

O USO DE DRONES NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTRATÉGIAS PARA O MONITORAMENTO E GESTÃO DE OBRAS

THE USE OF DRONES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY: STRATEGIES FOR SITE MONITORING AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

EL USO DE DRONES EN LA CONSTRUCCIÓN: ESTRATEGIAS PARA EL MONITOREO Y GESTIÓN DE OBRAS

Victor Xavier Dias¹, Matheus Lucas Maciel Leal², Allan Kardec Gurgel do Amaral³

DOI: 10.54899/dcs.v23i90.5178

Recibido: 09/04/2026 | Aceptado: 10/04/2026 | Publicación en línea: 15/05/2026.

RESUMO

Na construção civil, monitorar o canteiro com rapidez e clareza continua sendo um desafio que impacta prazos, custos e segurança. Este trabalho analisa a incorporação de aeronaves remotamente pilotadas como apoio ao acompanhamento e gestão de obras; O objetivo geral é avaliar potencialidades, limites e condições de adoção dessa tecnologia para ampliar a visibilidade do canteiro, qualificar a tomada de decisão e fortalecer a documentação do processo. Como objetivos específicos, apresenta fundamentos operacionais essenciais, descreve um método de uso integrado às rotinas já praticadas e demonstra sua aplicação em contexto real de obra, observando utilidade prática. A abordagem metodológica combina revisão de referências com aplicação em campo, estruturada em três momentos complementares: preparação do voo com definição de rotas e critérios de registro, execução com coleta de imagens e anotações, consolidação com organização de arquivos, classificação de achados e encaminhamentos verificáveis. O foco recai na tecnologia em si e no processo de trabalho, isto é, transformar evidências visuais em linguagem comum entre equipes de projeto, execução e supervisão. Os resultados indicam leitura mais ampla do canteiro, redução de deslocamentos, ciclos de verificação mais curtos e melhor suporte à priorização de intervenções. Reconhecem-se limites ligados a condições ambientais, observância regulatória e necessidade de integrar a análise a medições e ensaios específicos. Conclui-se que o uso combinado de voos periódicos e inspeções presenciais, apoiado por procedimentos claros e indicadores simples, melhora o monitoramento de campo, aumenta a transparência das decisões e pode ser incorporado de forma gradual em obras de diferentes portes.

Palavras-chave: Produtividade. Segurança. Rastreabilidade. Qualidade. Documentação.

¹ Graduando em Engenharia Civil, Centro Universitário UNISAPIENS (UNISAPIENS), Porto Velho, Rondônia, Brasil. E-mail: victorxd@proton.me

² Doutor em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Porto Velho, Rondônia, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8098-7612>

³ Mestrando em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Porto Velho, Rondônia, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-3057-7611>

ABSTRACT

In civil construction, monitoring the site with speed and clarity remains a challenge that impacts deadlines, costs and safety. This work analyzes the incorporation of remotely piloted aircraft as support for the monitoring and management of works; The general objective is to evaluate potentials, limits and conditions for adopting this technology to increase the visibility of the site, qualify decision-making and strengthen the documentation of the process. As specific objectives, it presents essential operational fundamentals, describes a method of use integrated into already practiced routines and demonstrates its application in a real construction context, observing practical utility. The methodological approach combines a review of references with field application, structured in three complementary moments: flight preparation with definition of routes and recording criteria, execution with image collection and notes, consolidation with file organization, classification of findings and verifiable referrals. The focus falls on the technology itself and on the work process, that is, transforming visual evidence into a common language between project, execution and supervision teams. The results indicate a broader reading of the site, reduction of displacements, shorter verification cycles and better support for the prioritization of interventions. Limits related to environmental conditions, regulatory compliance and the need to integrate the analysis with specific measurements and tests are recognized. It is concluded that the combined use of periodic flights and face-to-face inspections, supported by clear procedures and simple indicators, improves field monitoring, increases the transparency of decisions and can be incorporated gradually in works of different sizes.

Keywords: Productivity. Safety. Traceability. Quality. Documentation.

RESUMEN

En la construcción civil, monitorear la obra con rapidez y claridad sigue siendo un desafío que impacta plazos, costos y seguridad. Este trabajo analiza la incorporación de aeronaves pilotadas remotamente como apoyo al seguimiento y gestión de obras; El objetivo general es evaluar potencialidades, límites y condiciones de adopción de esta tecnología para ampliar la visibilidad de la obra, calificar la toma de decisiones y fortalecer la documentación del proceso. Como objetivos específicos, presenta fundamentos operativos esenciales, describe un método de uso integrado a las rutinas ya practicadas y demuestra su aplicación en un contexto real de obra, observando la utilidad práctica. El enfoque metodológico combina la revisión de referencias con la aplicación en campo, estructurada en tres momentos complementarios: preparación del vuelo con definición de rutas y criterios de registro, ejecución con recolección de imágenes y anotaciones, consolidación con organización de archivos, clasificación de hallazgos y trámites verificables. El foco recae en la tecnología en sí y en el proceso de trabajo, es decir, transformar evidencias visuales en un lenguaje común entre los equipos de proyecto, ejecución y supervisión. Los resultados indican una lectura más amplia de la obra, reducción de desplazamientos, ciclos de verificación más cortos y mejor soporte a la priorización de intervenciones. Se reconocen límites ligados a condiciones ambientales, observancia regulatoria y la necesidad de integrar el análisis a mediciones y ensayos específicos. Se concluye que el uso combinado de vuelos periódicos e inspecciones presenciales, apoyado por procedimientos claros e indicadores simples, mejora el monitoreo de campo, aumenta la transparencia de las decisiones y puede ser incorporado de forma gradual en obras de diferentes tamaños.

Palabras clave: Productividad. Seguridad. Trazabilidad. Calidad. Documentación.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

Canteiros de obras reúnem múltiplas frentes de serviço em ritmos distintos, sob metas de prazo, custo e segurança. Decisões cotidianas exigem evidências rápidas e confiáveis, porém os registros costumam ser fragmentados, os deslocamentos de verificação são extensos e a visão de conjunto nem sempre está disponível no momento certo. A incorporação de aeronaves remotamente pilotadas apresenta-se como oportunidade para ampliar a leitura do avanço físico, reduzir incertezas e produzir evidências visuais úteis à comunicação entre equipes, sem substituir medições e ensaios específicos.

O objetivo deste trabalho é avaliar potencialidades, limites e condições de adoção de drones no monitoramento e na gestão de obras, com foco em utilidade prática, segurança operacional e aderência às exigências do empreendimento. Para isso, sintetizam-se fundamentos e cuidados essenciais, propõe-se um método integrado às rotinas de fiscalização e aplica-se esse método em contexto real. A abordagem combina revisão de referências com aplicação em campo, organizada em preparação do voo com definição de rotas e critérios de registro, execução com coleta sistemática de imagens e anotações e consolidação com organização de arquivos, classificação de achados e encaminhamentos verificáveis. O recorte privilegia o processo de trabalho: transformar evidências visuais em linguagem comum entre projeto, execução e supervisão, apoiar a priorização de intervenções e fortalecer a documentação do que foi feito. Reconhecem-se condicionantes relevantes, como dependência de condições ambientais, observância regulatória e necessidade de integrar a análise visual a medições e testes.

Como contribuição, apresenta-se um roteiro replicável de adoção gradual com checklists e indicadores simples, além de diretrizes de nomeação de arquivos, instruções de voo e boas práticas de inspeção para garantir rastreabilidade e qualidade dos registros. Espera-se, como resultado, rotinas mais ágeis, seguras e transparentes, com impacto positivo na produtividade e na tomada de decisão em obras de diferentes portes. O estudo delimita-se a operações em linha de visada direta, com equipes capacitadas e parâmetros de voo compatíveis com a regulamentação nacional.

REFERENCIAL TEÓRICO

Construção Civil

Dentro da Engenharia, a construção civil está ligada a um sistema que necessita conciliar expansão urbana, segurança e eficiência. Nos dias de hoje, com canteiros cada vez mais complexos, os desafios vão além da produção, peça-chave desse regime é o controle, onde há: observação das condições de trabalho, identificação de riscos, verificação de conformidade dos processos e correção de falhas para que não haja retrabalho ou acidentes. Nesse contexto, é imprescindível que rotinas de verificação e o uso dos dados levantados por meio destas, sejam utilizados de maneira inteligente, dando clareza sobre o executado, o que está em execução e o que será executado, dando base para decisões e planejamento de campo. Dessa forma, a construção se torna um processo constante de acompanhamento e melhorias, onde segurança, qualidade e produtividade avançam de forma alinhada (Lima *et al.*, 2024).

No contexto brasileiro, esse setor tem grande relevância, visto que, movimenta diversos serviços e indústrias, ao mesmo tempo que gera emprego para milhões de pessoas. Em análise aos seis primeiros meses de 2025, foram mais de três milhões de trabalhadores com carteira assinada, o que mostra a relevância do quanto a construção civil influencia na renda das famílias e na economia do país. Contudo, o setor também sofre com impostos altos, materiais cada vez mais caros, falta mão de obra qualificada e juros que atrapalham novos investimentos. Tudo isso faz com que a gestão e o planejamento das obras sejam ainda mais importantes (Vasconcelos, 2025).

Gestão de Obras

Gerenciar uma obra na prática significa juntar planejamento, orçamento, cronograma e logística, para garantir que o prazo, o custo e a qualidade estejam sempre alinhados. Nessa circunstância, o gestor atua como um mediador, coordena contratos e recursos, distribui responsabilidades entre equipes com variadas competências e decide rapidamente diante de imprevistos. O modo de operação é ajustável e determinado pelas demandas levantadas. A abrangência das atividades pode ir da integralização do projeto, desde a etapa de contratação até a conclusão executiva, ou focar na intervenção em etapas específicas. Sendo assim, a visão

completa do projeto é essencial, pois é o que permite prever problemas e usar os recursos da melhor forma. No entanto, essa visão geral precisa vir junto com a capacidade de resolver rápido os pontos específicos e práticos que aparecem a cada momento e pedem uma solução imediata (Oliveira, 2024).

A harmonização entre o planejamento e o tempo disponível constitui o objetivo primordial na gestão de obras. Para tanto, torna-se imprescindível segmentar o trabalho em fases, um processo que demanda a compreensão das interdependências entre atividades e a identificação precisa das tarefas vitais, alcançando a estruturação de um calendário. Nesse contexto, a análise do caminho crítico expõe as atividades que não possuem qualquer margem de atraso. O cronograma, de forma complementar, especifica o escopo de cada fase, viabilizando um acompanhamento eficaz do progresso e assegurando a conformidade com os prazos estipulados para o projeto (Domingues, 2021).

Planejamento e Monitoramento de Obras

O planejamento de uma obra é a base para o início de um ciclo, onde começa ao transformar o projeto em uma sequência de tarefas, deixando claro quais devem ser feitas primeiro e como cada atividade influencia a próxima. Ele não se limita a “marcar datas”; envolve mapear riscos, definir métodos executivos, dimensionar equipes e materiais e amarrar as dependências entre atividades. Quando bem estruturado, dá base para decisões rápidas, diminui retrabalhos e atrasos, melhora o controle de custos e alinha a comunicação do time. Para isso, recorre a instrumentos como a Estrutura Analítica do Projeto (EAP), aos diagramas de PERT/CPM (para caminho crítico e folgas) e ao gráfico de Gantt (para leitura temporal do plano), compondo um quadro claro do que é crítico e do que pode ser ajustado sem afetar o prazo final (Araujo, 2025).

O cronograma além de desempenhar papel organizacional, orienta questões como distribuição de recursos no canteiro, onde serão alocados os materiais, a mão de obra e equipamentos necessários, além de ser fundamental para o planejamento financeiro da obra, pois é por meio dele que se é capaz de relacionar o progresso físico do projeto com o fluxo de recursos, para que não haja atrasos e continue avançando corretamente dentro dos prazos esperados (Cruz; Alves, 2025).

O monitoramento é o acompanhamento contínuo do avanço físico da obra em relação ao que foi planejado, mantendo o cronograma como referência. O canteiro de obras, por sua natureza dinâmica e por ser conduzido por pessoas, é um ambiente onde imprevistos são recorrentes, gerando inevitáveis descompassos entre o que foi planejado e o que é efetivamente executado. Neste cenário, o ato de monitorar traduz-se em manter o controle fundamentado em dados, o que implica na identificação de desvios, na aferição do desempenho, na validação do progresso e no registro de evidências. Tal processo é vital para permitir correções de rota sem que haja sacrifício das metas ou dos prazos estabelecidos. Quando esse processo depende apenas de observações e anotações manuais, a informação chega mais lenta, fica mais sujeita a erros e a interpretações individuais, o que enfraquece a decisão. Por isso ganham espaço métodos mais estruturados e o uso de tecnologias de acompanhamento, que aumentam a confiabilidade dos dados, dão agilidade às correções e aproximam o executado do planejado (Gobbi *et al.*, 2023).

Drones: Aspectos Técnicos e Regulatórios

Aeronaves remotamente pilotadas, ou como mais conhecidas por drones, se tornaram comuns em diferentes setores no cotidiano humano. O destaque se dá pela praticidade, por serem leves e capazes de serem operadas à distância. São capazes de cobrir grandes áreas em questões de minutos, mesmo onde não há infraestrutura de apoio. Com o avanço das tecnologias, esses dispositivos integraram em um só sistema a parte estrutural, o motor, a fonte de energia, controle e comunicação, o que fundamenta porque se tornaram cada vez mais presentes no uso civil diário. O contexto histórico ajuda a entender esse avanço, no começo, eram principalmente usados em contextos militares, mas aos poucos foram aplicados em diferentes áreas civis, principalmente pela sua fácil operação, pela rapidez na implantação e capacidade de registrar e monitorar áreas sem infraestrutura adicional (Kardasz *et al.*, 2016).

No Brasil, a responsabilidade pelas regras sobre drones é da Agência Nacional de Aviação Civil e é por meio do RBAC-E nº 94 que a ANAC explica o que são essas aeronaves sem piloto e quais condições precisam ser seguidas para que elas possam ser usadas em atividades civis. Dentro desse enquadramento, há uma separação clara de finalidades: quando o objetivo é recreação, o equipamento é tratado como aeromodelo; quando não admite intervenção do operador durante o voo, caracteriza-se como aeronave autônoma, cuja utilização é vedada; e, para atividades não recreativas com comando à distância, aplica-se a categoria de aeronave

remotamente pilotada. A norma também atribui responsabilidades ao piloto remoto em níveis comparáveis aos da aviação tripulada e impõe condições para o acesso seguro ao espaço aéreo, o que inclui cuidados operacionais e limites que visam reduzir riscos a outras aeronaves e a pessoas em solo (BRASIL, 2017).

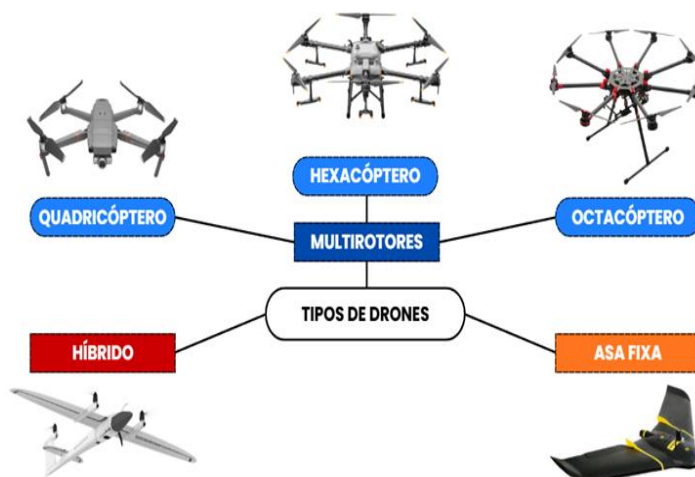
Esse enquadramento legal e conceitual, ajuda a compreender como essa tecnologia deixou de ser apenas uma tendência e passou a ocupar espaço consolidado em atividades civis e profissionais. A existência de uma base técnica e jurídica, permite que empresas e profissionais incorporem a tecnologia de forma responsável, sabendo exatamente quais são os limites e responsabilidades associados ao seu uso. Nesse cenário, os drones podem ser vistos como uma inovação já legitimada e normatizada, pronta para ser aplicada em diferentes setores sem perder de vista a segurança e confiabilidade exigidas (Souza; Santos, 2019).

Aplicação dos Drones na Construção Civil

No canteiro, os drones entraram como uma ferramenta para ganhar visão de conjunto sem perder o detalhe. A captura sistemática de imagens permite acompanhar frentes de serviço, identificar indícios de falhas e comparar etapas ao longo do tempo. Esses registros não servem apenas para “ver” a obra, eles sustentam análises, ajudam a localizar pontos críticos e dão base técnica para justificar intervenções e replanejamentos, porque o material coletado vira insumo para diagnóstico e comunicação com as partes envolvidas (Silva, 2021).

A partir dessa base, quando a rotina de uso do drone é bem estruturada dentro do projeto, o processo ganha sequência, o voo é planejado, as listas de checagem orientam os preparativos e encerramentos, as imagens são coletadas em campo e depois tratadas para gerar informações que podem ser comparadas ao longo do tempo. Cada uma dessas partes depende uma da outra, e juntas criam um ciclo que dá consistência ao monitoramento. Isso reduz falhas por esquecimento, aumenta a confiabilidade dos dados e facilita a comunicação entre quem define o planejamento, quem executa no canteiro e quem avalia o progresso da obra (Miranda, 2020).

Figura 1. Tipos de drones mais utilizados na construção civil



Fonte: Próprio autor (2025).

Drones Asa Fixa

Para áreas extensas (grandes canteiros, loteamentos e rodovias), o drone de asa fixa é a tecnologia mais eficiente. Ele perpassa grandes trechos, focando em linhas retas e tocando áreas extensas em profundidade e, por isso, oferece produtos cartográficos prontos para um trabalho técnico, gerando ortomosaicos (mosaico de fotos aéreas ortorretificadas) e modelos digitais (representações numéricas da superfície em 2D/3D) do terreno, possibilitando o mapeamento ambiental e o planejamento espacial (organização do uso do espaço) (BOON *et al.*, 2017). Essas informações auxiliam a tomada de decisões em terraplanagem, volumetria de corte e aterro, drenagem e planejamento de vias e linhas de transmissão, pois o canteiro aparece nivelado numa mesma escala e referência. Para tarefas que exigem um detalhamento mais elevado, pode-se, por exemplo, incorporar a fotogrametria SfM-MVS (reconstrução 3D por imagens) e reforçar o georreferenciamento (associar dados a coordenadas reais) com LiDAR (sensor que mede distâncias com pulsos de laser para gerar nuvens de pontos 3D e modelos do terreno com alta precisão), o que, do modo que mais é esperado desse tipo de plataforma, conserva a eficiência e a precisão nas medidas (Escobar Villanueva *et al.*, 2019).

Drones Multirotores

Os drones multirotores são valorizados pela habilidade de pairar com estabilidade e realizar voo omnidirecional apenas pela alteração da velocidade de seus rotores. Essa construção,

em combinação com sensores (IMU, GPS, magnetômetro) e algoritmos de estimação de estados (controle de altitude e posição, fusão sensorial) que permitem a coordenação e a fusão de diferentes dados, com os diferentes níveis de apropriação necessárias para a execução de voos seguros e precisos em tarefas de aproximação e sustentação estacionária (Yang *et al.*, 2017). Na construção civil, isso se traduz em atividades como levantamento fotogramétrico, acompanhamento de progresso e inspeções 4D/5D, acompanhamento e inspeções de qualidade e segurança, implementação de obras, gestão de materiais e ativos e registro as-built para confronto com o projeto. Isso tudo aumenta a rastreabilidade e as tomadas de decisão nos canteiros de obras (Li; Liu, 2020).

Drones Híbridos

Os drones híbridos possuem estruturas que juntas formam o modelo "ideal", compostos com multirrotores, tem a capacidade de decolagem e pouso na vertical, possibilitando a sua utilização em áreas de pequeno espaço; compostos também com asas fixas, são capazes de manter voo de cruzeiro. Nessa conjuntura, o alcance e a autonomia são muito superiores, sendo capacitados também por conta de sua estrutura, a carregar sensores e câmeras de alta resolução e LiDAR mais pesadas. Na realidade dos canteiros, isso se reflete em mapear e cartografar áreas extensas e, durante o voo, possibilitar verificações precisas e pontuais (CHOI *et al.*, 2023). Olhando pelo aspecto da engenharia do modelo, combinando arranjos de tilt-rotor, é possível mudar o vetor de empuxo para alternar entre modos de cruzeiro e hover, melhorando a eficiência sem perder a capacidade de pairar. O aumento da eficiência e do tempo de voo nestes modelos, têm como contrapartida a maior complexidade operacional, que do ponto de vista do projeto, é aceitável, para perfis de missão que contemplem trechos longos e paradas para inspeções minuciosas (Panigrahi *et al.*, 2021).

METODOLOGIA

Estudo de Caso

O objetivo do estudo de caso é compreender uma unidade bem delimitada no tempo e espaço como um sistema integrado, a fim de compreender em profundidade seu funcionamento

e as razões de determinados resultados. Num estudo de caso, são identificadas algumas questões centrais, em especial a da natureza processual (como e por que) e a construção de um esquema de coleta de dados que contemple a multiplicidade de fontes como observações, documentos, questionários e medições. Nesse percurso metodológico, observa-se um sequenciamento de etapas encadeadas: delimitação de caso, coleta, seleção, análise, interpretação, e a construção do relatório que contenha os passos dados em um estudo. Em síntese, trata-se de um recorte empírico capaz de examinar fenômenos complexos e multifatoriais que se aplicam em outros contextos, quando sustentados por evidências e rigor metodológico (Ventura, 2007).

Este trabalho envolve a análise das condições de operação e segurança de uma usina fotovoltaica de 1.2 MW, localizada às margens da BR-364, em operação. Adotando uma comparação entre uma inspeção aérea (drone) e uma inspeção em solo (manual), utilizando o mesmo roteiro operacional (preparação, execução e pós-operação), tendo como foco de análise, duas frentes, sendo elas: I - Verificação do uso adequado de EPI pelos trabalhadores durante as manutenções e II - Análise da integridade física/operacional dos módulos (sujidades, trincas, delaminações, sombreamentos pontuais).

No protocolo com o drone, as imagens serão coletadas para auditoria visual sistemática do cumprimento de EPI e para registro dos parâmetros técnicos da superfície dos módulos, levantando e organizando as evidências para a análise. No procedimento em solo, será aplicado a mesma lista de verificação para EPI e os mesmos critérios técnicos de leitura, porém com coleta manual. Essa configuração, assegura discutir, sobre critérios idênticos, ganhos de agilidade e de rastreabilidade do método aéreo em comparação ao método em solo na fiscalização.

Operação do Drone

O drone usado neste estudo será o DJI Mavic 2 Enterprise Advanced (M2EA), um drone de multirrotores dobrável, com peso de decolagem de aproximadamente 909g e tempos de voo de até 31 minutos. Essas proporções são adequadas para as missões de registro de fotos/vídeos e da inspeção visual rápida de usinas fotovoltaicas. O M2EA possui também câmera termográfica 640×512 px (30 Hz) e câmera visual de 48 MP/4K, sendo possível alternar entre os modos visual, térmico e “split-view”, facilitando a identificação de ocorrências durante o voo (Dji, 2021).

Figura 2. Drone DJI Mavic 2 Enterprise Advanced (M2EA)



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

De acordo com seu peso e seu perfil de operação, o M2EA enquadra-se como um RPA Classe III (≤ 25 kg), em conformidade com o RBAC-E 94/ANAC. Será operado em VLOS (Visual Line of Sight), com teto operacional de 400 ft / ≈ 120 m AGL (Above Ground Level) conforme DECEA (ICA 100-40/SARPAS NG). Nesta condição, requerendo, por ser maior que 250g, inscrição/cadastro no SISANT e o afastamento horizontal mínimo de 30 m de pessoas não anuentes à operação (Brasil, 2023). Esses parâmetros nortearão o planejamento da rota e os limites operacionais deste trabalho.

Inspecção de Segurança

A inspecção visual nas atividades de O&M (Operação e Manutenção) será realizada de duas maneiras, como já mencionado anteriormente. No modo aéreo, será realizado o sobrevoo para validar a posição do operador, que após ser identificado, dará início a fase de aproximação, para as verificações dos EPI's, mantendo VLOS, com teto operacional de 400 ft (≈ 120 m) conforme DECEA (ICA 100-40/SARPAS NG) e afastamento de 30 m de terceiros conforme RBAC-E 94/ANAC (Brasil, 2023). Já no modo em solo, aplica-se verificação direta do uso correto dos EPI's prioritários como: capacete, óculos, luvas e calçados. Conforme diretrizes para atividades em instalações elétricas (BRASIL, 2004). Para complementar a análise dos equipamentos de proteção individual, serão verificados os Certificados de Aprovação (CA) dos mesmos, via consulta ao CAEPI (Certificado de Aprovação de Equipamento de Proteção Individual), registrando-se número e situação no relatório (Brasil, 2001).

Inspeção de Operação

A inspeção será realizada durante o período de geração estável. Durante o voo, o drone realizará passagens ortogonais e oblíquas para inspeção visual de sujeira, sombreamento, quebras/rachaduras, delaminações, folgas/ausência de grampos, amassamento de frame e sinais de inoperância. Cada evidência (foto/vídeo) será associada à fileira/string no relatório, seguindo as melhores práticas de documentação para sistemas FV conectados à rede (IEC, 2016). No solo, será realizada uma varredura visual pelos corredores entre as fileiras, acompanhada de registros fotográficos/vídeos e organização por fileira/string, sob as mesmas condições de geração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados da Inspeção

A inspeção ocorreu em 24/10/2025 na usina fotovoltaica de 1,2 MW, sob céu parcialmente nublado, temperatura 32 °C, velocidade do vento 6 km/h e umidade relativa 61%, condições estáveis durante a janela de (14:00 - 17:00). Ao final da operação, foram obtidas 38 fotografias e 2 vídeos, cobrindo uma área total de 2.463,9 m², verificando assim as questões de segurança e operação em um total de 560 placas fotovoltaicas. A amostragem contemplou 19,60% da planta (2.856 placas fotovoltaicas) assegurando redundância de leitura.

Em paralelo, foi executada verificação em solo nos mesmos setores e intervalos, possibilitando confrontos diretos dos achados. Como resultado bruto de cobertura, o método aéreo alcançou 100% da área útil em tempo total de 30 minutos, enquanto o método em solo alcançou cobertura 100% em tempo total de 1 hora e 10 minutos, permitindo a comparação apresentada nas seções seguintes quanto ao uso de EPI's e implicações operacionais.

Além disso, são discutidas as limitações do estudo e possíveis direções para pesquisas futuras. É fundamental que tanto os resultados quanto a discussão sejam fundamentados em evidências sólidas e que contribuam significativamente para o avanço do conhecimento sobre o tema abordado.

Figura 3. Foto da área inspecionada



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Inspeção de Segurança – EPI's (Voo vs. Solo)

A inspeção de segurança com drone iniciou-se com a marcação do tempo e a verificação do equipamento (hélices, baterias, controle remoto e conexões), seguida de uma varredura aérea sobre as áreas de trabalho para localizar frentes de manutenção. Identificado o colaborador em atividade, procedeu-se à aproximação controlada para validação do uso de EPI's, mantendo distância segura entre drone e o observado.

A confirmação foi feita em tempo real pelo visor do controle do drone, aplicando o checklist de EPI's adequado à tarefa observada (capacete, óculos, bota e luvas), marcando “utilizado” ou “não utilizado” conforme a evidência visual. Concluídas as verificações, a aeronave retornou ao ponto de decolagem, realizou-se a checagem de integridade pós-voo (sem avarias), o tempo foi pausado e a inspeção aérea foi encerrada.

Figura 4. Imagem de inspeção de segurança com drone



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Na sequência, deu-se início à inspeção em solo, novamente com marcação do tempo, utilizando o mesmo checklist do método aéreo; entretanto, por tratar-se de acesso à área de campo, o próprio verificador equipou-se com EPI's correspondentes (capacete, óculos e bota). Com os EPI's ajustados, deslocou-se até as frentes de manutenção identificadas, realizou a verificação presencial do uso de EPI's pelos colaboradores e registrou as evidências no checklist.

Figura 5. Imagem de inspeção de segurança em solo



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Com base nos registros, o método aéreo mostrou-se o mais viável para a verificação de EPI's na usina. A partir da marcação do tempo e da checagem básica do equipamento, o drone

realizou varredura rápida para localizar as frentes de manutenção, aproximou-se de forma controlada e, pelo visor do controle, permitiu aplicar o checklist em tempo real, registrando imediatamente a não conformidade dos EPI's, com evidência fotográfica e sem ingresso do inspetor em área de risco.

Tabela 1. Checklist de segurança

Método	Atividade	Capacete	Óculos	Bota	Luvas	Início	Fim
Voo	Ligação de string	x	x	x		14:10	14:15
Solo	Aperto de conexões			x		14:20	14:40

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

O ciclo completo (localizar, aproximar, verificar, registrar e retornar) foi concluído em cerca de 5 minutos, com baixa interferência na operação e rastreabilidade objetiva (foto/vídeo) para pronta comunicação e correção. A eficiência fica visível, pois a cobertura total pelo método aéreo nas operações de segurança ocorreu em 5 min, contra 20 min no procedimento de solo, evidenciando uma razão de tempo favorável ao drone no caso demonstrado.

A inspeção em solo agregou valor documental (possibilitando coleta de CA), porém demandou uso de EPI pelo verificador, deslocamentos sob calor e maior permanência em campo, com um ciclo de aproximadamente 20 minutos para a mesma frente observada; nessa etapa foram também constatadas ausências de EPI's, porém esses achados poderiam ter sido priorizados e direcionados previamente pela triagem aérea. Em outras palavras, o solo é mais minucioso, mas mais lento e mais exposto, enquanto o drone entrega detecção precoce e abrangente, permitindo atuar primeiro onde há maior risco e reservar a ida presencial ao que realmente precisa de confirmação de CA, ajuste ou intervenção.

Tabela 2. CA (Certificado de Aprovação) dos equipamentos

Equipamento	Número do CA	Situação	Nº do laudo	Verificação do CA (Voo)	Verificação do CA (Solo)
Óculos	40186	Válido	1 126 590-203	Não	Sim
Capacete	29792	Válido	1 126 590-203	Não	Sim
Bota	43698	Válido	1 148 694-203	Não	Sim

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

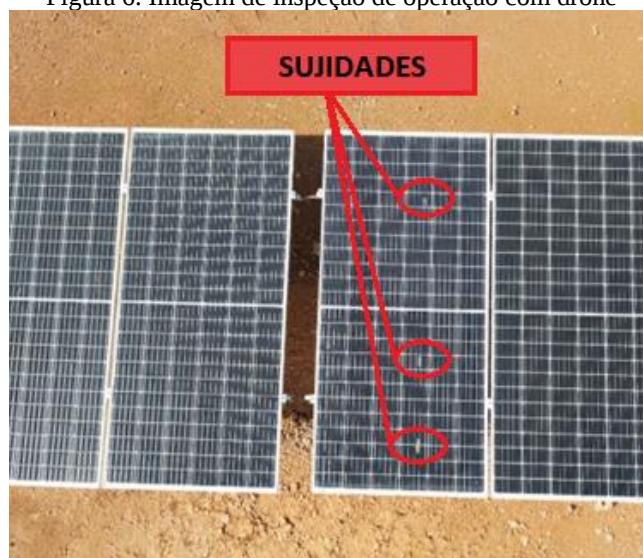
Inspeção de Operação – Módulos (Voo vs. Solo)

A inspeção de operação com drone iniciou-se com o início da marcação do tempo e checagem do equipamento (hélices, baterias, controle e conexões). Em seguida, o drone decolou de forma estável e deu início à varredura em malha, cobrindo metodicamente as 10 strings/linhas

de forma sequencial. Durante este percurso, foi sempre priorizada uma passagem calma e em velocidade constante, para que fosse possível detectar qualquer potencial desvio ou anomalia de maneira precisa através do visor do controle em tempo real.

Sempre que surgia visualmente um indício claro de inconformidade (sujeira/soiling, trinca, delaminação, vidro quebrado, sombra por vegetação/objetos), o piloto imediatamente realizava uma aproximação controlada da área específica a ser observada. Com perícia, ajustava o ângulo do gimbal para reduzir qualquer reflexo na imagem e registrava a foto diagnosticada em alta resolução. Logo em seguida, no checklist de operação de missão, foi lançado o tipo de não conformidade encontrado, a classe de severidade operacional correspondente e o código identificador do módulo (ex.: S01-M10). Ao final da missão, e após a cobertura completa da área designada, o drone retornou ao ponto de decolagem para checagem final de sua integridade física (confirmando estar sem avarias) e o tempo foi parado, finalizando assim a inspeção.

Figura 6. Imagem de inspeção de operação com drone



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

A inspeção em solo começou com o início do cronômetro, ajuste dos EPI's necessários para a inspeção em campo (capacete, bota e óculos), e foi executada a seguir os mesmos preceitos da inspeção aérea para validação de dados, porém passando pelos corredores entre as fileiras observando cada módulo manualmente. Foram percorridas, de forma sequencial, as 10 strings/linhas do setor, avaliando cada módulo quanto ao estado físico (ex.: sujeira/soiling, trinca, delaminação, vidro quebrado, sombreamento).

Sempre que necessário, realizou-se registro fotográfico com identificação de string/linha

e código do módulo (ex.: S01-M10), lançando no checklist de operação o tipo de ocorrência e a classe de severidade adotada no relatório (Classe I = leve/monitorar; Classe 2 = moderada/corrigir em manutenção programada; Classe 3 = crítica/intervenção imediata). Ao término do percurso, conferiu-se a integridade dos registros (fotos e anotações) e encerrou o tempo no cronômetro, deixando o material organizado por fileira/string para comparação direta dos achados.

Figura 7. Imagem de inspeção de operação em solo



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Ao avaliar o conjunto de 10 strings contando com 560 módulos, e aplicando os mesmos critérios (checklist e classes 1-2-3), a inspeção aérea via drone demonstrou uma eficiência notável. O voo concluiu a varredura completa em apenas 25 min, o que representou uma análise ágil de 22,4 módulos/min e 2,5 min/string, incluindo registro fotográfico no ato de cada ocorrência durante a inspeção. Em comparação direta, o modo convencional em solo exigiu 90 min para a mesma tarefa, alcançando uma média de 6,2 módulos/min e 9 min/string.

Com esses dados podemos analisar que, a abordagem terrestre, além de ser significativamente mais lenta, demandou maior deslocamento físico e uso integral de EPI, elevando consideravelmente o esforço operacional. O ponto importante, que validou ambas as técnicas, foi que, apesar das diferenças de tempo e esforço, ambos os métodos se mostraram igualmente precisos, onde foram constatadas exatamente as mesmas 12 ocorrências (conforme Tabela 3), distribuídas entre Classes II e III, com correspondência por string/módulo nas duas abordagens.

Tabela 3. Checklist da operação

Numeração	Módulos com irregularidades	Categoria da irregularidade	Módulos observados	Voo (Início – Fim)	Solo (Início – Fim)
1	S1-M06	Classe II	560	14:45 – 15:15	15:10 – 16:45
2	S1-M07	Classe III			
3	S1-M08	Classe III			
4	S2-M09	Classe II			
5	S2-M10	Classe III			
6	S2-M11	Classe III			
7	S2-M12	Classe III			
8	S2-M13	Classe III			
9	S3-M02	Classe II			
10	S3-M09	Classe II			
11	S4-M01	Classe II			
12	S4-M02	Classe II			

Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Considerando a eficiência e a segurança, o método aéreo mostrou-se claramente superior. A inspeção com drone concluiu a varredura das 10 strings em apenas 25 minutos, um desempenho aproximadamente 3,6 vezes mais rápido que os 90 minutos exigidos pela inspeção em solo. Essa agilidade se traduziu diretamente na produtividade, com uma taxa de 22,4 módulos/min versus apenas 6,2 módulos/min. Essa produtividade elevada do drone decorre de sua capacidade de realizar uma cobertura em malha, sem os longos deslocamentos entre fileiras, permitindo aproximações rápidas focadas apenas nos indícios de falha e eliminando paradas ligadas à circulação ou ajustes de EPI.

Além de reduzir drasticamente a exposição a riscos ambientais e ergonômicos, o voo gera um benefício crucial: evidências padronizadas, com um enquadramento consistente. Isso acelera muito a triagem, a priorização de Ordens de Serviço (OS) e garante uma rastreabilidade muito melhor entre inspeções futuras. Diante disso, a inspeção em solo não perde seu valor, mas assume um novo papel: ela permanece valiosa para analisar micro detalhes e realizar confirmações pontuais (especialmente em itens críticos de Classe 2/3), mas o alto tempo de execução e o esforço logístico a tornam uma ferramenta complementar, e não principal, para varreduras integrais da condição física dos módulos.

CONCLUSÃO

De forma geral, o trabalho teve por objetivo demonstrar a aplicação de drones na construção civil como estratégia de monitoramento e apoio à gestão, executando um estudo em ambiente real de usina fotovoltaica. Para isso, estruturou-se um método factível, com etapas de

preparação, execução e consolidação, guiado por checklists e critérios de registro que organizaram imagens e anotações de campo. A operação observou requisitos de segurança e de regulamentação, e os registros foram tratados de modo padronizado para permitir comparação entre inspeções e rastreabilidade do processo.

Na comparação qualitativa entre voo e verificação em solo, observaram-se vantagens claras do levantamento aéreo para leitura abrangente do canteiro, cobertura mais cadenciada de áreas extensas, redução de deslocamentos e geração de evidências visuais úteis à comunicação entre equipes e à priorização de intervenções. O procedimento presencial permaneceu essencial como etapa complementar para confirmações documentais, medições específicas e correções quando necessárias. Assim, a análise indica complementaridade: o drone cumpre melhor o papel de triagem e direcionamento, enquanto o solo consolida a verificação e a intervenção.

Conclui-se que os objetivos foram atendidos e que se comprovaram os benefícios gerais do uso de drones no contexto analisado, com ganhos de agilidade, clareza e documentação do processo, sem substituir práticas técnicas indispensáveis.

AGRADECIMENTOS

Seção facultativa destinada ao registro de agradecimentos, na qual o autor poderá mencionar agências de fomento, instituições de apoio ou quaisquer outras contribuições consideradas pertinentes.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Paulo Victor Ribeiro. **Estudo de caso: principais causas no desvio de prazo de uma obra vertical na cidade de Goiânia, Goiás**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/2363>. Acesso em: 10 set. 2025.

BOON, M. A.; DRIJFHOUDT, A. P.; TESFAMICHAEL, S. COMPARISON OF A FIXED-WING AND MULTI-ROTOR UAV FOR ENVIRONMENTAL MAPPING APPLICATIONS: A CASE STUDY. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-2/W6, p. 47-54, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-47-2017>. Acesso em: 05 out. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017. Aprova o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) nº E 94, intitulado "Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil". Brasília, DF: 2017. Disponível

em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>. Acesso em: 22 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Portaria MTE n.º 598, de 07 de dezembro de 2004. Aprova a Norma Regulamentadora n.º 10 (NR 10) - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília, DF: 2004. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-10-nr-10>. Acesso em: 10 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Portaria SIT n.º 25, de 15 de outubro de 2001. Aprova a nova redação da Norma Regulamentadora n.º 06 (NR 06) – Equipamento de Proteção Individual - EPI. Brasília, DF: 2001. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-6-nr-6>. Acesso em: 10 out. 2025.

CHOI, Hee-Wook; KIM, H.; KIM, S.; NA, W. S. An Overview of Drone Applications in the Construction Industry. **Drones**, v. 7, n. 8, e515, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/drones7080515>. Acesso em: 05 out. 2025.

CRUZ, Cirlei Souza; ALVES, Laís Amaral. Análise do processo de planejamento e controle de um projeto de obra na construção civil. **Gestão & Gerenciamento**, n. 35, 2025. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento/article/view/1628>. Acesso em: 10 set. 2025.

DJI. **Mavic 2 Enterprise Series User Manual**. Shenzhen: 2021. Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2_Enterprise/20210413/Mavic_2_Enterprise_Series_User_Manual-PTBR.pdf. Acesso em: 10 out. 2025.

DOMINGUES, Luis G M. **Planejamento e Gestão de Obras - Estudo de caso**. 2021. Relatório (Mestrado em Construções Cíveis) – Instituto Politécnico da Guarda, Guarda, 2021. Disponível em: <https://bdigital.ipg.pt/dspace/handle/10314/5312>. Acesso em: 10 set. 2025.

ESCOBAR VILLANUEVA, Jairo R.; IGLESIAS MARTÍNEZ, Luis; PÉREZ MONTIEL, Jhonny I. DEM Generation from Fixed-Wing UAV Imaging and LiDAR-Derived Ground Control Points for Flood Estimations. **Sensors**, v. 19, n. 14, e3205, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s19143205>. Acesso em: 05 out. 2025.

GOBBI, Vanessa; MACULAN, Laércio; COSTELLA, Marcelo Fabiano; LANTELME, Elvira Maria. Barreiras a fiscalização e monitoramento de obras públicas com uso de câmeras 360°. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13., 2023. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/sibragec.v13i00.2662>. Acesso em: 22 set. 2025.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC 62446-1:2016. Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 1: Grid connected systems - Documentation, commissioning tests and inspection. Geneva: 2016. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/en/publication/24057>. Acesso em: 10 out. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS). **Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates**. [S.l.]: 2022. (Report IEA-PVPS T13-25:2022) . Disponível em: <https://iea-pvps.org/key-topics/guidelines-for-operation-and-maintenance-of-photovoltaic-power-plants-in-different-climates/>. Acesso em: 10 out. 2025.

KARDASZ, Piotr; DOSKOCZ, Jacek; HEJDUK, Mateusz; WIEJKUT, Paweł; ZARZYCKI, Hubert. Drones and Possibilities of Their Using. **Journal of Civil & Environmental Engineering**, v. 6, n. 3, e1000233, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000233>. Acesso em: 22 set. 2025.

LI, Yan; LIU, Chunlu. Applications of multirotor drone technologies in construction management. **International Journal of Construction Management**, v. 20, n. 4, p. 401-412, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452101>. Acesso em: 05 out. 2025.

LIMA, Mércia Fernandes de Souza; GRACIOSO, Rafael de Oliveira; GUIMARAES, Carla Regina Rocha; OLIVEIRA, Rosangela Aparecida Pereira de. A REVOLUÇÃO DOS DRONES NA CONSTRUÇÃO CIVIL: POTENCIALIZANDO A SEGURANÇA EM INSPEÇÕES DE OBRA. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 3, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.61164/rmm.v3i3.2204>. Acesso em: 10 set. 2025.

MIRANDA, Mariana Paula. **Inspeção e monitoramento de obra civil com drone**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário Presidente Antônio Carlos (UNIPAC), Conselheiro Lafaiete, 2020. Disponível em: <https://ri.unipac.br/repositorio/trabalhos-academicos/inspecao-e-monitoramento-de-obra-civil-com-drone/>. Acesso em: 22 set. 2025.

OLIVEIRA, Alana Benedetto. **Gestão de obras civis: acompanhamento, orçamento e execução**. 2024. Relatório de Estágio (Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024. Disponível em: <https://rii.ufam.edu.br/handle/prefix/7428>. Acesso em: 10 set. 2025.

PANIGRAHI, Sibasish; KRISHNA, Y. Siva Sai; THONDIYATH, Asokan. Design, Analysis, and Testing of a Hybrid VTOL Tilt-Rotor UAV for Increased Endurance. **Sensors**, v. 21, n. 18, e5987, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21185987>. Acesso em: 05 out. 2025.

SILVA, Paulo Roberto de Paula e. **Os benefícios proporcionados pela inspeção e monitoramento com drones em obras da construção civil**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – UNIC Faculdade Rondonópolis, Rondonópolis, 2021. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/37474/1/PAULO_ROBERTO.pdf. Acesso em: 22 set. 2025.

SOUZA, Patrícia Verônica Nunes Carvalho Sobral de; SANTOS, Alex Torres. A inserção dos drones (RPAs) na segurança pública brasileira: uma análise sob a ótica do princípio da eficiência. **EM TEMPO**, Marília, v. 18, p. 133-155, 2019. Disponível em: <https://revista.univem.edu.br/emtempo/article/view/3209>. Acesso em: 22 set. 2025.

VASCONCELOS, Ieda. **Desempenho da Construção Civil no 1º semestre de 2025 e perspectivas**. [S.l.]: CBIC, 2025. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2025/07/final-desempenho-cc-e-perspectivas-1-sem-julho-2025.pdf>. Acesso em: 10 set. 2025.

VENTURA, Magda Maria. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. **Revista da SOCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383-386, set./out. 2007. Disponível em: http://sociedades.cardiol.br/socerj/revista/2007_05/a2007_v20_n05_art10.pdf. Acesso em: 10 out. 2025.

YANG, Hyunsoo; LEE, Yongseok; JEON, Sang-Yun; LEE, Dongjun. Multi-Rotor Drone Tutorial: Systems, Mechanics, Control and State Estimation. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 88, p. 707–727, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11370-017-0224-y>. Acesso em: 05 out. 2025.