



## A UTILIZAÇÃO DE DRONES NA INSPEÇÃO DE FACHADAS: INTEGRAÇÃO ENTRE PLATAFORMAS AÉREAS, SENSORES E PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

THE USE OF DRONES IN FAÇADE INSPECTION: INTEGRATION BETWEEN AERIAL PLATFORMS, SENSORS, AND PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING

EL USO DE DRONES EN LA INSPECCIÓN DE FACHADAS: INTEGRACIÓN ENTRE PLATAFORMAS AÉREAS, SENSORES Y PROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

 <https://doi.org/10.56238/levv17n56-052>

**Data de submissão:** 20/12/2025

**Data de publicação:** 20/01/2026

**Leticia Col Debella Santos**

Doutora em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

E-mail: lbcdebella@uepg.br

**Pâmela Vanessa Scortegagna**

Mestre em Agronomia

Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

E-mail: pams cortegagna@gmail.com

**Elizane Langaro**

Mestre em Envelhecimento Humano

Instituição: Universidade de Passo Fundo

E-mail: pams cortegagna@gmail.com

### RESUMO

A fachada da edificação é um sistema importante para garantir a vida útil do edifício e o seu desempenho em uso. Por ser uma das regiões que mais sofrem ataques do meio externo, ela deve ser dimensionada corretamente e mantida sob manutenção periódica evitando assim o aparecimento das manifestações patológicas. Com isso, a inspeção se torna um requisito primordial na garantia da integridade e segurança das fachadas. Existem atualmente no ramo da construção civil, diversos meios de se fazer uma inspeção confiável de fachadas de edifícios. Porém, uma limitação em comum desses meios é quando o edifício possui uma geometria complexa, e se encontra em lugar de difícil acesso. Para evitar que trabalhadores usem equipamentos de escalada, a utilização de Drones, aliados a câmeras de alta resolução, é uma alternativa eficiente para o controle da degradação de fachadas. Sendo assim, o presente trabalho tem como propósito uma revisão bibliográfica a respeito das características e peculiaridades dos Drones, sua utilização na inspeção de fachadas de edifícios, e também a respeito do processamento de imagens.

**Palavras-chave:** Inspeção de Fachadas. Manifestações Patológicas. Veículos Aéreos não Tripulados (Drones). Processamento de Imagens.



## ABSTRACT

The building's facade is a crucial system for ensuring the building's lifespan and performance in use. As one of the areas most affected by external factors, it must be correctly dimensioned and regularly maintained to prevent the appearance of structural problems. Therefore, inspection becomes a primary requirement for guaranteeing the integrity and safety of facades. Currently, the construction industry offers various methods for reliably inspecting building facades. However, a common limitation of these methods is when the building has a complex geometry and is located in a difficult-to-access area. To avoid workers using climbing equipment, the use of drones, coupled with high-resolution cameras, is an efficient alternative for controlling facade degradation. Thus, this work aims to provide a literature review on the characteristics and peculiarities of drones, their use in inspecting building facades, and image processing.

**Keywords:** Front Inspection. Pathological Manifestations. Unmanned Aerial Vehicles (Uavs). Image Processing.

## RESUMEN

La fachada de un edificio es un sistema crucial para garantizar su vida útil y rendimiento durante su uso. Al ser una de las áreas más afectadas por factores externos, debe dimensionarse correctamente y recibir mantenimiento regular para prevenir la aparición de problemas estructurales. Por lo tanto, la inspección se convierte en un requisito fundamental para garantizar la integridad y seguridad de las fachadas. Actualmente, el sector de la construcción ofrece diversos métodos para inspeccionar fachadas de edificios de forma fiable. Sin embargo, una limitación común de estos métodos reside en la geometría compleja del edificio y su ubicación en una zona de difícil acceso. Para evitar que los trabajadores utilicen equipos de escalada, el uso de drones, junto con cámaras de alta resolución, es una alternativa eficaz para controlar la degradación de la fachada. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo proporcionar una revisión bibliográfica sobre las características y peculiaridades de los drones, su uso en la inspección de fachadas de edificios y el procesamiento de imágenes.

**Palabras clave:** Inspección Frontal. Manifestaciones Patológicas. Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV). Procesamiento de Imágenes.



## 1 INTRODUÇÃO

Os edifícios necessitam de inspeções periódicas para a análise do desempenho de seus componentes, segurança da estrutura e dos usuários, levantamento e monitoramento de manifestações patológicas e programação de manutenção. Cidades como Porto Alegre e São Paulo, já possuem leis que determinam que edificações de uso coletivo de grande porte devem passar por inspeções técnicas em períodos pré-determinados.

A maioria dos componentes de um edifício é de fácil acesso e podem ser inspecionados visualmente sem dificuldades, porém a inspeção das fachadas apresenta uma série de dificuldades durante a inspeção das mesmas. O trabalho de inspeção utilizando equipamentos de escalada apresenta riscos, elevado custo e tempo de execução bastante alto. A inspeção de fachadas com observador no nível do solo empregando binóculos produz resultados menos precisos devido ao modo e posição de observação e a impossibilidade de levantamento de detalhes.

Ambas as técnicas citadas também apresentam grande dificuldade na elaboração de um mapa de localização das manifestações patológicas, visto que a inspeção é sempre efetuada em pequenas áreas.

Recentemente com a inclusão do uso de recursos da tecnologia da informação e em especial atenção na modelagem em 3D para simulações e gerenciamento de construções, apresentam-se recursos técnicos de hardware e software importantes para facilitar a obtenção desses modelos. O uso de equipamentos aéreos sofisticados de pequeno porte e controlados remotamente combinados com câmeras de alta resolução, passam a proporcionar alternativa técnica e economicamente viável para a obtenção das imagens em vários ângulos necessárias para a formação dos modelos digitais das construções.

Um Veículo Aéreo Não Tripulado ou Veículo Aéreo Remotamente Pilotado, também chamado UAV (Unmanned Aerial Vehicles) e mais conhecido como drone, é todo e qualquer tipo de aeronave que não necessita de pilotos embarcados para ser guiado. A escolha dos Drones é devida a fatores como, tamanho, peso, custo, fácil manutenção e principalmente a manobrabilidade. Os fatores desfavoráveis são a instabilidade e a autonomia de voo.

Então, o controle manual dos Drones passa a ser um problema fundamental na obtenção das imagens, pois a instabilidade do posicionamento assim como a imprecisão dos ângulos de visão passam a ser uma deficiência crítica.

Sendo assim, a aquisição automatizada de fotos aéreas pode ser uma solução. A qualidade na elaboração dos modelos em 3D depende fundamentalmente da estabilização e precisão das imagens o que por sua vez, estão diretamente relacionadas com a qualidade do controle de voo e pelos dispositivos eletrônicos incorporados.

Este trabalho fundamenta-se no fato de que a utilização de Drones para o monitoramento de



fachadas de estruturas é uma técnica rápida e de baixo custo. Os Drones são capazes de tirar uma quantidade considerável de fotografias de forma totalmente automatizada. O desafio porém, é comparar esse conjunto de imagens desordenadas com o auxílio de uma unidade de processamento gráfico, a fim de se obter uma imagem tridimensional e suficientemente realista da estrutura em questão, podendo assim elaborar-se um levantamento e mapeamento das manifestações patológicas existentes nas fachadas.

## 2 DRONES OU VANTS

A utilização de Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs) tem se mostrado uma excelente alternativa, já que dispõe de uma flexibilidade maior e um custo baixo comparado às soluções tradicionais. Para o meio tecnológico e bélico, Drones são aeronaves não tripuladas que utilizam de tecnologia bélica como mísseis, radares, câmeras ou sensores térmicos. Já o termo VANT's, sigla para Veículos Aéreos Não Tripulados, tem sido mais usado quando se refere ao uso não bélico, os quais envolvem o desenvolvimento da eletrônica e da engenharia de automação.

O primeiro VANT foi criado durante a Primeira Grande Guerra em 1917 e a sua utilização vem se mostrando uma ferramenta extremamente eficiente para diversas finalidades como o desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento, captação de imagens, processamento de informações e sistemas eletrônicos de estabilidade. Andrade et. al, lista suas aplicações mais usuais: monitoramento de áreas de risco, áreas de queimada, eventos de grande porte, auxílio na piscicultura, readaptação de espécies selvagens, antecipação de ataques em campos de batalha e execução de ataques a alvos pré-determinados.

De acordo com seu envelope de operação os VANTs apresentam-se desde o tamanho de uma bola de tênis até o tamanho de um jato executivo de cerca de 20m.

O mercado de VANT's tanto no usuário civil como o militar vem crescendo principalmente pela queda nos custos destes equipamentos. A atual acessibilidade por parte das empresas e profissionais que necessitam de mapeamento de pequenas áreas, aplicado ao monitoramento de obras de engenharia, estudos ambientais e cálculo de volumes, vem crescendo a cada dia, entretanto esses sistemas ainda apresentam algumas deficiências, seja pela dificuldade de garantir a sobreposição requerida pelo processamento aerofotogramétrico, ocasionada pela instabilidade da plataforma aérea de aquisição, ou pela falta de exatidão na determinação dos parâmetros de posição (Coordenadas) e orientação das imagens (ALMEIDA, 2014).

Há uma indefinição sobre as regulamentações de uso, procedimentos de segurança de vôo e autorizações para a realização dos mapeamentos, principalmente em áreas urbanas. A aerofotogrametria empregando o VANT na aquisição de imagens é adequado para projetos de engenharia que fazem a utilização de informações atualizadas destas imagens. Os VANTs podem ser



controlados de duas formas: alguns a partir de um local remoto, e outros que voam de forma autônoma com base de voo pré-programados usando sistemas de automação dinâmica.

A legislação brasileira acompanha as normas internacionais, portanto, VANT é considerado aeronave e por isso, está sujeito à legislação aeronáutica. Portanto nenhum VANT civil pode operar no Brasil sem alguma autorização da ANAC e de outros órgãos como DECEA, ANATEL, e, em alguns casos, do Ministério da Defesa ou Comando da Aeronáutica (ALMEIDA, 2014).

Para fazer a escolha adequada da aeronave a ser usada, é necessário avaliar o tipo de aplicação que esse aparelho irá exercer, uma vez que diferentes aplicações requerem diferentes tipos de equipamentos. Os aparelhos mais comumente usados para aquisição de fotos aéreas são: satélites, aviões comerciais, VANT asa fixa e VANT asa rotativa (multirotors). A utilização de multirotoreis vem aumentando nos últimos anos, principalmente pela possibilidade da aeronave ficar estável sobre o ponto específico onde a foto irá ser tirada. Isso proporciona ao multirotor precisão de imagem dificilmente obtível por outros métodos (CASEMIRO, 2014).

Para Pegoraro, et. al, a utilização de VANTS's para obtenção de dados é uma metodologia que pode dar respostas rápidas na busca de dados espaciais e atualizações temáticas para se obter imagens de pequeno formato, em escala grande, com resolução temporal na escala dos minutos.

Após o trabalho realizado com o VANT md4-1000, Pegoraro et. Al conclui que a operação do sistema é simples e que os custos de manutenção e operação se reduzem a cargas de baterias. O sistema de segurança é eficaz e a montagem e desmontagem é muito prática. Decola e pousa em espaços reduzidos a pouco mais do seu tamanho e possui estabilidade de voo por sensores inerciais e GPS, altura constante, registros das informações de toda a rota de voo, facilidade de programação de planejamentos de voo, manobralidade e os parâmetros para restituição fotográfica.

Bulgakov, Alexey Evgenov e Weller (2015) elaboraram um trabalho para criar uma plataforma de automação para fotogrametria aérea para aquisição de imagens e gerar então modelos tridimensionais digitais. O sucesso da criação de uma plataforma de hardware que crie condições de estabilidade de voo deve atuar em tempo real às ações externas assim como eliminar aquelas devido à atuação do operador.

Neste trabalho, foram considerados os movimentos de rotação nos três eixos fixos ao centro de gravidade do equipamento assim como os movimentos de ascensão e abaixamento provocados pelas alterações do movimento das hélices e pela variação de velocidade e direção dos ventos naturais. O processo de criação de modelos 3D pode ser resumido nos seguintes passos:

- a) Definição de um mapa preliminar do local;
- b) Definição dos pontos com características únicas;
- c) Determinação dos pontos correspondentes;
- d) Combinação das imagens subsequentes;

- e) Especificação das coordenadas de imagem;
- f) Criação do modelo 3D.

## 2.1 PRINCÍPIOS DE MOVIMENTAÇÃO DO “QUADRI-ROTOR”

A figura 1 apresenta a imagem de um quadri-rotor, para melhor compreensão do assunto.

Figura 1: quadri-rotor

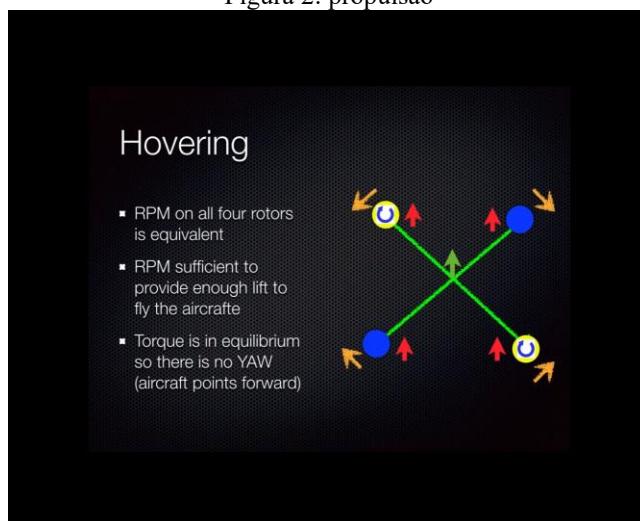


Fonte: Modelisme, 2014

### 2.1.1 Propulsão

A propulsão usa o princípio da asa móvel que está associada às hélices do quadri-motor. O fluxo diferenciado nas duas faces da hélice provoca diferença de pressão e consequentemente uma força perpendicular ao movimento de rotação, além da força gerada pelo fluxo de ar. Nos quadri-motores, as hélices giram em sentidos alternados horário e anti-horário, sendo duas num sentido e duas em outro sentido. Essa configuração tem o objetivo de não gerar movimento de rotação no próprio eixo. A figura 2 representa esses movimentos.

Figura 2: propulsão

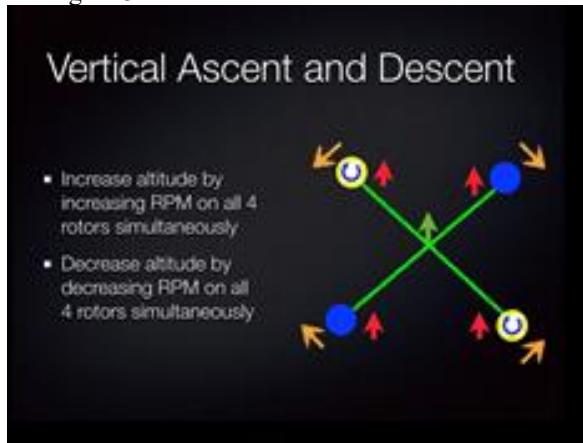


Fonte: Santoro, 2014

## 2.1.2 Movimento ascendente e descendente

É provocado pelo aumento ou redução da rotação dos motores de forma simétrica. A figura 3 mostra esses movimentos.

Figura 3: movimento ascendente e descendente

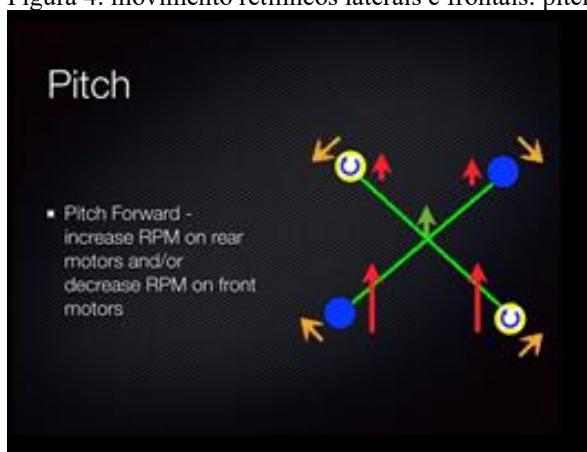


Fonte: Santoro, 2014

## 2.1.3 Movimentos retilíneos laterais e frontais

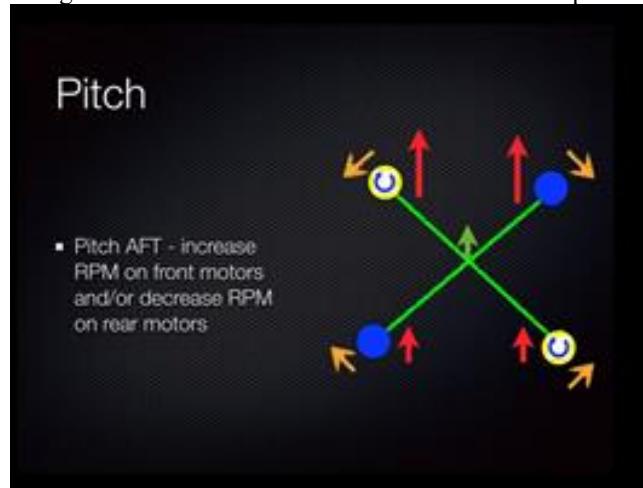
São feitos pela mudança do ângulo de nivelamento do aparelho, ou seja, quando há mudança do nívelamento horizontal, o fluxo de ar apresenta duas componentes, uma vertical para manter o aparelho na mesma altitude, e o horizontal que proporciona o movimento nas direções laterais ou para frente e para trás. As figuras 4, 5 e 6 mostram esses movimentos.

Figura 4: movimento retilíneos laterais e frontais: pitch



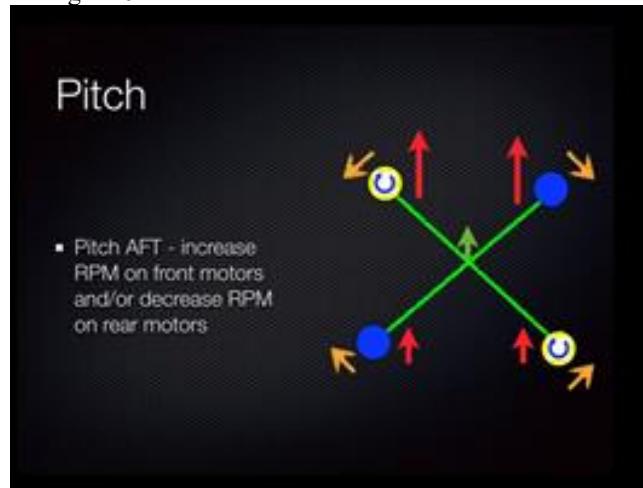
Fonte: Santoro, 2014

Figura 5: movimento retilíneos laterais e frontais: pitch



Fonte: Santoro, 2014

Figura 6: movimento retilíneos laterais e frontais: roll

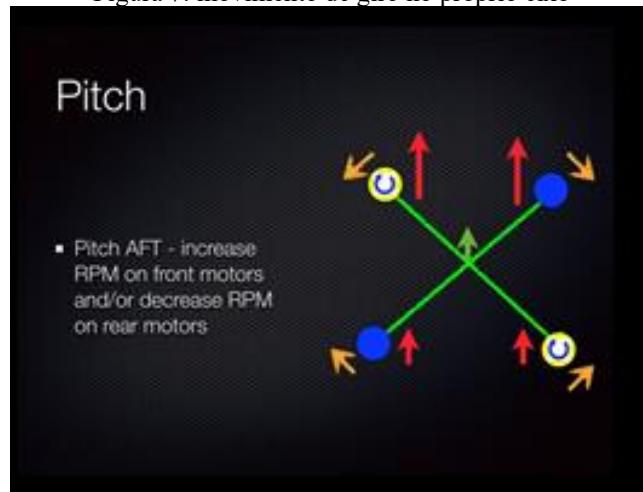


Fonte: Santoro, 2014

#### 2.1.4 Giro no próprio eixo

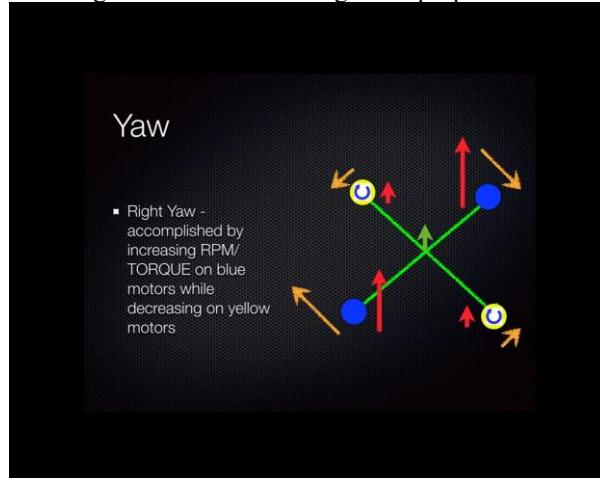
Pode ser feito pela redução da velocidade de rotação de um par de hélices que giram no mesmo sentido e compensando com o aumento simultâneo do giro do outro par para que o aparelho não mude de altitude. As figuras 7 e 8 mostram esses movimentos.

Figura 7: movimento de giro no próprio eixo



Fonte: Santoro, 2014

Figura 8: movimento de giro no próprio eixo



Fonte: Santoro, 2014

## 2.2 SENsoRES DE POSIÇÃO ESPACIAL

### 2.2.1 Acelerômetros

São dispositivos eletrônicos que podem identificar a mudança de estado de movimento nos três eixos (X;Y e Z), ou seja, detectam mudança na direção dos movimentos como: para frente ou para trás, para direita e esquerda ou para cima e para baixo.

### 2.2.2 Giroscópios

São dispositivos eletrônicos que identificam os sentidos de rotação nos três eixos que passam pelo centro de gravidade do aparelho. Ou seja, a inclinação do aparelho para as laterais, esquerda ou direita, inclinação para frente ou para trás, e giro horário ou anti-horário no próprio eixo vertical.

### 2.2.3 Magnetômetros

São dispositivos eletrônicos que identificam o sentido do campo magnético da terra, para determinar a direção norte/sul magnética.

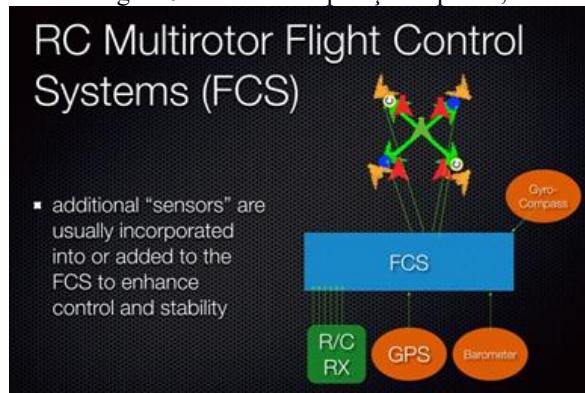
## 2.2.4 Barômetros

São dispositivos eletrônicos que identificam mudança de altitude com precisão de até +5 cm utilizando as diferenças de pressão atmosférica do local.

## 2.2.5 GPS

São aparelhos eletrônicos que determinam a posição geográfica do equipamento dando as coordenadas de Latitude, Longitude e Altitude com precisão da ordem de +- 1 metro.

Figura 9: sensores de posição espacial,



Fonte: Santoro, 2014

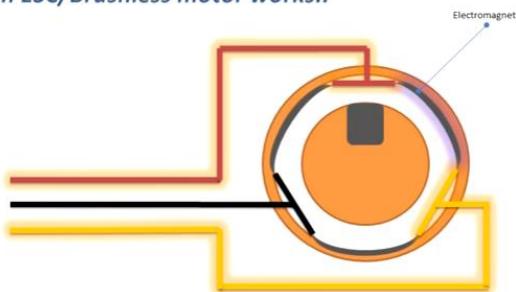
## 2.3 ATUADORES DE CONTROLE DE VELOCIDADE DOS ROTORES

### 2.3.1 ESC - Electronic Speed Control

São dispositivos eletrônicos que alteram a velocidade de giro dos motores elétricos através da mudança das tensões elétricas nas fases que alimentam os motores trifásicos dos drones. Cada motor possui um ESC dedicado e independente que recebe o sinal da “Controladora”. A figura 10 mostra como o ESC funciona.

Figura 10: como o ESC funciona

*How an ESC/Brushless motor works..*



Fonte: Santoro, 2014

## 2.4 SISTEMA DE CONTROLE DE VOO DO MULTIROTOR – “RC MULTIROTOR FLIGHT CONTROL SYSTEM-FCS”

A precisão dos parâmetros de voo depende da estabilidade das informações geradas pelos sensores e dispositivos eletrônicos instalados e que trabalham sob os princípios de inércia de movimento. Os dispositivos eletrônicos precisam ser constantemente calibrados e suas informações devem ser confirmadas por sensores de diferentes referenciais.

Como exemplo, pode-se citar a ação do acelerômetro, que tem como função, identificar a direção do eixo vertical, na direção do centro terrestre, combinada com as informações do giroscópio que mede a mudança de inclinação do aparelho. As duas informações devem convergir para um único valor.

No movimento direcional podem ser associadas a informação do magnetômetro que indica a direção do movimento em relação ao campo magnético norte/sul terrestre com a informação do GPS que indica a posição inicial e final do movimento pelas coordenadas geográficas.

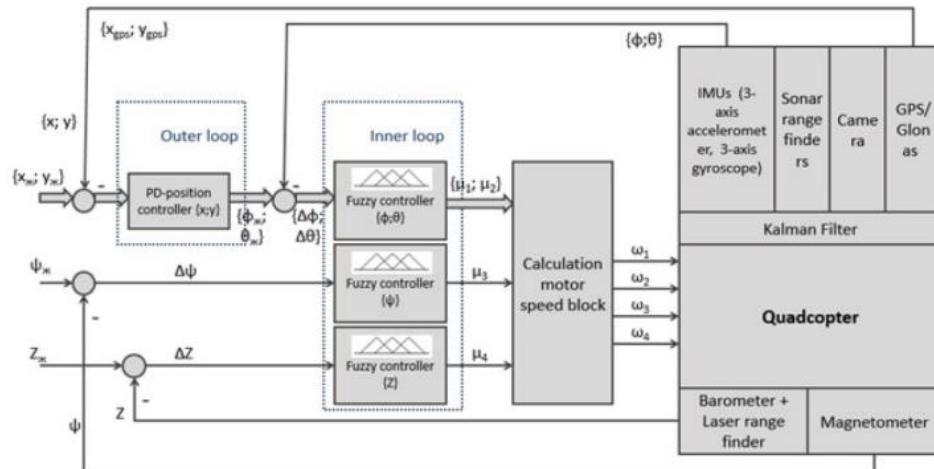
Porém em função de ruídos eletrônicos, alguns modelos matemáticos são necessários para filtrar os sinais e definir os parâmetros mais precisos com base em todas as informações recebidas dos sensores.

A equação diferencial que descreve o movimento do multirotor no espaço possui seis graus de liberdade, sendo relativas aos três eixos espaciais e mais três eixos de rotação.

Além dos erros de imprecisão dos sensores, existem as interferências como as causadas por mudanças na direção e velocidade do vento no ambiente.

O trabalho apresenta uma forma de controle da estabilidade do Multirotor utilizando a lógica difusa. A figura 11 mostra como é a estrutura do modelo de controle usando a lógica difusa.

Figura 11: Estrutura do modelo de controle usando a Lógica Difusa.



Fonte: Bulgakov et al, 2015.

O algoritmo usando a lógica difusa foi aplicada em testes em campo e obteve sucesso de

estabilidade de posição com ventos de até 10 m/s ou 36 km/h.

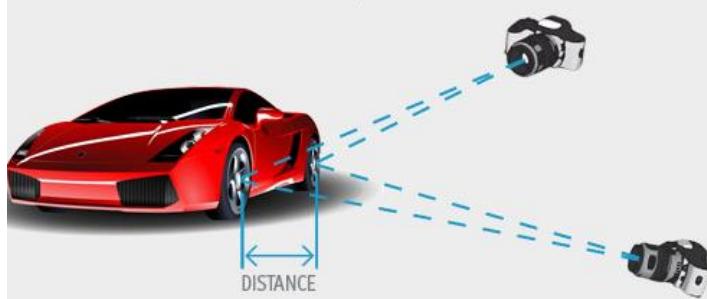
### 3 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

A técnica parte da leitura de várias fotografias, onde pode-se calcular a posição de um ponto no espaço 3D por geometria simples. O software é capaz de saber onde o ponto é fotografado em cada foto, os parâmetros da câmera (distância focal, distorção da lente, etc.) de calibração da câmera, e as posições relativas e ângulos da câmera quando as fotos foram capturadas. Segundo Guarnieri et al. (2012), quando se tem os locais correspondentes de múltiplos pontos em duas ou mais fotos, geralmente há apenas uma solução matemática para onde as fotos foram tiradas.

Encontrar a posição correta e ângulos da câmera envolve primeiro uma fase de aproximação grosseira, que deve então ser refinado para alcançar maior precisão. Isso é tratado por um algoritmo de chave na fotogrametria chamado 'Bundle Adjustment' (ajuste de feixe), que tira proveito do poder de processamento massivo de computadores modernos para ajustar a solução até que o feixe de raios de luz entre todos os pontos e posições de câmera seja o ideal.

Para obter a medição absoluta em unidades reais uma última coisa é necessária: uma escala de referência. Este problema é facilmente resolvido através da medição de uma ou mais escalas (régua, fita métrica, outro dispositivo de referência) e acrescentado ao projeto fotogramétrico. A figura 12 apresenta a ideia de adotar um ponto de referência no objeto, como escala para o processamento de dados.

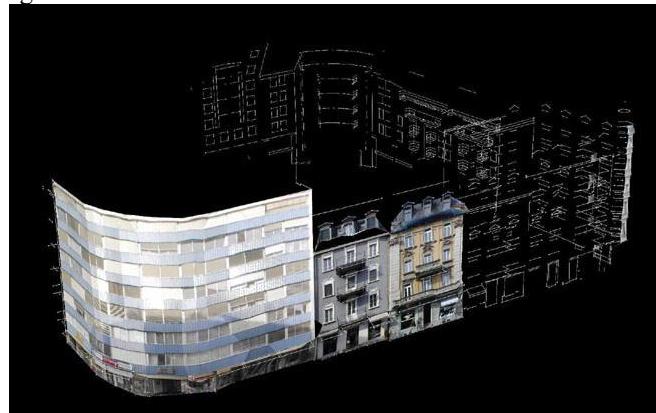
Figura 12: adoção de uma distância de referência para o processamento de imagens.



Fonte: PhotoModeler

O centro histórico da cidade de Lucerne, na Suíça, foi mapeado digitalmente com a ajuda de drones, para que um site relacionado a turismo oferecesse um acesso mais realista aos futuros visitantes. Foram 50 edifícios mapeados, com cerca de 500 fotografias tiradas e posteriormente processadas. A figura 13 mostra o modelo 3D do local sendo processado.

Figura 13: modelo 3D do centro histórico da cidade de Lucerne



Fonte: PhotoModeler

### 3.1 O GOOGLE STREET VIEW

Google Street View é um recurso do Google Maps e do Google Earth que disponibiliza vistas panorâmicas de 360° na horizontal e 290° na vertical e permite que os usuários vejam partes de algumas regiões do mundo ao nível do chão /solo. O Google Street View mostra fotos tiradas por uma frota de veículos do modelo Chevrolet Cobalt nos Estados Unidos, Opel Astra na Europa e Austrália, Toyota Prius no Japão e Fiat Stilo / Chevrolet Captiva no Brasil. Em áreas de pedestres, ruas estreitas e outros lugares que não podem ser acessados / acedidos por carros são usadas as Google Bikes. Segundo o site da empresa, estudos recentes estão sendo desenvolvidos para que mapeamentos de lugares históricos sejam feitos com drones.

Os carros da Google estão equipados com 9 câmeras direcionais, scanners que são responsáveis por medir a profundidade e a tridimensionalidade do terreno a até 30 metros de distância, e sensores GPS que marcam o posicionamento das fotos, o trajeto dos carros, e encaminham para um computador de bordo.

O algoritmo da Google faz automaticamente a combinação das fotos tiradas, com a localização exata, graças ao GPS. As câmeras tiram fotos levemente sobrepostas, e o algoritmo da empresa “costura” em uma única imagem de 360 graus. A rapidez com que os scanners refletem nas superfícies permite a leitura da distância das construções ao carro. Por fim, o algoritmo varre o modelo criado, buscando rostos, informações privadas e placas, a fim de modificar essas informações. A figura 14 mostra um exemplo de mapeamento, feito pela Google, na cidade de Fortaleza-CE.

Figura 14: Cidade de Fortaleza-CE mapeada pela Google.



Fonte: Google Street View

### 3.2 PROCESSAMENTO DE IMAGENS EM SMARTPHONES

As técnicas de processamento de imagens para a criação de imagens panorâmicas estão acessíveis também para smartphones. As plataformas Android e IOS possuem um sistema onde o usuário move o celular por todo o ambiente onde deseja produzir a fotografia panorâmica, e um algoritmo faz a junção dessas imagens, gerando uma imagem panorâmica do local.

Apesar de ser uma tecnologia acessível, Deng e Zhang (2003) atentam que esses aplicativos existentes não são precisos, devido principalmente a mudança de exposição em configurações da câmera. As câmeras dos smartphones ajustam automaticamente a luz antes do processo de “costura” final das imagens. Isso resulta em uma imagem ser significativamente mais brilhante que a outra. Os autores citam também que os desalinhamentos surgem porque a câmera está se afastando de sua posição inicial focal de forma não linear, já que é a mão do usuário que circunda o ambiente desejado. A figura 15 mostra uma imagem panorâmica gerada através de um smartphone, onde a luminosidade prejudicou o resultado final.

Figura 15: imagem panorâmica prejudicada pela diferença de luminosidade do local.



Fonte: Deng e Zhang, 2003

## 4 INSPEÇÕES COM O USO DE DRONES E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Como observado nos tópicos do presente trabalho existe hoje tecnologia de acesso fácil e de baixo custo que permite que através de um drone seja filmada e/ou fotografada uma fachada de um edifício e posteriormente as imagens sejam tratadas e montado um modelo 3D da edificação que servirá para a identificação e mapeamento das manifestações patológicas existentes na referida fachada.

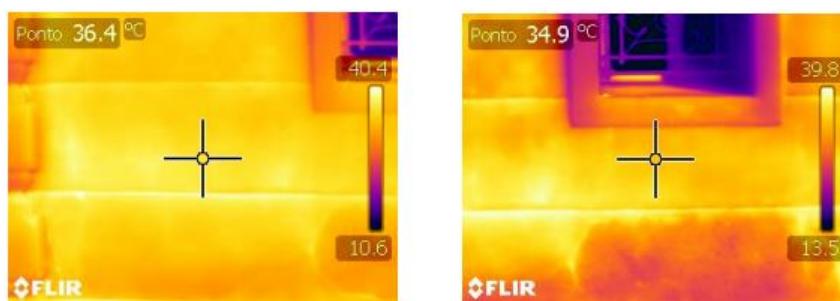
A estabilização da câmera é ponto fundamental para que o levantamento possa ser efetuado de maneira adequada, sendo os equipamentos de estabilização de câmera disponível em inúmeros veículos e câmeras de baixo custo. Imagens não estabilizadas inviabilizam o processo de mapeamento da fachada.

Além da elaboração do modelo da fachada, detalhes podem ser fotografados com maior aproximação, para uma análise mais precisa, que também permitirá o registro e posterior ilustração detalhada da situação.

Com a imagem total da fachada gerada é possível inclusive quantificar as manifestações patológicas existentes, pois as mesmas podem ser medidas através de escala a ser desenvolvida medindo-se o tamanho real de um objeto existente na fachada e seu comprimento na imagem produzida, a escala calculada permitirá a determinação das dimensões de qualquer manifestação patológica existente na fachada.

Pode-se também empregar uma câmera térmica instalada no drone para identificar pontos de descolamento do revestimento da fachada, que somente seria percebidos de fosse efetuado um exame de percussão sobre os mesmos

Figura 16: a) temperatura superior (36,4) no revestimento não descolado; b) temperatura inferior no revestimento não descolado (34,9)



fonte: MARIO, 2002

Ainda nesse sentido, conforme discutido por Ballesteros (2020), o uso de VANTs para a aquisição de imagens em fachadas de edifícios de média e grande altura tem se mostrado uma alternativa tecnicamente viável, com potencial para reduzir tanto o tempo quanto os custos envolvidos em inspeções convencionais, bem como para ampliar a segurança dos profissionais envolvidos na atividade.

No estudo original de Ballesteros, a ênfase recaiu sobre a inspeção visual sistemática das superfícies externas das edificações, destacando a relevância da configuração do voo e do posicionamento da câmera para garantir cobertura completa das áreas de interesse. A estratégia metodológica, que envolve revisão literária, procedimento experimental e processamento de dados, demonstra a viabilidade do procedimento de inspeção e aponta que a reconstrução tridimensional das fachadas, quando integrada ao processo de inspeção, contribui para diagnósticos mais precisos.

Complementando essa perspectiva, o trabalho apresentado Santos et al. (2024) corrobora e amplia o escopo prático da inspeção com drones ao detalhar etapas operacionais que incluem análise prévia do projeto arquitetônico, planejamento do voo, seleção de sensores e tratamento das imagens capturadas. Segundo esta referência, a combinação de câmeras convencionais RGB com sensores

termográficos possibilita a detecção de fissuras e anomalias que muitas vezes não seriam observáveis apenas em imagens visíveis, pois as variações térmicas podem indicar irregularidades no fluxo de calor associadas a defeitos estruturais ou falhas de revestimento.

Além disso, Santos et al. (2024) enfatiza a importância de se estabelecer um fluxo de trabalho sistemático que articule a aquisição de imagens, a transferência segura dos dados para processamento e a análise posterior das manifestações patológicas, incluindo a definição de diretrizes corretivas ou de aprofundamento investigativo. Essa proposta destaca, por exemplo, a utilidade da termografia aliada à fotografia convencional para identificar fissuras pequenas ou anomalias superficiais que não seriam facilmente detectáveis por inspeção visual tradicional — evidenciando que a integração de sensores complementares proporciona um ganho qualitativo significativo às inspeções com drones.

Adicionalmente, a literatura recente aponta para oportunidades emergentes no uso de algoritmos avançados de visão computacional e aprendizado de máquina para automatizar a detecção e classificação de manifestações patológicas a partir de imagens capturadas por drones (por exemplo, métodos baseados em redes neurais profundas têm sido explorados para detecção automática de fissuras e outros defeitos em superfícies de concreto). Embora tais abordagens ainda não sejam plenamente incorporadas nas pesquisas de campo discutidas aqui, elas indicam uma tendência de evolução técnica que pode expandir substancialmente a capacidade diagnóstica das inspeções com drones no futuro.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou que a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) constitui um avanço significativo nas práticas de inspeção de fachadas, especialmente em centros urbanos onde a complexidade geométrica das fachadas e as dificuldades de acesso caracterizam um desafio operacional considerável. A revisão técnico-bibliográfica demonstrou que a integração entre plataformas aéreas estabilizadas, sensores embarcados de alta precisão e técnicas de processamento fotogramétrico permite ampliar a qualidade, a abrangência e a confiabilidade dos levantamentos visuais em comparação com métodos convencionais.

As plataformas multirrotores provêm sobrevoo estacionário e manobrabilidade superior, facilitando a aquisição de imagens com elevada resolução e sobreposição controlada, requisitos essenciais para reconstruções tridimensionais acuradas. Esses modelos tridimensionais, quando gerados a partir de sequências fotográficas adequadamente planejadas, não apenas possibilitam diagnósticos mais detalhados de manifestações patológicas, como também oferecem suporte para monitoramentos evolutivos, integração com modelos digitais existentes e apoio à gestão da manutenção predial.



Adicionalmente, trabalhos recentes demonstram que a combinação de imagens visíveis e sensores complementares, como câmeras térmicas integradas com algoritmos de aprendizado profundo, tem avançado a precisão do diagnóstico de defeitos em fachadas. Estudos atuais validam frameworks que utilizam fusão de imagens visíveis e infravermelhas com técnicas de inteligência artificial para detecção automatizada de fissuras e infiltrações, encontrando elevado desempenho na identificação de diferentes tipos de manifestações patológicas em estruturas residenciais urbanas.

Apesar desses benefícios, a adoção generalizada dessa tecnologia ainda enfrenta desafios operacionais, como a limitação da autonomia das aeronaves, a sensibilidade dos equipamentos a condições ambientais adversas e os requisitos regulatórios para operações em áreas urbanas densamente povoadas. A regulamentação vigente impõe restrições quanto à altura, à proximidade de terceiros e à necessidade de licenciamento específico, fatores que impactam diretamente o planejamento e a execução das missões de inspeção.

É igualmente importante reconhecer que a falta de protocolos padronizados, a fragmentação de procedimentos de coleta de dados e a exigência de capacitação técnica especializada representam barreiras ao uso consistente dessa tecnologia em práticas rotineiras de inspeção predial. Assim, a confiabilidade dos resultados permanece dependente não apenas de considerações tecnológicas, mas também da formação de profissionais e da padronização de metodologias.

De forma geral, conclui-se que a aplicação de drones na inspeção de fachadas apresenta elevado potencial para aumentar a segurança, reduzir custos e proporcionar diagnósticos mais precisos em engenharia diagnóstica. Para que essa tecnologia se consolide como prática corrente, recomenda-se o aprofundamento de estudos experimentais comparativos entre diferentes configurações de sensores, bem como a exploração de abordagens híbridas que combinem fotogrametria, termografia e inteligência artificial para ampliar a robustez dos resultados. Ademais, pesquisas futuras deveriam investigar a integração desses dados com modelos de informação da construção (BIM) e sistemas de gestão de manutenção predial, de modo a fortalecer sua aplicabilidade em ambientes profissionais.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. C. **Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários.** 2014. 1 v. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2014.
- ANDRADE, C. F. S.; SPEDO, F.; CARDOSO, L. P. **Drones – Questões ambientais e preocupações relacionadas ao seu uso.** *Revista Ciências do Meio Ambiente*, v. 9, n. 2, nov. 2013.
- BALLESTEROS, J. C.; RODRÍGUEZ, H. R. **Inspeção visual de fachadas com o uso de VANTS em edificações de média e grande altura.** *Ambiente Construído*, v. 20, n. 4, p. 135–153, 2020.
- BULGAKOVA, A.; EVGENOV, A.; WELLER, C. **Automation of 3D building model generation using quadrotor.** In: CREATIVE CONSTRUCTION CONFERENCE, 2015, Polônia. Anais. Polônia, 2015.
- CASEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. **Composição e processamento de imagens aéreas de alta resolução obtidas com drone.** 2014. 1 v. Monografia – Universidade de Brasília, Brasília, 2014
- DENG, Y.; ZHANG, T. **Generating panorama photos.** In: *SPIE Internet Multimedia Management Systems IV*, v. 5242, p. 270–279, 2003.
- GOOGLE STREET VIEW.** Disponível em: <https://www.google.com/intl/ptBR/maps/streetview/understand/>. Acesso em: Janeiro 2026.
- GUARNIERI, A.; VETTORE, A.; EL-HAKIM, S.; GONZO, L. **Digital photogrammetry and laser scanning in cultural heritage survey.** *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. XXXV, B5, Istambul, 2012.
- MAURO, M. **Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas.** 2011. 1 v. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- MODELISME.** Disponível em: <http://www.mt-modelisme.com/177690:walkera-quadrirotor-walkera-scout-x4-rtf-drone-quadricoptere-magasin-mt-modelisme-lyon.htm>. Acesso em: janeiro 2026.
- PEGORARO, A. J.; PHILIPS, J. W.; MORCELLI, A. T. G. **Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/quadríroto como plataforma na obtenção de dados cadastrais.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, João Pessoa, 2015. Anais. João Pessoa, 2015.
- PHOTOMODELER.** Disponível em: <http://www.photomodeler.com>. Acesso em: janeiro 2026.
- SANTORO, C. **How does a Quadrotor fly? Journey from physics, mathematics, control systems and computer science.** Itália, 2014.
- SANTOS, A. C.; BECERE, O. H.; CAVALHIERI, C. P. **Inspeção de estruturas de concreto afetadas por reações expansivas com o uso de drone.** *Revista Concreto & Construções*, n. 114, IBRACON, 2024.