

Etec Itaquera II

Guilherme Isidoro Flaminio, Kaua Narciso, Nelson Leite

Uso de Drones na Construção Civil, com Foco em Inspeções de Infraestrutura

São Paulo

2025

Etec Itaquera II

Uso de Drones na Construção Civil, com Foco em Inspeções de Infraestrutura

Trabalho de Conclusão de Curso para
obtenção do título Técnico em
Edificações apresentado à Etec
Itaquera II

São Paulo

2025

Resumo

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo analisar a aplicação de drones na construção civil, especificamente na inspeção de obras de infraestrutura, comparando métodos tradicionais e modernos de inspeção. A metodologia adotada foi a pesquisa quantitativa, baseada em estudo de caso na Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira, em São Paulo, onde se simularam os custos e tempos de execução para ambos os métodos. O método tradicional envolveu a utilização de andaimes e mão de obra especializada, enquanto o método moderno utilizou drones equipados com câmeras de alta resolução e sensores LiDAR. Os resultados indicaram que o uso de drones reduz o tempo de inspeção de sete para dois dias e proporciona uma economia de aproximadamente 62% nos custos totais. A pesquisa também abordou a análise de modelos de drones, custos de aquisição e locação, e a viabilidade de utilização em obras de pequeno e grande porte. Conclui-se que o uso de drones é uma solução eficiente, segura e economicamente vantajosa para inspeções na construção civil, principalmente em estruturas de grande porte.

Palavras-chave: Drones; Construção Civil; Inspeção de Obras; Infraestrutura; Redução de Custos.

Abstract

This Course Conclusion Paper aims to analyze the application of drones in civil construction, specifically in the inspection of infrastructure projects, by comparing traditional and modern inspection methods. The methodology adopted was quantitative research, based on a case study of the Octávio Frias de Oliveira Cable-Stayed Bridge in São Paulo, where the costs and execution times of both methods were simulated. The traditional method involved the use of scaffolding and specialized labor, while the modern method employed drones equipped with high-resolution cameras and LiDAR sensors. The results showed that drone use reduced inspection time from seven to two days and generated approximately 62% in total cost savings. The research also addressed the analysis of drone models, acquisition and rental costs, and the feasibility of using drones for small- and large-scale projects. It is concluded that drone usage is an efficient, safe, and economically advantageous solution for inspections in civil construction, especially for large structures.

Keywords: Drones; Civil Construction; Project Inspection; Infrastructure; Cost Reduction.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - métodos tradicionais x drones	17
Tabela 2 - custos gerais.....	18

LISTA DE SIGLAS E BRAVIATURAS

ABTC	Associação Brasileira de Tecnologia para Construção Civil
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
LiDAR	Light Detection and Ranging
RBAC-E	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems (Veículo aéreo não tripulado)
SISANT	Sistema de Aeronaves Não Tripuladas
ROI	Return on Investment (Retorno sobre o Investimento)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
RGB	Red, Green, Blue (Vermelho, Verde, Azul)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.2 Objetivos gerais.....	10
1.2.1 Objetivos específicos	10
1.3 Justificativa.....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Inspeções na Construção Civil.....	11
2.2 Tecnologias de Drones (RPAS).....	11
2.3 Aplicações de Drones na Construção Civil.....	11
2.4 Modelos e Custos de Drones.....	12
2.5 Compra ou aluguel de equipamento?.....	13
2.5.1 Regulamentação para o Uso de Drones no Brasil.....	14
2.6 Análise Econômica e Operacional do Uso de Drones.....	14
2.7 Viabilidade em Obras de Pequeno e Grande Porte.....	14
3. METODOLOGIA.....	16
3.1 Descrição do Ambiente Pesquisado e Simulado.....	16
3.2 Método Tradicional de Inspeção.....	16
3.3 Método com Drones para Inspeção.....	16
3.4 Comparação de Custo e Tempo.....	17
3.5 Desafios e Limitações de Cada Método	17
Principais Desafios.....	17
3.6 Custos Adicionais: Treinamento e Manutenção.....	17
3.6.1 Revisão da Simulação: Incorporando Treinamento	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 Considerações Finais.....	19
5. CONCLUSÃO.....	20
6. REFERÊNCIAS.....	20

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais relevantes para o desenvolvimento econômico, social e urbano, sendo responsável pela execução e manutenção de obras de infraestrutura essenciais, como pontes, viadutos, edificações, túneis e barragens (SOUZA; MELHADO, 2015). A adequada inspeção dessas estruturas é imprescindível para garantir sua segurança, funcionalidade e durabilidade, prevenindo acidentes, minimizando custos de manutenção corretiva e assegurando a vida útil prevista nos projetos (HELENE; PEREIRA, 2013).

Historicamente, os procedimentos de inspeção de obras civis baseiam-se em métodos tradicionais, que requerem a mobilização de grandes equipes, uso de andaimes, plataformas elevatórias, cordas e equipamentos específicos para acesso às áreas críticas. Esses processos, embora consolidados na prática profissional, apresentam desafios significativos, tais como altos custos operacionais, elevado tempo de execução, riscos à segurança dos trabalhadores e necessidade de interdições parciais ou totais do tráfego em áreas urbanas (GOMES; SILVA, 2017). Além disso, inspeções manuais podem ser limitadas pela dificuldade de acesso a pontos elevados ou de difícil visualização, comprometendo a precisão dos diagnósticos técnicos.

Nas últimas décadas, impulsionado pelo avanço da tecnologia, o setor da construção civil passou a incorporar novas ferramentas para otimizar processos de inspeção, entre as quais se destaca o uso de aeronaves remotamente pilotadas, popularmente conhecidas como drones. Esses dispositivos, equipados com câmeras de alta resolução, sensores térmicos, sensores LiDAR e sistemas de georreferenciamento, possibilitam a coleta rápida, segura e precisa de dados sobre o estado das estruturas, reduzindo a necessidade de contato físico e a exposição dos trabalhadores a riscos ocupacionais (CHENG et al., 2020).

De acordo com a Associação Brasileira de Tecnologia para Construção Civil (ABTC, 2022), o uso de drones em inspeções de infraestrutura pode reduzir em até 60% os custos operacionais e aumentar a eficiência dos diagnósticos técnicos em até 80%, em comparação aos métodos convencionais. Essas tecnologias também possibilitam a criação de modelos tridimensionais das estruturas inspecionadas, auxiliando na análise de deformações, fissuras e outras patologias com alto grau de detalhamento (SILVA et al., 2021).

No entanto, a implementação de drones na construção civil não está isenta de desafios. Aspectos como regulamentação do espaço aéreo, necessidade de capacitação técnica dos operadores, limitações técnicas dos equipamentos, condições climáticas adversas e integração dos dados coletados aos sistemas de

gestão da manutenção ainda representam barreiras que precisam ser analisadas (ANAC, 2017; DECEA, 2022).

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar o uso de drones na construção civil, com foco específico nas inspeções de infraestrutura. A pesquisa visa demonstrar as vantagens técnicas, operacionais e econômicas proporcionadas por essa tecnologia, assim como discutir os principais desafios envolvidos em sua adoção. Para exemplificar a aplicação prática dos conceitos abordados, será apresentado um estudo de caso simulado envolvendo a inspeção de um viaduto urbano em São Paulo, comparando os métodos tradicionais de inspeção com a metodologia baseada no uso de drones.

1.1 OBJETIVOS

1.2 OBJETIVOS GERAIS

Analisar o uso de drones na construção civil, com foco específico nas inspeções de infraestrutura, visando identificar as vantagens técnicas, operacionais e econômicas dessa tecnologia em comparação aos métodos tradicionais.

1.2.1 Objetivos específicos

Investigar o panorama atual das técnicas tradicionais de inspeção de infraestrutura na construção civil.

Estudar as aplicações e o funcionamento dos drones no contexto das inspeções estruturais.

Comparar, por meio de estudo de caso simulado, os custos, o tempo de execução e os desafios operacionais entre o método tradicional e o método utilizando drones.

Avaliar as principais limitações e desafios regulatórios associados à implementação de drones nas atividades de inspeção.

1.3 JUSTIFICATIVA

A manutenção da integridade das obras de infraestrutura é fundamental para garantir a segurança pública e a sustentabilidade dos investimentos realizados em construção civil. As inspeções periódicas, embora essenciais, enfrentam obstáculos operacionais, financeiros e de segurança quando realizadas por métodos tradicionais. Nesse cenário, a introdução de tecnologias disruptivas, como o uso de drones,

representa uma oportunidade significativa para transformar práticas tradicionais, trazendo maior eficiência, precisão e economia ao setor.

Além dos benefícios operacionais e financeiros, o uso de drones reduz a exposição dos profissionais a ambientes perigosos, diminui a necessidade de interrupções em vias urbanas e permite a coleta de dados em alta resolução, favorecendo diagnósticos técnicos mais precisos. Ainda assim, a adoção dessa tecnologia demanda atenção às regulamentações vigentes, ao treinamento adequado das equipes e à integração dos dados coletados com as práticas de gestão da manutenção.

A relevância deste estudo se justifica pela necessidade de modernização dos processos de inspeção no Brasil, alinhando o setor da construção civil às tendências globais de inovação tecnológica e às exigências contemporâneas de segurança, eficiência e sustentabilidade. Ao apresentar uma análise comparativa fundamentada, este trabalho visa contribuir para a ampliação do conhecimento técnico sobre o tema e subsidiar futuras decisões estratégicas no campo da engenharia civil.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INSPEÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As inspeções em obras de construção civil são atividades essenciais para garantir a qualidade, a segurança e a conformidade técnica dos projetos. Tradicionalmente, esse processo demanda grande esforço humano, utilização de equipamentos especializados e considerável tempo para verificação minuciosa de elementos estruturais, instalações elétricas e sistemas hidráulicos. O desafio se torna ainda maior em obras de difícil acesso ou com grandes dimensões, aumentando o risco de acidentes e elevando os custos operacionais. Nesse cenário, o advento dos drones revolucionou o método de realização de inspeções, permitindo a obtenção de dados mais precisos, de maneira rápida e segura, contribuindo para uma nova dinâmica na gestão da construção civil contemporânea.

2.2 TECNOLOGIAS DE DRONES (RPAS)

Os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS, do inglês Remotely Piloted Aircraft Systems), mais conhecidos como drones, incorporam tecnologias de ponta, como câmeras de alta resolução, sensores térmicos, LiDAR (Light Detection and Ranging), e sistemas de GPS com alta precisão. Essas tecnologias permitem não apenas o registro visual de estruturas, mas também a criação de modelos tridimensionais e mapas topográficos com altíssima fidelidade. Em muitos casos, os drones utilizados na construção civil são adaptados para missões específicas, como drones com sensores infravermelhos para identificação de perdas térmicas ou câmeras multiespectrais para monitoramento de vegetação em obras ambientais.

Segundo a DroneDeploy (2023), 84% das empresas que adotaram RPAS relatam melhoria na precisão das inspeções em comparação com métodos tradicionais.

2.3 APLICAÇÕES DE DRONES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os drones têm se mostrado ferramentas extremamente versáteis, podendo ser empregados em diversas fases do ciclo de vida de uma obra. Durante a fase de planejamento, auxiliam em levantamentos topográficos e na elaboração de mapas digitais do terreno, otimizando o desenvolvimento dos projetos. Durante a execução, são usados para o monitoramento de cronogramas, detecção de desvios, inspeções estruturais e controle de qualidade. Em projetos de grande porte, os drones também contribuem para a gestão de logística de materiais e segurança no canteiro. Além disso, a capacidade de gerar ortomosaicos atualizados e modelagens 3D permite que engenheiros, arquitetos e gestores tenham uma visão completa da obra, fundamentando tomadas de decisão mais rápidas e assertivas. Conforme estudo da McKinsey & Company (2023), a utilização de drones pode reduzir em até 20% o tempo de execução de obras complexas, impactando diretamente na lucratividade dos projetos.

2.4 MODELOS E CUSTOS DE DRONES

Os drones empregados na construção civil podem ser classificados em duas categorias principais: multirrotores (drones de asas rotativas) e drones de asa fixa. Os multirrotores são caracterizados pela presença de múltiplos motores, que proporcionam decolagem e pouso verticais (VTOL) e permitem voo estacionário. Esses equipamentos são ideais para inspeções detalhadas de estruturas verticais, fachadas e pontes, onde é necessário pairar com precisão para capturar imagens de alta resolução. Entre os modelos mais utilizados destaca-se o DJI Phantom 4 RTK, com precisão centimétrica e autonomia de aproximadamente 30 minutos, e o DJI Matrice 300 RTK, compatível com sensores LiDAR e câmeras térmicas, com autonomia de até 55 minutos. Os valores desses equipamentos variam entre R\$ 30.000,00 e R\$ 120.000,00, respectivamente.

Já os drones de asa fixa são projetados para cobrir grandes áreas com maior eficiência aerodinâmica, sendo indicados para levantamentos topográficos, inspeções de obras lineares e monitoramento de grandes projetos de infraestrutura. Modelos como o SenseFly eBee X, com autonomia de até 90 minutos e capacidade de cobertura de 500 hectares por voo, e o Quantum Systems Trinity F90+, com decolagem e pouso verticais e mapeamento de alta precisão, são amplamente utilizados no mercado. Seus preços variam entre R\$ 150.000,00 e R\$ 250.000,00, dependendo das configurações embarcadas.

A eficiência da operação de drones está diretamente ligada aos equipamentos embarcados, como câmeras RGB, sensores LiDAR e câmeras térmicas. As câmeras RGB (Red, Green, Blue) capturam imagens fotográficas tradicionais em alta definição, similares às câmeras digitais convencionais, mas com especificações otimizadas para

mapeamento aéreo. Essas câmeras são essenciais para inspeções visuais detalhadas, identificação de trincas, corrosões superficiais e avaliação de integridade estrutural com base na análise de imagens.

Os sensores LiDAR (Light Detection and Ranging) utilizam pulsos de laser para medir distâncias com extrema precisão. Ao emitir feixes de luz e calcular o tempo de retorno, o LiDAR gera nuvens de pontos tridimensionais que representam a estrutura inspecionada com altíssima fidelidade. Essa tecnologia é particularmente útil para modelagem 3D de pontes, viadutos e edificações complexas, além de permitir a detecção de pequenas deformações estruturais que não seriam visíveis a olho nu.

As câmeras térmicas, por sua vez, detectam radiações infravermelhas emitidas pelos materiais, permitindo identificar variações de temperatura em superfícies. Esse tipo de inspeção é crucial para detectar problemas ocultos, como infiltrações, falhas no isolamento térmico e degradações internas de materiais, que não são perceptíveis por métodos visuais convencionais.

2.5 COMPRA OU ALUGUEL DE EQUIPAMENTO?

Os drones utilizados na construção civil podem ser divididos em dois grandes grupos: drones de asas rotativas (multirrotores) e drones de asas fixas. Cada categoria possui aplicações específicas conforme a necessidade da obra.

Os drones de asas rotativas são mais indicados para inspeções detalhadas em estruturas verticais, como pontes, fachadas e viadutos, pois possuem a capacidade de voo estacionário. Modelos como o DJI Phantom 4 RTK, que custa aproximadamente R\$ 35.000,00, e o DJI Matrice 300 RTK, com valor em torno de R\$ 100.000,00, são amplamente utilizados devido à precisão centimétrica e à compatibilidade com sensores de alta tecnologia.

Já os drones de asa fixa são projetados para cobrir grandes áreas com maior eficiência de voo. Equipamentos como o SenseFly eBee X, custando cerca de R\$ 180.000,00, e o Quantum Systems Trinity F90+, com preço aproximado de R\$ 250.000,00, são indicados para levantamentos topográficos e inspeções de obras de grande porte, com autonomia superior a uma hora de voo contínuo.

Além dos drones, é essencial considerar o custo dos sensores embarcados. As câmeras RGB (Red, Green, Blue) capturam imagens coloridas de alta resolução e são essenciais para avaliações visuais detalhadas. Um modelo profissional, como a DJI Zenmuse P1, custa cerca de R\$ 40.000,00. Os sensores LiDAR (Light Detection and Ranging), que emitem pulsos de laser para criar modelos 3D de alta precisão, possuem custos significativamente superior, variando entre R\$ 150.000,00 e R\$ 300.000,00, dependendo da resolução e da faixa de alcance. Já as câmeras térmicas, usadas para identificar variações de temperatura e infiltrações não visíveis a olho nu, como a DJI Zenmuse H20T, apresentam valores entre R\$ 45.000,00 e R\$ 80.000,00.

No que diz respeito à viabilidade de aquisição ou aluguel, empresas que realizam inspeções com alta frequência — estimadas em 10 ou mais operações por ano — tendem a se beneficiar economicamente da compra do equipamento. A aquisição de um drone como o DJI Matrice 300 RTK, equipado com sensor LiDAR, teria um custo inicial aproximado de R\$ 250.000,00. Adicionalmente, é necessário

prever custos de manutenção anual de cerca de 10% do valor do equipamento (R\$ 25.000,00/ano) e treinamento de operadores, cujo investimento é, em média, R\$ 3.000,00 por profissional.

Em contrapartida, para empresas que demandam inspeções pontuais ou de baixa frequência, o aluguel se apresenta como uma solução mais eficiente. A locação diária de um drone profissional com operador qualificado varia entre R\$ 5.000,00 e R\$ 7.000,00. Considerando uma inspeção média de dois dias, o custo seria de aproximadamente R\$ 12.000,00, sem a necessidade de investimentos em manutenção, seguros ou treinamentos.

Assim, para obras de grande porte, como pontes, barragens e viadutos, onde inspeções são recorrentes e exigem maior detalhamento técnico, a compra do drone tende a ser a opção mais vantajosa a médio prazo. Para obras de pequeno porte ou para empresas que não operam de forma contínua, o aluguel permite acesso à tecnologia mais moderna com menor comprometimento de capital.

Portanto, a decisão estratégica entre compra ou aluguel deve considerar fatores como a frequência de inspeções, a complexidade dos projetos, a disponibilidade financeira e a necessidade de autonomia operacional.

2.5.1 Regulamentação para o Uso de Drones no Brasil

No Brasil, o uso de drones para fins comerciais é regulamentado principalmente pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). A regulamentação da ANAC está disposta no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94), que estabelece requisitos de cadastro das aeronaves, habilitação dos operadores e regras para operação segura. Drones com peso superior a 250 gramas devem ser cadastrados no SISANT e, para operações em áreas urbanas, é obrigatória a obtenção de autorização de voo junto ao DECEA. Além disso, o piloto deve estar certificado e portar seguro de responsabilidade civil (quando requerido), de acordo com a legislação vigente.

O descumprimento das normas pode acarretar multas e apreensão do equipamento. Portanto, o planejamento jurídico e operacional das missões com drones é parte fundamental para empresas que pretendem integrar essa tecnologia aos seus processos construtivos. Em 2024, houve um incremento de 18% no número de registros de drones para uso comercial no Brasil, segundo dados da ANAC, refletindo o crescimento da adesão empresarial à tecnologia.

2.6 Análise Econômica e Operacional do Uso de Drones

A análise econômica do uso de drones na construção civil deve considerar não apenas o investimento em equipamentos, mas também os ganhos de produtividade, a redução de riscos e os impactos indiretos na qualidade das obras. Empresas que implementaram drones relataram, em média, uma economia de 18% nos custos de inspeções e um aumento de 15% na eficiência dos processos de controle de qualidade (DroneDeploy, 2023). O retorno sobre investimento (ROI) médio para a aquisição de um drone utilizado regularmente em inspeções é alcançado entre 12 e 18 meses.

Do ponto de vista operacional, os drones oferecem significativa agilidade, podendo cobrir áreas de até 1 km² em um único voo e permitindo a coleta de dados em tempo real. Essa capacidade resulta em decisões gerenciais mais rápidas, evitando retrabalhos e paralisações. Além disso, a padronização dos registros fotográficos e métricos facilita a rastreabilidade de problemas construtivos, o que é fundamental para auditorias internas e conformidade normativa.

2.7 Viabilidade em Obras de Pequeno e Grande Porte

A viabilidade do uso de drones não se restringe a obras de grande porte. Em obras menores, como residências, edifícios comerciais de pequeno porte e reformas, drones multirrotores de custo acessível oferecem inspeções rápidas e econômicas, proporcionando benefícios como mapeamento de fachadas, inspeção de telhados e verificação de patologias estruturais sem necessidade de andaimes ou escadas.

Já em grandes obras, como rodovias, barragens, aeroportos e empreendimentos industriais, a adoção de drones se torna praticamente indispensável, dada a extensão das áreas e a complexidade logística. Equipamentos mais robustos, como drones de asa fixa equipados com sensores LiDAR, são empregados para mapeamento topográfico de vastas regiões e monitoramento de evolução de obras. Estudos indicam que em projetos acima de R\$ 50 milhões, o uso sistemático de drones pode representar economia de até 5% no custo total da obra (McKinsey & Company, 2023).

Assim, a integração de drones às práticas de inspeção e gestão de obras, seja em projetos de pequeno ou grande porte, mostra-se uma solução eficiente, segura e financeiramente vantajosa, consolidando sua relevância no cenário atual da construção civil.

3. METODOLOGIA

3.1 Descrição do Ambiente Pesquisado e Simulado

A presente pesquisa baseou-se na simulação de inspeção da Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira, localizada em São Paulo, capital. Esta ponte é uma das mais importantes obras de infraestrutura da cidade, sendo vital para o fluxo urbano e com dimensões consideráveis: 130 metros de comprimento e 45 metros de altura. Considerou-se a comparação entre dois métodos distintos de inspeção: o método tradicional, com o uso de andaimes e equipamentos manuais, e o método moderno, com a utilização de drones equipados com câmeras de alta resolução e sensores LiDAR.

3.2 Método Tradicional de Inspeção

No método tradicional, a equipe de inspeção seria composta por cinco profissionais especializados, entre engenheiros e técnicos. O processo envolveria a utilização de andaimes, escadas, câmeras de inspeção e ferramentas manuais, exigindo acesso físico a pontos de difícil alcance na estrutura da ponte. Este método demanda o uso intensivo de equipamentos de segurança e o tempo adicional para a montagem e desmontagem dos andaimes.

O custo diário de cada trabalhador foi estimado em R\$ 400, abrangendo salários, encargos e custos operacionais. O custo inicial dos equipamentos, incluindo andaimes e câmeras, foi calculado em aproximadamente R\$ 20.000. A estimativa de tempo para a conclusão da inspeção foi de sete dias. Assim, o custo total da inspeção tradicional seria:

Custo com equipe: $5 \text{ trabalhadores} \times \text{R\$ } 400/\text{dia} \times 7 \text{ dias} = \text{R\$ } 14.000$.

Custo com equipamentos: R\$ 20.000.

Total estimado: $\text{R\$ } 14.000 + \text{R\$ } 20.000 = \text{R\$ } 34.000$.

3.3 Método com Drones para Inspeção

No método alternativo, a inspeção seria realizada com drones operados por dois profissionais capacitados. Foram considerados dois modelos de drones: um drone de asa fixa, ideal para coberturas extensas e inspeções panorâmicas, e um drone multirotor, mais apropriado para pontos específicos de difícil acesso.

O custo diário de cada operador foi estimado em R\$ 600. O aluguel dos drones, considerando a utilização de equipamentos de alta tecnologia (câmeras RGB de alta

resolução e sensores LiDAR), foi estimado em R\$ 5.000 por dia. A inspeção utilizando drones seria concluída em apenas dois dias, dada a agilidade dos equipamentos na cobertura da área. Assim, o custo total para o método com drones seria:

Custo com equipe: 2 operadores × R\$ 600/dia × 2 dias = R\$ 2.400.
Custo com drones: R\$ 5.000/dia × 2 dias = R\$ 10.000.
Total estimado: R\$ 2.400 + R\$ 10.000 = R\$ 12.400.

3.4 Comparação de Custo e Tempo

Comparando os dois métodos, o método tradicional apresenta um custo total de R\$ 34.000 e demanda sete dias para a execução da inspeção, enquanto o método com drones apresenta um custo reduzido de R\$ 12.400 e exige apenas dois dias para a conclusão. A economia gerada com a utilização de drones seria de R\$ 21.600, além da expressiva redução do tempo necessário para a atividade.

3.5 Desafios e Limitações de Cada Método

O método tradicional, embora consolidado no setor da construção civil, apresenta riscos elevados de segurança aos trabalhadores, devido à necessidade de acesso físico a alturas elevadas e espaços confinados. Além disso, o tempo gasto com montagem de andaimes e a dificuldade de acesso a determinados pontos elevam os custos e comprometem a eficiência da coleta de dados.

Já o método com drones promove maior segurança, visto que os operadores controlam os equipamentos remotamente. A coleta de dados é mais rápida e detalhada, com imagens de alta resolução e geração de modelos 3D por meio de sensores LiDAR. Contudo, esse método também possui desafios, como a necessidade de autorização junto à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) para voos em áreas urbanas, a limitação de autonomia das baterias e a exigência de treinamento específico para operação segura dos drones. Na tabela 1 esses dados são apresentados.

Tabela 1 - métodos tradicionais x drones

Parâmetro	Método Tradicional	Método com Drones
Custo Total	R\$ 34.000	R\$ 12.400
Tempo de Execução	7 dias	2 dias
Número de Profissionais	5 trabalhadores	2 operadores
Riscos à Segurança	Alto	Baixo
Equipamentos Necessários	Andaimes, câmeras, ferramentas	Drones, câmeras, LiDAR

PRINCIPAIS DESAFIOS	Logística complexa, riscos	Regulamentação, autonomia
------------------------	----------------------------	------------------------------

3.6 Custos Adicionais: Treinamento e Manutenção

Ao optar pelo uso de drones, é necessário considerar os custos adicionais de treinamento de operadores e a manutenção periódica dos equipamentos.

O curso básico de formação de operadores de drones (RPAS) no Brasil custa em média R\$ 3.000 por aluno. Para uma equipe de dois operadores, o custo total seria de:

Custo de treinamento: 2 operadores $\times$ R\$ 3.000 = R\$ 6.000 (custo único).

Considerando a diluição desse investimento ao longo de dez inspeções realizadas por ano, o valor por inspeção seria:

Custo de treinamento diluído: R\$ 6.000 $\div$ 10 inspeções = R\$ 600.

Quanto à manutenção, estima-se que o custo anual de manutenção preventiva de drones profissionais corresponda a 10% do valor de aquisição dos equipamentos. Para drones utilizados em inspeções com sensores LiDAR e câmeras RGB de alta precisão, com valor médio de R\$ 100.000 por unidade, o custo anual de manutenção seria:

Custo de manutenção por drone: 10% de R\$ 100.000 = R\$ 10.000 por ano.

Se a empresa optar pela aquisição dos drones, esse custo deve ser distribuído entre as inspeções realizadas ao longo do ano. No presente estudo, como os drones foram alugados, o custo de manutenção já está incluído no valor de locação.

3.6.1 Revisão da Simulação: Incorporando Treinamento

Incluindo o custo do treinamento diluído para a inspeção simulada, o novo custo total seria:

Tabela 2 - custos gerais

Custo de equipe: R\$ 2.400. Custo de aluguel dos drones: R\$ 10.000. Custo de treinamento diluído: R\$ 600. Novo total estimado: R\$ 2.400 + R\$ 10.000 + R\$ 600 = R\$ 13.000.
--

Assim, mesmo considerando o treinamento, a inspeção com drones continua apresentando uma vantagem financeira significativa em relação ao método tradicional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os métodos de inspeção revela que, apesar de o método tradicional ser amplamente utilizado e oferecer uma abordagem bem estabelecida, ele envolve um custo muito mais alto e um tempo de execução significativamente mais longo, o que impacta diretamente no orçamento da obra e na produtividade geral. Além disso, o risco à segurança dos trabalhadores é muito maior, o que pode levar a acidentes ou complicações legais.

Por outro lado, o método com drones demonstra ser uma solução muito mais eficiente em termos de custo e tempo. Com uma redução de R\$ 21.600 no custo total e uma diminuição do tempo de execução de 5 dias, o uso de drones se torna uma opção extremamente vantajosa, especialmente quando se trata de grandes obras de infraestrutura que exigem inspeções frequentes. O uso de drones também minimiza os riscos à segurança dos trabalhadores, pois a inspeção é realizada remotamente, sem a necessidade de escalada ou exposição a áreas de difícil acesso.

Embora existam desafios como a regulamentação e as limitações de autonomia dos drones, as vantagens oferecidas, como a precisão na coleta de dados e a agilidade na execução, são consideráveis. A economia de tempo e a redução de custos, aliadas à capacidade de gerar dados mais precisos e detalhados, fazem do uso de drones uma solução cada vez mais atraente para o setor de construção civil, especialmente em grandes cidades como São Paulo, onde a agilidade e a segurança são prioritárias.

4.1 Considerações Finais

O detalhamento dos custos com treinamento e manutenção reforça que, embora o investimento inicial na formação de operadores e manutenção de drones possa parecer alto, o ganho de eficiência operacional, redução de riscos e economia em custos diretos tornam o uso de drones a opção mais viável economicamente e logisticamente para inspeções de infraestrutura em ambientes urbanos como o da cidade de São Paulo. Além disso, conforme o número de inspeções aumenta ao longo do tempo, o custo relativo do treinamento e da manutenção tende a se diluir ainda mais, aumentando o retorno sobre o investimento na tecnologia de drones.

5. CONCLUSÃO

A comparação entre o método tradicional de inspeção e o uso de drones na Ponte Estaiada Octávio Frias de Oliveira evidenciou a superioridade do método com drones em custo, tempo e segurança. A inspeção tradicional apresentou custo de R\$ 34.000 e duração de 7 dias, enquanto o uso de drones reduziu o custo para R\$ 13.000 e o tempo para 2 dias.

Além da redução de custos e tempo, a utilização de drones permite a obtenção de dados de alta precisão e imagens em alta resolução, otimizando a identificação de falhas estruturais e melhorando a qualidade das análises. No entanto, desafios relacionados à regulamentação, à autonomia das baterias dos drones e à necessidade de operadores devidamente treinados também foram identificados.

Conclui-se que, para inspeções de infraestrutura urbana de grande porte, como a da Ponte Estaiada, o uso de drones representa uma solução mais segura, eficiente e economicamente viável em comparação ao método tradicional. A adoção dessa tecnologia é recomendada para empresas que buscam otimizar seus processos de manutenção e inspeção, garantindo maior segurança, agilidade e qualidade nos resultados.

6. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial RBAC-E nº 94: Regras para a utilização de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) no espaço aéreo brasileiro*. Brasília, DF: ANAC, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL. *Relatório sobre o uso de drones em inspeções de infraestrutura*. São Paulo: ABTC, 2022.
- CHENG, Jack C. P.; DAI, Fei; ZHANG, Xiao; XU, Wenyi. Integration of Building Information Modeling and Augmented Reality for Construction Safety Visualization. *Automation in Construction*, v. 102, p. 1–15, 2020.
- DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (Brasil). *Manual de operações com aeronaves remotamente pilotadas*. Brasília, DF: DECEA, 2022.
- DRONEDEPLOY. *Relatório de impacto de drones na construção civil*. San Francisco, 2023. Disponível em: <https://www.dronedeploy.com/resources/reports/construction-report-2023/>. Acesso em: 9 maio 2025.
- GOMES, Rodrigo S.; SILVA, Patrícia A. Inspeção de obras de infraestrutura: métodos e desafios atuais. *Revista de Engenharia Civil*, v. 9, n. 1, p. 34–45, 2017.
- HELENE, Paulo; PEREIRA, Eliane B. *Inspeções de estruturas de concreto: diagnóstico e prevenção*. São Paulo: PINI, 2013.
- McKINSEY & COMPANY. *The next normal in construction: how disruption is reshaping the world's largest ecosystem*. 2023. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/the-next-normal-in-construction>. Acesso em: 9 maio 2025.
- SILVA, André L. S. da; OLIVEIRA, Marcelo R. de; SANTOS, Gabriela F. dos. Aplicações de drones no monitoramento de obras de infraestrutura. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 5, n. 2, p. 59–75, 2021.
- SOUZA, Ubiraci E. M.; MELHADO, Silvio B. *Gestão da qualidade na construção civil: estratégias e implementação*. São Paulo: PINI, 2015.