

Mapeamento de manifestações patológicas em pavimento asfáltico por meio de uso de drones

R. T. Vasconcelos Fernandes¹, A. Fonseca Cabral¹, G. C. Batista Dantas^{1*}, V. N. Varela Tinoco¹, B. D. Azevedo da Silveira¹, A. M. Sousa Junior¹

* Autor de Contato: gerbeson_dantas@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.521>

Recepção: 30/10/2020 | Aceitação: 16/12/2020 | Publicação: 01/01/2020

RESUMO

Este trabalho objetiva estudar a viabilidade do emprego de Drones para mapeamento e inspeção de manifestações patológicas em pavimentos asfálticos comparando ao método tradicional. Foram estabelecidas parcelas amostrais a cada 20 m, com 6 m de extensão, totalizando 20 estações, as quais tiveram suas manifestações patológicas anotadas e calculado o Índice Global de Gravidade para a área de estudo. Os resultados obtidos pelas metodologias de referência e alternativa foram confrontados em função das patologias identificadas e do tempo gasto nos levantamentos. Os resultados demonstraram viabilidade para emprego de Drones para inspeção de patologias em pavimentos asfálticos, tomando como base a Norma DNIT 006/2003 – PRO, obtendo resultados similares à metodologia tradicional com redução significativa do tempo de operação (33,3%).

Palavras-chave: inspeção rodoviária; defeitos em pavimentos flexíveis; DNIT 006/2003; metodologia alternativa; drones.

Citar como: Vasconcelos Fernandes, R. T., Fonseca Cabral, A., Batista Dantas, G. C., Varela Tinoco, V. N., Azevedo da Silveira, B. D., Sousa Junior, A. M. (2021), "Mapeamento de manifestações patológicas em pavimento asfáltico por meio de uso de drones", Revista ALCONPAT, 11 (1), pp. 61 – 72, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.521>

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rua Francisco Mota Bairro, 572 - Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900, Brasil.

Contribuição de cada autor

Este trabalho constou das seguintes etapas: concepção da pesquisa, levantamento bibliográfico, coleta dos dados, análise dos resultados obtidos em campo, escrita do manuscrito, tradução, revisão do texto e avaliação da pesquisa.

O autor Rogerio Taygra Vasconcelos Fernandes participou do artigo nas etapas de concepção da pesquisa (50%), levantamento bibliográfico (50%), análise dos resultados obtidos em campo (50%), escrita do manuscrito (33,33%) e avaliação da pesquisa (25%). A autora Adriene Fonseca Cabral foi responsável pelas etapas de levantamento bibliográfico (25%), coleta dos dados (90%), análise dos resultados obtidos em campo (50%) e escrita do manuscrito (33,33%). O autor Gerbeson Carlos Batista Dantas participou da etapa de levantamento bibliográfico (25%), escrita do manuscrito (33,33%), tradução (20%) e revisão do texto (50%). O autor Vinícius Navarro Varela Tinoco participou da etapa de coleta dos dados (10%), tradução do trabalho (80%) e revisão do texto (25%). O autor Brenno Dayano Azevedo Da Silveira participou da etapa de concepção da pesquisa (25%) e avaliação da pesquisa (50%). O autor Almir Mariano Sousa Junior participou da etapa de concepção da pesquisa (25%), revisão do texto (25%) e avaliação da pesquisa (25%).

Licença Creative Commons

Este trabalho foi publicado sob os termos de uma Licença Internacional Creative Commons Attribution 4.0 International ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2021, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do segundo número do ano de 2021.

Mapping of pathological manifestations in asphalt pavement through the use of drones

ABSTRACT

This work objective is to study the feasibility of the Drones' use for mapping and inspecting pathological manifestations in asphalt pavements compared to the traditional method. Sampling plots were established every 20 m, with 6 m extension, making a total of 20 stations, which had their pathological manifestations recorded and calculated with the Global Severity Index for the study area. The results obtained by the reference and alternative methodologies were confronted according to the pathologies identified and the time spent in the surveys. The results showed feasibility in the use of drones for inspection of pathologies in asphalt pavements, based on DNIT 006/2003 - PRO, obtaining results similar to those of the traditional methodology with a significant reduction of the time of operation (33.3%).

Keywords: road inspection; defects in flexible pavements; DNIT 006/2003; alternative methodology; drones.

Mapeo de manifestaciones patológicas en pavimento asfáltico por medio del uso de drones

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad del empleo de Drones para mapear e inspeccionar manifestaciones patológicas en pavimentos asfálticos en comparación con el método tradicional. Se establecieron parcelas muestrales cada 20 m, con 6 m de extensión, totalizando 20 estaciones, las cuales tuvieron sus manifestaciones patológicas anotadas y calculado el Índice Global de Gravedad para el área de estudio. Los resultados obtenidos con las metodologías de referencia y alternativa se confrontaron en función de las patologías identificadas y el tiempo empleado en los levantamientos. Los resultados demostraron viabilidad para el empleo de Drones en la inspección de patologías de pavimentos asfálticos, tomando como base la Norma DNIT 006/2003 - PRO, obteniendo resultados similares a la metodología tradicional con reducción significativa del tiempo de operación (33,3%).

Palavras chave: inspección de carreteras; defectos en pavimentos flexibles; DNIT 006/2003; metodología alternativa; aviones no tripulados.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310. As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é um serviço fundamental para desenvolvimento econômico do Brasil, influenciando diretamente em aspectos da produção e consumo, uma vez que o país possui sua infraestrutura orientada para o modal rodoviário (Andrade; Maia; Lima Neto, 2015). Não obstante, este modal corresponde por 61% do transporte de cargas no Brasil e é o principal sistema de deslocamento de passageiros. Quanto aos aspectos social e econômico, este setor é responsável pela geração de mais de 1,5 milhão de empregos diretos e contribui nacionalmente com 12,7% do Produto Interno Bruto de serviços não financeiros (CNT, 2017).

Apesar da sua importância, historicamente pouca atenção tem sido dada a manutenção da infraestrutura das rodovias brasileiras, o que reflete na depreciação da malha rodoviária, quadro que se intensificou com crise econômica pela qual o país passa desde 2013 (CNT, 2017). Como resultado da falta de investimentos, estima-se que mais de 50% das rodovias apresentam algum tipo de patologia, e destas, 19% se encontram em um estado geral de conservação ruim ou péssimo. De acordo com o Fórum Econômico Mundial (FEM), o Brasil ocupa a 111^a posição dentre 138 países avaliados no quesito qualidade da infraestrutura rodoviária (CNT, 2017; FEM, 2016).

Dentre as principais razões pelo o estado deteriorado da malha viária brasileira, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2011) atribuí à ausência de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), que possibilitaria alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico com a crescente demanda brasileira. Sem isso, têm-se a adoção de projetos inadequados para as vias, elaborados sem levantamento detalhado do pavimento ou da situação em que o terreno se encontra (Viera, et al 2016). A base para um SGP eficiente é adoção de métodos adequados para avaliação de pavimentos, por meio da qual se pode verificar a necessidade de manutenção ou reconstrução da via, bem como para determinar se a mesma foi construída segundo as especificações do projeto (Haas; Hudson, 1978; Viera, et al 2016).

A avaliação superficial de pavimentos é usualmente realizada seguindo a norma DNIT 006/2003 - PRO, que utiliza o método do Índice de Gravidade Global (IGG). O referido método possibilita analisar objetivamente o nível de deterioração de um pavimento em função da incidência de defeitos de superfície, indicando suas condições de conservação e auxiliando na tomada de decisões quanto às intervenções necessárias. Ainda que o IGG seja considerado um método eficiente e esteja bastante difundido no meio técnico, o mesmo apresenta como desvantagem a necessidade de levantamentos por caminhamento, o que torna sua aplicação demorada e onerosa para aplicação em grandes áreas.

Uma alternativa para contornar esse problema é o uso dos chamados veículos aéreos não tripulados (VANTS), que podem voar automaticamente ou ser pilotado por meios eletrônicos e computacionais. Estes equipamentos foram idealizados para fins militares, utilizados inicialmente em missões muito perigosas para serem executadas por seres humanos (Resende, 2015). Entretanto, nos últimos anos vem ganhando destaque entre intervenções civis, configurando uma tecnologia emergente na engenharia civil com aplicações que vão desde a fiscalização de obras, até a inspeção de estruturas em ambientes de alto risco (Melo, 2016).

No que tange à aplicação dos VANTS na infraestrutura de transportes, seus sensores embarcados constituem uma nova e econômica fonte de informações e pode auxiliar, inclusive, os esforços de manutenção da estrada (Branco, 2016; Nishar et al., 2016). Apesar disso, pouco tem sido os estudos com esta tecnologia, sobretudo, como ferramenta para avaliação de danos em estradas.

Desta forma, considerando a necessidade de se otimizar o processo de avaliação de rodovias como suporte aos SGP e as potencialidades oferecidas pelos VANTS, torna-se imprescindível o desenvolvimento de metodologias que possibilitem seu emprego de forma eficiente e tecnicamente adequada (Breen et al., 2015; Nishar et al., 2016). Para tanto, este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade do emprego de Drones para mapeamento e inspeção de patologias em

pavimentos asfálticos, comparando e confrontando seus resultados ao método tradicional de análise.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Utilizou-se como unidade amostral da presente pesquisa um trecho de via asfaltada de pista simples com aproximadamente 0,5 km de extensão que dá acesso ao campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA, no município de Angicos, estado do Rio Grande do Norte - Brasil (Figura 1). O referido trecho, embora de pequena de extensão, mostrou-se ideal para a execução do estudo em razão do grande número de manifestações patológicas existentes no pavimento.



Figura 1. Área de estudo (Lat. 5°39'17.32"S; Lon. 36°36'37.48"O).

2.2 Levantamento das patologias pelo método tradicional (referencia)

Para levantar as patologias existentes na área de estudo, foram estabelecidas parcelas amostrais a cada 20 m (em mãos alternadas), com 6 m de extensão cada uma, conforme estabelecido pela Norma DNIT 006/2003 - PRO (Figura 2). Ao todo foram consideradas 20 estações, as quais tiveram seus defeitos anotados, levando em consideração a seção do terreno e os tipos de manifestação patológica, distinguindo entre trincas, afundamentos plásticos ou consolidados, ondulações, panelas, exsudação, desgastes, remendos e trilhas de rodas. Também foram feitos registros fotográficos de todos os tipos de defeitos encontrados no trecho em estudo.

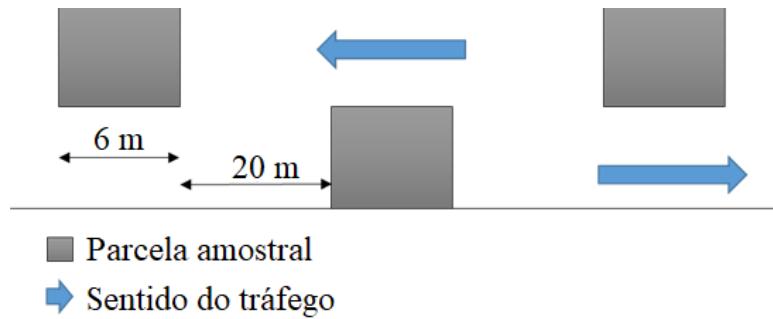


Figura 2. Esquema de distribuição das parcelas amostrais estabelecidas na área de estudo.

2.3 Levantamento das patologias com Drone (alternativa)

Para aquisição das imagens da área de estudo utilizou-se um Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT, do fabricante DJI modelo Phantom 4 PRO (Figura 3). O referido VANT é do tipo multirotor com peso aproximado de 1,5 kg e é equipado com uma câmera fotográfica de 20 megapixels (capaz de filmar em 4 k/60 fps), com alcance de transmissão de vídeo em 7 km. A escolha do equipamento baseou-se em sua facilidade de uso, estabilidade de voo, qualidade das imagens geradas e preço acessível.



Figura 3. VANT DJI modelo Phantom 4 PRO utilizado no estudo.

Para as etapas de planejamento do voo e posterior composição da ortoimagem, utilizou-se o aplicativo Drone Deploy. O mesmo permite a parametrização do plano de voo em função da resolução desejada para as imagens originais, taxa de sobreposição das imagens, linhas de voo e resolução resultante. Os parâmetros de voo utilizados no presente estudo podem ser visualizados na Tabela 1. A ortoimagem foi gerada automaticamente pelo aplicativo e exportada para posterior análise (Figura 4).

Tabela 1. Parâmetros de voo utilizados no levantamento

PARÂMETRO	VALOR
Altitude	70 m
Resolução	2,4 cm/pixel
Taxa de cobertura horizontal	65%
Taxa de cobertura vertical	75%
Velocidade de voo	15 m/s
Tempo de voo	6 minutos
Número de fotos	109

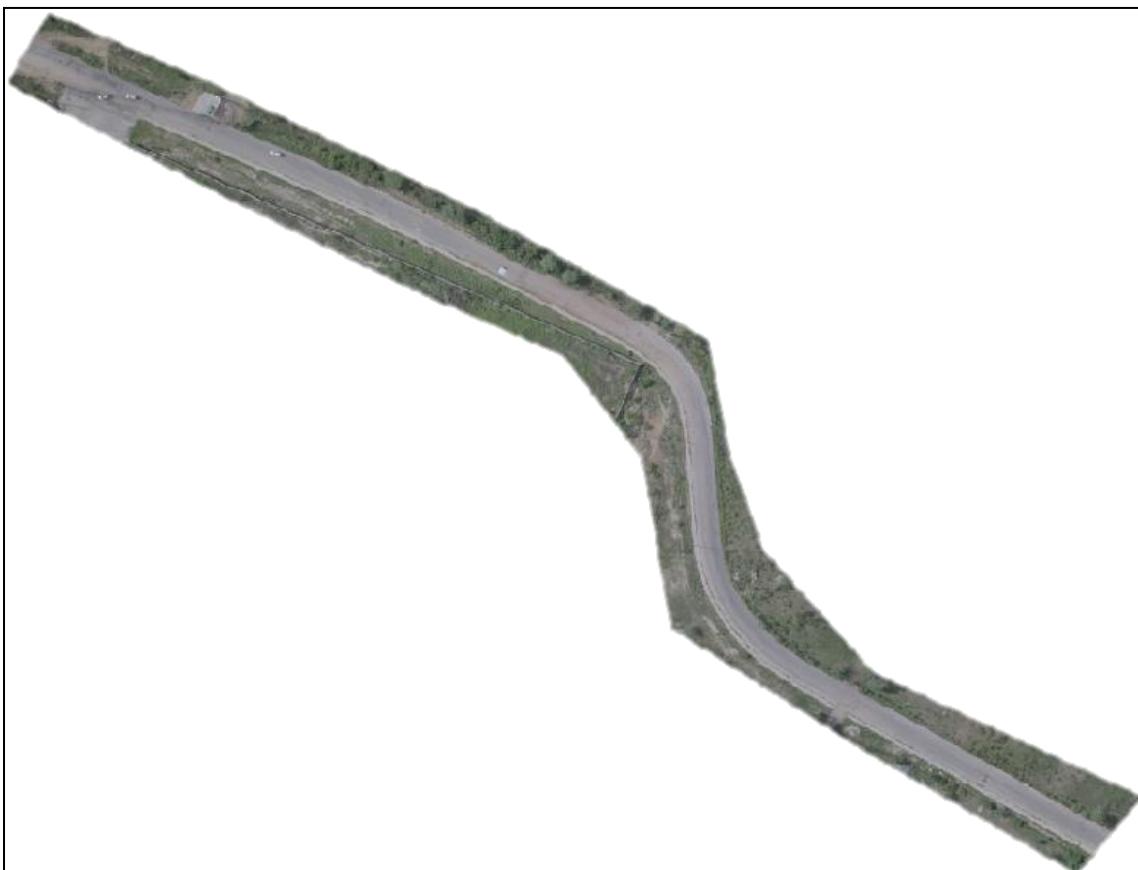


Figura 4. Ortoimagem da área de estudo gerada pelo aplicativo Drone Deploy.

2.4 Cálculo do Índice Global de Gravidade - IGG

Após mapeadas as patologias, calculou-se o Índice Global de Gravidade (IGG) para a área de estudo, seguindo as recomendações da Norma DNIT 006/2003 – PRO. Inicialmente, estimou-se a frequência absoluta (f_a) de ocorrência de cada tipo de manifestação patológica, correspondente ao número de vezes em que a ocorrência foi verificada. Em seguida, obteve-se a frequência relativa (fr) para cada patologia, através da Equação 1. Para cada tipo de patologia calculou-se o Índice de Gravidade Individual – IGI (Equação 2), que foram posteriormente somados resultando obtendo-se o IGG (Equação 3).

$$fr = \frac{(f_a \times 100)}{n} \quad (1)$$

Sendo,

f_a – frequência absoluta

n – número de inspeções realizadas (número de parcelas amostrais).

$$IGI = fr \times fp \quad (2)$$

Sendo,

f_r – frequência relativa

f_p – fator de ponderação (de acordo com a tabela do DNIT)

$$IGG = \sum IGI \quad (3)$$

Os resultados obtidos pelas metodologias de referência e alternativa foram confrontados em função do número e tipo das patologias identificadas, bem como em função do tempo gasto para realização dos levantamentos. Por fim, os IGG obtidos foram comparados com a Norma DNIT 006/2003 – PRO, de forma a determinar o conceito de degradação do trecho analisado (Tabela 2).

Tabela 2. Conceito de degradação do pavimento em função do IGG.

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: NORMA DNIT 006/2003 – PRO

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise comparativa: Inspeção por Drone x Inspeção tradicional

O trecho analisado apresentou uma grande quantidade de patologias em ambos os métodos empregados. A quantificação total de patologias, somando as 20 parcelas avaliadas, demonstrou valores muito próximos para os dois métodos, sendo de 54 para a inspeção tradicional e 53 para a inspeção com o Drone, o que demonstra a viabilidade do emprego do Drone para quantificação de patologias em pavimentos (Figura 5).

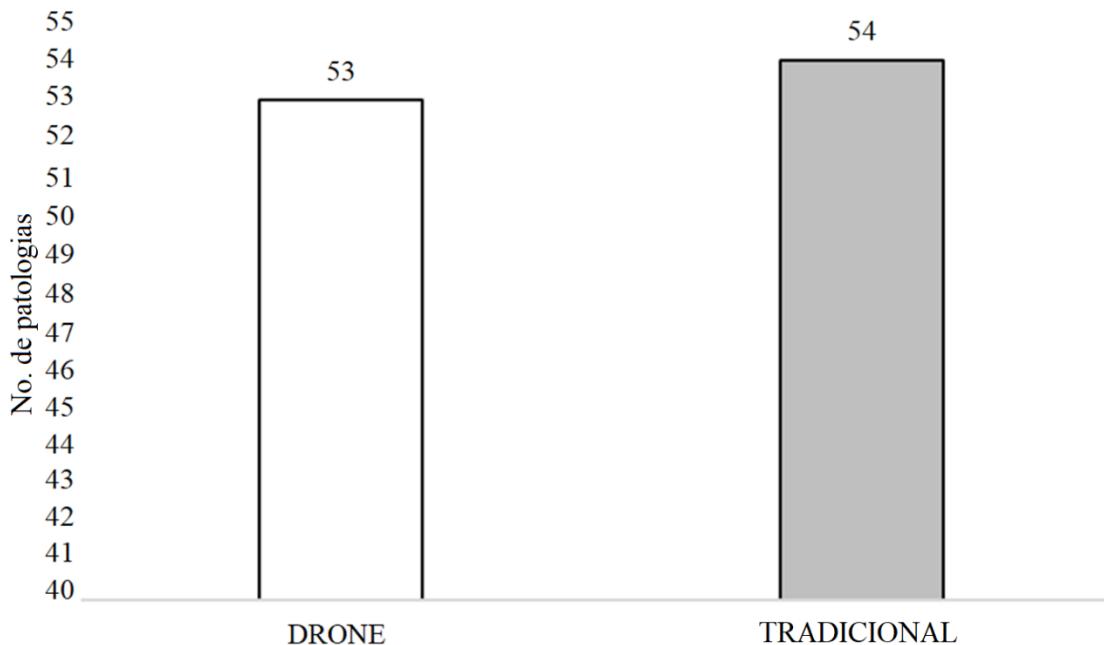


Figura 5. Total de patologias identificadas em função do método de inspeção.

Quanto ao aspecto qualitativo, a inspeção realizada com o Drone possibilitou a identificação de 04 tipos de patologias, sendo estas: panelas (P) - concavidade ou buraco que se forma no revestimento e pode atingir a base; fissuras (F) - caracterizadas como aberturas na superfície asfáltica perceptíveis a olho nu; remendos (R) - defeito caracterizado pelo preenchimento de panelas ou de qualquer outro orifício, buraco ou depressão com massa asfáltica; e escorregamento (E) - deslocamento em relação a camada do pavimento. Em relação aos tipos de patologias, não houve diferença entre o método de inspeção tradicional e o método de inspeção com Drone. Já em relação a quantidade de defeitos por tipo de patologias, houve pequenas diferenças entre os métodos empregados, conforme demonstrado na figura 6.

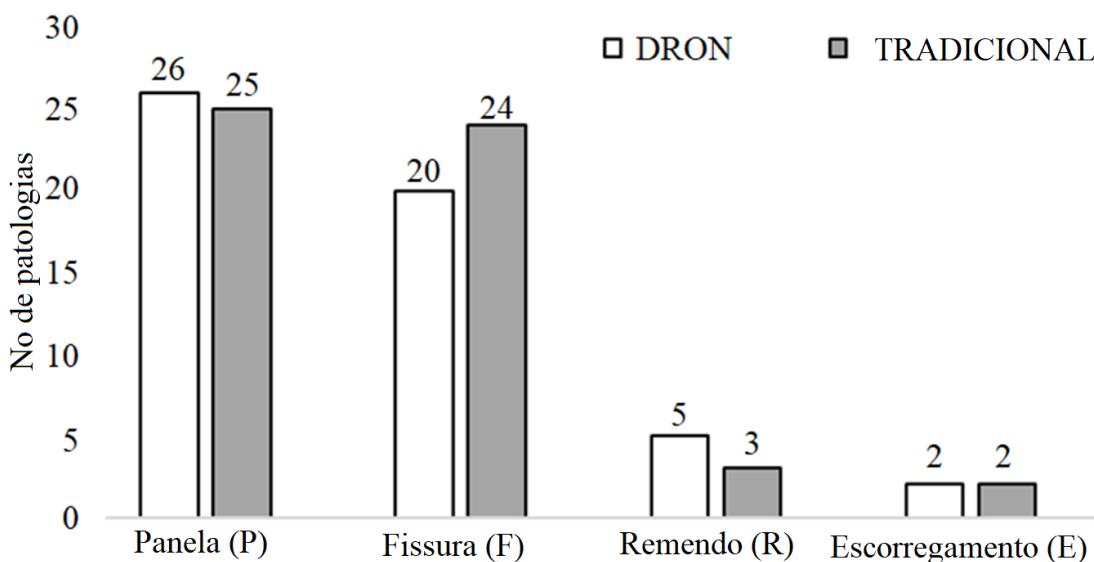


Figura 6. Total de patologias identificadas em função do tipo e do método de inspeção.

Deve-se destacar que a causa mais provável para estas diferenças se dê pelo fato de que alguns tipos de patologias podem ser de difícil identificação pelo uso de imagens obtidas por VANT

devido à qualidade das mesmas, enquanto a inspeção tradicional pode sanar quaisquer dúvidas quanto à ocorrência de uma patologia por tratar-se de uma análise *in loco*. A título de exemplo, pode-se comparar as panelas e as fissuras. No primeiro caso, tem-se maior facilidade na identificação pela própria natureza da patologia, que em geral destaca-se do restante do pavimento. No segundo, têm-se muito mais dificuldade de identificação, precisando por vezes da confirmação através vistoria *in loco*. Na Figura 7 é possível comparar as imagens obtidas com o Drone e por meio do método tradicional, para cada um dos tipos de patologias identificados.

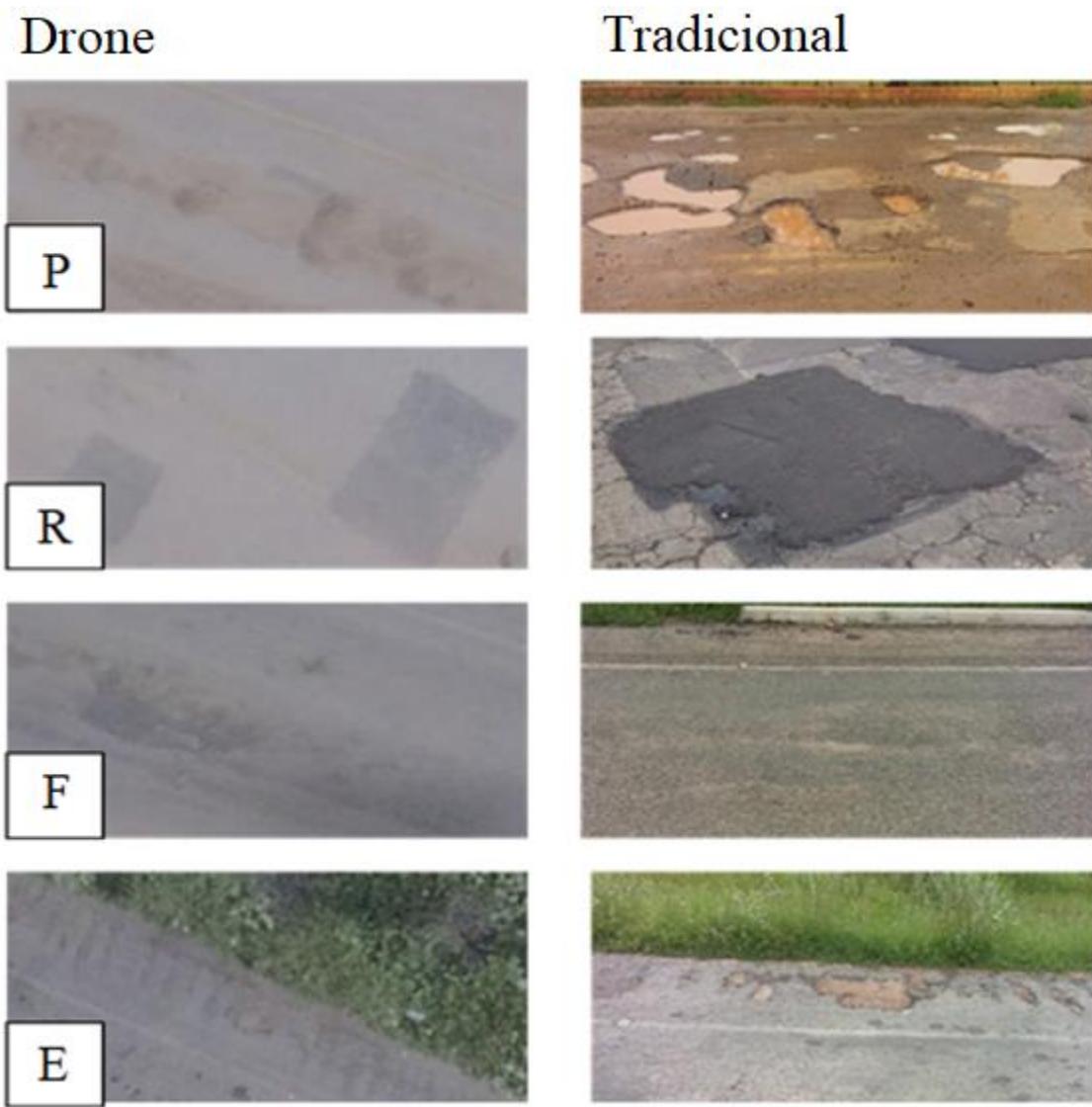


Figura 7. Total de patologias identificadas em função do tipo e do método de inspeção.

No que diz respeito ao tempo gasto para inspeção, constatou-se que a análise realizada com o Drone (6 minutos de voo e 12 minutos para avaliação das imagens) levou menos de 1/3 do tempo gasto para realização da inspeção tradicional (Figura 8). Considerando que no presente estudo avaliou-se um pequeno trecho de 0,5 km, é de se supor que em trechos mais extensos de grandes rodovias esta diferença seja ainda maior, tornando o emprego do Drone cada vez mais atrativo.

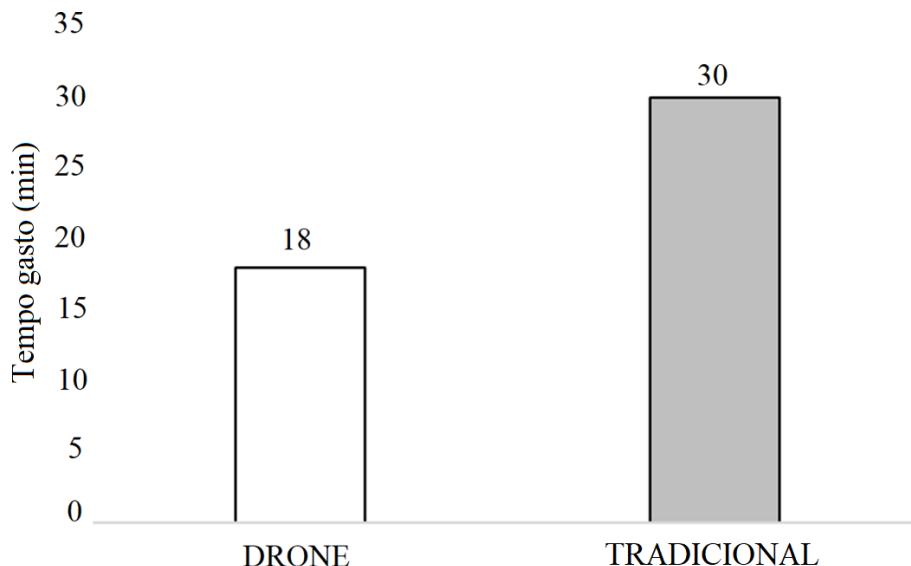


Figura 8. Tempo gasto para realização da inspeção em função da metodologia empregada.

3.2 Análise comparativa: Drone x Inspeção tradicional

O valor obtido para o Índice Global de Gravidade – IGG, foi de 302 para a inspeção realizada com o Drone e 320 para o método tradicional (Figura 9), e em ambos os casos, de acordo com a Norma DNIT 006/2003 – PRO, o trecho avaliado foi considerado péssimo ($IGG > 160$). Um dos pontos que influencia bastante para este resultado, é a presença de uma grande quantidade de Panelas (P), que foi encontrada em todas as parcelas estudadas, sendo esta a patologia que mais impacta o tráfego e contribui para a aceleração para degradação do pavimento. Ainda que se tenha obtido valores distintos, observa-se que a diferença existente não é significativa, demonstrando que a inspeção com o auxílio de Drones é viável tecnicamente.

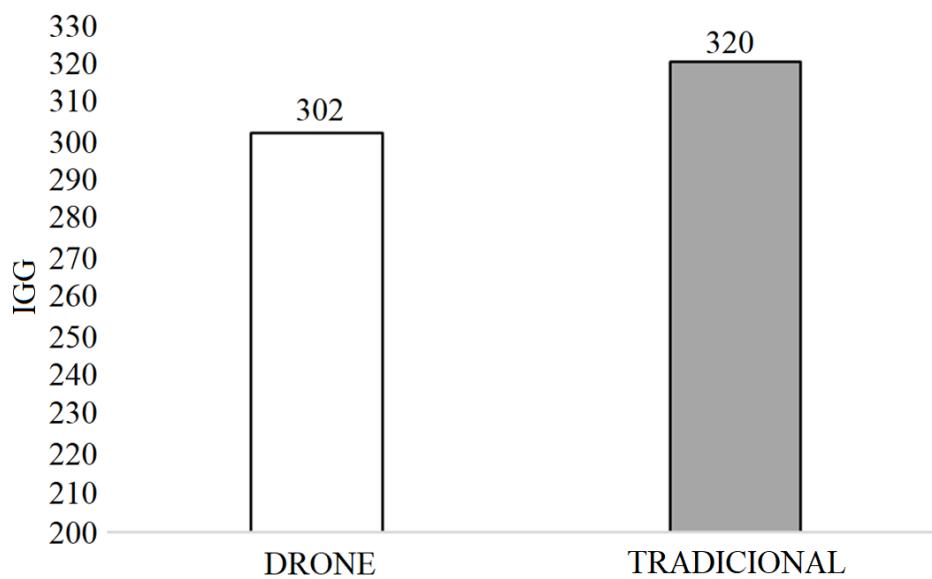


Figura 9. Índice Global de Gravidade - IGG em função da metodologia empregada.

3.3 Análise Geral da Metodologia proposta

A metodologia de uso de VANT para inspeção de pavimento já pode ser observada em trabalhos como o de Parente, Felix e Picanço (2017), onde, assim como no presente trabalho, esta ferramenta foi utilizada em comparação com a metodologia padrão vigente. A adição de uma avaliação comparativa entre o método proposto e o tradicional é essencial para a quantificação estatística da eficácia de qualquer metodologia alternativa proposta. Portanto, outro resultado apontado por este trabalho é uma metodologia de comparação para o uso de VANT em inspeções de estruturas de qualquer tipo, quando comparadas aos métodos tradicionais.

4. CONCLUSÃO

O uso de Drones tem se tornado cada vez mais comum em diversas áreas da engenharia, estimulado principalmente pela popularização desta tecnologia e as diversas possibilidades oferecidas. Entretanto, seu emprego deve ser previamente avaliado e metodologias tradicionais devem ser adequadas para que os resultados fornecidos por estes equipamentos sejam confiáveis. O presente estudo demonstrou ser viável o emprego de Drones para inspeção de patologias em pavimentos asfálticos, tomando como base a Norma DNIT 006/2003 – PRO, obtendo aproximadamente 94,4% de acerto, levando em consideração os resultados com a metodologia tradicional, com redução significativa no tempo de operação com menos de 1/3 do tempo gasto. Ressalta-se ainda que o presente fornece subsídios para o aprimoramento do processo de avaliação de rodovias, possibilitando alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico. O método proposto pode ainda ser refinado pelo uso de Drones com sensores multiespectrais, gerando outros resultados que, por meio de imagens infra-vermelho ou tridimensionais, podem agregar valor e informações diversas ao serviço relacionado à inspeções de pavimentos, aumentando também a eficácia da metodologia alternativa.

5. REFERÊNCIAS

- Andrade, M. O., Maia, M. L. A., Lima Neto, O. C. C. (2015), “*Impactos de investimentos em infraestruturas rodoviárias sobre o desenvolvimento regional no Brasil - possibilidades e limitações*”. Transportes v. 23, n. 3. <https://doi.org/10.14295/transportes.v23i3.797>
- Branco, L. H. C. (2016), “*MANIAC: uma metodologia para o monitoramento automatizado das condições dos pavimentos utilizando VANTS*”. 2016. Tese (Doutorado em Infra-Estrutura de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Breen, B., Brooks, J. D., Jones, M. L. R., Robertsons, J., Betschart, S., Kung, O., Cary, S. C., Lee, C. K., Pointing, S. B. (2015), “*Aplication of an unmanned aerial vehicle in spatial mapping of terrestrial biology and human disturbance in the McMurdo Dry Valleys, East Antarctica*”, Polar Biology, v.38, n.4, p.573–578. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1586-7>
- Confederação Nacional dos Transportes (2017). *Pesquisa de Rodovias: Principais Dados*”. CNT. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/resumo-para-imprensa>
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (2003). DNIT 006/2003 - PRO: “*Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento*”. Rio de Janeiro: 2003. 10p. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit006_2003_pro.pdf. Acesso em: 09 abr. 2018.
- Melo, R.R.S. 2016. “*Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obra por meio de imageamento com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)*”. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

geothermal environments and by an unmanned aerial vehicle (UAV): A case study of the Wairakei - Tauhara geothermal field, Taupo, New Zealand”, Renewable Energy, 86, 1256 - 1264. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.042>

Parente, D. C., Felix, N. C., Picanço, A. P. (2017). *Uso de vehículo aéreo no tripulado (VANT) en la identificación de patología superficial en pavimento asfáltico.* Revista ALCONPAT, 7(2), 160 - 171. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i2.161>

Vieira, S., Pinho Júnior, A., Oliveira, F., Aguiar, M. (2016). *Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos através do IGG e PCI.* Conexões - Ciência e Tecnologia, 10(3), 20-30. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v10i3.799>