



Utilização de drones estudos florestais: uma revisão sistemática

Use of Drones in Forestry Studies: A Systematic Review

BARROS, Quétilla Souza⁽¹⁾; BRITO, Livia Rocha de ⁽²⁾; CARVALHO, Henrique Pereira de⁽³⁾; PINHEIRO, Romário de Mesquita⁽⁴⁾; FERREIRA, Evandro José Linhares⁽⁵⁾; SILVA, Vitória Emily Penedo da⁽⁶⁾

(1) 0000-0001-7486-3384; Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Núcleo de Pesquisa no Acre, Estrada Dias Martins, 3868, Rio Branco-AC, Brasil, quetilabarros@gmail.com.

(2) 0009-0007-1577-4569; Universidade Federal do Acre, Campus Rio Branco, BR-364, km 4, Rio Branco-AC, Brasil. livia.brito@sou.ufac.br

(3) 0009-0001-0241-6814; Universidade Federal do Acre, Campus Rio Branco, BR-364, km 4, Rio Branco-AC, Brasil, henrique.carvalho@sou.ufac.br.

(4) 0000-0003-0484-8351; Romário de Mesquita Pinheiro; Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Núcleo de Pesquisa no Acre, Estrada Dias Martins, 3868, Rio Branco-AC, Brasil, romario.ufacpz@hotmail.com.

(5) 0000-0001-9591-9615; Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Núcleo de Pesquisa no Acre, Estrada Dias Martins, 3868, Rio Branco-AC, Brasil, evandroferreira@hotmail.com

(6) 0009-0002-3679-6613; Universidade Federal do Acre, Campus Rio Branco, BR-364, km 4, Rio Branco-AC, Brasil, vitoriapenedo99@gmail.com

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), commonly known as drones, have gained prominence in the scientific field. This study aims to explore the historical trajectory of these devices, focusing on their specific applications in forestry studies. The research adopts a deductive exploratory methodology, utilizing literature review to examine forestry studies employing drones. Literature analysis prioritized recent research, employing keywords such as "remotely piloted technology in forestry studies." Using scientific databases, articles from 2015 to 2023 were identified, highlighting technological advancements, data collection methods, and challenges in drone application in forestry studies. Extracted information covered systems, use in forestry sciences, and advantages/disadvantages. The study revealed promising results in drone utilization for forestry studies. Applications encompass forest restoration monitoring, precise eucalyptus plantation assessment, cost-effective tree height measurement in coniferous forests, efficient estimation of fuels and forest structure, accurate comparison of altimetry models in sparsely vegetated areas, acai palm inventory surpassing naked-eye counting, efficiency in agricultural and forestry monitoring, mapping old beech forests through LiDAR surveys, and a wide range of practical applications for unmanned systems in forestry. Drone advantages include cost reduction, temporal flexibility, and execution in adverse conditions, while limitations involve flight time and sunlight dependence. Nevertheless, the study emphasizes their efficiency and promising contribution to forestry research.

RESUMO

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, tem ganhado destaque no campo científico. Este estudo tem como propósito explorar a trajetória histórica desses dispositivos, concentrando-se em suas aplicações específicas em estudos florestais. Este estudo adotou uma metodologia dedutiva exploratória, utilizando pesquisa bibliográfica para revisar estudos florestais que utilizam drones. A análise da literatura priorizou pesquisas recentes, com palavras-chave como "tecnologia remotamente pilotada em estudos florestais". Utilizando bancos de dados científicos, foram identificados artigos de 2015 a 2023, destacando avanços tecnológicos, métodos de coleta de dados e desafios na aplicação de drones em estudos florestais. As informações extraídas abordaram sistemas, uso nas ciências florestais e vantagens/desvantagens. O estudo revelou resultados promissores no uso de drones em estudos florestais. As aplicações abrangem monitoramento da restauração florestal, avaliação de plantios de eucalipto com alta precisão, obtenção de altura de árvores em florestas de coníferas com custo inferior, estimativa eficaz de combustíveis e estrutura florestal, comparação precisa de modelos de altimetria em áreas com vegetação esparsa, inventário de açazeiros superando a contagem a olho nu, eficiência no monitoramento agrícola e florestal, mapeamento de florestas antigas de faias por meio de levantamentos LiDAR, e uma ampla gama de aplicações práticas de sistemas não tripulados na silvicultura. As vantagens dos drones incluem redução de custos, flexibilidade temporal e execução em condições adversas, enquanto as limitações envolvem tempo de voo e dependência de luz solar, mas o estudo destaca sua eficiência e promissora contribuição para pesquisas florestais.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo:

Submetido: 27/11/2023x

Aprovado: 08/07/2024

Publicação: 10/07/2024



Keywords:

Remote sensing;
unmanned aerial vehicles;
forestry analyses

Palavras-Chave:

Sensoriamento remoto;
veículos aéreos não tripulados;
análises florestais.



Introdução

De acordo com Watts, Ambrosia e Hinkley (2012), a história dos sistemas de aeronaves não tripuladas, popularmente conhecidos como drones, remonta à sua origem militar, onde desempenharam papéis cruciais como equipamentos de suporte às forças armadas. Durante a Guerra Fria, a Agência Espacial Americana (NASA) desenvolveu as primeiras aeronaves não tripuladas, marcando um avanço significativo, embora com limitações de uso. Na década de 70, iniciou-se a era moderna dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, foi impulsionada por pesquisadores americanos e israelenses, explorando experimentos com veículos menores e mais acessíveis.

Ainda segundo esses autores no cenário científico, os drones ganharam destaque a partir dos anos 90, com aplicações diversas que vão desde a esfera militar até setores científicos e comerciais. A palavra “Drone” é originária da língua inglesa, e seria o mesmo que “Zangão” na língua portuguesa (o macho das abelhas). É um termo genérico que é usado para definir qualquer objeto voador não tripulado, incluindo aqueles de propósito militar, comercial, recreativo, etc. (Decea, 2015). O drone é um aeromodelo de controle remoto, sem piloto embarcado e controlado por controle remoto, à distância, com diversos usos que englobam desde o lazer ao uso militar (Fontes; Pozzetti, 2016).

A utilização é feita somente com piloto remoto. Ou seja, equipamentos autônomos, sem intervenção externa durante o tempo de voo, não são permitidos pela defesa aérea brasileira. Portanto, todo drone que apresenta um piloto remoto é intitulado de *remotely-piloted aircraft* (RPA), em português, aeronave remotamente pilotada (ARP), sigla adotada pela Força Aérea Brasileira. A partir do momento que os drones são empregados no setor de pesquisa, a exemplo, em universidades que utilizam o equipamento para levantamento do relevo, tipologia vegetal, florestal, estudos atmosféricos e etc., tem que ter uma autorização própria chamada Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE). Para qualquer um dos casos, além da autorização de uso do equipamento junto à ANAC, os pilotos precisam pedir liberação de voo aos órgãos regionais assim como é feito no caso de aeronaves tripuladas (Fontes; Pozzetti, 2016).

No Brasil, a regulamentação do acesso ao espaço aéreo para drones foi estabelecida pela Portaria n. 415 DGCEA em novembro de 2015, delineando as diretrizes para operação desses sistemas. No contexto científico, os drones têm se destacado em diversas áreas, sendo fundamentais em pesquisas florestais para medições precisas de altura das árvores, mapeamento de clareiras e suporte ao manejo florestal (Brasil, 2015).

Os drones estão sendo usados em estudos florestais para diversas finalidades, como classificação de espécies arbóreas, monitoramento de incêndios florestais e detecção de fitopatógenos. Eles oferecem vantagens sobre os métodos tradicionais e dados de satélite, incluindo maior precisão, produtividade e custo-benefício. Drones equipados com sistemas de visão podem monitorar de forma rápida e precisa a condição das plantas, ajudando a detectar ameaças relacionadas a doenças de plantas (Robiah; Mohammad, 2022). No monitoramento de incêndios florestais, os drones fornecem dados em tempo real que aprimoram o processo de controle e evitam a propagação de incêndios (Mahdi et al., 2023). Os drones também desempenham um papel crucial no inventário e gestão florestal, permitindo a recolha de dados flexível e de alta resolução. Podem transportar diversos sensores, como câmeras RGB, multiespectrais, térmicos e sensores LiDAR, fornecendo informações precisas para monitoramento e pesquisa florestal (Basaran et al., 2022).

Diante dessa crescente importância, a revisão sistemática surge como uma metodologia fundamental para a pesquisa, seleção, avaliação e síntese de estudos relevantes sobre tópicos específicos (Yakut; Akgul, 2023). A revisão sistemática, ao seguir uma metodologia estruturada, permite a identificação e síntese de evidências provenientes de múltiplos estudos. Este método oferece diversas vantagens, como a minimização de vieses e a obtenção de resultados mais precisos, desempenhando um papel crucial na pesquisa baseada em evidências e na tomada de decisões embasadas em informações confiáveis (Hidayat et al., 2022).

Além disso, as revisões sistemáticas são amplamente empregadas em diversos campos da ciência, auxiliando na avaliação e síntese da literatura existente e na identificação de lacunas de conhecimento. Pela sua abordagem rigorosa e estruturada, as revisões sistemáticas são reconhecidas por sua transparência, reprodutibilidade e confiabilidade (Sgarbossa et al., 2022).

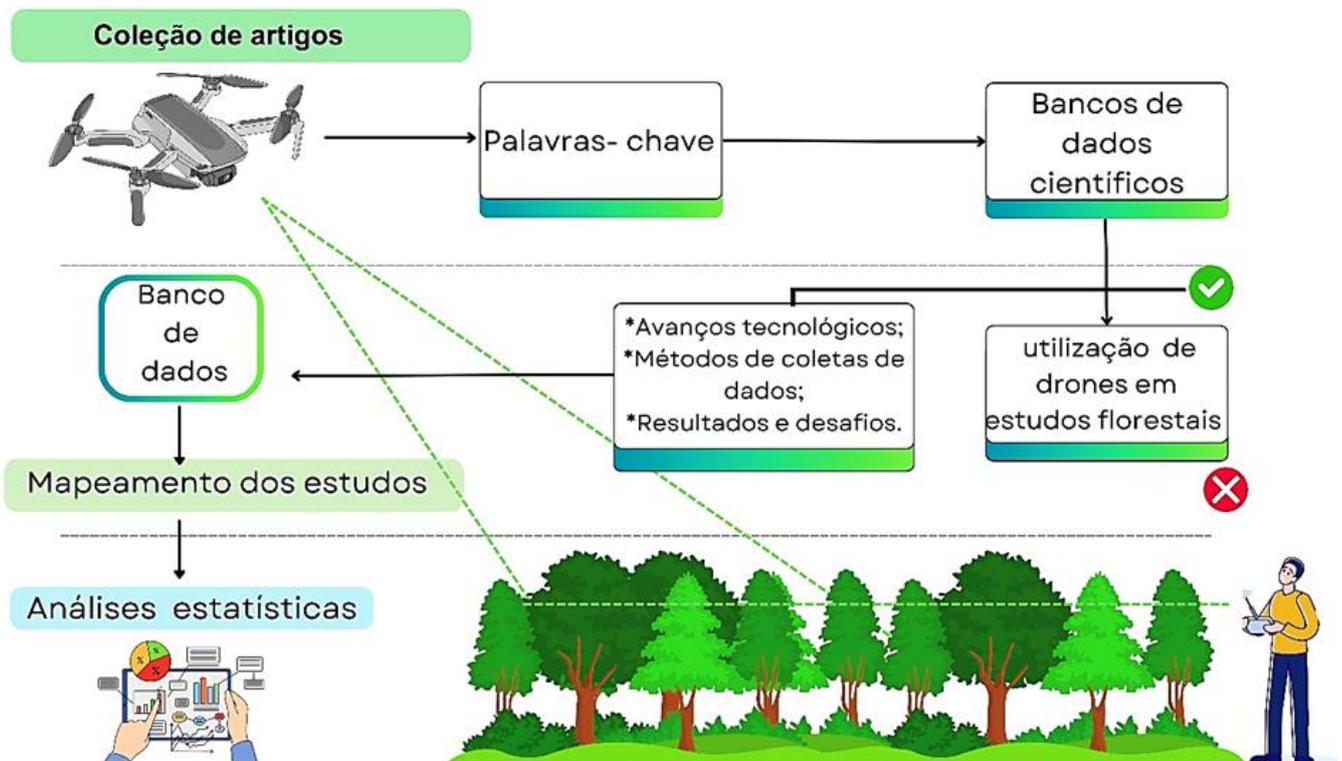
Portanto, ao empregar uma revisão sistemática, pode-se aprofundar a compreensão do papel dos drones nos estudos florestais, destacando de maneira organizada as contribuições específicas dessas ferramentas inovadoras, promovendo resultados mais robustos para a comunidade científica. Dessa forma, este estudo visa oferecer uma análise abrangente e atualizada dos avanços recentes na aplicação de drones em estudos florestais, explorando suas diversas aplicações, metodologias e contribuições para a compreensão e manejo de ecossistemas florestais.

Metodologia

A abordagem metodológica deste artigo está apresentada de forma esquemática na Figura 1. O fluxograma metodológico destaca as etapas essenciais adotadas para atingir o objetivo proposto. A seguir, cada fase do processo é detalhada:

Figura 1.

Esquema simplificado das etapas de avaliação das publicações para realizar a revisão sistemática sobre a utilização de drones em estudos florestais.



Utilizando uma metodologia dedutiva de caráter exploratório, este trabalho se baseou em pesquisa bibliográfica para revisar pesquisas anteriores e atuais sobre a aplicação da tecnologia remotamente pilotada (RPAS ou drones) em estudos florestais. A análise da literatura priorizou trabalhos que abordam diretamente o uso de drones em estudos florestais nos últimos anos. As palavras-chave utilizadas na coleta de literatura incluíram "tecnologia remotamente pilotada em estudos florestais", "avanços na utilização de drones na área florestal" e "desafios na aplicação de drones em florestas".

Foram realizadas pesquisas nos bancos de dados científicos, Web of Science, Science Direct, Scopus, Google Scholar e MDPI, as pesquisas retornaram estudos no período de 2015 a 2023. Foram considerados prioritários os artigos que fornecem uma visão abrangente sobre

os avanços tecnológicos, métodos de coleta de dados, principais resultados e desafios enfrentados ao aplicar drones em estudos florestais.

As informações extraídas dos artigos incluíram detalhes sobre tipos de sistemas, utilização nas ciências florestais, vantagens e desvantagens da utilização da tecnologia em estudos florestais. Os artigos selecionados estavam predominantemente em inglês, sendo traduzidos para o português para análise e inclusão nesta revisão bibliográfica.

Desenvolvimento

Tipos de sistemas

Sistemas de aeronaves não tripulados são compostos pelo componente da aeronave, cargas de sensores e uma estação de controle em terra. A estação de controle é operada por uma ou mais pessoas. As menores categorias de UAVS são acompanhadas por estações de controle de terra que consistem em computadores portáteis e outros componentes de pequeno porte (Watts; Ambrosia; Hinkley). Nos últimos anos os veículos aéreos não tripulados (VANTS), equipados com câmeras vem fornecendo bons resultados para aplicação em inventários, monitoramento e modelagem florestal (Birdal; Avdan; Turk, 2017).

Os modelos e sensores podem ser de dois tipos principais: os multirrotore e os de asa fixa (Sousa, 2017). Provavelmente o melhor entre esses dois modelos é o tipo multirrotore, por conta da sua capacidade de planejar e levantar voo no sentido vertical, a decolagem em locais menores e a aplicação em fotogrametria terrestre é favorecida com esse tipo de equipamento. Porém, o modelo de asa fixa pode apresentar algumas vantagens: entre as quais, voo mais longo, mais indicados para levantamentos em áreas maiores e agricultura de precisão (Widodo et al.2021).

Segundo Munaretto (2015), podem ser utilizados sete tipos de sensores nos VANTS: sensores na faixa do visível (RGB), empregados para monitorar obras e na agricultura de precisão; infravermelhos (IV), que podem identificar estresses hídricos e alguns parâmetros que compõem cálculos de biomassa; sensores multiespectrais, que podem obter características das plantas, água ou terreno; sensores hiperespectrais, que podem obter várias imagens da região do visível ao infravermelho de ondas médias; sensores de monitoramento do espectro de frequência, que fiscalizam e caracterizam sinais emitidos por aeronaves, navios e outros emissores de interesse de uma força armada ou instituições de espionagem; radar, através do qual podem ser mapeados florestas, terrenos e prédios por meio de ondas eletromagnéticas e sensor LiDAR, que promove a aquisição de nuvem de pontos de forma mais consistente e detalhada.

Ainda para o mesmo autor, os sensores mais utilizados nos VANTs são os RGBs, esse tipo de equipamento trabalha na mesma faixa de frequência do visível ao olho humano. Para aquisição dos dados podem ser utilizadas desde câmeras comuns até profissionais.

Usos nas ciências florestais

Quanto a pesquisas realizadas na área florestal com VANTs, Reis (2017), desenvolveu uma metodologia para monitoramento de áreas de restauração através do processamento digital de imagens captadas por uma câmera acoplada a um VANT em vários projetos de restauração florestal com 48 meses de instalação, localizados no Sul da Bahia, Norte do Espírito Santo e Noroeste de Minas Gerais. A câmera captou imagens na região Verde, vermelho e infravermelho próximo (IVP). Foi calculado o índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI). Os métodos empregados neste estudo são eficientes para monitorar áreas de restauração trazendo ganhos em qualidade e precisão, análise sinóptica e redução dos esforços de campo, sobretudo em larga escala.

Finoti (2017), realizou levantamento numa área de 1.725,21 hectares, para avaliar o desempenho do VANT comparado a métodos comumente utilizados no monitoramento da qualidade de plantios clonais de eucalipto. Os vôos foram realizados 90 dias após o plantio. As variáveis geradas foram: densidade de plantio (covas.ha⁻¹), mudas fora do padrão (%) e mudas dentro do padrão (%). As falhas de plantio foram observadas por meio da identificação da ausência de mudas nas linhas de plantio. O processamento das imagens (mosaicos) foi realizado através dos Softwares Ecognition e ArcGIS. A ausência de mudas e as porcentagens de falhas foram verificadas com base em toda a dimensão do talhão, onde foram obtidos os parâmetros da área (Figura 7). Como resultados, foi observado que o maior coeficiente de determinação entre os dois métodos ($R^2=0,94$), inventário e levantamento com Vant, que indicou um grau de precisão de 97% ($R=0,97$).

Birdal, Avdan e Turk (2017), utilizaram a tecnologia VANT para obter a altura das árvores em florestas de Coníferas na Turquia, utilizando uma câmera a bordo de baixo custo com uma curvatura de 96 cm possibilitaram a aquisição de imagens áreas de alta resolução (distância média de amostragem de 6,41 cm), orto-imagens, modelos digitais de elevação (MDE) e nuvem de pontos em um vôo. A partir dos dados da nuvem de pontos, foi elaborado o modelo de altura do dossel, pela subtração do modelo de superfície do modelo digital do terreno. Para avaliação da precisão do levantamento, foram realizadas medições em campo. Houve uma alta correlação entre os dados de altura obtidos via levantamento com VANT e os de campo (94%) e o erro quadrático médio foi de 28 cm. Esta pesquisa enfatizou que o método foi altamente preciso comparado a outras metodologias de maior custo.

Shin et al. (2018), avaliaram o potencial do uso de imagens obtidas com VANT'S para estimar a quantidade de combustíveis no dossel e a estrutura florestal numa área de 12 hectares com florestas de pinheiros no Sudoeste dos Estados Unidos. Foram utilizadas imagens multiespectrais e a estrutura de movimento da nuvem de pontos para cálculo da cobertura da copa, altura do dossel, densidade do plantio, altura da base da copa e a densidade do dossel. Os valores estimados foram validados com dados de campo de 57 parcelas.

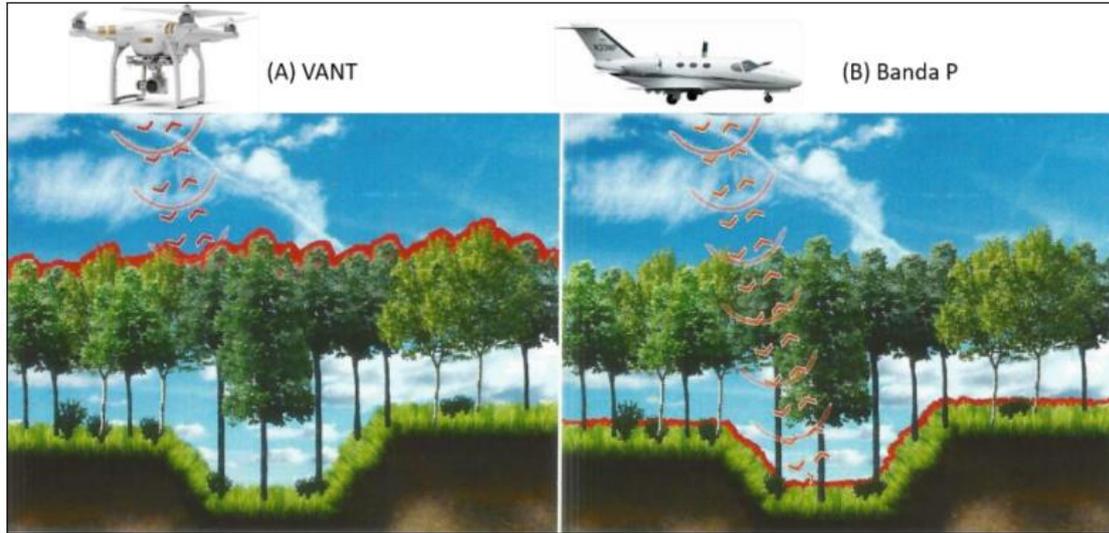
A comparação entre os dados reais e os estimados apresentou as estimativas foram $R^2=0,82$, erro médio quadrático (RMSE) = 8,9%). As estimativas de densidade das árvores apresentaram margem de acerto de 74%, as alturas estimadas com $R^2 = 0,71$, erro quadrático = 1,83 m, enquanto que as estimativas de altura do dossel de base tinham uma correlação mais fraca ($R^2= 0,34$, RMSE = 2,52 m). A densidade de volume do dossel e as informações de campo não apresentaram correlação estatística ($R^2= 0,00$, valor $p= 0,34$, RMSE = 0,3 kg/m³). Além disso, os modelos de para predição do comportamento do fogo não puderam ser estimados neste estudo, com base nas imagens obtidas pelo VANT (Shin et al., 2018).

Hung et al. (2018), conduziram estudo com VANT para comparar modelos de altimetria de uma bacia hidrográfica confeccionados através de imagens obtidas com o equipamento com os dados obtidos em campo em Santa Catarina-Brasil. O modelo foi elaborado com dados coletados com equipamento VANT modelo Phantom 3 profissional com altura média de voo de 60 m (Figura 2). Para validação do Modelo Digital de Terreno (MDT), foram utilizados 354 pontos topográficos levantados em campo. As diferenças altimétricas entre o MDT produzido e o levantamento topográfico foram inferiores a 0,5 m ($R^2 = 0,99$), com erro padrão e 0,29 m. Os resultados obtidos evidenciaram o alto potencial de aplicabilidade da utilização de levantamento com VANT para obtenção de MDT em locais com vegetação florestal esparsa mediante a validação dos resultados com levantamento topográfico convencional.

Corona et. al. (2019), destacou a relevância crescente da aplicação de veículos aéreos não tripulados, sendo importante em estudos relacionados a detecção de vegetação em ambientes rurais e urbanos por meio de informações de dados obtidos através de sensoriamento remoto. Assim, evidenciou-se a utilização dessa tecnologia em planejamentos urbanos e rurais, nichos ecológicos sustentáveis, estimativa de produtividade agrícola, inventários florestais e sistemas de gestão agrícola, sendo todas essas informações, resultado de processamento de imagens obtidas por UAVs.

Figura 2.

Exemplo de penetração do sinal da câmera do VANT (A) e da banda P (B) em uma área de floresta densa



Fonte: Gaboardi e Lubeck (2016).

Dos Santos et al. (2020), conduziu um trabalho inventario açazeiros a campo e com o drone, utilizando, o software PIX4D para a geração das ortofotos, as plantas avaliadas a campo foram inventariadas a olho nu totalizando 155 plantas, porem o drone contabilizou 430 arvores. As avaliações mostraram que a ARP obteve uma avaliação de 4,89 de densidade de indivíduos por hectare a partir da captura das copas, em comparação com o campo que alcançou 1,7. Mostrando a eficiência de identificação da espécie *E. precatória*. Entretanto, o estudo mostrou que o trabalho a campo ainda e necessário para obter outras variáveis importantes, como diâmetro de caule por exemplo.

Castro et al. (2021), durante seu trabalho mostrou como o uso dos UAV's pode ser eficiente para o monitoramento de atividades tanto agrícolas como florestais, destacando sua contribuição quanto à melhoria nos índices de produção. O artigo se dividiu em três componentes gerais: sensores e índices de vegetação utilizados, objetivos tecnológicos perseguidos e aplicações agroflorestais. De acordo com o autor, as UAV's mostraram bons resultados quanto à avaliação do dossel, dados de altura de planta, valores de crescimento, além de outras atividades que acometem as plantas, como os estresses que sofrem. Com o uso de sensores multiespectrais, é possível realizar esses tipos de avaliação.

Zhang et al. (2022) em seu trabalho de levantamento de copa da floresta na previsão da diversidade de árvores utilizando uma aeronave não tripulada para realizar a medição do dossel da vegetação. Localizando os indivíduos e identificando mais de 600 espécies, de acordo

com as variáveis atribuídas no trabalho e a sua importância para a variabilidade da diversidade florestal, mostrou que dentro dos objetos de estudo, em relação a combinação da estrutura do dossel e variáveis topográficas em proporção de abundância foi cerca 38-49%, já para topografia ou estrutura do dossel foi 21-33% e 48% para a abundância de espécies.

Salvatore Pratico et al. (2022), enfatiza a importância dos estudos relacionados aos atributos estruturais florestais, devido a necessidade das florestas para a conservação da biodiversidade, por meio da utilização de pesquisas LiDAR baseadas em UAV para detectar e mapear a heterogeneidade da estrutura florestal em florestas antigas de faias, sendo obtidos modelos de altura de dossel (CHMs) com padrões espaciais de altura apresentando diferenças marcantes entre duas parcelas amostrais, destacando, dessa forma, a aptidão dos levantamentos LiDAR baseados em UAV para o mapeamento e monitoramento das florestas antigas de faias, proporcionando informações importantes sobre a dinâmica natural das florestas, contribuindo no empenho para a garantia da conservação ambiental.

Sun et. al. (2023), destacou a consolidação nas últimas décadas dos sistemas não tripulados no campo da silvicultura, com foco principal em sistemas UAV e plataformas heterogêneas que são empregadas em uma ampla gama de aplicações florestais, examinando diversas aplicações práticas em vários ambientes florestais. Assim, os desafios relacionados à implantação de sistemas não tripulados são analisados considerando a caracterização ambiental, a capacidade de manobra, mobilidade aprimorada e a interpretação regulatória global, desse ponto de vista, os autores destacam a importância de otimizar a utilização de sistemas UAV na silvicultura e as direções futuras para a implantação e consolidação desses sistemas são analisadas em termos de aprimoramento da mobilidade e adaptação sensorial personalizada, que necessitam de mais desenvolvimento para sincronizar todos os agentes potenciais em sistemas de funcionamento automatizado para exploração florestal.

Em relação a utilização de drones, há uma diversidade de drones e existem vários modos de classificá-los, seja por tamanho, alcance, resistência ou que eles carregam (Paneque-Galvez et al., 2014). Segundo Tang e Shao (2015), drones de vários formatos, tamanhos e funcionalidades vem ganhando espaço nos últimos anos e suas aplicações em outras áreas, além do setor militar tem sido cada vez mais frequentes. Sistemas de sensoriamento remoto de baixo custo e alta resolução que empregam drones como plataformas de coleta de dados têm tido seu uso intensificado no setor florestal, especialmente no setor de pesquisa. O levantamento florestal por drones pode ser feito para: mapeamento de clareiras, estimação da altura das árvores, mapeamento de incêndios florestais, apoio ao manejo florestal, entre outros.

Zhang et al. (2016), estudaram o potencial da utilização de drones para caracterização das condições ecológicas de uma floresta subtropical de 20 ha na China, através de fotografias aéreas. Para coleta de dados foi utilizado um pequeno drone MD4-100, que pesava 2,65 kg, com velocidade de 12 m/s e duração de voo de 88 min, com uma câmera Sony NEX-5 montada na parte inferior. No total foram coletadas 312 imagens. Essas fotografias aéreas foram transformadas em ortoimagens através da criação do modelo digital de superfície no software fotogramétrico “Pix4dmapper”. Também foi gerado o modelo de altura do dossel (CHM) e desenvolvido um conjunto de métricas de dossel florestal para toda a área. Por meio dessas métricas foram identificados a altura do dossel (a média dos três valores mais altos), a altura média, assimetria das alturas, desvio padrão de alturas e a razão de distribuição vertical. A altura do dossel variou de 7,0 m a 44,3 m com fechamento do dossel variando de copa aberta (0%) para fechar completamente o dossel (100%).

Ainda segundo Zhang et al. (2016), as variáveis do dossel derivadas das informações coletadas com drone contribuíram de forma favorável aos padrões de biodiversidade. O nível de fechamento do dossel e da assimetria da altura do dossel, estiveram diretamente relacionadas com a heterogeneidade do dossel. Os autores denotam que a tecnologia drone apresenta alto potencial para mapeamento e monitoramento da dinâmica florestal.

Bagaram et al. (2018), mapearam as clareiras a partir dos dados coletados por um VANT eBee de asa fixa numa área florestal de 240 hectares na Itália, com uma câmera comercial SONY WX 18. MP RGB. O tempo total de voo foi de 2 horas e 43 minutos, foram obtidas 433 imagens que foram transformadas em imagens ortomosaicas através de um software específico para processar imagens aéreas e produzir modelos 3D e 2D. O mapeamento das clareiras com as imagens ortomosaicas RGB de 10 cm apresentaram bons resultados, conseguindo captar clareiras pequenas de 10 centímetros. No entanto, o algoritmo implementado para captação de áreas de clareiras apresentou ineficiência em locais com solo exposto.

Vantagens

De acordo Longhitano (2010), as principais vantagens do emprego de drones em estudos florestais comparado ao LiDAR aerotransportado por exemplo, são:

- i. Diminuição dos custos de obtenção de imagens aéreas, já que o custo de operação de um drone é bem inferior ao de uma aeronave, tanto em preparo técnico dos pilotos e tripulantes, quanto nos custos de aquisição e manutenção do equipamento;
- ii. Maior flexibilidade de resolução temporal para obtenção de imagens de alta resolução espacial. Já que o drone pode realizar quantos voos foram necessários e chegar mais próximo do alvo, sem o risco de perdas humanas;

- iii. Possibilidade de execução de levantamentos em condições consideradas adversas;
- iv. Menor necessidade de gastos e treinamento de pilotos.

Desvantagens

ia não desempenha boa eficiência em situações de trabalhos extensos. Bem como a necessidade de calibração constante de aparelho em medições indiretas. Ainda o mesmo autor, relata sobre a necessidade de desenvolver mais técnicas que facilitem as avaliações, além dos métodos mais fáceis que podem ser empregados. Podendo mesclar as imagens de satélites, a fim de suprir algumas dessas limitações.

CONCLUSÃO

A revisão sistemática sobre a utilização de drones em estudos florestais revela avanços significativos e aplicações diversificadas. Os drones mostraram-se altamente eficazes em inventários, monitoramento e modelagem florestal, utilizando uma variedade de sensores, como RGB, infravermelho, multiespectrais e LiDAR. Estudos específicos destacaram a utilidade dessas tecnologias para monitorar áreas de restauração, avaliar desempenho de plantios, medir altura de árvores e estimar combustíveis no dossel. As vantagens incluem a redução de custos, flexibilidade temporal e execução viável em condições adversas. No entanto, desafios como dependência de luz solar, necessidade de alvos pré-sinalizados e restrições regulatórias foram identificados. A consolidação crescente desses sistemas na área florestal destaca a importância futura da otimização da mobilidade e adaptação sensorial personalizada para explorar plenamente o potencial dessas tecnologias na gestão e compreensão de ecossistemas florestais.

REFERÊNCIAS

- Bagaram, M. B., Giuliani, D., Chirici, G., Giannetti, F., Bargati, S. (2018). UAV remote sensing for biodiversity monitoring: Are forest canopy gaps good covariates? *Remote Sensing*, 10(9), 1397.
- Banu, T. P., Borlea, G. F., Banu, C. (2016). The use of drones in forestry. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 5(11), 557-562.
- Basaran, B. K., Boon, H., Xuanhao, Z., Peter, Z., André, F., Feng, X., Brett, S., Fabian, W., Lachlan, O., Kovac, M. (2021). Forest Drones for Environmental Sensing and Nature Conservation. *Aerial Robotic Systems Physically Interacting with the Environment*.
- Birdal, A. C., Avdan, U., Türk, T. (2017). Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1144-1156.

- Brasil. (2015). Instrução Suplementar nº 21/002 - ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil.
- Castro, A.; Ye.Y, S. J, Peña M.M. J. (2021). UAVs for Vegetation Monitoring: Overview and Recent Scientific Contributions. *Remote Sensing*, 13(11), 2139.
doi:10.3390/RS13112139
- Corona, E. P., Gonçalves, W. N., de Oliveira, F. de C., Campos, G. de S., de Oliveira, M. D. (2019). Detection of Vegetation Using Unmanned Aerial Vehicles Images: A Systematic Review.
- Dale, R. (2018). UAV uses in Forestry.
- Dena, M., Mehrdad, A., Yu, B., Haibo, F. (2022). Drones and Blockchain Integration to Manage Forest Fires in Remote Regions.
- Dos Santos, C. A. N., Papa, D. A., Prado, L. S., Figueiredo, E. O., Ferreira, E. J. L. (2021). Uso de drone para mapeamento de açaizeiros na Amazônia Ocidental. In Seminário da Embrapa Acre de Iniciação Científica e Pós-Graduação (3., 2020, Rio Branco, AC). *Ciência e tecnologia na sociedade digital (edição on-line)* (pp. 107-112). Rio Branco, AC: Embrapa Acre.
- Fontes, J. C., Pozzetti, V. C. (2016). O uso dos veículos não tripulados no monitoramento ambiental na Amazônia. *Revista de Direito e Sustentabilidade*, 2(2), 149-164.
- Gaboardi, C., & Lübeck, D. (2016). Precisão altimétrica de modelo digital do terreno sob a vegetação obtido por interferometria de radar de abertura sintética de banda P. *Revista Brasileira de Geografia*, 61(2), 67-81.
- Getzin, S., Nuske, R. S., Wiegand, K. (2014). Using unmanned aerial vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. *Remote Sensing*, 6(8), 6988-7004.
- Hidayat, V., Sumin, S., Kartowarigiran, B., Ayriza, Y. (2022). A Multidimensional Concept of Mental Workload: A Systematic Review.
- Hung, M. N. W. B., Xu, Y., Hayashi, S., Ochi, S., Miyatake, M., Uchiyama, N. (2019). Levantamento com veículo aéreo não tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa.
- Longhitano, G. A. (2010). Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. (Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo).
- Munaretto, L. (2015). VANT e drones: a aeronáutica ao alcance de todos. São José dos Campos: Edição independente.

- Paneque-Galvez, J., McCall, M. K., Napolitano, B. M., Wich, S. A., & Koh, L. P. (2014). Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas. *Forests*, 5, 1481–1507.
- Prático, S., et al. (2022). Na Unpiloted Aerial System (UAV) Light Detection and Ranging (LiDAR) Based Approach to Detect Canopy Forest Structure Parameters in Old-Growth Beech: Preliminary Results. *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 195-205.
- Reis, B. P. (2017). Monitoramento de áreas de restauração florestal e geração de recomendações de manejo adaptativo através de imagens obtidas por VANT e LIDAR. (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG).
- Robiah, H. N., & Mohammad, F. (2022). Drone Aerial Image Identification of Tropical Forest Tree Species using the Mask R-CNN. *International Journal of Innovative Computing*.
- Sgarbossa, N., Ibáñez, M. C., González, Cianciulli G. C., Bracchiglione, J., & Franco, J. V. A. (2022). Systematic reviews: Key concepts for health professionals. *Medwave*.
- Shin, P., et al. (2018). Evaluating unmanned aerial vehicle images for estimating forest canopy fuels in a ponderosa pine stand. *Remote Sensing*, 10(8), 1-22.
- Silva, C. A., et al. (2015). Avaliação da acurácia dos ortomosaicos e modelos digitais do terreno gerados pelo MVANT/DNPM. *Revista Brasileira de Cartografia*, 67/7, 1479-1495.
- Sousa, H. L. de. (2017). Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. *Brazilian Journal of Geomatics*, 5(3), 326-342.
- Sun, H., et al. (2023). UAV Platforms for Data Acquisition and Intervention Practices in Forestry: Towards More Intelligent Applications. *Aerospace*, 10(3), 317.
- Tang, L., & Shao, G. (2015). Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, 26(4), 791-797.
- Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4(6), 1671-1692.
- Widodo, B., Edy, I., Jarot, S., Suroso, A., Chowanda, A., Ngarianto, H., Agung, A., & Santoso, G. (2021). Mapeamento e modelagem 3D utilizando drone quadrotor e software GIS. *Revista de Big Data*, 8(1), 436.
- Yakut, A. D., & Akgul, S. (2023). A Systematic Literature Review: The Self-Concept of Students With Learning Disabilities. *Learning Disability Quarterly*.

Zhang, J., Hu, J., Lian, J., Fan, Z., Ouyang, X., & Ye, W. (2016). Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring. *Biological Conservation*, 198, 60-69.

Zhang, J., Zhang, Z., Lutz, J. A., Chu, C., Hu, J., Shen, G., Li, B., Yang, Q., Lian, J., Zhang, M., Wang, X., Ye, W., & He, F. (2022). Drone-acquired data reveal the importance of forest canopy structure in predicting tree diversity. *Forest Ecology and Management*, 505, 119945.