











MENSURAÇÃO DO RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES EM RODOVIAS UTILIZANDO AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

Marcelo Nunes Vilas Boas¹, Juliana Fonseca Cardoso¹, Lúcio Valério de Oliveira Neto¹, Pedro Alves Marques¹, Anthoinny Vitória dos Santos Silva¹, Bárbara Ferreira Santos Vieira¹, Ramon Martins de Castro Melo¹, Eric Bastos Görgens¹

1 Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, Brasil. E-mail: boas.marcelo@ufvjm.edu.br; juliana.cardoso@ufvjm.edu.br; valerio.lucio@ufvjm.edu.br; alves.marques@ufvjm.edu.br; anthoinny.silva@ufvjm.edu.br; barbara.vieira@ufvjm.edu.br; ramon.martins@ufvjm.edu.br; eric.gorgens@ufvjm.edu.br
Autor correspondente: Marcelo Nunes Vilas Boas. E-mail: boas.marcelo@ufvjm.edu.br.

RESUMO

O estudo teve como objetivo identificar o risco de queda de árvores por meio de técnicas de sensoriamento remoto em rodovias. Utilizando imagens coletadas por uma aeronave remotamente pilotada, foi realizado o processamento das imagens e a geração de modelos digitais de elevação e terreno. Através da comparação com dados observados em campo, foi construída uma matriz de confusão para avaliar a precisão do método. Os resultados mostraram que o método de sensoriamento remoto teve uma acurácia de 77%, precisão de 80%, recall de 67% e especificidade de 86% na identificação das áreas de risco. Aproximadamente 30,8% do trajeto apresentou risco de queda de árvores. A aplicação de medidas de segurança na faixa de domínio rodoviário, incluindo a remoção de árvores em risco, é essencial para reduzir acidentes e danos causados por quedas de árvores. O uso de veículos aéreos não tripulados mostrou-se uma alternativa eficiente para identificar áreas com potencial risco, subsidiando ações para promover a gestão da arborização em área de rodovia.

Palavras-chave: Queda de árvores; rodovia; sensoriamento remoto; Vant

MEASURING THE RISK OF FALLING TREES ON HIGHWAYS USING REMOTELY PILOTED AIRCRAFT

ABSTRACT

The study aimed to identify the risk of tree fall through remote sensing techniques on highways. Using images collected by a remotely piloted aircraft, image processing and the generation of digital elevation and terrain models were performed. Through comparison with data observed in the field, a confusion matrix was constructed to assess the accuracy of the method. The results showed that the remote sensing method had an accuracy of 77%, precision of 80%, recall of 67% and specificity of 86% in identifying risk areas. Approximately 30.8% of the path was at risk of falling trees. The application of safety measures on the right of way, including the removal of endangered trees, is essential to reduce accidents and damage caused by falling trees. The use of unmanned aerial vehicles proved to be an efficient alternative to identify areas with potential risk, supporting actions to promote the management of afforestation in highway areas.

Key words: *Falling trees; highway; remote sensing; Vant*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

A faixa de domínio rodoviário engloba elementos como pistas de rolamento, canteiros e obras, juntamente com elementos de segurança, como acostamentos, sinalização e faixa lateral de segurança (DNIT, 2021). É frequente a ocorrência de vegetação de diferentes tamanhos na faixa lateral de segurança. Arbustos de caule delgado são aceitáveis e podem até oferecer proteção adicional à via (Branco, 1999). No entanto, árvores de grande porte podem se tornar obstáculos perigosos e, em alguns países, são a principal causa de morte em acidentes com objetos fixos.

Embora as árvores nas faixas de domínio rodoviário tenham benefícios ambientais e paisagísticos, elas representam um perigo em acidentes de saída de pista (Damião *et al.*, 2012) e quedas de árvores na via. Esses tipos de ocorrências são comuns nas rodovias ao redor do mundo (Mohan *et al.*, 2006) e exigem ações de segurança para reduzir os riscos aos usuários. Assim, é essencial aplicar ferramentas de mensuração florestal que possam identificar árvores com potencial risco para os usuários da estrada, a fim de implementar políticas públicas que minimizem esses riscos.

Apesar da existência de várias ferramentas de mensuração florestal que podem ser aplicadas para identificar árvores com potencial risco para o trânsito, a extensão da malha rodoviária brasileira, com mais de 75 mil km (Brasil, 2019), limita a eficiência de muitas dessas técnicas devido à lentidão dos processos envolvidos. O presente estudo, tem como objetivo a aplicação de métodos indiretos de mensuração, como veículos aéreos não tripulados (VANTs) integrados ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), como uma alternativa versátil e rápida para monitorar as árvores nas faixas de domínio.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, situada na bacia do rio Jequitinhonha, localiza-se, em trecho rodoviário da BR-367 (18,2178° S; 43, 5903° O), no município de Diamantina - MG, abrangendo 6,51 km, que liga a cidade de Diamantina à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (Figura 1). A área foi sobrevoada em julho de 2022 com uma RPA DJI, modelo MAVIC 2 PRO com quatro motores, uma unidade de medição inercial (IMU) e um sistema de navegação global por satélite (GNSS). Foram capturadas imagens RGB, com uma câmera embarcada de modelo L1D-20c e lente de 10,26 mm. A missão de voo foi programada com sobreposição frontal de 75% em voo linear e altura de 120 m, assegurando cobertura pelo menos 40m de ambas laterais da faixa de rodagem. O processamento das imagens foi feito no software *Agisoft MetashapePro versão 1.0.0.1*, gerando o modelo digital de elevação (MDE), modelo digital de terreno (MDT) e ortomosaico.

Utilizando o software *QGIS versão 3.22.6*, através do ortomosaico, pista de rolamento, foi vetorizada, totalizando computados 54,8 há de pista. Os MDE e MDT, foram subtraídos extraindo o Modelo Digital de Altura (MDA). Os pixels referentes a indivíduos arbóreos, que apresentassem

altura total (H) no MDA, maior que a distância deste a rodovia, foram vetorizados. Através destes, avaliou-se a área de pista de rolamento sob risco de queda de árvores.

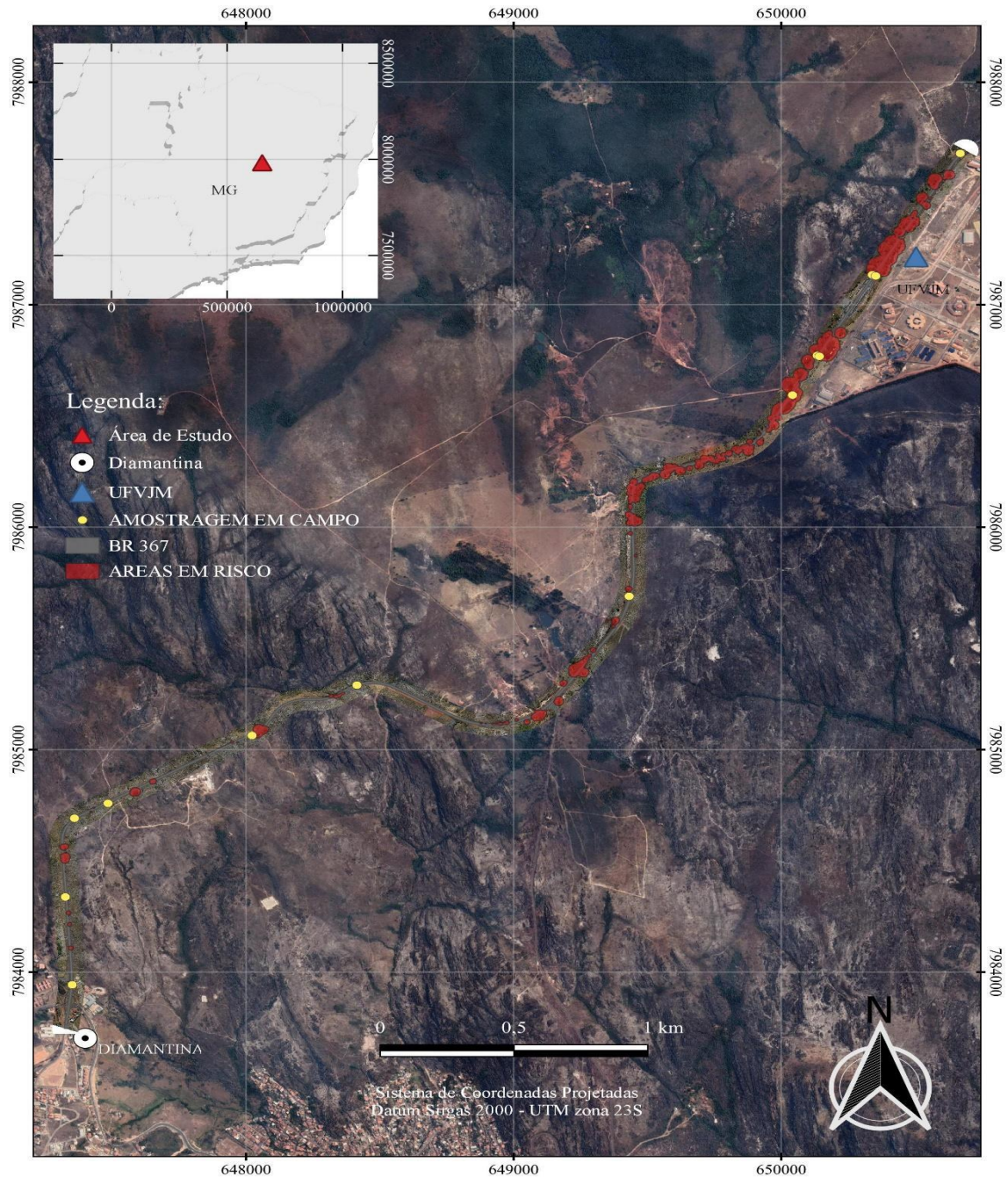


Figura 1. Área de Estudo

Buscando avaliar a qualidade da modelagem do risco, foram avaliados aleatoriamente, 13 pontos distribuídos ao longo dos 6,51km da pista de rolamento, com o auxílio de um hipsômetro de *Haglof* e definida a existência ou ausência de risco nestes pontos. Por meio do comparativo dos dados observados em campo, com os dados avaliados por sensoriamento remoto (SR), foi produzida uma matriz de confusão.

Nos pontos onde foram observadas presença de risco em campo e presença de risco avaliado por SR, estes pontos foram chamados de verdadeiros positivos (TP). Nos pontos onde foram

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

observadas presença de risco em campo e ausência de risco avaliado por SR, estes pontos foram chamados de falsos negativos (FN). De maneira análoga, nos pontos onde foram observadas ausência de risco em campo, e presença de risco avaliado por SR, estes pontos foram chamados de falsos positivos (FP). E por fim, nos pontos onde foram observadas ausência de risco em campo, e ausência de risco avaliado por SR, estes pontos foram chamados de verdadeiros negativos (TN). Assim, através da matriz de confusão, foram estimados a acurácia $((TP + TN) / (TP + TN + FP + FN))$, precisão $(TP / (TP + FP))$, recall $(TP / (TP + FN))$ e especificidade $(TN / (TN + FP))$, do método de avaliação do risco por métodos de SR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resolução final do ortomosaico foi de 25 cm, e de 1 m no modelo digital de elevação e no modelo digital de terreno. Os erros de geolocalização X (Leste/Oeste), Y (Norte/Sul) e Z (Altitude) foram estimados em 1,23; 0,95; e 0,44 metros respectivamente.

Avaliando as estatísticas descritivas da Matriz de Confusão (Tabelas 1 e 2), é possível observar que o método de sensoriamento remoto, teve boa aptidão em avaliar indivíduos com risco de queda na rodovia, de forma que a acurácia do método foi de 77%, precisão de 80%, capacidade de identificar verdadeiras ocorrências de 67% e falsas ocorrências em 86%.

Tabela 1. Matriz de Confusão (TP = Verdadeiro Positivo; TN = Verdadeiro Negativo; FP = Falso Positivo; FN = Falso Negativo.)

Avaliado por SR	Observado em campo	
	Presença	Ausência
Presença	4 TP	1 FP
Ausência	2 FN	6 TN

Tabela 2. Estatísticas descritivas

Acurácia	Precisão	Recall	Especificidade
0,77	0,8	0,67	0,86

As áreas sob risco estão distribuídas ao longo dos 6,51 km estudados, se concentrando na porção nordeste da área de estudo. Além disso, verificou-se que dos 54,8 ha de pista, 16,88 ha estão sob risco, resultando em 30,8% do trajeto. Embora seja impossível eliminar completamente os acidentes, é importante adotar medidas de segurança na faixa de domínio rodoviário, assim, a retirada dos indivíduos arbóreos que apresentem risco de queda na pista de rodagem, é essencial para reduzir sua ocorrência e os danos causados por eles.

CONCLUSÃO

A mensuração das árvores através de imagens coletadas por RPA, somado a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, se mostrou apto a determinação áreas rodoviárias sob risco de queda de árvores. Assim, o método se apresenta como uma célere alternativa a identificação árvores com potencial risco para os usuários de serviços rodoviários, a fim de implementar políticas públicas que minimizem riscos associados a estas.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Ministério da Infraestrutura. **Rodovias federais**. 29 de Abril de 2019. Disponível em: <https://antigo.infraestrutura.gov.br/rodovias-brasileiras.html>. Acesso em: 13 Jul. 2023.

Branco, A. M. **Segurança rodoviária**. São Paulo: Editora CL-A 1999. 109p.
Damião, M. C.; Balsan, L. A. G.; Lopes, L. F. D.; Moura, G. L. A gravidade dos acidentes com colisões em árvores: um estudo de caso. **Pensamento & Realidade**, v. 27, n. 4, p.23-37. 2012. <https://revistas.pucsp.br/pensamentorealidade/article/view/14723>

Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - DNIT. Resolução nº 7, de 02 de março de 2021. Dispõe sobre o uso das faixas de domínio de rodovias federais sob circunscrição do Departamento Nacional de Infraestrutura. **Diário Oficial da União**, v. 159, n. 42, seção 1, p.74-82, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-7-de-2-de-marco-de-2021-306518725>. Acesso em: 05 Julho 2023.

Mohan, D.; Tiwari, G.; Khayesi, M.; Nafuko, F. M. **Road traffic injury prevention: training manual**. Geneva: World Health Organization, 2006. 113p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43271>. Acesso em: 15 Jul. 2023.