

RELAÇÃO ENTRE DADOS TERMAIS E MULTIESPECTRAIS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES

Rafael Lopes de Lara^{1,3}, Juliana Machado Casali^{2,4}, Adolfo Lino de Araújo^{2,5}, Elódio Sebem^{2,6}

¹Acadêmico de Engenharia Civil, IFSC, Florianópolis, Brasil
(lopesrafael2000@gmail.com)

²Departamento Acadêmico de Construção Civil, IFSC, Florianópolis, Brasil

³<https://orcid.org/0009-0009-5174-0715>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-8583-9395>

⁵<https://orcid.org/0000-0001-7627-6060>

⁶<https://orcid.org/0000-0001-9789-9400>

Resumo: Este trabalho analisa a eficácia de dados termais e multiespectrais na identificação de manifestações patológicas em fachadas de edificações do IFSC, câmpus Florianópolis, utilizando drone DJI Mavic 3. Foram aplicados filtros e índices às imagens multiespectrais utilizando os programas SAGA e QGIS e analisados termogramas. Os resultados revelaram complementaridade entre os métodos na detecção de fissuras, umidade e descascamentos.

Palavras-chave: Termografia; Sensoriamento Remoto; Manifestações patológicas nas Edificações.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de manifestações patológicas em fachadas, como umidade, delaminações e fissuras, representa um desafio recorrente na avaliação do desempenho de edificações (Cortizo, 2007). A detecção precoce dessas anomalias é fundamental para evitar a deterioração acelerada dos materiais, perdas funcionais e o aumento dos custos de manutenção. Entretanto, técnicas convencionais de inspeção, baseadas principalmente em métodos visuais, apresentam limitações na identificação de falhas em estágio inicial e de elementos ocultos (Guedes *et al.*, 2025).

Entre as tecnologias de ensaio não destrutivo aplicadas ao diagnóstico de fachadas, destacam-se a termografia infravermelha e o sensoriamento multiespectral (Pereira, Vale e Venceslau, 2017). A termografia infravermelha permite identificar variações térmicas associadas à presença de umidade, descolamento de revestimentos e alterações no fluxo de calor, enquanto a imagem multiespectral possibilita registrar a reflectância dos materiais em diferentes faixas do espectro eletromagnético, evidenciando diferenças de composição, degradação superficial e alterações decorrentes de infiltrações, trincas ou descascamento de revestimento. Embora ambas as técnicas apresentem potencial diagnóstico, a literatura ainda carece de investigações que comparem diretamente seus desempenhos em edificações brasileiras.

Considerando esse cenário, este trabalho tem como objetivo analisar a eficácia de dados termais e multiespectrais na identificação de manifestações patológicas em fachadas de edificações. O estudo foi conduzido por meio de um levantamento realizado na edificação Bloco “C” do câmpus Florianópolis do IFSC, utilizando câmeras específicas acopladas a um drone, com aquisição padronizada das imagens e processamento para geração de ortomosaicos e filtros espectrais.

A comparação entre os métodos buscou verificar se ambos são capazes de detectar as mesmas anomalias, investigar suas vantagens e limitações e avaliar se o uso combinado das técnicas pode ampliar a precisão do diagnóstico em inspeções de fachadas. Os resultados apresentados neste artigo contribuem para o aprimoramento das práticas de Engenharia Diagnóstica e para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de manutenção predial.

Segundo Gomide *et al.* (2021), a Engenharia Diagnóstica é a disciplina que promove as investigações científicas das manifestações patológicas, aplicando uma metodologia que possibilite a obtenção de dados técnicos focados em identificar, analisar e determinar sua origem e causa. O objetivo final é formular um diagnóstico tanto para o reparo da anomalia quanto para prevenção futura.



Examinando estas anomalias pode-se revelar interconexões, onde a maioria das falhas estruturais e de revestimentos está ligada a infiltração de água e gases. Tal infiltração facilita o contato da superfície com cloretos e CO₂ que aceleram processos de corrosão de armadura e descolamento de revestimentos. Portanto, a Engenharia Diagnóstica precisa operar com uma visão de sistema, reconhecendo que a identificação e remediação da umidade, frequentemente vista como uma patologia secundária, é o ponto de controle crucial para evitar o desenvolvimento de patologias estruturais graves. A incapacidade de identificar precocemente a umidade oculta perpetua o ciclo de degradação (Gomide, *et al.* 2021).

Para melhor visualização de uma edificação, a Engenharia Diagnóstica faz uso de ferramentas, diversificando os pontos de vista e facilitando a identificação de pontos de estudo, de acordo com França (2011). Mas além do tratamento de diagnóstico, também é preciso estudar os fatores que criam a condição de surgimento da manifestação patológica, pois o diagnóstico preciso dessas falhas depende justamente da identificação dos mecanismos que as desencadeiam, especialmente aqueles relacionados à infiltração e à umidade, que atuam como elementos-chave na deterioração de estruturas e revestimentos. Assim, o entendimento aprofundado das causas, aliado à observação das condições que favorecem o surgimento dessas manifestações patológicas, permite não apenas a detecção das anomalias, mas também a solução delas, estabelecendo uma transição entre a análise diagnóstica e a caracterização das patologias que comprometem a durabilidade das construções.

Helene (2011) explica que métodos construtivos modernos, prazos curtos e novos materiais são frequentemente utilizados para alcançar o máximo desempenho com o mínimo custo. Essa busca pela economia reduziu coeficientes de segurança, fazendo com que erros mínimos na execução ou projeto, antes protegidos pelos coeficientes maiores, agora possam comprometer o desempenho da edificação e gerar manifestações patológicas.

A manifestação patológica em obras civis, segundo Abreu e Guedes (2018) é definida pela perda parcial ou total da capacidade da estrutura em manter seu aspecto estético, funcionalidade, estabilidade e sobretudo durabilidade frente às condições a que está sujeita.

Dentre os problemas encontrados nas construções, estudos estatísticos citaram fissuras, umidade, ou infiltração, e descolamentos de revestimentos como as manifestações patológicas mais comuns e de maior frequência nas edificações, estando presentes em

diversas residências brasileiras segundo Freitas, Carasek e Cascudo (2014).

A presença de umidade na edificação pode resultar no aparecimento de outras manifestações patológicas como bolor, mofo e descascamento de paredes. Esses defeitos comprometem a vida útil da edificação, e consequentemente sua habitabilidade, além de que depreciam a finalidade do imóvel, seja residencial ou profissional, e podem prejudicar a saúde dos ocupantes (Silva e Abdalla, 2018).

Além da umidade, Silva e Abdalla (2018) também citam a utilização de materiais diferentes e elementos pré-fabricados como causador de fissuras e trincas nos pontos de juntas, áreas onde tem-se a junção de dois materiais diferentes, apresentando desgaste diferencial devido às durabilidades distintas. E justamente nessas trincas, quando em paredes externas ou paredes sujeitas a fortes variações de temperatura e umidade, pode-se ter os primeiros sinais de desenvolvimento de infiltrações.

A coleta de dados por sensoriamento remoto, que gera imagens multiespectrais e termais, se apresenta como ferramenta prática para a obtenção de dados de fachadas, buscando identificar o maior volume possível de manifestações patológicas sem se expor as falhas humanas. A geração de imagens baseia-se diretamente na interação da energia eletromagnética com os objetos de interesse, como as edificações. Cada material na superfície da Terra reflete e ou emite a energia eletromagnética de maneira única, dependendo de sua composição e estado. Sensores de câmeras são projetados para medir essa energia em intervalos específicos do espectro, capturando o que chama-se de bandas do espectro eletromagnético (Sartori, 2006).

As bandas são faixas específicas do espectro eletromagnético nas quais um sensor capta a energia refletida ou emitida por objetos ou pela própria superfície da fachada. Diferentemente de uma fotografia colorida comum, que combina apenas as bandas visíveis, as imagens multiespectrais registram a radiação em um número maior de bandas, que podem incluir partes do espectro não visíveis ao olho humano, como o ultravioleta e o infravermelho (Scabini, 2018; Sartori, 2006).

As imagens multiespectrais, que abrangem desde o ultravioleta até o infravermelho, passando pelo espectro visível, são ferramentas importantes para a documentação e avaliação não invasiva de bens patrimoniais. A fotografia científica pode ser considerada multiespectral quando registra a radiação em um número de bandas superior às três bandas habituais (Vermelha, Verde e Azul – RGB, sendo R = Red; G = Green e B = Blue), que são usadas em câmeras fotográficas e se assemelham ao

funcionamento do sistema visual humano (Pereira; Vale e Venceslau, 2017).

Por meio da coleta de informações nestes intervalos de comprimentos de onda do espectro eletromagnético, consegue-se visualizar as camadas de pintura em superfícies arquitetônicas que estão erodidas. A simples visualização individual de algumas dessas bandas já pode revelar mais informações do que o perceptível a olho nu ou em uma fotografia RGB normal (Pereira; Vale e Venceslau, 2017).

Além disso, o processamento computacional das bandas espectrais possibilita a geração de imagens com cores virtuais que realçam ainda mais os aspectos das camadas superficiais das edificações. Isso pode evidenciar, por exemplo, a oxidação de elementos metálicos, a degradação por agentes biológicos ou até mesmo sobreposições de camadas de material (Pereira; Vale e Venceslau, 2017).

Essa detecção de agentes biológicos é de grande importância no contexto da identificação de infiltrações, visto que áreas de umidade e temperatura alta auxiliam no desenvolvimento de mofo, fungos e musgos na edificação (Guedes, *et al.* 2025).

Segundo Bernardi e Lopes (2020), são utilizadas duas técnicas de obtenção de dados para a medição com câmera termal, técnica ativa ou passiva. Na ativa utiliza-se de equipamentos de indução de calor para induzir um fluxo térmico e evidenciar a área no termograma, e na passiva registra-se apenas as variações de temperaturas oriundas de fontes naturais, como insolação, calor interno da edificação ou rajadas de vento ou chuva. Em ambos os processos tem-se um termograma.

Com a geração do termograma com diferentes cores, é possível ver as variações de temperatura entre áreas de forma clara. Para os autores Bauer e Pávon (2015) essa variação de temperatura medida na superfície pode significar a presença de uma patologia no local, visto que esses defeitos causam uma resistência térmica, influenciando o transporte de calor na região. Mas os autores ressaltam que alterações podem ser identificadas pela presença de elementos estruturais, falta de reboco, tubulações ou elementos hidráulicos, e que sempre é necessário fazer uma avaliação visual e conhecer a edificação antes de tomar as conclusões pelas imagens térmicas geradas.

Com a integração entre as imagens pode-se fornecer um diagnóstico mais abrangente e preciso das manifestações patológicas em edificações, analisando diferentes informações com as ferramentas fornecidas e trazer uma riqueza de dados para o vistoriador. Essa tecnologia pode revolucionar as avaliações de imóveis, proporcionando maior precisão, eficiência, segurança e otimização de tempo, o que pode transformar o mercado imobiliário e setores

relacionados como a engenharia civil, arquitetura e urbanismo (Lazzarin e Matsuda, 2024).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo de caso realizado em uma edificação do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), campus Florianópolis, com o objetivo de comparar a eficácia das imagens multiespectrais em identificar manifestações patológicas em fachadas frente às câmeras termais. A metodologia foi dividida em quatro etapas, iniciando pela inspeção visual, aquisição dos dados termais e multiespectrais através da utilização do drone, processamento e geração das ortoimagens, aplicação de filtros e cálculo de índices às imagens e por último a análise comparativa dos resultados.



Figura 1. Objeto de Estudo: Bloco Central localizado dentro do campus IFSC Florianópolis. Fonte: Os autores, 2026.

Os objetos de estudo foram dois ambientes do IFSC campus Florianópolis, localizado na Avenida Mauro Ramos, onde foram analisadas duas fachadas da edificação Bloco “C” (norte e oeste), a fachada leste do bloco B.

As edificações apresentam fachadas com ampla exposição à insolação e às intempéries, o que contribui para o surgimento de manifestações patológicas. Inicialmente foram realizadas inspeções visuais nas fachadas, onde foram identificadas áreas com sinais aparentes de deterioração, incluindo descascamento e desgaste de revestimentos de pintura, manchas de umidade e fissuras. Essas áreas serviram como referência para o planejamento dos voos e da coleta de dados.

Para adquirir as imagens em toda a fachada utilizou-se um drone DJI Mavic 3, equipado com sistema de estabilização tridimensional, GNSS de alta precisão e capacidade de voo estacionário, o que possibilitou a aquisição padronizada das imagens. Os voos foram planejados de forma a manter distância constante da fachada e ângulo adequado de captura para evitar distorções, bem como coletar o máximo de fotos possíveis para facilitar a composição do ortomosaico.

A aquisição das imagens começou por volta das 10:10 do dia 13/09/2025, com um primeiro voo de teste para ajustar o melhor ângulo e trajetória do drone. O clima

do dia era seco, com sol forte, algumas rajadas de vento de baixa intensidade e temperatura em torno aos 19°C. Foi definido o intervalo de uma foto a cada dois segundos para garantir que haveria sobreposição de imagens. A coleta dos dados durou até próximo das 12:30 do mesmo dia sendo capturadas mais de 1400 fotos com cada voo de coleta de imagem durava cerca de 8 minutos.

É importante comentar que as imagens capturadas pela câmera termal só podem ser analisadas isoladamente, visto que foi utilizada a função da câmera que faz um ajuste na escala termográfica da imagem em tempo real para cada foto obtida. Já no registro das imagens multiespectrais a câmera ficou definida com o ajuste fixo de escala, o que permite que todas elas sejam utilizadas posteriormente para a geração de ortomosaicos.

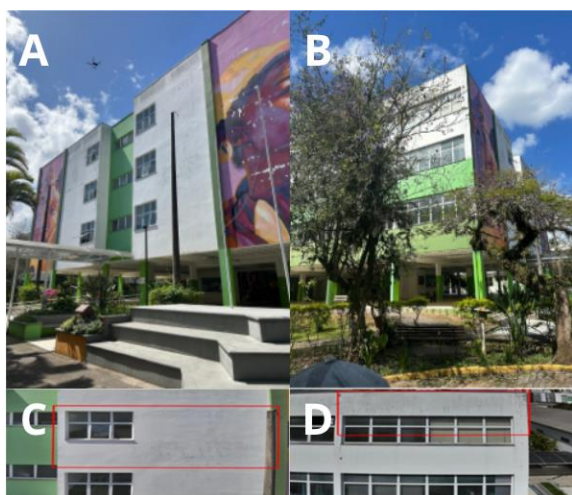


Figura 2. Objetos de Estudo: A) Fachada Oeste do Bloco Central; B) Fachada Norte do Bloco Central; C) Área de estudo na Fachada Oeste do Bloco Central; D) Área de estudo na Fachada Norte do Bloco Central. Fonte: Os autores, 2026.

Posteriormente, as imagens foram disponibilizadas para realizar o processamento de imagem. As imagens termais foram analisadas individualmente, e selecionadas somente aquelas que possuem anomalias de temperatura, que posteriormente vão ser comparadas às suas equivalentes da ortoimagem.

Para o processamento das imagens multiespectrais foi utilizado o software Agisoft MetaShape Profissional 2.2.1. Neste processo foi possível unir todas as imagens capturadas na fachada Norte e na fachada Oeste e criar uma ortoimagem que possuísse todas as imagens obtidas pela câmera multiespectral acoplada ao drone.

A câmera utilizada para obtenção das imagens multiespectrais possui 4 bandas, sejam elas, Verde (G: 560 ± 16 nm); Vermelho (R: 650 ± 16 nm); Borda do Vermelho (RE: 730 ± 16 nm); e Infravermelho

próximo (NIR: 860 ± 26 nm), com uma resolução de 48 MP (megapixels).

O processamento e aplicação de filtros foi realizado no Software SAGA 9.1.3 (64 bits) onde foram selecionados os seguintes:

- 1) Filtro Binário de Erosão-Reconstrução - FBER (Binary Erosion-Reconstruction): Suaviza os contornos e elimina ruídos isolados, utilizando uma operação de erosão seguida de uma reconstrução para garantir que as características essenciais do objeto principal sejam mantidas.
- 2) Filtro Gaussiano – FG (Gaussian Filter): O filtro gaussiano é um operador de suavização usado para "desfocar" ou "suavizar" dados de grade, removendo detalhes e ruídos.
- 3) Filtro Laplaciano – FL (Laplacian Filter): Utilizado para realçar bordas e os detalhes finos de uma imagem, ele atua como um operador de segunda ordem de diferenciação, sendo muito sensível a ruídos.
- 4) Filtro Multidirecional de Lee – FML (Multi Direction Lee Filter): O Filtro de Lee permite a redução de ruído multiplicativo em imagens, mantendo as informações de textura e as bordas. Ele ajusta sua força de suavização com base na variação local da imagem.
- 5) Filtro de Notch para Imagens – FNI (Notch Filter for Grids): Projetado para remover ou atenuar drasticamente uma banda de frequência muito estreita do espectro de um sinal ou imagem.

Para a obtenção de índices foi utilizado o software QGIS 3.44.3 -Solothurn por meio da calculadora raster. Os índices servem para realçar características que não se observam nas imagens originais e, portanto, procuram maximizar as diferenças. Foram calculados os seguintes índices:

- 1) Índice de Diferença Normalizada da Água (Normalized Difference Water Index – NDWI): O NDWI é um índice utilizado no sensoriamento remoto orbital para realçar e mapear locais úmidos, usando as bandas do Verde e do Infravermelho Próximo.
- 2) Índice de Rugosidade – RUG (Roughness): O índice de rugosidade quantifica a irregularidade de uma superfície dentro de uma determinada área e pode indicar a presença de trincas ou descascamentos que alteram a superfície.

O drone também foi equipado com uma Câmera Termal Mavic 3 Thermal (Universal Edition) com resolução de 640x512 pixels e câmera de RGB de 48 megapixels.

As imagens obtidas com a câmera termal foram analisadas individualmente por inspeção visual. A identificação das manifestações patológicas baseou-se na observação de regiões que apresentavam marcação

anômala ou variação atípica de temperatura em relação às áreas adjacentes. Considerando que as superfícies analisadas eram compostas pelo mesmo material e deveriam apresentar comportamento térmico homogêneo em condições normais, qualquer diferença significativa no padrão de distribuição térmica foi interpretada como potencial indicativo de anomalia. Dessa forma, a análise visual dos termogramas permitirá localizar áreas com possível presença de umidade, delaminações, descascamentos e falhas de pintura, uma vez que essas patologias alteram o fluxo de calor na superfície e tendem a gerar contrastes térmicos detectáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a coleta de imagens pelo drone, foi possível a criação dos ortomosaicos como nas Figuras 3 e 4 apresentadas a seguir. Analisando-as, percebem-se áreas onde a imagem ficou deformada, como no caso das margens inferior e esquerda da figura 4 onde havia uma grande quantidade de galhos de árvores, bem como uma área de falha no centro da figura 3, onde a foto multiespectral registrou o reflexo da janela. Apesar das leves imperfeições na criação do ortomosaico, não houve impacto negativo na aplicação de filtros nas áreas escolhidas para o estudo.



Figura 3. Ortomosaico da Fachada Oeste. Fonte: Os autores, 2026.



Figura 4. Ortomosaico da Fachada Norte. Fonte: Os autores, 2026.

A Figura 5 apresenta o resultado da aplicação dos filtros na fachada oeste do Bloco Central. Analisando a fachada oeste, a imagem termal (Figura 5A) identificou alterações de temperatura tanto na extensão da parede quanto na extremidade superior e inferior. Observa-se uma faixa de variação, indicando na porção superior provavelmente devido a laje de

concreto possuir uma temperatura diferente da parede e conforme os anos da edificação ter gerado uma trinca de dilatação.

Nas Figuras 5C, 5D, 5E, 5F e 5G, identificou-se manifestações patológicas de descascamento, trincas e fissuras e pontos de irregularidade na superfície da parede, inclusive um ponto claramente registrado em todas as imagens na parte inferior direita onde houve um pequeno descolamento da camada de reboco.

Analisando o FBER, FML e FNI (Figuras 5C, 5F e 5G) percebe-se uma boa clareza na representação de discrepâncias de superfície, já que os filtros utilizam de fundos sólidos na imagem e escalas de cores vibrantes que facilitam a visualização das imperfeições.

Na Figura 5B gerada pelo índice NDWI, observa-se um acumulado de pontos na região direita inferior da imagem, onde no momento obtenção da fotografia estava parcialmente em sombra.

Na Figura 5H, observa-se o índice de rugosidade, onde pode-se facilmente observar as trincas de contato de laje e parede e fissuras de parede.

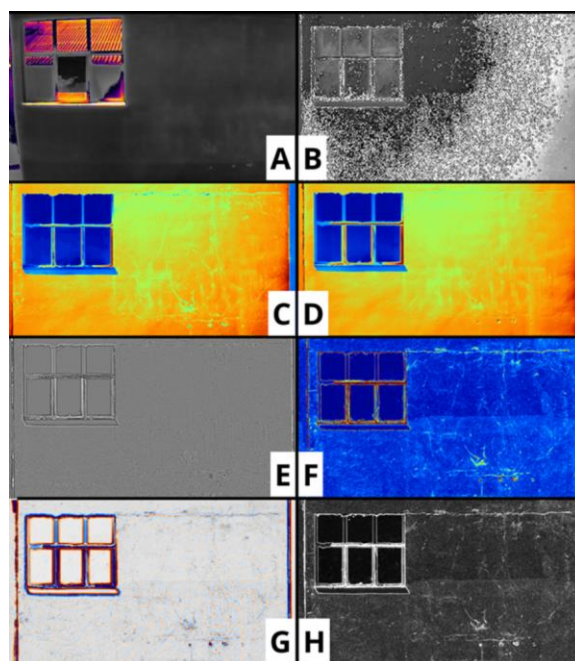


Figura 5. Resultados da aplicação dos filtros na Fachada Oeste do Bloco Central: A) Imagem Termal; B) NDWI; C) FBER; D) FG; E) FL; F) FML; G) FNI e H) RUG. Fonte: Os autores, 2026.

A Figura 6 apresenta o resultado da aplicação dos filtros na fachada norte do Bloco Central. Analisando a fachada norte, pode-se perceber que a imagem termal 6A apresentou grandes variações de leitura nos vidros das janelas, isto se dá por vezes pela marcação da temperatura do interior da sala ou pelo reflexo da imagem do vidro. Pelo termograma também pode-se notar variações de temperatura na posição central da

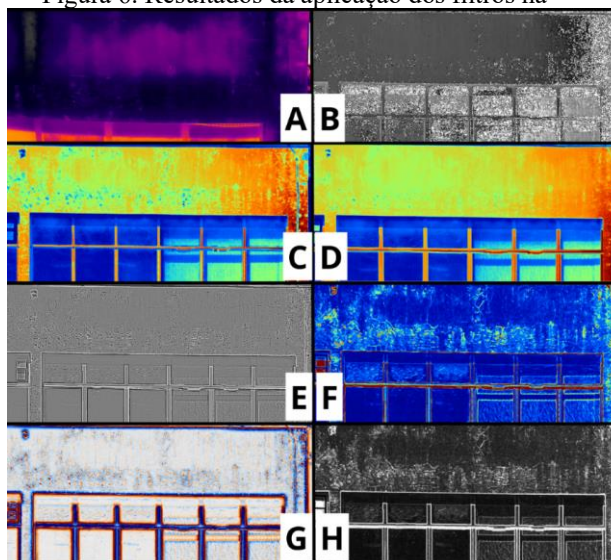
parede acima da janela e no canto superior direito na extrema borda da edificação. Também é possível notar que existem leves manchas de variação de temperatura na parede, mas que são difíceis de delimitar e até mesmo de identificar à primeira vista.

É possível identificar que a utilização dos filtros nas Figuras 6C, 6D, 6E, 6F, e 6G, foram capazes de representar com mais clareza a diferença de temperatura em pequenos pontos, marcando melhor as patologias superficiais de descascamento, pequenas trincas e fissuras. Também se percebe que todos os filtros representaram bem a formação de umidade presente no canto superior direito da edificação.

Já o NDWI (Figura 6B), pode-se notar um grande volume de pontos na região da borda direita da imagem, região esta que em outras fotos pode-se identificar uma concentração de umidade superficial, validando a utilização do índice. Com o índice de Rugosidade (Figura 6H) foi possível identificar bem as condições da superfície da fachada, ficando perceptível as trincas e fissuras e as manifestações patológicas de pintura. As informações repassadas pelo índice se assimilam às do filtro Multi Direction Lee, mostrado na imagem 6F.

De maneira geral, pode-se notar com o uso das ferramentas que os índices construídos não conseguiram mostrar todas as manifestações patológicas visualizadas na inspeção a olho nu ou na imagem termal, mas a combinação deles sim. Cada índice ou filtro possui um ponto forte e consequentemente um ponto fraco.

Figura 6. Resultados da aplicação dos filtros na



Fachada Norte do Bloco Central: A) Imagem Termal; B) NDWI; C) FBER; D) FG; E) FL; F) FML; G) FNI e H) RUG. Fonte: Os autores, 2026.

O Filtro Binário de Erosão-Reconstrução identificou marcas de umidade com clareza, mas com alguns

problemas de nitidez, tornando a imagem turva em ambas as fachadas.

O Filtro Gaussiano (Figura 5D e 6D) identificou marcas de umidade com mais clareza que o filtro BE, e conseguiu marcar regiões com fissuras/microfissuras e pequenas manifestações patológicas de pintura, mas devido a sensibilidade do filtro acabou marcando com clareza apenas metade da parede na Figura 6D, necessitando outra ferramenta complementar para analisar o outro lado.

O Filtro Laplaciano (Figuras 5E e 6E), identificou bem fissuras e trincas na fachada das edificações, mas com necessidade de ajustes para melhorar a nitidez e o contraste da imagem. Como sua escala é sutil entre cinza, branco e preto, fica difícil de analisar a fachada completa e obter informações claras, sendo necessário analisar mais de perto os pontos.

O Filtro Multidirecional de Lee (Figuras 5F e 6F) identificou variações de temperatura e com pouco contraste as variações de refletância. Marcou claramente fissuras e possíveis pontos de umidade. O filtro possui uma boa representação de cores, o que torna fácil identificar os pontos de manifestação patológica mesmo ao analisar uma imagem grande.

O Filtro de Notch para Imagens (Figuras 5G e 6G) fez identificação de áreas com 'profundidade' da fachada, marcando fissuras descascamentos e imperfeições na fachada. Ao utilizar um fundo branco sólido, gerou uma boa clareza na identificação das anomalias, tal como o Multi Direction Lee.

O NDWI (Figuras 5B e 6B) marcou com pontos as regiões que tinham presença de umidade, mas não se mostrou um filtro bom para identificação de manifestações patológicas de pintura ou de estrutura.

Com o Índice de Rugosidade (Figuras 5H e 6H) conseguiu-se identificar com clareza trincas e fissuras, e defeitos no revestimento de pintura da parede de diferentes dimensões, se mostrando uma boa ferramenta para identificação de manifestações patológicas de revestimento, principalmente em paredes de cor sólida, onde é mais difícil a identificação a olho nu.

A análise multiespectral apresentou uma vantagem clara em relação aos termogramas no que se refere à interpretação das imagens dada a facilidade de geração de ortoimagens. Enquanto as fotografias multiespectrais puderam ser integradas em um único mosaico, as imagens termais, devido ao ajuste automático de escala térmica a cada captura, exigiram análise individualizada. Essa diferença reforçou o potencial superior da multiespectral para análises de fachada em larga escala.



CONCLUSÃO

Um ponto relevante no processo de aquisição das imagens foi a facilidade operacional do drone, da câmera multiespectral e da câmera termal, que demonstraram ser mais eficientes quando comparados aos métodos tradicionais de inspeção visual direta. Com pouco tempo de voo foi possível registrar imagens de fachadas inteiras, em diferentes bandas espectrais e com cobertura uniforme, substituindo atividades manuais demoradas e reduzindo riscos associados ao trabalho em altura.

Com a utilização do software de geração de ortoimagem, permitiu-se a observação da fachada como um todo, em alta resolução e com alinhamento geométrico preciso, facilitando a comparação entre diferentes áreas e eliminando a necessidade de interpretar imagens isoladas. Isso representou um ganho expressivo em clareza e abrangência, além de permitir uma visão contextualizada das manifestações patológicas ao longo de toda a extensão da edificação.

No que diz respeito ao processamento digital, observou-se que tanto os filtros do SAGA quanto os índices calculados no QGIS auxiliaram significativamente na identificação das anomalias. Embora esses filtros e índices não tenham sido desenvolvidos especificamente para análises de manifestações patológicas, muitos deles sendo tradicionalmente utilizados para aplicações em cartografia, análises topográficas e estudos ambientais, ainda assim demonstraram bom desempenho no contexto deste trabalho, atuando como ferramentas complementares de diagnóstico.

A aplicação dos filtros e índices às imagens multiespectrais permitiu identificar com clareza diversas manifestações patológicas presentes nas fachadas analisadas. Entre as anomalias detectadas destacam-se trincas, fissuras, descascamentos de pintura e regiões com indícios de umidade, que se tornaram perceptíveis devido ao realce proporcionado pelas manipulações espectrais. Em vários trechos das fachadas Norte e Oeste, os contrastes evidenciados pelos filtros aplicados no SAGA e pelos índices calculados no QGIS revelaram padrões que não eram facilmente identificáveis a olho nu, indicando que o uso de imagens multiespectrais associadas ao processamento digital contribuiu de forma significativa para o diagnóstico das manifestações patológicas.

Apesar dos resultados promissores, observou-se a necessidade de aprofundar o estudo sobre o comportamento de cada filtro aplicado e de desenvolver um ajuste mais refinado para aprimorar a assertividade na identificação das patologias. Em síntese, os resultados obtidos demonstram que o uso de imagens multiespectrais e processamento digital apresenta grande potencial para inspeção de fachadas,

oferecendo rapidez, precisão e capacidade de análise ampliada. Estudos futuros poderiam explorar novos índices, filtros desenvolvidos especificamente para o diagnóstico de edificações e métodos híbridos que combinem dados multiespectrais e termais, aprofundando a linha de investigação proposta neste trabalho e contribuindo para a evolução das técnicas de detecção remota aplicadas à engenharia civil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFSC, pela infraestrutura oferecida e pelo ambiente acadêmico propiciado para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. F. A.; GUEDES, M. S. S. **Engenharia de Diagnóstico em Edificações**. Oficina de Textos, São Paulo, 2018.
- BAUER, E.; PÁVON, E. Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. **Concreto & Construções**, v. 3, p. 98, 2015.
- BERNARDI, D. F.; LOPES, C. E. J. Aplicação da termografia na detecção de manifestações patológicas em edificações históricas. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 157, 2020.
- CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em edificações do patrimônio histórico**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- DJI. Drone Mavic 3. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic-3-pro>. Acesso em: 09 jul 2025.
- FRANÇA, I. L. **Patologia nas edificações com ênfase em estruturas de concreto**. Monografia (Engenharia Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- FREITAS, J. G.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 57–73, 2014.
- GOMIDE, T. L. F. et al. **Manual de Engenharia Diagnóstica**. 2. ed. LEUD, São Paulo, 2021.



GUEDES, J. V. F. et al. Performance of Sensors Embedded in UAVs for the Analysis and Identification of Pathologies in Building Façades. **Buildings**, v. 15, n. 6, p. 875, 2025.

HELENE, P. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **Revista Técnica**, n. 174, 2011.

LAZZARIN, L. G.; MATSUDA, G. O uso de drones e tecnologia de sensoriamento remoto em avaliações. **Iguazu Science**, v. 2, n. 6, p. 17-20, 2024.

NASCIMENTO, M. L. M. **Utilização de drone e termografia na detecção de manifestações patológicas em edificações**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Católica de Brasília, 2014.

PEREIRA, L. B.; VALE, C. P.; VENCESLAU, R. Imagens multiespectrais e termográficas aplicadas ao estudo do Patrimônio Arquitetônico. **Congresso da Reabilitação do Patrimônio**, Universidade de Aveiro, p. 205-214, 2017.

SAGA USER GROUP ASSOCIATION; HFT STUTTGART. Library Filter. In: **SAGA-GIS Module Library Documentation**, v. 2.2.5. SAGA-GIS, 2014.

SARTORI, L. R. **Métodos para extração de informações a partir de imagens multiespectrais de escalas grandes**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas), UNESP, Presidente Prudente, 2006.

SCABINI, L. F. S. **Análise de imagens multiespectrais através de redes complexas**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SILVA, M. C. N. C.; ABDALLA, A. M. W. Ação da umidade em edificações – métodos de prevenção e recuperação. **Revista Tecnológica da FATEC**, v. 15, n. 1, 2018.

VIÉGAS, D. J. A. **Utilização da termografia infravermelha em fachadas para verificação de descolamento de revestimento**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Pernambuco, 2015.

ZHU, H.; ZHANG, T.; DENG, L. Indirect target detection method in FLIR image sequences. **Infrared Physics & Technology**, v. 60, p. 15-23, 2013.