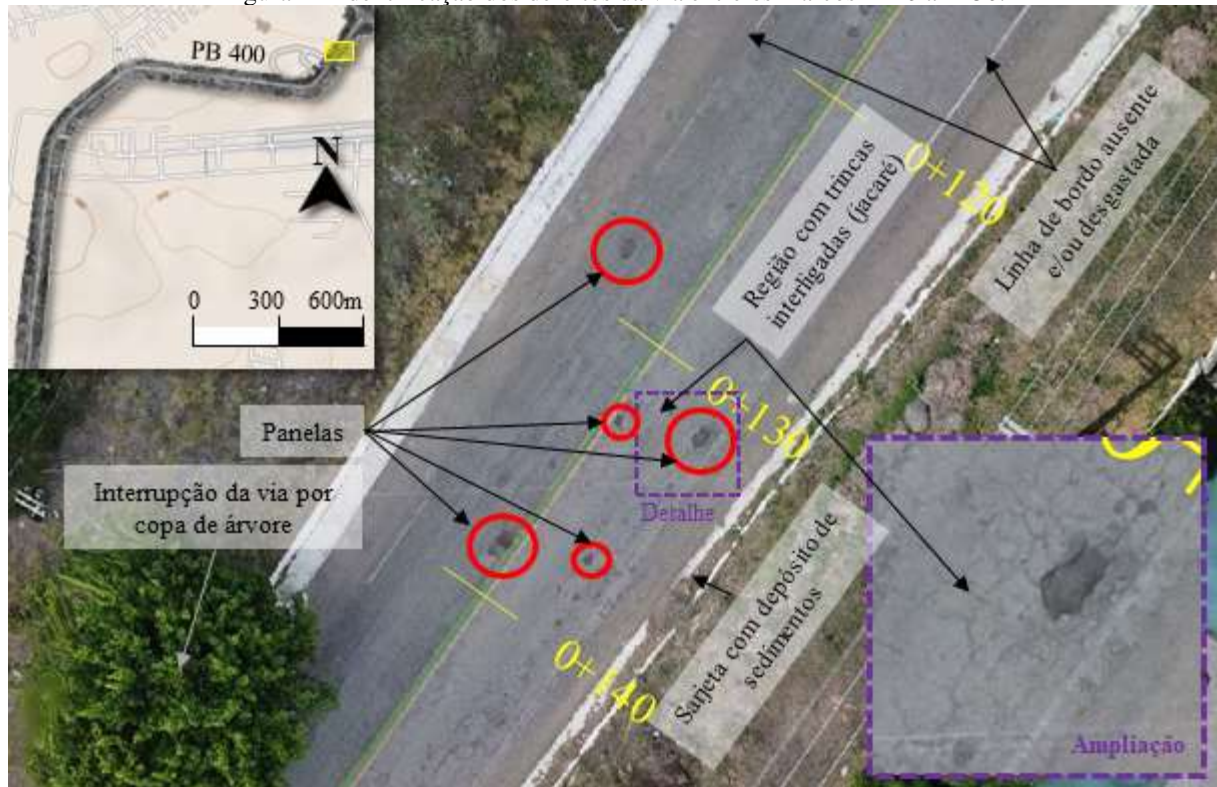
Este trabalho apresentou um procedimento detalhado para a avaliação dos ativos de infraestrutura em um trecho piloto de 2 quilômetros, com o uso de aeronaves remotamente pilotadas. A criação de um alinhamento preciso ao longo do eixo central da rodovia e a definição de estacas a cada 10 metros foram fundamentais para facilitar a localização dos ativos por meio do estaqueamento digital no Civil 3D.

Os resultados iniciais dessa experiência destacaram as vantagens do uso de ARPs em comparação com o método convencional, principalmente em termos de economia de tempo. Enquanto o levantamento tradicional demandaria muito mais tempo entre o campo e a transferência das informações para o computador, a ARP permitiu uma coleta de dados mais rápida e eficiente. Além disso, houve uma redução significativa na quantidade de pessoas envolvidas e no risco de realizar o levantamento em campo, expostos ao tráfego e perigos da rodovia. A utilização de uma ARP proporcionou um produto de extrema relevância para uma análise ágil e precisa da condição da via.

Mesmo sem possuir uma vasta experiência na análise de pavimentos, o pesquisador observador foi capaz de identificar com facilidade diversos defeitos em um curto período. No segmento compreendido entre os marcos +110 a +150, foram encontrados vários defeitos que apresentam riscos

significativos para a segurança dos usuários. Destacam-se a presença de uma copa de árvore obstruindo a via, o que leva os veículos a realizarem ultrapassagens indevidas, mesmo em trechos com traçado contínuo³. Além disso, foi constatada a ausência ou desgaste da linha de bordo em grande parte do perímetro, bem como a existência de painelas e sarjetas com acúmulo de sedimentos. Mesmo com a ampliação da escala, foi possível visualizar nitidamente a presença de trincas interligadas, conhecidas como "jacaré", em regiões específicas, conforme exemplificado na Figura 2.

Figura 2 – Identificação dos defeitos da via entre os marcos +110 a +150.



Fonte: Produção dos autores (2023).

A utilização de ARP revelou diversas deficiências na qualidade da infraestrutura em trechos curvos, conforme ilustrado na Figura 3, abrangendo os marcos +270 a +340. Nessa área específica, são evidentes a ausência de defesa metálica, em desacordo com as normas estabelecidas, além da falta da linha de bordo e a presença de várias painelas na via. Ao ampliar a escala da análise, também foi possível identificar com facilidade as trincas interligadas, conhecidas como "jacaré".

Ao observar tanto a Figura 2 quanto a Figura 3, é perceptível a presença de pintura e sinalização horizontal, o que permite uma identificação precisa das condições neste aspecto. Essa observação detalhada das figuras fornece uma base sólida para a análise e embasa a tomada de decisões em relação às necessidades de manutenção e aprimoramento da sinalização viária, possibilitando propostas de manutenção adequadas e efetivas.

Ainda analisando as Figuras 2 e 3 demonstram claramente a possibilidade de utilizar a ARP como uma contribuição valiosa para a análise da geometria da via, um aspecto fundamental na avaliação do layout das curvas horizontais, bem como na visibilidade da estrada. Essa análise engloba a determinação do raio de curvatura, a tangente que conecta trechos curvos e a existência ou não de superlargura em curvas, elementos cruciais para garantir a segurança e a fluidez do tráfego. A utilização da ARP como uma ferramenta complementar nesse processo pode proporcionar uma visão mais abrangente e precisa, possibilitando a tomada de decisões embasadas na realidade das características geométricas da via.

³ Vale ressaltar que, para identificar deficiências relacionadas à altura, é necessário complementar as informações com a nuvem de pontos. Esse recurso adicionado ao processo de análise contribuirá para uma avaliação mais abrangente e precisa da condição da via.

Figura 3 – Identificação dos defeitos da via entre os marcos +270 a +340.



Fonte: Produção dos autores (2023).

A nuvem de pontos gerada a partir do processamento das imagens obtidas da ARP, também foi identificada como uma ferramenta útil para a manutenção de rodovias. Ela permite a inspeção visual remota, facilitando a identificação de problemas no pavimento, como rachaduras e buracos. Ao visualizar a rodovia em 3D, como apresentado na Figura 4, é possível planejar ações de manutenção adequadas. A nuvem de pontos também ajuda a detectar deformações ao longo do tempo, como afundamentos e deslocamentos laterais, possibilitando uma manutenção proativa. Além disso, fornece informações sobre a drenagem da rodovia e o relevo ao redor, identificando áreas com acúmulo de água ou erosão.

Figura 4 – Vista da rodovia através de nuvem de pontos.



Fonte: Produção dos autores (2023).

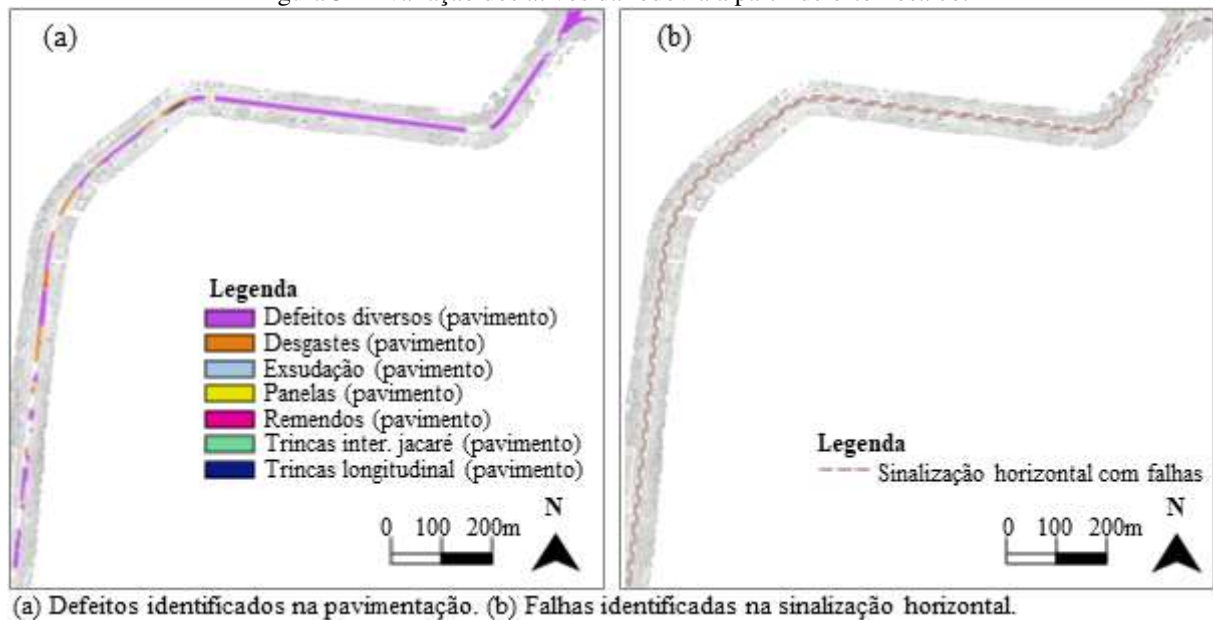
No caso de objetos simples, como mencionado por Barrazzetti *et al.* (2015), os *softwares* comerciais como o Revit ou Civil 3D são suficientes para uma reconstrução precisa. Isso se aplica tanto ao experimento quanto a situações de verificação de rodovias, onde há necessidade de detectar relevos e construções. A utilização da nuvem de pontos fornece medições verticais precisas das características da rodovia, sendo essencial para o planejamento de obras de ampliação, realinhamento ou recapeamento. Além disso, facilita a identificação de elementos invasivos, como árvores, complementando as

informações obtidas a partir do ortomosaico. Com uma representação 3D detalhada, é possível simular diferentes cenários e tomar decisões embasadas.

No decorrer do experimento, foi possível constatar que a maior parte da área examinada apresentava uma variedade de defeitos no pavimento, abrangendo desgastes, exsudação, panelas, remendos e trincas interligadas e longitudinais. Essa condição adversa, ilustrada de forma elucidativa na Figura 5a, evidenciou que em quase sua totalidade o trecho analisado apresenta defeitos na pavimentação que já comprometem a fluidez do tráfego, ou que enunciam defeitos maiores próximos em um tempo próximo. Ainda se observa que a maior parte conta com defeitos diversos, onde mais de um defeito no pavimento foi encontrado na mesma região, como desgaste, trincas, panelas e remendos combinados.

Além dos problemas no pavimento, a sinalização horizontal também foi claramente percebida como ausente ou bastante desgastada, demandando uma completa renovação. A Figura 5b retrata essa situação de forma representativa. É crucial destacar que a sinalização desempenha um papel fundamental na garantia da segurança viária, fornecendo informações e orientações aos condutores. Portanto, a necessidade de uma readequação completa desta sinalização é inegável.

Figura 5 - Avaliação dos ativos da rodovia a partir de ortomosaico.



Fonte: Produção dos autores (2023).

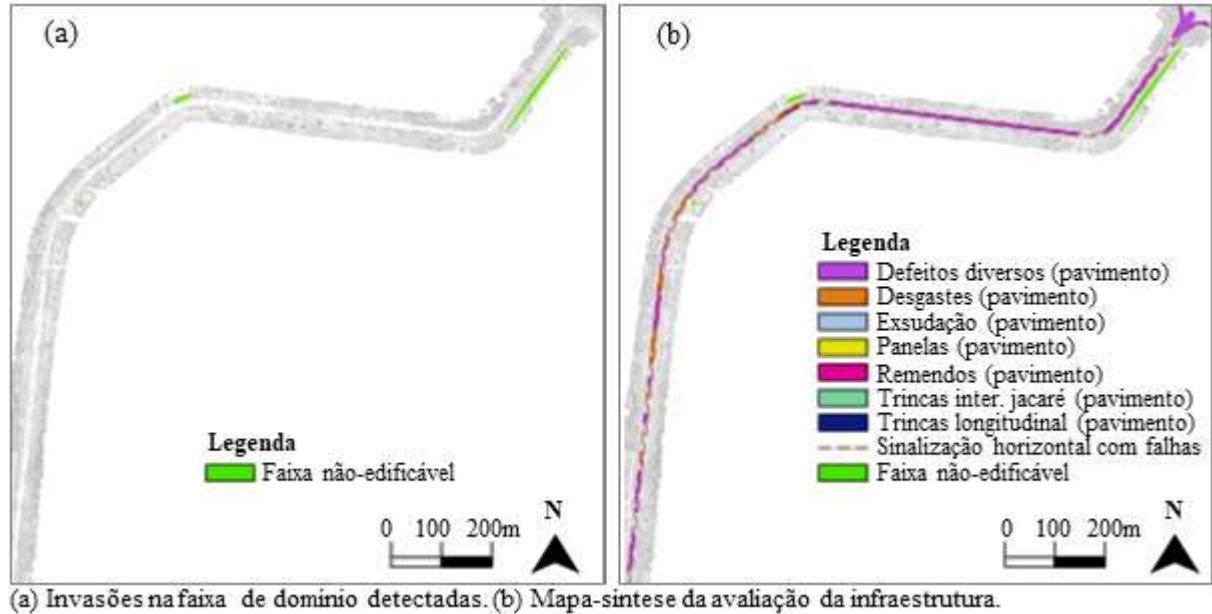
Utilizando o ortomosaico, foi possível identificar de forma precisa as invasões ao longo da faixa de domínio da rodovia, conforme ilustrado na Figura 6a, respeitando o limite de 15 metros paralelos à via. Essas invasões ocorrem dentro das faixas de domínio, também conhecidas como *áreas non aedificandi* ou faixas não edificáveis, que são espaços ao longo das margens das rodovias onde a construção de edificações é proibida.

Essas áreas não edificáveis têm como objetivo principal garantir a segurança e o adequado funcionamento das rodovias, evitando interferências na visibilidade, permitindo a realização de obras de infraestrutura e manutenção, e proporcionando uma margem de segurança em situações de emergência. A definição e delimitação das faixas não edificáveis são estabelecidas por meio de legislação e normas específicas, que determinam a largura e a localização dessas áreas, sendo geralmente estabelecido um limite de 15 metros. No entanto, é importante observar que esse valor pode ser reduzido para 5 metros caso haja legislação específica do órgão fiscalizador vinculado (BRASIL, 2019b).

A faixa de domínio desempenha um papel fundamental na preservação da segurança e do adequado funcionamento das rodovias, permitindo a realização de atividades necessárias para sua manutenção e operação sem riscos adicionais ou interferências. Com o auxílio da visualização em 3D a partir da nuvem de pontos, além de identificar as áreas invadidas, também é possível detectar o tipo e a função das construções, fornecendo informações complementares que podem contribuir para a

fiscalização local.

Figura 6 - Avaliação dos ativos da rodovia a partir de ortomosaico.



Fonte: Produção dos autores (2023).

A análise dos ativos da rodovia, realizada a partir do ortomosaico, revelou uma série de deficiências que comprometem a qualidade do pavimento, a sinalização horizontal e a faixa de domínio. O pavimento, em particular, apresentou uma variedade de problemas, tais como desgastes, exsudação, panelas, remendos e trincas interligadas e longitudinais. Esses problemas não apenas afetam a qualidade do pavimento, mas também prejudicam a usabilidade e a segurança da rodovia como um todo. A presença dessas deficiências foi ilustrada de forma abrangente na Figura 6b, que sintetiza os principais problemas identificados. Essa imagem revela a extensão dos danos ao pavimento e destaca a urgência de ações corretivas para garantir a infraestrutura adequada da rodovia.

Esta análise confirma a avaliação da CNT (2022b) de ruim ou péssimo e reforça a gravidade dessas deficiências e a necessidade de intervenções imediatas. É evidente que as condições atuais da rodovia não atendem aos padrões de qualidade e segurança esperados, impactando negativamente os usuários e prejudicando o fluxo eficiente do tráfego.

4.2 REFLEXÕES SOBRE A APLICAÇÃO DE ARPS NA GESTÃO DE RODOVIAS

Ao analisar as ferramentas disponíveis para auxiliar os gestores de infraestruturas rodoviárias na gestão de ativos, observa-se uma variedade de opções gratuitas e pagas que oferecem soluções diversas. Nesta pesquisa, foram analisadas algumas dessas ferramentas e suas interações com os produtos gerados por ARP. Inicialmente, é notável a comparação entre uma imagem gerada por ARP e uma imagem de satélite disponibilizada no ambiente de *software* da Autodesk, utilizando a função *geolocation*, conforme apresentado na Figura 7.

A comparação entre a qualidade visual de um ortomosaico de ARP e uma imagem de satélite é de extrema relevância na análise de dados geoespaciais. O ortomosaico é uma imagem resultante da composição de várias fotografias aéreas ou imagens capturadas por ARP, que são processadas e corrigidas geometricamente para proporcionar uma visão precisa e detalhada do terreno. Por outro lado, as imagens de satélite são capturadas por sensores remotos em órbita da Terra e geralmente têm uma resolução mais baixa em comparação com o ortomosaico gerado por ARP.

A qualidade visual do ortomosaico é notável devido à sua alta resolução e precisão geométrica. Ele apresenta detalhes nítidos e uma clareza superior, permitindo uma identificação mais precisa de características, objetos e fenômenos presentes na área de interesse. Além disso, a capacidade de obtenção de imagens aéreas em altitudes mais baixas com drones possibilita a captura de informações

em níveis de detalhes ainda mais elevados, revelando características que podem passar despercebidas em imagens de satélite.

A utilização da resolução da imagem obtida por ARP oferece uma vantagem significativa na identificação de elementos da infraestrutura rodoviária com excelentes níveis de detalhe que possibilita detectar possíveis manifestações patológicas e interferências que afetam a integridade da infraestrutura. Essa capacidade de visualização precisa e em alta resolução proporciona uma análise mais precisa e abrangente do trecho rodoviário em questão.

Figura 7 – Comparativo de qualidade visual do objeto de estudo: produto da ARP e a partir de satélite.

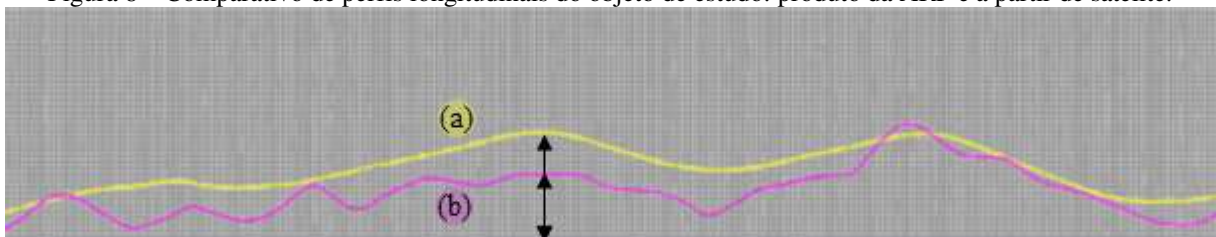


(a) Produto gerado por ARP. (b) Produto obtido por satélite através do *geolocation* do Civil3D.

Fonte: Produção dos autores (2023).

Além disso, no ambiente do *software* Infracad da Autodesk, é viável obter uma superfície topográfica obtida via satélite, permitindo comparar e contrastar com a topografia obtida através da ARP, conforme Figura 8. Essa comparação é particularmente relevante no caso prático do trecho da PB-400 utilizado como exemplo. Através dessa análise visual, é possível avaliar a consistência entre as informações fornecidas pela ARP e a superfície topográfica obtida por satélite, possibilitando uma análise mais completa e robusta da área em estudo.

Figura 8 – Comparativo de perfis longitudinais do objeto de estudo: produto da ARP e a partir de satélite.



(a) Perfil longitudinal gerado a partir do MDE gerado por ARP. (b) Perfil longitudinal gerado a partir de superfície obtida por satélite através do Infracad.

Fonte: Produção dos autores (2023).

Ao comparar o perfil longitudinal da rodovia gerado pela ARP com o obtido por imagens de satélite, fica claro que o primeiro oferece uma representação mais precisa e suave do perfil, refletindo com maior fidelidade a realidade. Nesse sentido, a análise da geometria da via pode se beneficiar dos produtos gerados pela ARP, abrangendo aspectos como curvatura vertical e alinhamento, perfil longitudinal, visibilidade, largura e seções transversais, e sinalização e marcação viária - que foram avaliados superficialmente neste estudo. Isso possibilita avanços na compreensão e otimização das características físicas e dimensionais de estradas e rodovias.

No experimento realizado, o produto gerado por meio da ARP foi avaliado em conformidade com as normas de avaliação e manutenção de pavimentos flexíveis e semirrígidos no Brasil,

especificamente as normas do DNIT (2003 a, b, e c), e numeradas como 005, 008 e 009. Essas normas são consideradas referências técnicas relevantes no contexto da avaliação e manutenção de pavimentos.

A norma DNIT 005 (DNIT, 2003a) aborda a terminologia dos defeitos presentes nos pavimentos flexíveis e semirrígidos, estabelecendo definições claras e padronizadas para diferentes tipos de defeitos, como trincas, buracos, depressões e desagregações. Essa padronização é crucial para uma comunicação precisa entre profissionais envolvidos na avaliação e manutenção das vias, garantindo uma compreensão comum dos problemas e facilitando a troca de informações técnicas. Durante a verificação desta norma, foram identificados vários defeitos, como trincas interligadas (tipo "jacaré"), exsudação, desgaste acentuado na superfície e panelas.

A norma DNIT 008 trata do levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos. Essa norma estabelece os procedimentos para a realização de inspeções visuais sistemáticas das condições do pavimento ao longo de um trecho rodoviário. O levantamento visual contínuo é uma ferramenta importante para monitorar a deterioração do pavimento, identificar defeitos e irregularidades, e auxiliar no planejamento de ações de manutenção e reabilitação. A norma define diretrizes quanto à frequência dos levantamentos, métodos de registro dos dados e critérios de classificação dos defeitos encontrados (DNIT, 2003b).

No entanto, a acuidade visual do produto gerado pela ARP não permitiu identificar se as trincas apresentavam erosão nas bordas para classificar adequadamente os tipos de fendas, como FC-1, 2 ou 3, de acordo com a norma DNIT 005 (2003a). Além disso, outros defeitos descritos na norma, como trincas isoladas transversais ou longitudinais, trincas interligadas com espessuras mínimas, afundamentos, ondulações, corrugações e escorregamentos, não puderam ser detectados sem uma visita presencial, pois a imagem não possibilitou uma leitura e interpretação adequadas. Isso impediu o cálculo para alcançar a classificação correta do Índice de Gravidade Global da via (IGG), que é descrito de forma objetiva na norma DNIT 008 (DNIT, 2003b).

A norma DNIT 009 (DNIT, 2003c) aborda a avaliação subjetiva da superfície dos pavimentos flexíveis e semirrígidos, estabelecendo os procedimentos que consideram aspectos como a presença de defeitos, a uniformidade da superfície e a capacidade de suporte do pavimento. Essa norma define critérios de avaliação e classificação da condição do pavimento com base em escalas e índices estabelecidos. Durante o experimento, observou-se que os produtos gerados por ARP contribuíram de forma mais efetiva em comparação à norma DNIT 008; isso ocorre porque na DNIT 009 os procedimentos dependem da percepção visual e da experiência do avaliador em relação à condição geral do pavimento.

Na área de aplicação de normas, seria benéfico que os órgãos brasileiros considerassem a incorporação de métodos que explorasse abordagens de avaliação mais ágeis, utilizando vantagens como o uso de ARPs. Por exemplo, para Machado (2013), o método de classificação e avaliação de pavimentos adotado pelos órgãos técnicos franceses é considerado vantajoso em comparação com os métodos utilizados nos Estados Unidos e no Brasil. Na França, são realizadas avaliações abrangentes que permitem identificar problemas estruturais nos pavimentos analisados, possibilitando uma tomada de decisões rápida e simples. Essas decisões são embasadas em medições de deflexões ou irregularidades no pavimento.

A análise de Machado (2013) destaca classificações e avaliações de pavimentos mais eficientes, capazes de identificar problemas estruturais de forma abrangente e facilitar uma tomada de decisão ágil, com base em medições precisas. Seria recomendável que os órgãos brasileiros adotassem abordagens mais atualizadas. No entanto, é importante levar em consideração outras informações relevantes, como a importância da rodovia, a disponibilidade financeira e casos especiais, especialmente no nível de projeto, que já são provavelmente abordados detalhadamente nas normas nacionais existentes.

Refletindo sobre a aplicação de ARP, convém discutir que o experimento tomado neste estudo utiliza um 'drone de entrada', com valor acessível, e não dispõe de recursos mais avançados de tecnologia, como é o caso do sensor *Light Detection and Ranging* (LiDAR). De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,

O LIDAR (...) é um sensor remoto ativo a bordo de plataformas (tripuladas ou não tripuladas) e um método direto de captura de dados, o mesmo possui sua própria fonte de energia, neste caso, uma fonte de luz, o laser. O LIDAR emite feixes de laser na banda do infravermelho próximo (IV) e é capaz de modelar a superfície do terreno

tridimensionalmente (INPE, 202-?).

A aplicação do sensor LiDAR na gestão de inventários é abordada por Moom e Lee (2022), destacando seu potencial para identificar a profundidade de manifestações patológicas asfálticas. Essa tecnologia, combinada com câmeras de alta resolução, pode permitir a reconstrução de elementos da infraestrutura rodoviária, incluindo a sinalização vertical georreferenciada. Embora ainda seja uma hipótese para pesquisas futuras, o uso do LiDAR mostra-se promissor nesse contexto.

Independente da qualidade da ARP utilizada, alguns autores internacionais têm incorporado a ARP como parte do processo de avaliação da rodovia, no sentido de automatizar e reduzir custos e tempo de algumas atividades, mas não do todo. Astor *et al.* (2023), incorporaram etapas de levantamento e conferência presenciais em alguns momentos para confirmar dados encontrados pelos produtos gerados na avaliação de pavimentação de estradas a partir de ARP.

Para os autores supracitados, apesar dos dados limitados, as ARPs são capazes de documentar com maior precisão os defeitos no pavimento em comparação com as pesquisas manuais, pois a documentação inclui imagens e/ou vídeos que permitem uma visualização detalhada dos defeitos, proporcionando maior confiança nos resultados da avaliação (ASTOR *et al.*, 2023). Essa documentação em formato de imagem e vídeo também é valiosa para o arquivamento e construção de um sistema de informação de condição das estradas. Além das ARPs, outras tecnologias, disponíveis em *smartphones* e *lasers* ópticos, podem ser utilizadas para a coleta de dados das condições do pavimento, mas pode ser relevante combinar várias tecnologias para superar obstáculos no campo.

Para Bencke, Perez e Armendaris (2017), as principais limitações no uso de ARPs incluem a duração da bateria, que pode ser otimizada por meio de algoritmos eficientes que dividem as responsabilidades; a baixa velocidade, que pode ser compensada por voos em altitudes mais elevadas em rodovias; e a capacidade de processamento e transmissão de sinal, que esperam-se ser superadas em um futuro próximo. Além disso, em determinadas áreas de implementação, questões legais e éticas relacionadas à privacidade podem representar desafios maiores do que questões técnicas.

Neste contexto, a modelagem da infraestrutura viária, seja para a criação de um gêmeo digital ou para a identificação de patologias e melhorias, pode ser realizada por meio de *softwares* utilizando vetores, blocos ou gêmeos digitais. Essas ferramentas auxiliam na otimização da gestão da infraestrutura rodoviária. Além disso, o levantamento com ARP de infraestruturas rodoviárias já existentes contribui para a precisão centimétrica desses modelos.

Ademais, compreende-se que, para uma gestão eficaz de ativos, é recomendado que as vistorias, utilizando a ARP e outras tecnologias, sejam realizadas com uma frequência pré-definida. Isso permitiria o monitoramento adequado dos ativos e a identificação de seu posicionamento ao longo do ciclo de vida estimado durante a implantação ou requalificação. Em outras palavras, seria possível garantir a manutenção e o planejamento adequados dos ativos rodoviários.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi bem-sucedida em explorar o potencial das aeronaves remotamente pilotadas na gestão e manutenção de ativos rodoviários, com foco na infraestrutura das rodovias e sua importância para o transporte seguro e eficiente. O estudo de caso abrangeu um trecho piloto de 2 km da rodovia estadual PB-400, comparando-o com a avaliação da CNT (2022b), considerando parâmetros como pavimento e sinalização.

Durante o estudo, foram desenvolvidos um referencial teórico abrangente e um método que incluiu pesquisa bibliográfica, uso de drones em campo e análise dos produtos gerados pelas ARPs. Os resultados ressaltaram as promissoras possibilidades das ARPs, como a automação da avaliação de pavimentos por meio de redes neurais e aprendizado de máquina, além do uso na coleta de dados para projetos de sinalização rodoviária.

Embora o experimento não tenha utilizado o LiDAR, é importante considerar seu potencial futuro, juntamente com outras inovações tecnológicas, para o monitoramento e a gestão eficaz de infraestruturas rodoviárias. Uma continuação promissora seria a criação de um fluxo de processos que combinem o uso das ARPs com outras técnicas, garantindo a conformidade com as normas do DNIT e a melhoria contínua da qualidade das vias e segurança dos usuários.

Portanto, explorar a rodovia como um gêmeo digital, com um modelo virtual atualizado em

tempo real e integração com sistemas de monitoramento, permitiria análises detalhadas, simulações e estudos para o planejamento e a gestão eficiente da infraestrutura rodoviária. Essa abordagem impulsionaria a segurança e a eficiência do transporte, melhorando a gestão dos ativos rodoviários.

Espera-se que esta pesquisa estimule avanços no conhecimento e o desenvolvimento de soluções inovadoras para aprimorar continuamente as rodovias, promovendo uma infraestrutura mais segura, eficiente e sustentável. Além disso, destaca-se a importância desse trabalho na formação profissional de engenheiros civis com soluções que explorem criatividade e tecnologia, especialmente na gestão de ativos da infraestrutura urbana.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA GOIANA DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES - GOINFRA. **Inventário dos bens de infraestrutura**. Goiânia: Goinfra, 2021. 28 p. Disponível em:

https://www.goinfra.go.gov.br/arquivos/arquivos/Acesso%20%C3%A0%20informa%C3%A7%C3%A3o/Bens_Im%C3%B3veis_Goinfra_2022.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 55000**: Gestão de ativos - Visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 23 p.

ASTOR, Yackob; NABESIMA, Yasuyuki; UTAMI, Retno; SIHOMBING, Atmy Verani Rouly; ADLI, Muhammad; FIRDAUS, Muhammad Rizki. Unmanned aerial vehicle implementation for pavement condition survey. **Transportation Engineering**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-11, jun. 2023. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666691X2300009X?dgcid=rss_sd_all. Acesso em: 23 maio 2023.

AUSTROADS. **Austrroads road deterioration model update**: cracking. Sidney: Austroads Ltd., 2023. 33 p. Disponível em: <https://austrroads.com.au/latest-news/road-deterioration-models-updated>. Acesso em: 15 abr. 2023.

AYARKWA, Joshua; OPOKU, De-Graft Joe; ANTWI-AFARI, Prince; LI, Rita Yi Man. Sustainable building processes' challenges and strategies: the relative important index approach. **Cleaner Engineering and Technology**, S.I., v. 7, n. 100455, p. 1-9, fev. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266679082200060X>. Acesso em: 19 jan. 2023.

BARAZZETTI, Luigi; BANFI, Fabrizio; BRUMANA, Raffaella; ORENI, Daniela; PREVITALI, Mattia; RONCORONI, Fabio. HBIM and augmented information: towards a wider user community of image and range-based reconstructions. *In*: INTERNATIONAL CIPA SYMPOSIUM, 25., 2015, Taipei. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Taipei: XI-5/W7, 2015. p. 35-42. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XL-5-W7/35/2015/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

BATTY, Michael. Digital twins. **Environment and planning B: Urban Analytics and City Science**, [S.L.], v. 45, n. 5, p. 817-820, set. 2018. SAGE Publications.

<http://dx.doi.org/10.1177/2399808318796416>. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/2399808318796416>. Acesso em: 03 maio 2023.

BENCKE, Luciana Regina; PEREZ, Anderson Luiz Fernandes; ARMENDARIS, Osvaldo da Costa. Rodovias inteligentes: uma visão geral sobre as tecnologias empregadas no Brasil e no mundo. **Isys: Revista Brasileira de Sistemas de Informação**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 80-102, jan. 2017. Disponível em: <http://seer.unirio.br/index.php/isys/article/view/6609>. Acesso em: 19 jan. 2023.

BEZERRA, Antônio Raylson Gomes; PEDROZA, Gustavo Borba. **Utilização de veículo aéreo não tripulado para identificação de patologia na GO-319**. 2019. 23 f. TCC (Graduação em Engenharia

Civil), Centro Universitário de Goiás Uni-Anhanguera, Goiânia, 2019. Disponível em: <http://repositorio.anhanguera.edu.br:8080/handle/123456789/325>. Acesso em: 19 jan. 2023.

BRASIL. Constituição (2021). **Lei nº 14.133**, de 01 de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, DF, 10 jun. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/114133.htm. Acesso em: 10 dez. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 9.983**, de 22 de agosto de 2019. Estratégia BIM BR. Brasília, DF, 22 ago. 2019a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm. Acesso em: 19 dez. 2022.

BRASIL. **Lei nº 13.913**, de 25 de novembro de 2019. Altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, para assegurar o direito de permanência de edificações na faixa não edificável contígua às faixas de domínio público de rodovias e para possibilitar a redução da extensão dessa faixa não edificável por lei municipal ou distrital. Brasília, 25 nov. 2019b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/113913.htm. Acesso em: 19 dez. 2022.

CARVALHO, Nicolas Henrique Santana de. **Monitoramento e levantamento dos defeitos existentes no pavimento da UFPE Campus CAA com uso de drone**. 2017. 57 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/41284>. Acesso em: 10 dez. 2022.

CAVALCANTE, Elder Coelho; LIMA, Karolayne Pereira de. Estudo comparativo entre diferentes métodos de levantamento e precisão de dados para projeto e construção de estradas. **Brazilian Journal of Development**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 55827-55837, 8 jun. 2021. [Http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n6-136](http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n6-136). Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/30919>. Acesso em: 19 jan. 2023.

COMISSÃO EUROPEIA - CE. **Commission Staff Working Document**: cenários for a transition pathway for a resilient, greener and more digital construction ecosystem. Bruxelas: CE, 2021. 50 p. Disponível em: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/47996>. Acesso em: 10 dez. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários**. Brasília: CNT, 2022a. 135 p. Disponível em: <https://cnt.org.br/pesquisas>. Acesso em: 19 jan. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2022**. Brasília: CNT, 2022b. 229 p. Disponível em: <https://cnt.org.br/pesquisas>. Acesso em: 19 jan. 2023.

COUTINHO, Rui. Gestão de ativos físicos aplicada às infraestruturas. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**: RPEE, Lisboa, v. 4, n. 3, p. 113-118, jul. 2017. Disponível em: http://rpee.lnec.pt/Ficheiros/rpee_serieIII_n04/rpee_sIII_n04_pg113_118.pdf. Acesso em: 14 nov. 2022.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO - DECEA. **Dúvidas frequentes**. S.i. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/drone/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 005**: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia. 2003a. 12 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit_005_2003_ter-1.pdf. Acesso em: 14 nov. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 008**: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos

Procedimento. 2003b. 12 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT_008_2003_PRO. Acesso em: 14 nov. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 009**: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. 2003c. 12 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT_009_2003_PRO. Acesso em: 14 nov. 2022.

DISCURSO de Carlo Ratti. **2021 Helsinki Energy Challenge**, 2022. (40 min.), Conference Video, son., color. Disponível em: <https://ilp.mit.edu/watch/2022-finland-carlo-ratti#p3clip:1.0.180.596850>. Acesso em: 19 dez. 2022.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores. Porto Alegre: Bookman, 2014. 503 p.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA-EPL. **Plano Nacional de Logística - PNL 2035**: relatório executivo. Brasília: EPL, 2021. Disponível em: https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/resumoExecutivo_PNL2035.pdf. Acesso em 14. nov. 2022.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION-FHA. **Collection of Data with Unmanned Aerial Systems (UAS) for Bridge Inspection and Construction Inspection**. Washington: FHA, 2021. 177 p. <https://doi.org/10.21949/1521674>. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/bridge/21086/21086.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

GUZEN, Érico Reis. **Modelo de avaliação funcional de rodovias por técnicos e sua aplicação a concessões federais**. 2005. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFRGS, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/4830>. Acesso em 14 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **LIDAR**: divisão de sensoriamento remoto. Divisão de Sensoriamento Remoto. 202-?. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/sensores-plataformas/lidar>. Acesso em: 03 maio 2023.

KARTADO. **Ebook**: aprenda em 6 passos a otimizar os registros de ativos da rodovia. Florianópolis: S.I., 2023. 34 p. Disponível em: <https://www.kartado.com.br/e-book-aprenda-em-6-passos-a-otimizar-os-registros-de-ativos-da-rodovia/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MACHADO, Denise Maria Camargo. **Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de gerência de pavimentos flexíveis**. 2013. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-07112013-092252/pt-br.php>. Acesso em: 03 maio 2023.

MEIRELES, Ana Paula Leitão. **Gestão de ativos técnicos - uma abordagem à ISO 55001 na perspectiva do ciclo de vida útil**: conceptualização do modelo. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Ambiental), Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2018. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/25345?locale=en>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MENEGON, Julia; ISATTO, Eduardo Luís. Digital twins as enablers of structure inspection and maintenance. **Gestão & Produção**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 1-13, jan. 2023. FapUNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/1806-9649-2022v30e4922>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/gp/a/yLD4BbMR3Y7QJB8Yg5n76SG/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

MONTE, Danillo Marcus F. Marinho do. **Inspecção de malha rodoviária federal com auxílio de veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 2019. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2019. Disponível em:
<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/12791>. Acesso em: 19 dez. 2022.

MOON, Byungkyu; LEE, Hosin (David). Drone-image based fast crack analysis algorithm using machine learning for highway pavements. **IOCI 2022**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 1-3, 11 maio 2022. MDPI. <http://dx.doi.org/10.3390/engproc2022017015>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4591/17/1/15>. Acesso em: 19 dez. 2022.

OLIVEIRA, Emanuel Jeronymo L.; JERONYMO, Caroline M. C. Proposta de fluxo de processos para desenvolvimento de projetos de sinalização rodoviária utilizando a metodologia BIM. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 36., 2022, Fortaleza. **Proceedings** [...]. Fortaleza: Galoá, 2022. p. 1-10. Disponível em: <https://proceedings.science/anpet-2022/trabalhos/proposta-de-fluxo-de-processos-para-desenvolvimento-de-projetos-de-sinalizacao-r?lang=pt-br>. Acesso em: 19 dez. 2022.

OPENSTREETMAP. **Recorte de 2km da Rodovia PB-400**. 2023. Disponível em:
<https://www.openstreetmap.org/#map=15/-6.9051/-38.5801&layers=YN>. Acesso em: 29 maio 2023.

OUTAY, Fatma; MENGASH, Hanan Abdullah; ADNAN, Muhammad. Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: recent advances and challenges. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S.L.], v. 141, n. 1, p. 116-129, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.018>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096585642030728X>. Acesso em: 10 dez. 2022.

PANEGOSSO, Ana Carolina Gandini; SILVA, Ethel Cristina Chiari da. Evolução das normas de gestão de ativos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10., 2020, [S.L.]. **Anais** [...]. [S.L.]: APREPRO, 2020. p. 1-12. Disponível em:
https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/10102020_221056_5f82650051ffb.pdf. Acesso em: 19 dez. 2022.

PRATES, Manuel. Reflexões sobre as questões relevantes para o ciclo de vida da estrada. In: CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS, 9., 2019, Lisboa. **Anais** [...]. Lisboa: CRP, 2019. p. 1-9. Disponível em: <https://crp.pt/index.php/eventos/9o-congresso-rodoviario-portugues-importancia-de-boas-praticas/>. Acesso em: 19 jan. 2023.

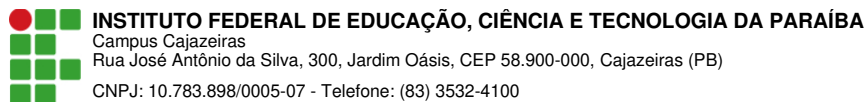
RADOPOULOU, Stefania C.; BRILAKIS, Ioannis. Improving road asset condition monitoring. **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 3004-3012, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.436>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516304434>. Acesso em: 10 dez. 2022.

RESENDE, Marcos Ribeiro; BERNUCCI, Liedi Légi Barianni; QUINTANILHA, José Alberto. Classificação híbrida: pixel a pixel e baseada em objetos para o monitoramento da condição da superfície dos pavimentos rodoviários. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 397-420, set. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/s1982-21702012000300004>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/bcg/a/TKYxNXxWC6YkJLcS9QSkXsg/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 19 dez. 2022.

VIEIRA, João; PATRÍCIO, Hugo; ALMEIDA, Nuno; MORGADO, João; MARTINS, João P. Digital Twins em redes ferroviárias e rodoviárias: uma revisão sistemática da literatura. In: CONGRESSO

PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING (PTBIM), 4., 2022, Braga. **Anais [...]**. S.L.: PTBIM, 2022. p. 580-595. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/140925/2/554384.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2023.

XIA, Haishan; LIU, Zishuo; EFREMOCHKINA, Maria; LIU, Xiaotong; LIN, Chunxiang. Study on city digital twin technologies for sustainable smart city design: a review and bibliometric analysis of geographic information system and building information modeling integration. **Sustainable Cities And Society**, [S.L.], v. 84, n. 1, p. 1-18, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2022.104009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670722003298>. Acesso em: 14 jan. 2023.



Documento Digitalizado Restrito

TCC com ficha catalográfica

Assunto: TCC com ficha catalográfica
Assinado por: Emanuel Jeronymo
Tipo do Documento: Dissertação
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Restrito
Hipótese Legal: Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Emanuel Jeronymo Lima Oliveira, ALUNO (201822200045) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 20/07/2023 16:49:54.

Este documento foi armazenado no SUAP em 20/07/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 883715

Código de Autenticação: 1a18099486

