

ANDRÉ FACCHINI GRANATO

**TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS DE
EDIFÍCIOS REVESTIDAS COM ARGAMASSA: FOTOGRAMETRIA
APLICADA A IMAGENS CAPTADAS COM DRONES
SEMIAUTÔNOMOS**

Trabalho de Perícia

Goiânia/GO
2021

**XXI COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – GOIÂNIA/GO – 2021**

NATUREZA DO TRABALHO: PERÍCIA

**TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS DE
EDIFÍCIOS REVESTIDAS COM ARGAMASSA: FOTOGRAMETRIA APLICADA A
IMAGENS CAPTADAS COM DRONES SEMIAUTÔNOMOS.**

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo comparativo de diferentes métodos de inspeção de fachadas, propondo a utilização de tecnologias disruptivas para ampliar a oferta e possibilitar a redução dos custos dos serviços de consultoria de engenharia que se ocupam desse tema. Em campo foram realizados experimentos para obtenção de imagens das fachadas de um edifício, com e sem o auxílio de um drone. Com os resultados obtidos nos experimentos constatou-se que as tecnologias empregadas podem servir de ferramenta de apoio aos diagnósticos, prognósticos e propostas de terapia de manifestações patológicas nos revestimentos argamassados de fachadas.

Palavras-chave: Patologia; Fachada; Fotogrametria; Drone.

INTRODUÇÃO

Conforme dados fornecidos pelo Sindicato da Habitação de São Paulo (SECOVI-SP), a média anual de lançamentos imobiliários residenciais na região metropolitana de São Paulo nos últimos 10 anos é superior a 50 mil unidades (SECOVI-SP, 2020), o que representa o surgimento de algo em torno de 500 novos edifícios a cada ano, sendo que a maior parte possui revestimento de argamassa nas fachadas.

Assim como qualquer outro sistema que compõe uma edificação, os revestimentos argamassados de fachadas demandam atividades de manutenção, no entanto, o que diferencia esse sistema é a dificuldade de acesso para a execução dos serviços, demandando a instalação de balancins e execução de todo o trabalho em altura, resultando em elevados custos.

As estratégias de manutenção são essenciais no controle dos primeiros estágios de degradação e prevenção de falha dos sistemas das edificações, permitindo alocar melhor o orçamento e manter o desempenho das edificações ao longo do seu ciclo de vida (FLORES-COLEN *et al.* 2010), além de reduzir os custos de manutenção no longo prazo.

De acordo com Flores-Colen *et al.* (2010), a tomada de decisão sobre a realização das atividades de manutenção depende fortemente do diagnóstico sobre o desempenho do sistema de fachada e dos critérios técnicos adotados. Os diagnósticos, prognósticos e recomendações de terapias devem ser feitos por engenheiros consultores qualificados e demandam muitas horas de trabalho, resultando em consultorias caras.

Nesse sentido, o presente trabalho busca fornecer subsídios para possibilitar a redução dos custos dos serviços de consultoria nesse campo da engenharia, permitindo que mais gestores prediais contratem esse tipo de serviço, preferencialmente nos estágios preliminares das manifestações patológicas, possibilitando intervenções precoces e impedindo o agravamento dos problemas, culminando, finalmente, na redução dos custos de manutenção.

FOTOGRAMETRIA

Sem a realização de nenhum processamento, as imagens captadas de uma fachada fornecem informações qualitativas de eventuais anomalias, sendo possível determinar a existência de problemas, o tipo de dano e o nível de comprometimento, se pontual ou generalizado, no entanto, não é possível extrair dados quantitativos a respeito dos revestimentos, pois esse tipo de informação depende do processamento das imagens. Para Küng *et al.* (2012) o pós-processamento é o que permite ao profissional obter resultados compreensíveis baseados nas informações coletadas pelo drone.

A fotogrametria é uma das formas de processamento e, de acordo Temba (2000), é uma técnica de medição de fotografias, para determinar a posição relativa de pontos, sendo possível determinar distâncias, ângulos, áreas, volumes, elevações, tamanhos e formas.

Essa técnica é utilizada há décadas nos ramos de cartografia e geoprocessamento, para a confecção de cartas planialtimétricas, mosaicos e ortofotos, mas atualmente, com a disseminação do uso dos drones, a técnica passou a ser aplicada também em outros ramos, por exemplo em inspeções de edifícios, onde é possível fazer a medição e o monitoramento de fissuras e das deformações dos elementos.

A fotogrametria pode ser utilizada para a obtenção de ortomosaicos ou nuvens de pontos das superfícies de edificações, a partir de várias fotografias. Os ortomosaicos são mais indicados para as superfícies planas e as nuvens de pontos para as superfícies com muitos detalhes tridimensionais. Ambos são chamados de “Produtos da Fotogrametria (PF)” e geralmente são apresentados na forma de uma única imagem da fachada estudada (DIAS *et al.* 2017).

Dias *et al.* (2017) afirmam que é possível utilizar técnicas de processamento de imagens para auxiliar no reconhecimento e identificação de características relevantes das superfícies, assim como anomalias em alvenarias e elementos de concreto. Os problemas visíveis nos elementos de concreto geralmente são: fissuras, delaminação e corrosão da armadura. Nas alvenarias geralmente são visíveis: fissuras, destacamento do revestimento, degradação da pintura, presença de mofo.

Melo Júnior (2016) descreve que as imagens digitais são lidas como matrizes bidimensionais, em que cada pixel corresponde a uma posição da matriz e a um número. A Figura 1 ilustra essas matrizes.

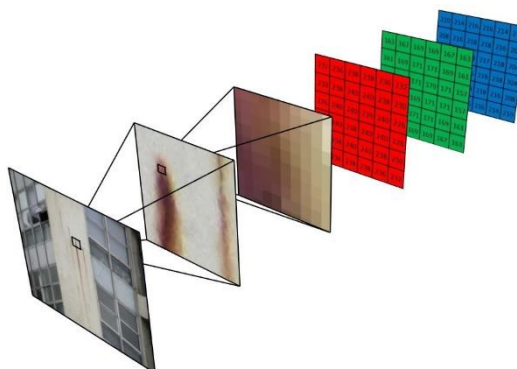


Figura 1 – Representação de uma imagem em matrizes.

As imagens RGB são compostas pela sobreposição de três matrizes, representando as cores vermelha, verde e azul, sendo que cada cor pode ter a sua graduação variando de 0 a 255. Na Figura 2 são apresentados exemplos de composição de cores no sistema RGB:

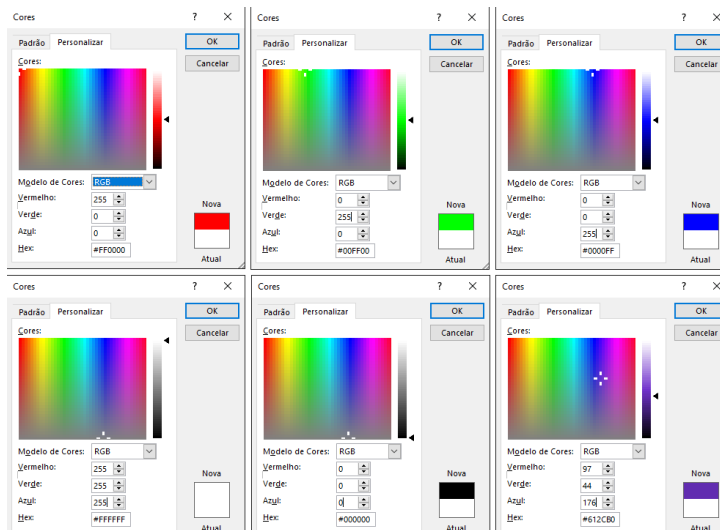


Figura 2 – Composição das cores no modelo RGB.

Através da imagem anterior nota-se que a graduação zero das três cores gera a cor preta e a graduação 255 do vermelho, verde e azul resulta na cor branca.

Para Faltýnová *et al.* (2016), um dos parâmetros mais importantes que influenciam na no resultado da fotogrametria é o GDS, sigla em inglês para *Ground Sample Distance*, que em tradução livre significa distância da amostra do solo. Trata-

se de um conceito amplamente utilizado em cartografia, no entanto integralmente aplicável em inspeções de fachadas.

O GSD é o menor elemento do objeto que pode ser notado pelo sensor (câmera). Quanto maior é o valor do GSD em uma imagem, menor é a resolução e, conseqüentemente, menos visíveis são os detalhes.

O pixel define a resolução da imagem, sendo a menor unidade que a compõe. Quando são conhecidas as características do sensor da câmera fotográfica, pode-se calcular o tamanho do pixel da imagem. Conhecendo-se também a distância focal do sensor e a distância do sensor para a fachada, é possível calcular o tamanho do pixel na fachada, através da semelhança de triângulos, conforme representado na Figura 3 (GOMES NETO, 2019):

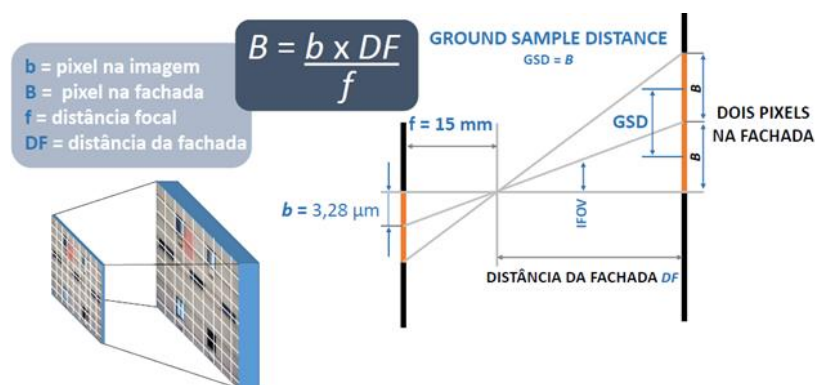


Figura 3 – Cálculo do tamanho do pixel na fachada. Fonte: Gomes Neto (2019).

O tamanho do pixel na fachada é o GSD e esse conceito pode ser aplicado para estimar a extensão de manifestações patológicas existentes, como comprimento e abertura de fissuras.

A precisão da medida feita por pixelização é diretamente proporcional ao tamanho do pixel na fachada, ou seja, quanto menor é a área da fachada representada em um pixel, maior será a precisão da medida. No entanto, para isso o drone deve estar posicionado muito próximo ao edifício, aumentando o número de imagens necessárias para a total varredura da superfície. Portanto, deve haver um equilíbrio entre o tamanho desejado do pixel na fachada e o número máximo de imagens que se deseja obter.

EXPERIMENTO DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS DE FACHADAS

Foram comparadas diferentes formas de obtenção das imagens: a partir do pavimento térreo ou com o auxílio de drone.

O edifício inspecionado possui fachadas revestidas de argamassa, foi construído entre 1947 e 1954, possui valor histórico e grande parte de suas características construtivas originais estão preservadas.

Por determinação dos gestores do imóvel, foi autorizado o uso das imagens do edifício, no entanto o nome e o local do prédio não devem constar no presente trabalho.

Abaixo foi inserida uma imagem aérea do edifício, na qual foram indicadas as orientações das quatro fachadas inspecionadas.

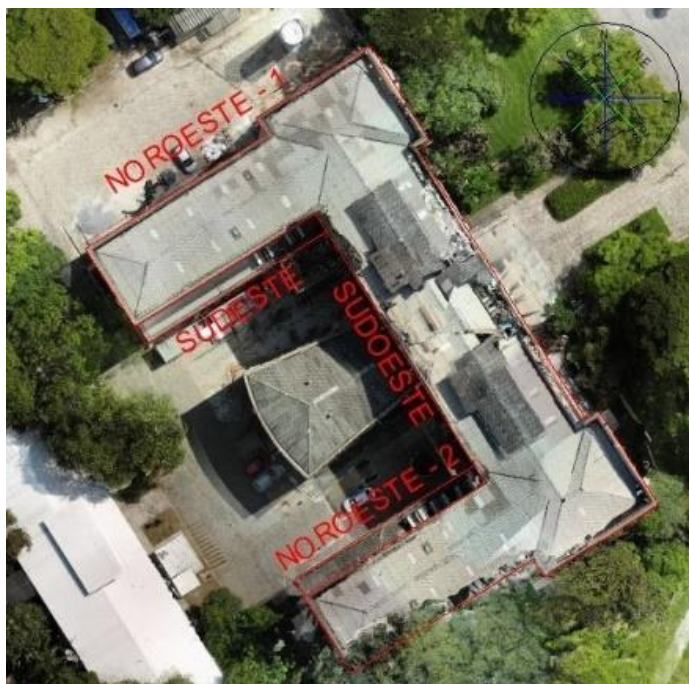


Figura 4 – Indicação das fachadas inspecionadas no edifício estudado.

Nota-se que existem muitas árvores próximas à fachada nordeste e à fachada sudeste externa, motivo pelo qual não foram realizadas inspeções nesses locais.

Foi avaliada a seleção dos equipamentos, passando pela análise das técnicas de voo (manual ou semiautônomo) e, finalmente, pela definição dos softwares de planejamento e controle de voo que foram utilizados.

Toda a análise que será apresentada adiante levou em consideração as seguintes premissas:

- Pretende-se criar um procedimento para ganho de escala em atividades de levantamentos de problemas visuais de fachadas, reduzindo as horas de engenheiro em campo, através do treinamento de técnicos para obtenção dos dados;
- O levantamento visa identificar todos os problemas visíveis das fachadas, entre eles as trincas, que podem ter aberturas muito pequenas; sendo assim, as imagens obtidas devem ter a resolução compatível com essa necessidade;
- Deve ser priorizado o planejamento das atividades no escritório, para que as atividades de campo tenham a mínima duração possível;
- Os equipamentos devem ser portáteis e de linha comercial, para que a substituição seja imediata em caso de quebra.

Equipamentos

Para a realização das imagens a partir do pavimento térreo, foi utilizada a câmera convencional da marca Canon, modelo Rebel T3, que possui as seguintes especificações:

- Resolução (pixel): 4272 x 2848;
- Pixels efetivos: 12,2 MP;
- Sensor: 22,2 x 14,7 mm.
- Lente 1: 18 a 55 mm;
- Lente 2: 75 a 300 mm.

As imagens aéreas foram obtidas com o drone Mavic Air da marca DJI, que possui uma boa relação de custo x benefício, quando comparado a outros modelos da mesma marca.

Comparando os modelos Mavic Air, Phantom 2 Vision Plus, Inspire 1 (X5S), Phantom 4 Pro e Mavic 2 Pro, o drone utilizado:

- É o menor equipamento, aumentando a agilidade de operação e reduzindo muito os danos a terceiros em caso de acidente;
- Possui sensores anticolisão nas posições essenciais, permitindo voos próximos à edificação;

- Apesar de possuir um GSD maior (0,71 mm a 2 metros da fachada), os sensores anti-impacto e o pequeno tamanho e peso permitem chegar mais próximo da fachada sem afetar as condições de segurança;
- Tem autonomia de voo intermediária;
- É o mais barato dos equipamentos que possuem sensores anticolisão.

Os equipamentos comparados estão representados em escala na Figura 5:

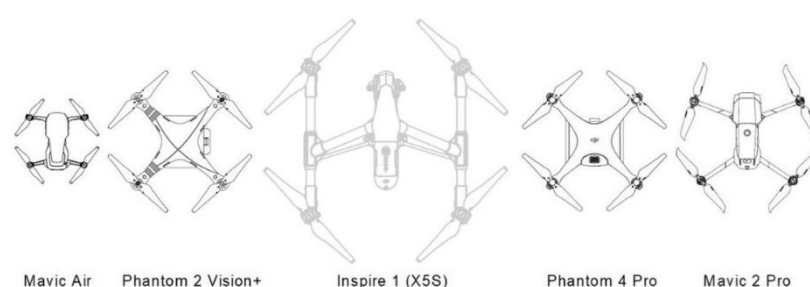


Figura 5 – Comparativo em escala da geometria dos drones. Fonte: <https://www.dji.com>

Técnicas de aquisição de imagens

Existem muitas técnicas de se captar as imagens das fachadas. No presente trabalho foram estudadas as seguintes formas:

- A partir do pavimento térreo;
- Utilizando drone com voo manual;
- Utilizando drone com softwares de planejamento e controle semiautônomo de voo.

Cada técnica possui suas especificidades e se adequam de maneira distinta a cada tipo de inspeção, a depender das variáveis encontradas em campo, entre as quais podem ser citadas:

- Altura da edificação;
- Extensão da área de fachada;
- Presença de obstáculos próximos à fachada e edificações vizinhas;
- Densidade de pessoas transitando próximo ao prédio;
- Condições meteorológicas na data da inspeção.

As fotografias tiradas a partir do pavimento térreo podem ser obtidas de um único ponto ou através de diversos pontos, conforme ilustrado na Figura 6:

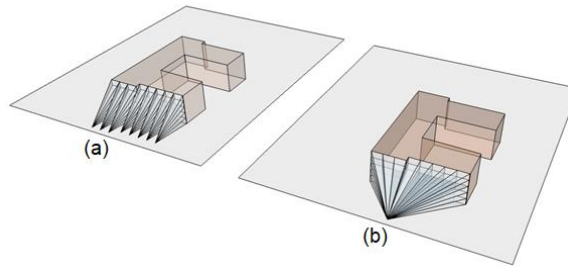


Figura 6 – Possibilidades de obtenção de imagens a partir do pavimento térreo: (a) através de diversos pontos e (b) a partir de um único ponto.

Entende-se que a situação retratada à esquerda da imagem anterior (a) é mais adequada, pois a incidência oblíqua das imagens se dá em apenas uma direção, de baixo para cima, enquanto a situação ilustrada à direita gera imagens oblíquas tanto de cima para baixo como da direita para a esquerda, reduzindo a nitidez de eventuais problemas superficiais.

Na prática o que se observa é que geralmente o levantamento é feito mesclando as duas técnicas, adotando-se alguns pontos para aquisição das imagens, em função das possibilidades de acesso no pavimento térreo e de outras interferências, como árvores e guarda-corpos.

Apesar de ser uma das técnicas mais simples, existem diversas limitações nas aquisições de imagens a partir do pavimento térreo, entre as quais listamos:

- Impossibilidade de padronização dos ângulos e distâncias da câmera até a fachada em todas as fotos;
- Dificuldade para fotografar edifícios muito altos;
- Grande distorção nas imagens de pavimentos superiores.

A captação de imagens através do voo manual pode ser feita com o auxílio de qualquer aplicativo de controle de drone, compatível com o equipamento em uso. Neste trabalho foi utilizado o programa da mesma fabricante do drone, o DJI GO 4.0.

As maiores dificuldades para se fazer a varredura total de uma fachada através do voo manual são:

- Manter o drone próximo e a uma distância constante da fachada;
- Não deixar nenhuma parte sem fotografar;
- Tirar as fotografias no momento correto, enquanto pilota o drone próximo à fachada.

O aplicativo em uso possui duas funções que podem auxiliar a contornar as dificuldades anteriormente descritas: *Tripod* e *Timed shot*.

A primeira função limita a velocidade e reduz muito a sensibilidade dos comandos do controle, estabilizando substancialmente o drone e ajudando muito na obtenção de imagens bem enquadradas.

A segunda ferramenta possibilita a configuração para disparo automático da câmera, em intervalos de tempo pré-definidos, permitindo ao piloto se concentrar apenas na pilotagem, enquanto as fotos vão sendo feitas automaticamente.

Definidas as ferramentas que serão utilizadas, faz-se necessário encontrar os ajustes dos seguintes parâmetros, que estão diretamente relacionados:

- Velocidade de deslocamento do drone;
- Distância da fachada;
- Sobreposição entre as imagens;
- Intervalo de tempo entre cada fotografia.

A função *Tripod* limita a velocidade do drone em aproximadamente um metro por segundo, enquanto a opção *Timed shot* pré-determina os intervalos de tempo entre as fotografias, sendo 2 segundos o menor intervalo possível e 3 segundos o segundo menor intervalo.

O sensor anticollisão possui configuração de fábrica que impede o voo a menos de 2 metros da fachada, sendo essa uma distância que permite a obtenção de um GSD satisfatório, conforme demonstrado no capítulo anterior.

As duas formas mais usuais de se fazer a varredura de uma fachada são através de rotas horizontais ou verticais, conforme exemplificado no esquema abaixo:

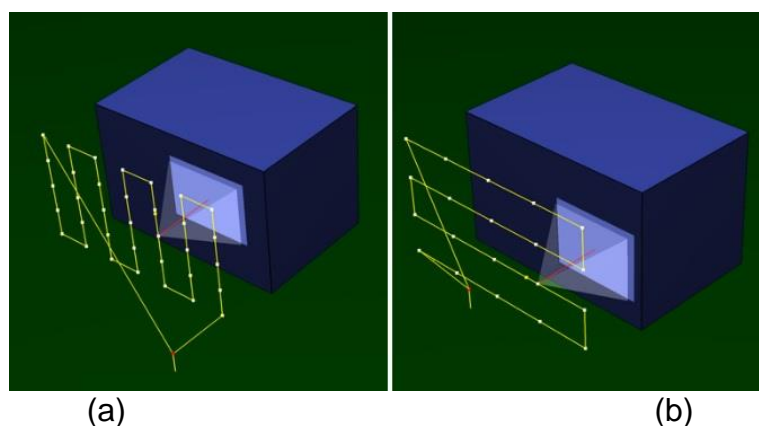


Figura 7 – (a) Varredura vertical; (b) Varredura horizontal. Fonte: Adaptado de App Drone Harmony.

A dois metros da fachada a fotografia tirada com o drone Mavic Air abrange uma largura de 2,88 metros por uma altura de 2,16 metros. Diante dessa informação, é possível concluir que, na velocidade de 1 metro por segundo, o intervalo entre as fotografias deve ser de 2 segundos, pois se o intervalo for de 3 segundos, partes da fachada não seriam fotografadas.

Nos desenhos esquemáticos da próxima figura foram retratadas as posições relativas em que o drone estaria entre uma fotografia e outra.

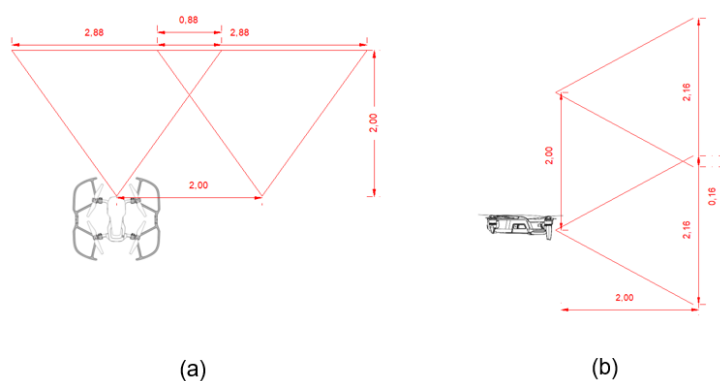


Figura 8 – (a) Varredura horizontal; (b) Varredura vertical.

Na varredura horizontal, com os parâmetros anteriormente descritos, a sobreposição entre as imagens será de 88 centímetros, o que equivale a 30,5%, enquanto a sobreposição na varredura vertical será de 16 centímetros, ou 7,4%.

Estabelecidos todos os parâmetros, resta ao piloto conseguir manter o espaçamento de 2 metros entre as trajetórias de idas e vindas.

No padrão horizontal, o drone deve ser posicionado a cada 2 metros de altura e isso pode ser feito com o auxílio do altímetro existente no aplicativo DJI GO 4.0, a começar pela altura de 2 metros, depois 4 metros e assim por diante.

A utilização do padrão vertical exige que sejam feitas marcações no chão, a cada 2 metros, ao longo de toda a fachada, para que o piloto utilize como referência no alinhamento de cada uma das subidas e descidas.

Para fazer a varredura a 5 metros da fachada o espaçamento entre as fotografias deve ser de 6 metros na horizontal e 5 metros na vertical, conforme ilustrado abaixo:

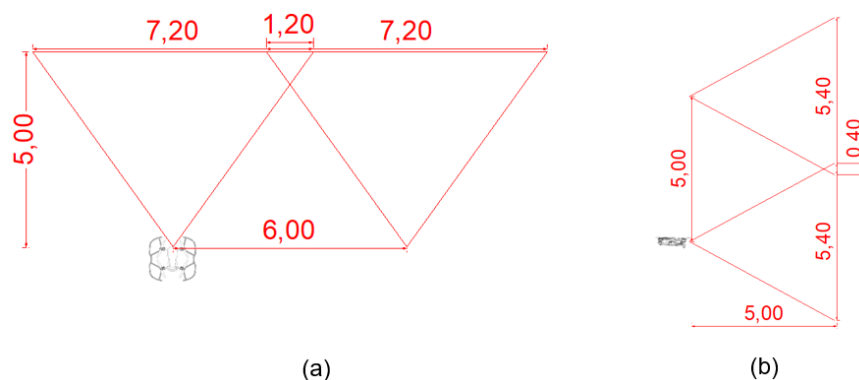


Figura 9 – (a) Varredura horizontal; (b) Varredura vertical.

Softwares de planejamento e controle

Todo o planejamento do voo manual que foi anteriormente apresentado pode ser feito de forma automática, utilizando-se softwares específicos. No experimento foram testados dois softwares, que além de auxiliar no planejamento, ainda controlam o drone de forma semiautônoma durante as missões de aquisição das imagens das fachadas.

Foram escolhidos dois programas que possuem lógicas distintas de utilização, ambos são softwares comerciais e pagos, sendo o primeiro mais limitado quanto ao ajuste dos parâmetros das missões e do equipamento, no entanto o segundo é mais difícil de ser utilizado.

(a) Drone Harmony

O Drone Harmony (DH) possui duas interfaces possíveis, a primeira via web e a segunda via aplicativo Android. Em ambos é possível se conectar pela mesma conta do Google, portanto toda a programação feita em uma plataforma é automaticamente carregada na outra.

A lógica do aplicativo consiste em desenhar todos os volumes envolvidos na área a ser inspecionada, incluindo todos os obstáculos existentes, para que o drone não colida com nenhum deles.

O programa utiliza como base os levantamentos do Google Maps.

Inicialmente o usuário deve criar os polígonos de cada elemento e posteriormente informar a altura de cada um. Na Figura 10, o edifício objeto deste

estudo foi representado pela cor cinza e todas as árvores e interferências próximas às fachadas foram pintadas de verde.



Figura 10 – Elaboração do modelo tridimensional do edifício e vizinhança. Fonte: App Drone Harmony.

Com o modelo volumétrico gerado é necessário programar as missões de inspeção de cada fachada, informando qual dos volumes será inspecionado. Posteriormente deve ser definido se o trajeto do drone será na horizontal ou na vertical, conforme ilustrado abaixo:

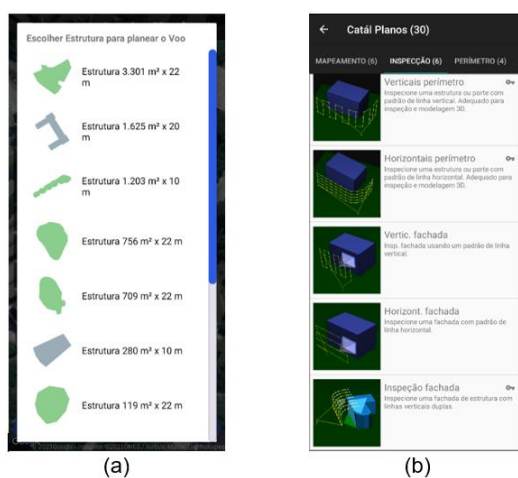


Figura 11 – Definição da fachada a ser inspecionada: (a) volumes, (b) trajetos. Fonte: App Drone Harmony.

Definida a fachada e sentido de caminhamento do drone, os demais parâmetros devem ser ajustados, sendo eles:

- Altura inicial da inspeção;
- Distância do drone até a fachada (desvio lateral);
- Distância do drone do topo do prédio;
- Sobreposição lateral e vertical das fotos;
- Ângulo da imagem em relação à fachada.

Esses parâmetros definem a quantidade de imagens que serão obtidas durante a missão. Nas imagens seguintes, cada ponto branco representa a posição das fotografias que serão feitas e a linha amarela representa a rota que o drone irá percorrer, desde a decolagem até o pouso.

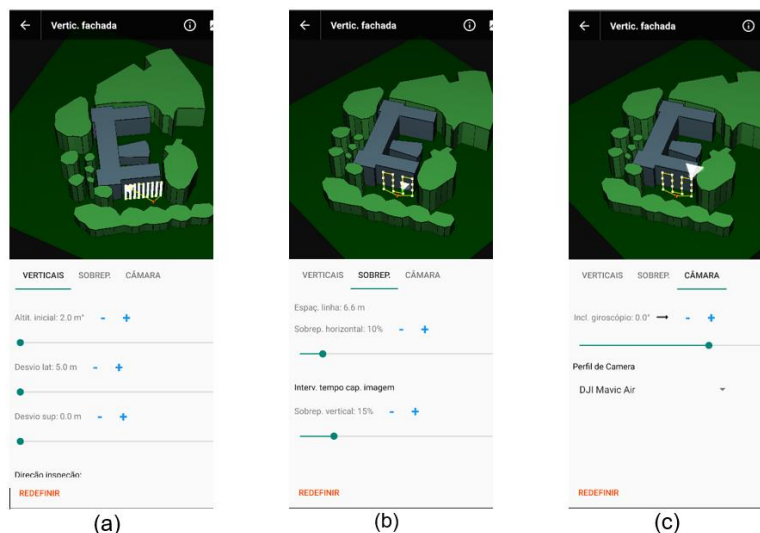


Figura 12 – Ajuste dos parâmetros da missão: (a) verticais, (b) sobreposição e (c) câmera. Fonte: App Drone Harmony.

Os mesmos ajustes devem ser feitos para todas as fachadas a serem inspecionadas.

Em campo é possível verificar se os obstáculos de fato existem na densidade em que foram representados, havendo a possibilidade de diminuição de seus volumes e reprogramação das missões, na tentativa de melhorar o cobertura da varredura.

Além da limitação existente em campo, devido à presença de obstáculos, o aplicativo tem a limitação de não permitir a aproximação menor do que cinco metros da fachada, portanto qualquer parte da fachada que tenha um obstáculo a menos de cinco metros, não poderá ser inspecionada.

Uma vez configuradas as missões, em campo o operador deve apenas conferir se os volumes representados estão corretos, posteriormente deve calibrar o GPS do drone e finalmente iniciar as atividades.

As missões são semiautônomas, iniciando com o posicionamento do drone no local de decolagem, posteriormente o operador determina o início da missão. Neste momento o software assume o controle, decolando a aeronave, direcionando através das rotas e tirando as fotografias nas posições planejadas. O operador deve manter contato visual com o equipamento durante todo o percurso e deve estar com o controle

remoto na mão, para assumir o controle imediatamente, em caso de emergência, iminente risco de queda ou colisão.

Durante todo o voo o operador tem informações relativas à carga da bateria, quantidade de satélites conectados, quantidade de fotografias obtidas, fração da missão executada, entre outras informações.

(b) UgCS

O software UgCS é mais robusto do que o Drone Harmony (DH), no entanto é mais difícil de operar, demandando que um notebook seja utilizado em campo.

A lógica de utilização também é diferente, enquanto no DH o operador cria os volumes tridimensionais e o software gera automaticamente as rotas, no UgCS o próprio operador cria as rotas de maneira tridimensional.

A base para se criar as rotas são os levantamentos do Google maps, no qual deve ser inserido o ponto de decolagem, cada um dos vértices e a altura das fachadas que serão inspecionadas. Os obstáculos devem ser desviados através da criação de pontos intermediários (*waypoints*) ou através da criação de zonas de restrição de voo (*no fly zone*).

Na Figura 13 é possível visualizar a rota criada para uma das fachadas do edifício em estudo.

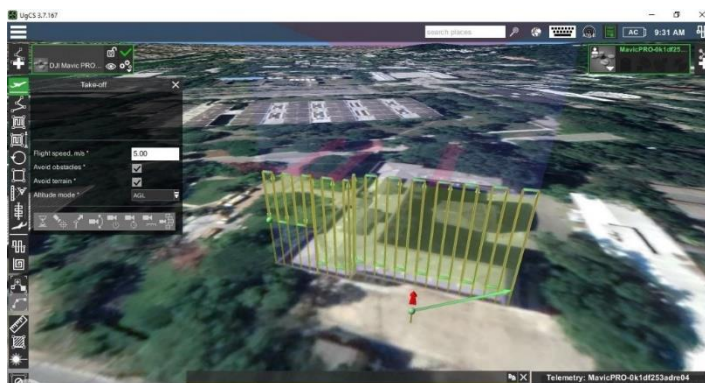


Figura 13 – Ajuste dos parâmetros da missão para a fachada noroeste-1. Fonte: App UgCS.

É possível criar apenas uma missão contemplando a inspeção de todas as fachadas de um edifício, como apresentado na Figura 14, no entanto, no caso em tela não é aconselhado que a missão seja única, pois a quantidade de obstáculos ao redor do prédio é muito grande e o operador não teria condições de fazer o

acompanhamento visual durante todo o voo. Dessa forma o ideal é que cada fachada seja objeto de uma missão individual.



Figura 14 – Ajuste dos parâmetros da missão de múltiplas fachadas. Fonte: App UgCS.

Assim como o aplicativo anteriormente apresentado, o UgCS assume o controle do drone durante toda a missão, repassando informações de telemetria em tempo real, no entanto o operador deve manter contato visual com a aeronave durante toda a missão, para retomar o comando em emergências.

RESULTADOS

Todas as técnicas e métodos de captação de imagens anteriormente apresentados foram colocadas em prática, resultando em um grande volume de informações relacionados à fachada do edifício em estudo.

Foram testados diversos horários para a captação das imagens, desde o amanhecer até o pôr do sol, com a intenção de compreender qual seria o melhor resultado quanto à qualidade das imagens obtidas e à padronização dos serviços.

Conforme descrito por Melo Júnior (2016), a condição de iluminação mais apropriada para a captação de imagens de uma edificação é a de luz difusa, como a de um dia nublado, no entanto, notou-se que é inviável do ponto de vista prático conciliar as datas das atividades de campo com as condições meteorológicas mais favoráveis, dessa forma, visando estabelecer um procedimento que possa ser aplicado comercialmente, estabeleceu-se que o melhor horário de captação das imagens é nos primeiros momentos do dia, enquanto os raios solares não atingem diretamente as fachadas. A seguir os resultados obtidos serão apresentados de forma comparativa, para possibilitar a análise adiante.

Registros das fachadas

Todas as fachadas foram fotografadas tanto pelo drone como pela máquina fotográfica manual. Os registros feitos com o drone foram obtidos de duas distâncias diferentes, a primeira a 5 metros e a segunda a 2 metros do edifício, além disso foram feitas imagens da fachada como um todo, conforme se observa na Figura 15:

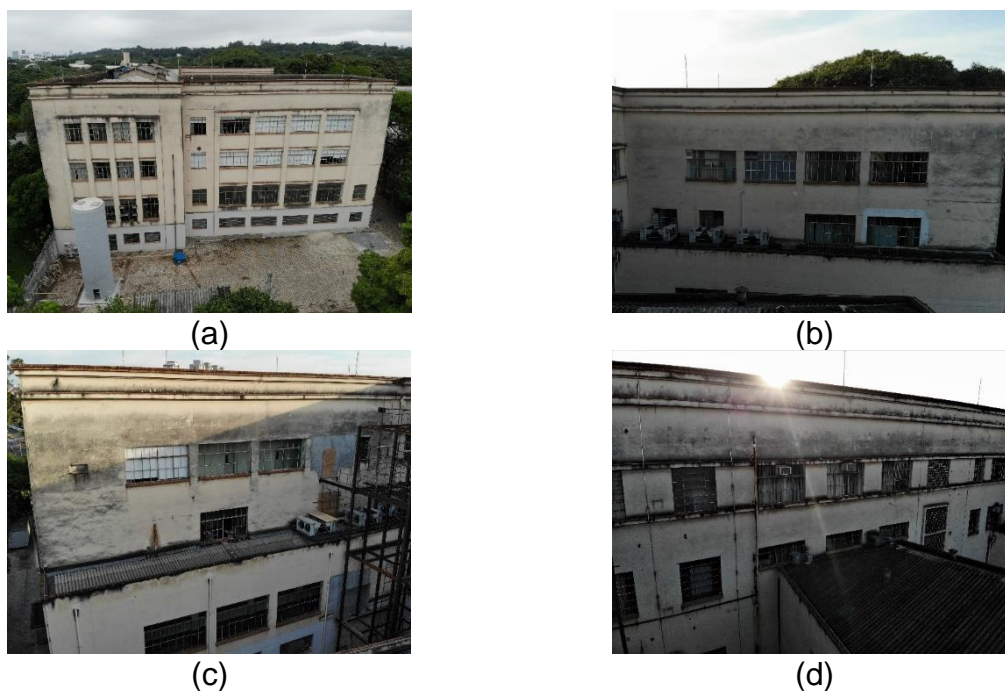


Figura 15 – Fotos obtidas com o drone: (a) Fachada noroeste-1; (b) fachada noroeste-2; (c) fachada sudeste e (d) fachada sudoeste.

A seguir será apresentado um comparativo de fotografias de sete pontos da fachada noroeste-1, sendo que à esquerda foram inseridas as imagens obtidas pelo drone e à direita aquelas feitas com a máquina fotográfica a partir do pavimento térreo.

Cada um dos sete pontos é indicado na Figura 16:



Figura 16 – Fachada noroeste-1 com destaque dos pontos de detalhamento.

A seguir, na Figura 17, foram inseridas as imagens aproximadas de cada um dos pontos, obtidas pelo drone e pela máquina fotográfica manual, respectivamente:



(a) – Ponto 1 (drone)



(b) – Ponto 1 (câmera manual)



(c) – Ponto 2 (drone)



(d) – Ponto 2 (câmera manual)



(e) – Ponto 3 (drone)



(f) – Ponto 3 (câmera manual)



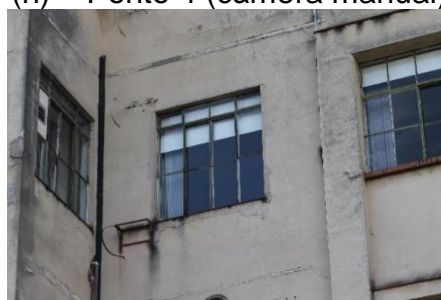
(g) – Ponto 4 (drone)



(h) – Ponto 4 (câmera manual)



(i) – Ponto 5 (drone)



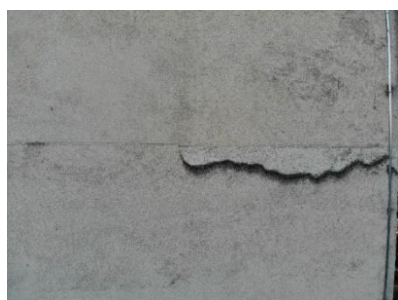
(j) – Ponto 5 (câmera manual)



(k) – Ponto 6 (drone)



(l) – Ponto 6 (câmera manual)



(m) – Ponto 7 (drone)



(n) – Ponto 7 (câmera manual)

Figura 17 – Comparativo das imagens obtidas com drone e câmera fotográfica manual convencional.

Nota-se que as imagens dos pavimentos mais baixos não se diferenciam tanto, no entanto, quanto mais alto é o local retratado, mais oblíqua fica a imagem obtida pela câmera fotográfica a partir do pavimento térreo, enquanto as imagens obtidas pelo drone estão sempre perpendiculares à fachada.

Os principais problemas observados estão relacionados à degradação da argamassa devido às deficiências das atividades de uso e manutenção da edificação.

As pingadeiras, elementos que tem a função de afastar a água da fachada, possuem problemas generalizados. No caso em tela essas são formadas por peças cerâmicas, no entanto muitas estão faltando, conforme retratado na Figura 18:



(a)



(b)

Figura 18 – Ausência de elementos cerâmicos que compõe as pingadeiras: (a) detalhe arquitetônico e (b) peitoril.

O mau funcionamento das pingadeiras permite o escoamento de água com partículas de sujeira pela fachada, assim como gera condições favoráveis à proliferação de fungos, resultando nas manifestações retratadas na Figura 19:

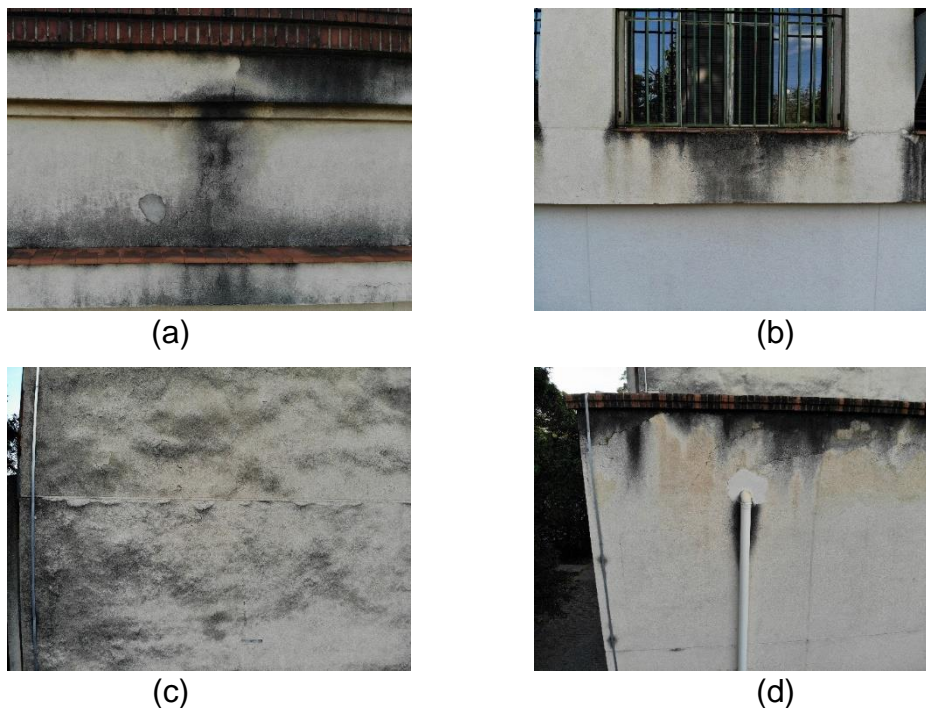


Figura 19 – Proliferação de fungos: (a) próximo a detalhe arquitetônico, (b) sob o peitoril, (c) painel liso de fachada e (d) próximo à pingadeira de tijolos cerâmicos.

Nota-se nas imagens anteriores que nos locais em que não há pingadeira é maior a presença de fissuras decorrentes de expansões higroscópicas, e maior a sujeira e a presença de fungos, pois a umidade se intensifica com a deficiência desses elementos, como se observa na Figura 20:





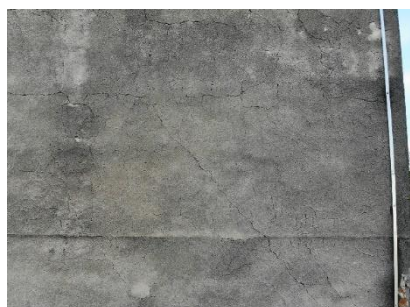
(c)



(d)

Figura 20 – Fissuras, umidade e presença de fungos: (a), (b) e (c) na região das pingadeiras cerâmicas e (d) entre a abertura de uma janela e o piso de uma laje técnica.

A presença de fungos e a ação da higroscopia fazem com que as fissuras mapeadas se intensifiquem com o passar do tempo, chegando a ocasionar estágios intensos de degradação da argamassa, como se observa na Figura 21, que registra as condições dos pavimentos superiores da edificação:



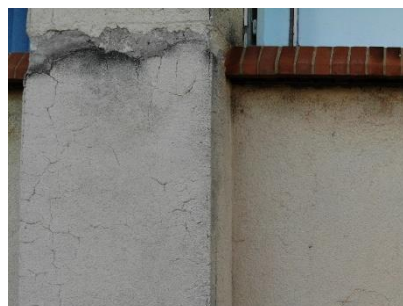
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 21 – Fissuras mapeadas e degradação da argamassa: (a) e (b) painéis de argamassa, (c) e (d) requadros de pilares.

Nas regiões em que os efeitos anteriormente descritos são extremos e é maior a degradação do revestimento, são observados pontos de destacamento, conforme retratado na Figura 22:

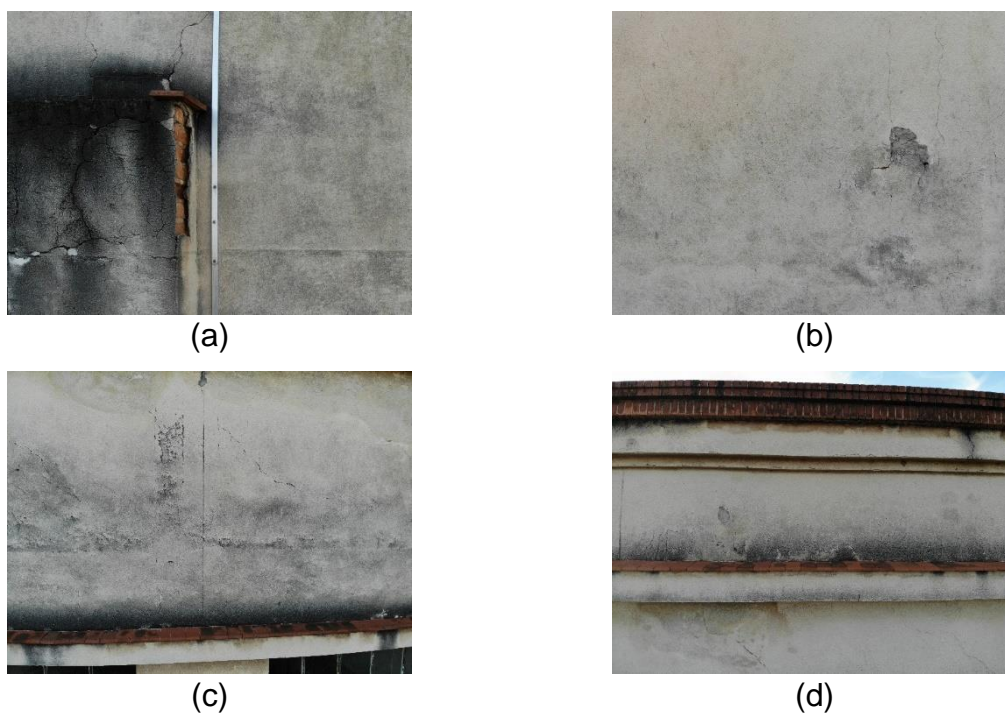


Figura 22 – Destacamento da argamassa: (a) canto de detalhe arquitetônico e (b), (c) e (d) destacamentos pontuais.

Além das fissuras mapeadas também são observadas fissuras geométricas acompanhando vigas e pilares:

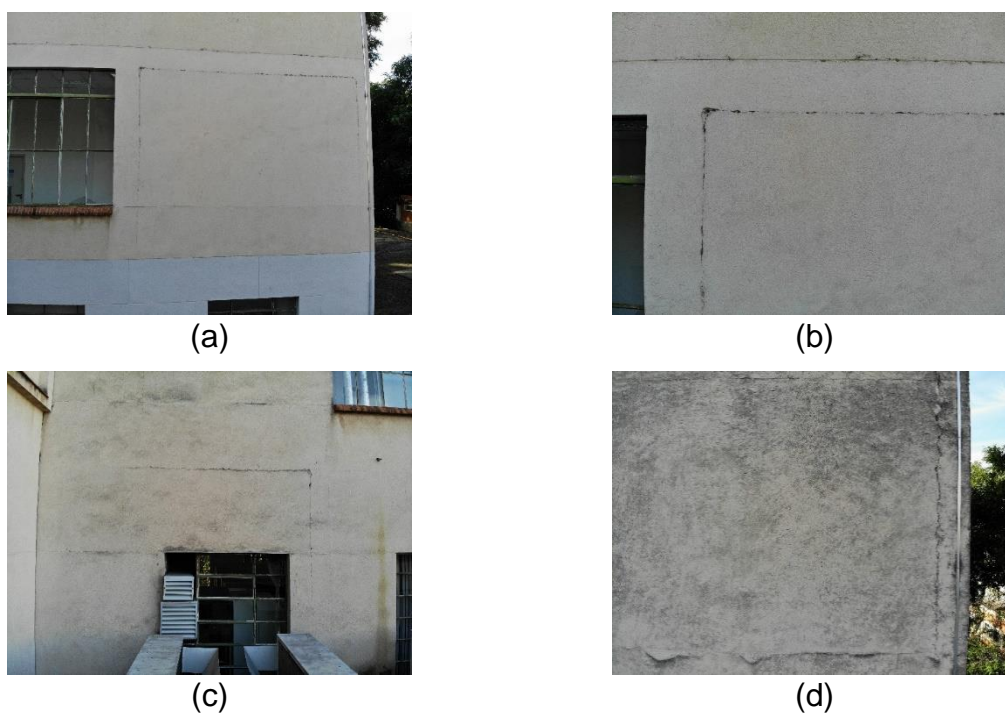


Figura 23 – Fissuras geométricas: (a), (b) retratam a mesma posição; (c) região central do edifício e (d) região do canto da edificação.

Também notou-se que existem pontos de destacamento do revestimento de argamassa e do cobrimento de concreto sobre regiões que apresentam corrosão das armaduras, como retratado na Figura 24:



Figura 24 – Destacamento da camada de cobrimento do elemento de concreto armado e da argamassa de revestimento da fachada: (a) detalhe arquitetônico e (b) platibanda.

Outro aspecto relevante diz respeito aos danos provocados por instalações hidráulicas e elétricas, que muitas vezes já foram retiradas, mas seus suportes e pontos de fixação permanecem na fachada, favorecendo a sua degradação, além de prejudicar o aspecto estético. O fato descrito está ilustrado na Figura 25:

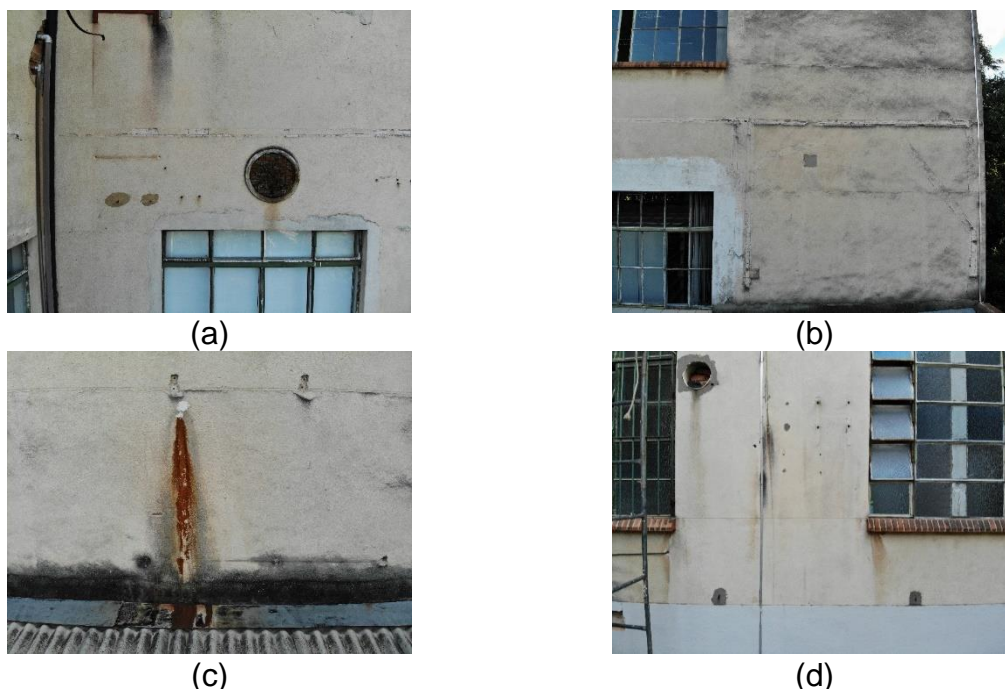


Figura 25 – Danos provocados por instalações nas fachadas: (a) tubulações e exaustor; (b) instalações embutidas com reparos mal executados; (c) corrosão de elemento metálico instalado na fachada; (d) exaustor e furações antigas não tampadas.

Em outros pontos os reparos foram executados, porém sem a devida técnica, resultando nas situações registradas na Figura 26:

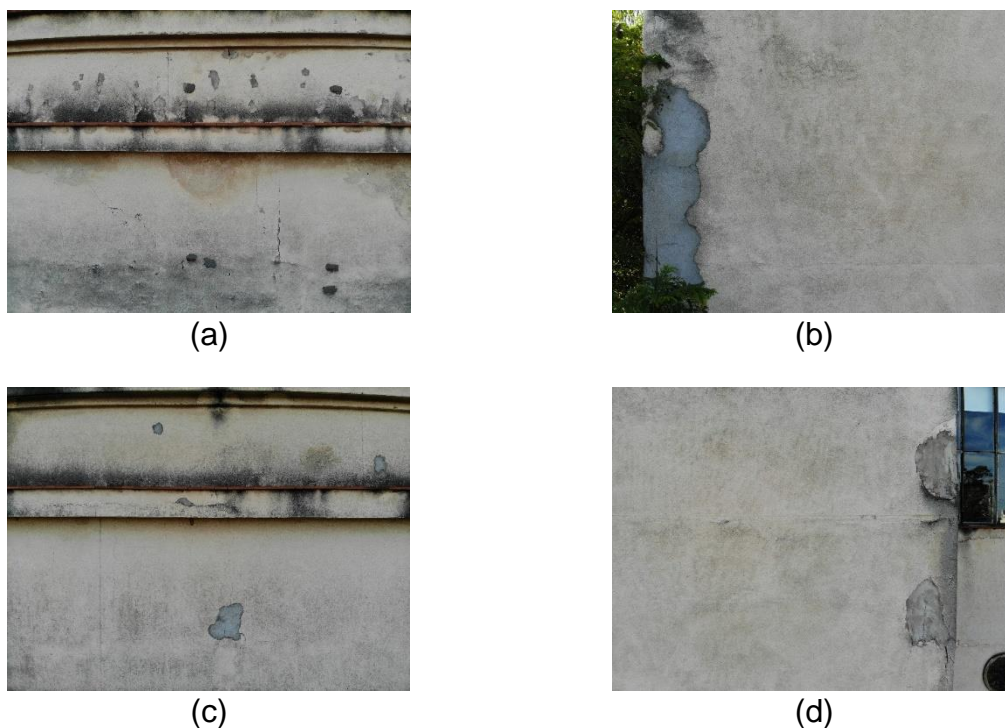


Figura 26 – Reparos realizados com técnica inadequada: (a) (c) (d) reparos pontuais; (b) reparo de grande extensão.

Pixelização

Após a obtenção das imagens de todos os pontos das fachadas estudadas e a execução da análise qualitativa, anteriormente apresentada, foi feita a análise quantitativa, relacionada à severidade dos problemas.

Para tanto foi utilizado o software gratuito de manipulação de imagens GIMP, versão 2.10.22.

A seguir serão apresentados os resultados da pixelização de dois trechos da fachada noroeste-1, nos quais foram comparados os tamanhos de aberturas de fissuras e danos na argamassa. Os dois trechos estão indicados na Figura 27:



Figura 27 – Trechos analisados por pixelização.

As medições dos pixels foram feitas no sentido perpendicular das fissuras, sempre na região de maior abertura e, nos casos em que existiam danos na argamassa sem a presença de fissuras, foram contabilizados os pixels da maior extensão possível dentro da região danificada.

O primeiro trecho estudado está apresentado na Figura 28:

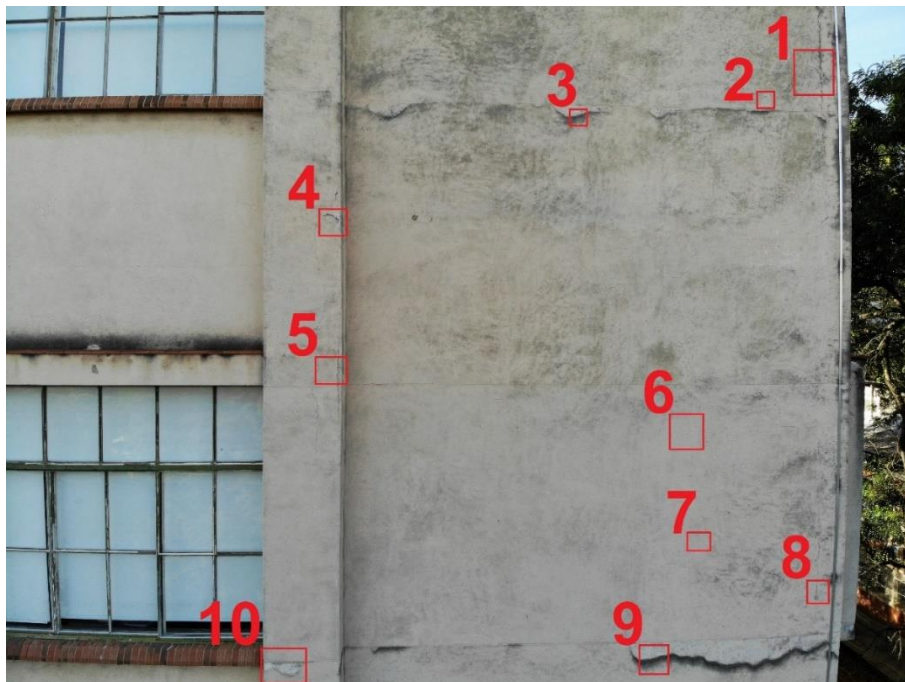


Figura 28 – Primeiro trecho em que foram aplicadas as técnicas de pixelização.

Cada um dos dez pontos indicados na imagem anterior foi representado na Figura 29 por um recorte da imagem na respectiva posição, obtido a partir de fotografias registradas com o drone.

Todas as imagens utilizadas para a medição dos pixels foram feitas a dois metros da fachada. Aplicando-se a equação apresentada na Figura 3, o GSD calculado é de 0,71 mm.

Através dessa informação, é possível medir a abertura das fissuras multiplicando-se o GSD pela quantidade de pixels contados na fotografia com o auxílio de um software de edição de imagens. A título de exemplo, a abertura da fissura retratada na posição 1, abaixo, é:

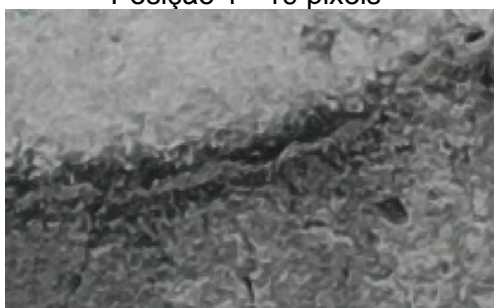
$$\text{ABERTURA DA FISSURA 1} = 19 \text{ pixels} * 0,71 \text{ mm} = 13,49 \text{ mm}$$



Posição 1 - 19 pixels



Posição 2 - 48 pixels



Posição 3 - 23 pixels



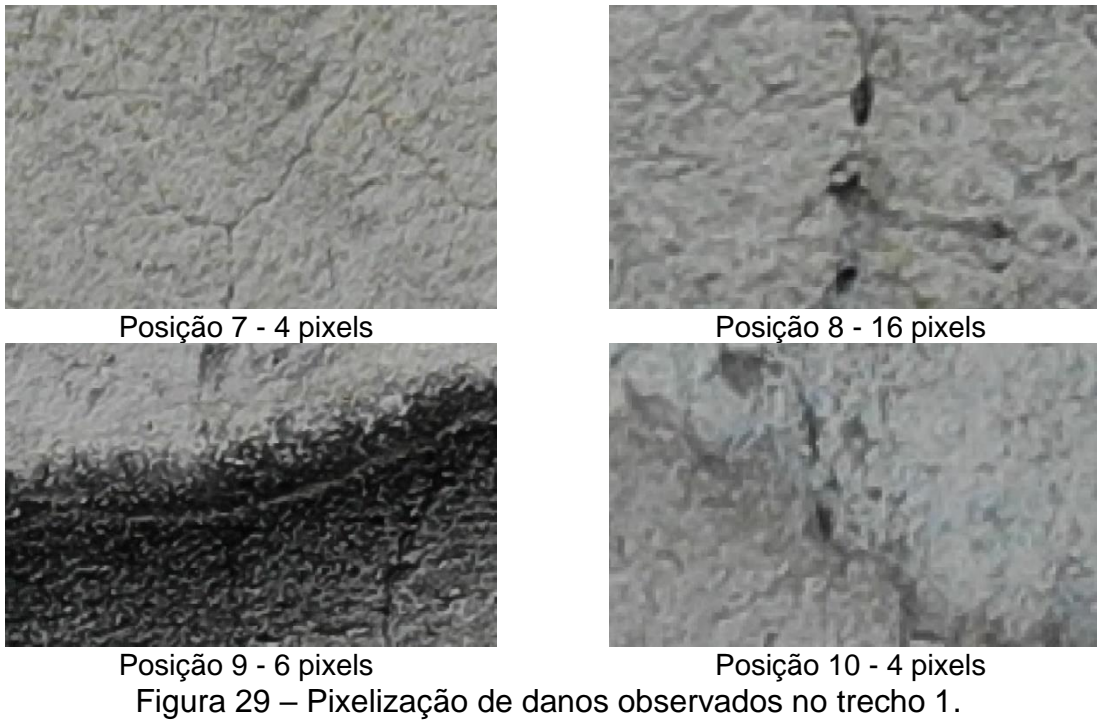
Posição 4 - 12 pixels



Posição 5 - 7 pixels



Posição 6 - 2 pixels



A mesma análise foi realizada em outro trecho da fachada e 8 posições foram detalhadas na Figura 30:

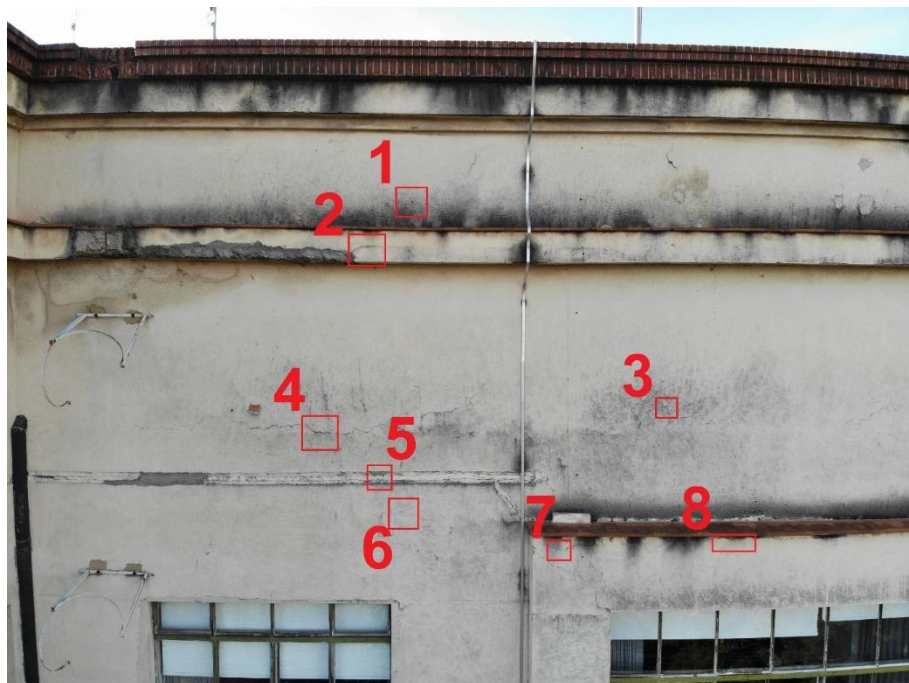
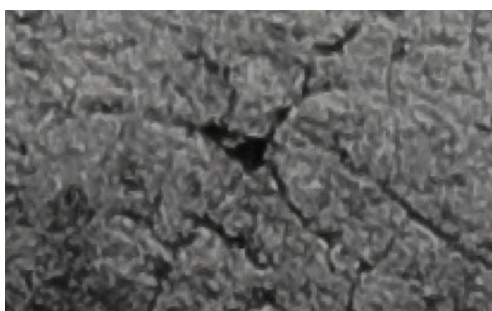


Figura 30 – Segundo trecho em que foram aplicadas as técnicas de pixelização.

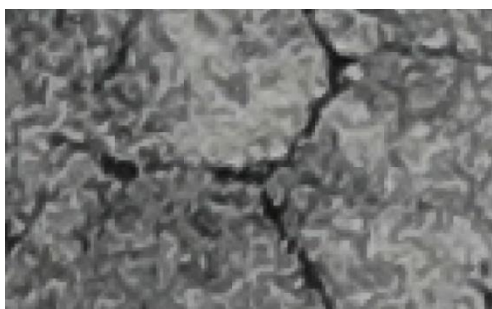
Na Figura 31 cada uma das posições foi apresentada em detalhe:



Posição 1 - 36 pixels



Posição 2 - 16 pixels



Posição 3 - 12 pixels



Posição 4 - 9 pixels



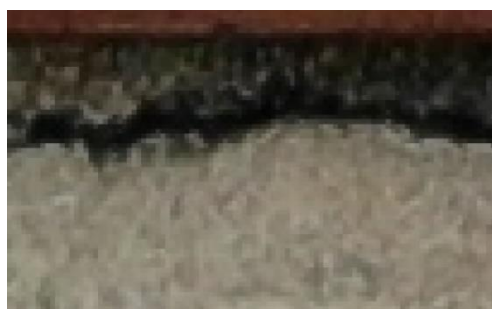
Posição 5 - 128 pixels



Posição 6 - 5 pixels



Posição 7 - 8 pixels



Posição 8 - 7 pixels

Figura 31 – Pixelização de danos observados no trecho 2.

Nas figuras anteriores foram registrados danos com aberturas partindo de 1,42 mm (2 pixels) a 90,88 mm (128 pixels).

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O método proposto reduz a necessidade da presença do engenheiro em campo e permite que a captação das informações seja feita por técnicos treinados, desde que o planejamento seja feito pelo engenheiro, que deve visitar o local e auxiliar o técnico na elaboração das missões e planos de voo.

Após a obtenção das imagens o engenheiro pode fazer as análises no escritório, para levantamento dos problemas visuais, mapeamento das anomalias e elaboração de possíveis análises quantitativas.

Os equipamentos utilizados, apesar de não serem os mais sofisticados do mercado, foram considerados adequados para a finalidade das inspeções, viabilizando a aplicação comercial do método.

Comparativo entre máquina fotográfica convencional e drone

A máquina fotográfica manual convencional é um equipamento mais fácil de ser operado do que um drone, que pode ser utilizado mesmo em condições meteorológicas desfavoráveis, como a presença de ventos fortes e garoa, no entanto, as imagens captadas pela câmera são menos nítidas do que aquelas captadas pelo drone, em especial os registros de posições mais elevadas da edificação.

O drone, por sua vez, apesar de estar sujeito às limitações impostas pelas condições meteorológicas e demandar um piloto habilidoso para realizar os voos próximos da edificação e de obstáculos, possibilita que sejam obtidas fotografias de locais que não podem ser visados a partir do pavimento térreo, com a máquina fotográfica.

Além disso, as imagens obtidas com o drone possuem um nível elevado de padronização, com enquadramentos sempre a uma mesma distância da fachada, sendo esse um aspecto fundamental para a realização de análises através das técnicas de fotogrametria.

Comparativo entre captação semiautônoma e manual

Do ponto de vista operacional a captação semiautônoma tem muitas vantagens em relação à captação manual.

Com a utilização dos softwares de planejamento e controle há uma maior padronização do enquadramento das imagens obtidas, pois o voo semiautônomo é direcionado por GPS e as fotografias são disparadas sempre nas posições pré-definidas.

Há também uma redução do tempo das atividades de campo, pois as missões semiautônomas são mais rápidas que as missões manuais, além de haver também uma redução do tempo das atividades de escritório, para seleção de fotos, pois os voos manuais geram uma quantidade de imagens muito superior, devido ao fato dos disparos automáticos através do temporizador não cessarem enquanto o piloto está fazendo as manobras com o drone, por exemplo, durante as mudanças de direção ou eventuais correções das rotas.

Os softwares de planejamento possibilitam o monitoramento das fachadas, obtendo-se ao longo do tempo imagens sempre da mesma posição, para que possa ser avaliada a intensificação de eventuais manifestações patológicas. O mesmo poderia ser feito de forma manual, no entanto, o piloto teria que ter à mão a imagem anterior, para tentar através da visão em tempo real do drone fazer o mesmo enquadramento, portanto, do ponto de vista operacional, não é viável fazer o monitoramento de muitos pontos, pois seria muito grande o tempo despendido para alcançar o mesmo enquadramento de diversos pontos da fachada.

A captação manual se sobressai à automatizada quanto à possibilidade de voos mais próximos da fachada, resultando em imagens mais nítidas e com menores GSDs. Os softwares de planejamento apresentam limitações que impedem os voos a menos de cinco metros da fachada, enquanto os voos manuais podem ser feitos com segurança a dois metros da edificação.

A impossibilidade de voar a menos de cinco metros da fachada está relacionada às limitações do sistema de navegação por GPS, que pode apresentar variações superiores a essa distância, principalmente quando a edificação bloqueia o sinal entre o drone e o satélite, havendo o risco de colisão com a fachada ou obstáculos próximos.

Nessa linha, a captação manual tem vantagens em relação à semiautônoma quando a edificação em análise possui muitos obstáculos ao seu redor, como é o caso do objeto desse estudo.

Ao lançar todos os obstáculos no plano de voo, inserindo uma margem de segurança para contemplar as limitações da navegação por GPS, o voo semiautônomo inevitavelmente deixará de registrar imagens de alguns pontos da fachada, que poderiam ser obtidas através do voo manual, no qual o piloto pode se aproximar mais dos obstáculos, pois está em contato visual e no comando da aeronave.

Uma forma encontrada de contornar essa limitação do voo semiautônomo foi o de reduzir a velocidade do voo, permitindo reduzir as margens de segurança, pois o piloto teria tempo hábil para retomar o controle do drone caso o drone fosse se chocar contra um dos obstáculos, no entanto, a desvantagem dessa nova configuração passa a ser o aumento do tempo da missão e a elevação do consumo de bateria.

Comparativo entre os softwares de planejamento de voo

Os dois softwares utilizados demonstraram possuir funções adequadas para a obtenção das imagens necessárias ao desenvolvimento do presente trabalho.

O Drone Harmony (DH) possui uma interface mais simples e intuitiva para o usuário, no entanto possui menos funcionalidades que o UgCS, que é um software mais robusto, com diversas opções de ajustes que não estão presentes no DH.

Devido à simplicidade de operação o DH demanda menos tempo de elaboração e planejamento da missão, sendo inclusive plausível que todo esse trabalho seja executado em campo. A configuração da missão do UgCS deve ser feita pelo computador e, portanto, é melhor que seja feita no escritório.

Com os planos de voo executados os trabalhos de campo são semelhantes, exceto pelo fato do UgCS demandar a conexão do controle com um notebook e o DH necessitar apenas do smartphone ou tablet que já seriam utilizados para qualquer voo com o drone.

Comparativo entre varredura horizontal e vertical

Nas missões semiautônomas a varredura vertical foi considerada mais adequada. Os momentos que demandam maior atenção do inspetor são aqueles em que o drone se aproxima de obstáculos e eventualmente possa colidir, devido a uma imprecisão da navegação por GPS. A varredura horizontal gera situações em que o

drone passa diversas vezes por todos os obstáculos, por outro lado, na varredura vertical o mapeamento próximo a obstáculos ocorre de uma vez, demandando uma grande atenção nesse momento, mas, finalizada a inspeção nesse local, o drone não volta a se aproximar desse obstáculo.

As missões manuais também geraram resultados mais satisfatórios com as varreduras verticais, pois foi observado que nesses casos o consumo de bateria foi inferior ao ocorrido na varredura horizontal e do ponto de vista da pilotagem foi mais fácil manter o alinhamento do drone para melhor padronização dos enquadramentos das imagens obtidas.

O aspecto desfavorável da varredura vertical nos voos manuais está relacionado à grande quantidade de mudanças de direção que deve ser feita com o drone, quando o edifício é mais largo do que alto, como o objeto deste estudo.

Comparativo entre as distâncias do drone para a fachada

Conforme abordado neste capítulo, os voos a distâncias inferiores a cinco metros da fachada somente são possíveis em missões manuais, no entanto, as imagens obtidas a dois metros do edifício apresentam maior nitidez e são mais indicadas para a identificação de pequenos danos, como fissuras.

A desvantagem do voo próximo à edificação está relacionada à quantidade de fotos necessárias para varrer toda a área, que chega a ser mais de cinco vezes superior à quantidade de imagens necessárias para varrer toda a fachada a cinco metros de distância.

Tendo em vista que grande parte do trabalho de escritório está no processamento e análise das imagens, quanto maior o número de fotografias, mais demorado será o trabalho.

A combinação entre os dois tipos de imagens gerou um resultado satisfatório, no sentido em que inicialmente apenas as imagens obtidas a cinco metros são analisadas e quando surgem dúvidas ou a necessidade de detalhamento, buscam-se as imagens mais nítidas.

Análises qualitativas e quantitativas

As técnicas empregadas permitem realizar uma ampla análise qualitativa das manifestações patológicas existentes nas fachadas, possibilitando o mapeamento e o cadastramento das anomalias, para que sejam correlacionados os tipos de danos com a direção das fachadas em que esses se encontram, além de outras características construtivas que podem favorecer o surgimento desses problemas.

A análise quantitativa realizada através da técnica da pixelização amplia os subsídios necessários à elaboração do diagnóstico e do prognóstico da fachada, ao dar informações objetivas relativas ao grau de intensidade dos problemas existentes.

No caso em tela foi possível cadastrar fissuras com aberturas partindo de aproximadamente 1,4 mm, até rasgos de 90 mm, remanescentes de antigas instalações.

CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi alcançado à medida que foram apresentadas tecnologias e técnicas inovadoras que auxiliam o engenheiro na tarefa de inspecionar fachadas e analisar suas manifestações patológicas, reduzindo a quantidade de horas aplicadas nas atividades de campo e de escritório, permitindo a redução dos custos de consultorias de engenharia.

Foram apresentados equipamentos disponíveis no mercado que viabilizam a aplicação comercial dos métodos propostos, tendo em vista que são produtos acessíveis ao público em geral e de preços medianos.

Dois softwares de planejamento e controle de voo foram testados, permitindo a execução de missões semiautônomas, aumentando a qualidade e padronização dos dados obtidos e reduzindo ainda mais o tempo de trabalho de campo.

As imagens obtidas através de drones fornecem subsídios à elaboração dos diagnósticos, prognósticos e propostas de terapias em fachadas pouco danificadas, havendo a possibilidade de não ser necessário realizar estudos mais aprofundados. No entanto, o edifício objeto do estudo de caso apresenta um elevado grau de comprometimento dos revestimentos de fachada, sendo necessário o aprofundamento dos estudos *in loco*, para que seja possível definir as técnicas de recuperação que serão aplicadas e quais posições deverão passar pelas intervenções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKINCI, Burcu *et al.* A formalism for utilization of sensor systems and integrated project models for active construction quality control. *Automation In Construction*, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 124-138, mar. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2005.01.008>.

ALSHAWABKEH, Yahya *et al.* Linear feature extraction from point cloud using color information. *Heritage Science*, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-13, 18 mar. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40494-020-00371-6>.

BALARAS, C.A.; ARGIRIOU, A.A.. Infrared thermography for building diagnostics. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 171-183, fev. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788\(01\)00105-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788(01)00105-0).

BAUER, E. ; CASTRO, E. K.; OLIVEIRA FILHO, A. H.; PAVÓN, E.; Critérios para aplicação da termografia de infravermelho passiva como técnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios. In: 1º **Encontro Luso-Basileiro de degradação em estruturas de concreto armado**. Salvador. 2014.

BAUER, Elton *et al.* Criteria for Identification of Ceramic Detachments in Building Facades with Infrared Thermography. **Recent Developments In Building Diagnosis Techniques**, [s.l.], p.51-68, 2016. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-0466-7_4.

BAUER, Elton *et al.* Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. **Structural Survey**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.20-35, 13 abr. 2015. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/ss-05-2014-0021>.

BRANCO, Luiz Antonio Melgaço Nunes. **Revestimentos pétreos**: estudo de desempenho frente às técnicas e condições de assentamento. 2010. 236 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL ESPECIAL**: rbac-e nº 94. Brasília: Anac, 2017. 26 p.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Ministério da Defesa. **TRÁFEGO AÉREO**: aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro - ica 100-40. Brasília: do, 2020. 57 p.

C. Eschmann, C.-M. Kuo, C.-H. Kuo, C. Boller, Unmanned aircraft systems for remote building inspection and monitoring, in: C. Boller (Ed.), **European Workshop on Structural Health Monitoring** - EWSHM 2012, 3–6 July, Dresden, Germany, 2013 9781510829480.

CABALLERO, F. *et al.* A visual odometer without 3D reconstruction for aerial vehicles. Applications to building inspection. **Proceedings Of The 2005 IEEE International Conference On Robotics And Automation**, [s.l.], p.4673-4678, abr. 2005. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/robot.2005.1570841>.

CAMPANTE, E.F. E SABBATINI, F.H. (2001). Metodologia para diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimento cerâmico de fachada. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998. Boletim técnico n. 223.

CARASEK, H. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Ed G. C. Isaia. São Paulo: Ibracon, 2010. 2v. cap 28. p885-936.

CARASEK, Helena *et al.* Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 59, p. 85-98, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.043>.

CHANDA, S., BU, G., GUAN, H., JO, J., PAL, U., LOO, Y. C., & BLUMENSTEIN, M. (2014). Automatic Bridge Crack Detection — A Texture Analysis-Based Approach, 6th IAPR TC 3 International Workshop on Artificial Neural Networks in Pattern Recognition, New York, USA, October 6-8, 2014.

DAFTRY, Shreyansh; HOPPE, Christof; BISCHOF, Horst. Building with drones: Accurate 3D facade reconstruction using MAVs. **2015 IEEE International Conference On Robotics And Automation (icra)**, [s.l.], p.3487-3494, maio 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icra.2015.7139681>.

DELVAL, Thibaut *et al.* BIM to Develop Integrated, Incremental and Multiscale Methods to Assess Comfort and Quality of Public Spaces. **Lecture Notes In Civil Engineering**, [S.L.], v. 98, n. 1, p. 160-179, ago. 2020. Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8>.

Dias, J.M., Matias, L.M.; Henriques, M.J., Ribeiro, M.S. e Santos, T.O. (2017). Combined use of nondestructive methods for the assessment of facades anomalies of heritage buildings with structural concrete elements. **Proceedings of 7th International Conference on Engineering Surveying - INGENO 2017**, Lisboa.

DUQUE, Luis; SEO, Junwon; WACKER, James. Synthesis of Unmanned Aerial Vehicle Applications for Infrastructures. **Journal Of Performance Of Constructed Facilities**, [s.l.], v. 32, n. 4, p.040180461-0401804610, ago. 2018. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001185](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001185).

EDIS, Ecem; FLORES-COLEN, Inês; BRITO, Jorge de. Building Thermography: Detection of Delamination of Adhered Ceramic Claddings Using the Passive Approach. **Journal Of Nondestructive Evaluation**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.1-13, 18 nov. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10921-014-0268-2>.

ELLENBERG, A. *et al.* Bridge related damage quantification using unmanned aerial vehicle imagery. **Structural Control And Health Monitoring**, [s.l.], v. 23, n. 9, p.1168-1179, 20 jan. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/stc.1831>.

ELLENBERG, A. *et al.* Masonry Crack Detection Application of an Unmanned Aerial Vehicle. **Computing In Civil And Building Engineering** (2014), [s.l.], p.1788-1795, 17 jun. 2014. American Society of Civil Engineers. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784413616.222>.

ENTROP, A.g.; VASENEV, A. Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 132, p.63-68, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.636>.

FALTÝNOVÁ, M. *et al.* BUILDING FACADE DOCUMENTATION USING LASER SCANNING AND PHOTOGRAMMETRY AND DATA IMPLEMENTATION INTO BIM. Isprs - **International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [s.l.], v. -3, p.215-220, 9 jun. 2016. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xli-b3-215-2016>.

FARAHANI, Abolfazl *et al.* Optimized maintenance and renovation scheduling in multifamily buildings – a systematic approach based on condition state and life cycle cost of building components. **Construction Management And Economics**, [S.L.], v. 37, n. 3, p. 139-155, 10 nov. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2018.1512750>.

FERREIRA, Beatriz Bernardes Dias; SILVA, Adriano de Paula; CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de. TIPIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS EM REVESTIMENTO ARGAMASSADO. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 2, n. 1, p. 40-43, jan./jul. 2010. Semestral.

FLORES-COLEN, I. *et al.* Discussion of Criteria for Prioritization of Predictive Maintenance of Building Façades: survey of 30 experts. **Journal Of Performance Of Constructed Facilities**, [S.L.], v. 24, n. 4, p. 337-344, ago. 2010. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000104](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000104).

FLORES-COLEN, Inês *et al.* A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 24, n. 9, p. 1718-1729, set. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.017>.

GOMES NETO, Emilio Hoffmann. **INSPEÇÕES PREDIAIS COM DRONES**. São Paulo: Drone Show - Mundo Geo Connect, 2019. 224 slides, color.

HONG, Tianzhen *et al.* State-of-the-art on research and applications of machine learning in the building life cycle. *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 212, p. 109831-109846, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109831>.

IR THERMOGRAPHY Primer. Hong Kong: Flir Systems Co., Ltd., 2008. 28 p.

ISRAEL, Marcus Coimbra. **Ensaio não destrutivo aplicado à avaliação de revestimentos de argamassa**. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

JAKHAR, D.; KAUR, I. Artificial intelligence, machine learning and deep learning: definitions and differences. **Clinical And Experimental Dermatology**, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 131-132, 9 jul. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ced.14029>.

JORDAN, Sophie *et al.* State-of-the-art technologies for UAV inspections. **Iet Radar, Sonar & Navigation**, [s.l.], v. 12, n. 2, p.151-164, 1 fev. 2018. Institution of Engineering and Technology (IET). <http://dx.doi.org/10.1049/iet-rsn.2017.0251>.

JOSHAGHANI, Alireza; BALAPOUR, Mohammad; RAMEZANIANPOUR, Ali Akbar. Effect of controlled environmental conditions on mechanical, microstructural and durability properties of cement mortar. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 164, p.134-149, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.206>.

KÜNG, O. *et al.* THE ACCURACY OF AUTOMATIC PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUES ON ULTRA-LIGHT UAV IMAGERY. **Isprs - International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [s.l.], v. -1/22, p.125-130, 6 set. 2012. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xxxviii-1-c22-125-2011>.

LATTANZI, David; MILLER, Gregory. Review of Robotic Infrastructure Inspection Systems. **Journal Of Infrastructure Systems**, [s.l.], v. 23, n. 3, p.040170041-0401700416, set. 2017. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000353](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000353).

LECUN, Yann; BENGIO, Yoshua; HINTON, Geoffrey. Deep learning. *Nature*, [S.L.], v. 521, n. 7553, p. 436-444, maio 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature14539>.

LIBERATORE, Domenico *et al.* Static penetration test for historical masonry mortar. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 122, p.810-822, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.097>.

LIU, Junshan; JENNESSE, Michael; HOLLEY, Paul. Utilizing Light Unmanned Aerial Vehicles for the Inspection of Curtain Walls: A Case Study. **Construction Research Congress 2016**, [s.l.], p.2651-2659, 24 maio 2016. American Society of Civil Engineers. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784479827.264>.

LOURENÇO, T., et al, 2016 - Anomaly diagnosis in ceramic claddings by thermography - A review. **7th International Conference on Safety and Durability of Structures (ICOSADOS)**, 2016, UTAD, Portugal (ISBN:978-989-20-6683-7).

MADER, D. *et al.* POTENTIAL OF UAV-BASED LASER SCANNER AND MULTISPECTRAL CAMERA DATA IN BUILDING INSPECTION. *Isprs - International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, [s.l.], v. -1, p.1135-1142, 6 jun. 2016. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xli-b1-1135-2016>.

MALHOTRA, V.M; CARINO, N. J. Handbook on Nondestructive testing of concrete. Boca Raton London New York: CRC Press, 2004.

MELO JÚNIOR, Carlos Mariano. **Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aéreo não tripulado e processamento digital de imagens**. 2016. 372 f. Tese (Doutorado) - Curso de Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MONTEIRO, L. R. Otimização de um sistema de transportes de medicamentos via UAV (Drone) entre hospitais do Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016. Disponível: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10018400.pdf>>. Acesso: 18 de Ago.2020

OLIVEIRA, Mírian Cruxên Barros de; CAVANI, Gilberto de Ranieri. Avaliação integrada do estado de conservação do edifício Adriano Marchini, IPT, São Paulo. **Revista Cpc**, São Paulo, v. 7, n. 7, p. 143-172, nov. 2008. Semestral.

TOMAZELI, Alexandre. **Patologias em revestimentos de fachadas**: notas de aula. São Paulo: Mackenzie, 2017. 273 slides, color.

PAN, Zhufeng; YANG, Jian; WANG, Xing-Er; LIU, Junjin; LI, Jianhui. Surface Scratch Detection of Monolithic Glass Panel Using Deep Learning Techniques. **Lecture Notes In Civil Engineering**, [S.L.], v. 98, n. 1, p. 133-143, ago. 2020. Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8>.

RAKHA, Tarek *et al.* Heat Mapping Drones: An Autonomous Computer-Vision-Based Procedure for Building Envelope Inspection Using Unmanned Aerial Systems (UAS). **Technology|architecture + Design**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.30-44, 2 jan. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/24751448.2018.1420963>.

RAKHA, Tarek; GORODETSKY, Alice. Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection

procedures using drones. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 93, p.252-264, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>.

RODRIGUEZ-GONZALVEZ, Pablo *et al.* Image-based modeling of built environment from an unmanned aerial system. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 48, p.44-52, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.010>.

TELES, Carlos Dion de Melo. **Inspeção de fachadas históricas: levantamento de materiais e danos de argamassas de revestimento**. 2010. 321 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos de fotogrametria**. Belo Horizonte: Ufmg, 2000. 26 p.

THOMAZ, Ercio. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Pini, 2001.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989. 194 p.

THOMAZ, Ercio; MITIDIARI FILHO, Cláudio Vicente; CLETO, Fabiana da Rocha; CARDOSO, Francisco Ferreira. **CÓDIGO DE PRÁTICAS Nº 01: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: Ipt, 2009. 72 p.

VICENTE, Gabriel dos Santos; SANTOS, White José dos; BRANCO, Luiz Antonio Melgaço Nunes; BARBOSA, Ricardo Antônio. ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO NO DESEMPENHO MECÂNICO DE PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 1-8, Não é um mês valido! 2013. Semestral.

YAHYANEJAD, Saeed; RINNER, Bernhard. A fast and mobile system for registration of low-altitude visual and thermal aerial images using multiple small-scale UAVs. **Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [s.l.], v. 104, p.189-202, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.07.015>.

ZHU, Zhenhua; BRILAKIS, Ioannis. Machine Vision-Based Concrete Surface Quality Assessment. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [S.L.], v. 136, n. 2, p. 210-218, fev. 2010. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000126](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000126).