

**NACIONALGÁS** 

**BRASILGÁS** 

**PARAGÁS** 

**GEQ** Grupo  
Edson Queiroz

**TECNOLOGIA TERMOGRÁFICA EMBARCADA EM  
DRONE PARA IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS  
NA INSPEÇÃO INDUSTRIAL EM EMPRESA  
DISTRIBUIDORA DE GLP**

**FORTALEZA**

**2023**

## DADOS DO CASE

### **Categoria:**

Infraestrutura

### **Autores:**

- Wildenbergery Pereira Lucas - Nacional Gás.  
Contatos: [wildenbergery.lucas@nacionalgas.com.br](mailto:wildenbergery.lucas@nacionalgas.com.br) / (85) 3466.8921
- Arlei Andrade da Silva - Nacional Gás.  
Contatos: [arlei.silva@nacionalgas.com.br](mailto:arlei.silva@nacionalgas.com.br) / (85) 3466.8921
- Nicolas Daniel Gomes Silva - Nacional Gás/Grupo Portfolio.  
Contatos: [nicolas.daniel@nacionalgas.com.br](mailto:nicolas.daniel@nacionalgas.com.br) / (85) 3466.8921
- Roberto Rivelino Moura Barroso - Nacional Gás.  
Contatos: [rivelino.barroso@nacionalgas.com.br](mailto:rivelino.barroso@nacionalgas.com.br) / (85) 3466.8921
- Paula Silva Marques - Nacional Gás.  
Contatos: [paula.marques@nacionalgas.com.br](mailto:paula.marques@nacionalgas.com.br) / (85) 3466.8921
- Jean Kleber Lima da Cruz  
Contatos: [jean.cruz@nacionalgas.com.br](mailto:jean.cruz@nacionalgas.com.br) / (85) 3466.8921
- Daniel Candeira Val Filho  
Contatos: [daniel.filho@nacionalgas.com.br](mailto:daniel.filho@nacionalgas.com.br) / (85) 3466.8921
- Robson De Sousa Dourado  
Contatos: [robson.dourado@nacionalgas.com.br](mailto:robson.dourado@nacionalgas.com.br) / (85) 3466.8921
- Luiz Felipe Gomes Bezerra Evangelista  
Contatos: [luiz.felipegbe@nacionalgas.com.br](mailto:luiz.felipegbe@nacionalgas.com.br) / (85) 3466.8921

## RESUMO

A Nacional Gás busca constantemente soluções inovadoras na área de inspeção industrial. O avanço tecnológico desempenha um papel fundamental nesse contexto, e uma das inovações mais importantes é o uso da termografia embarcada em drones para identificar patologias em estruturas industriais. A termografia embarcada em drones permite a inspeção de estruturas industriais de forma precisa e não invasiva. Essa tecnologia utiliza câmeras termográficas que capturam imagens térmicas das estruturas inspecionadas. Essas imagens são analisadas para identificar possíveis problemas, como vazamentos, pontos de aquecimento excessivo, entre outros. Essa abordagem oferece diversas vantagens, incluindo a detecção precoce de problemas, onde a termografia embarcada em drones permite a identificação antecipada de patologias em estruturas industriais, facilitando a manutenção preventiva e evitando danos mais graves. A inspeção não invasiva, realizada por drones, dispensa a necessidade de acesso físico às estruturas inspecionadas, reduzindo os riscos para os inspetores e os custos associados. A coleta ágil de dados possibilita a obtenção rápida e precisa de informações sobre as estruturas inspecionadas, agilizando o processo de inspeção. A análise detalhada das imagens termográficas capturadas pelos drones fornece informações abrangentes sobre as condições térmicas das estruturas inspecionadas, facilitando uma análise mais precisa e detalhada. Em resumo, o uso da termografia embarcada em drones para identificar patologias em estruturas industriais representa uma solução inovadora que otimiza as inspeções industriais na Nacional Gás, possibilitando a detecção precoce de problemas, reduzindo riscos e custos, e garantindo a segurança das estruturas construídas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Histórico da tecnologia de drones .....	9
Figura 2: A Evolução da inspeção predial .....	10
Figura 3: Termografia aérea .....	10
Figura 4: Limitações de acesso às edificações .....	11
Figura 5: Propagação idealizada de um único pulso de calor em um material (a) impulso de energia aplicado a superfície; (b) O pulso de calor viaja dentro do material e encontra um defeito; (c) O defeito reflete parcialmente e transmite parcialmente o pulso.....	13
Figura 6: Fluxo da metodologia .....	15
Figura 7: Mavic 2 Enterprise Advanced.....	16
Figura 8: Escala conhecida como rainbow (arco-íris) para termografia .....	20
Figura 9: Detecção de pontos umidade utilizando o drone .....	21
Figura 10: Identificação de patologia (infiltração) .....	21
Figura 11: Detecção de patologias com drone e termografia .....	22
Figura 12: Coleta de dados em campo .....	23

NACIONALGÁS 

BRASILGÁS 

PARAGÁS 

**GEQ** Grupo  
Edson Queiroz

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Vantagens e limitações do uso da câmera termográfica integrada ao drone.. 17

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	7
1.1 Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda. ....	7
1.2 Desenvolvimento tecnológico e inovação: A transformação dos drones na engenharia de inspeção .....	8
1.3 Cenário .....	9
2. PROBLEMAS ENCONTRADOS .....	10
2.1 Dificuldade de acesso nas inspeções.....	11
2.2 Elevados custos das inspeções .....	11
2.3 Problemas de segurança de execução nas inspeções .....	11
2.4 Possibilidade de falha humana nas inspeções .....	12
2.5 Limitações na identificação visual de patologias.....	12
3. OBJETIVOS.....	12
3.1 Objetivo Geral .....	12
3.2 Objetivos Específicos.....	12
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4.1 Inspeção predial.....	13
4.2 Drone .....	13
4.3 Termografia .....	14
5. MÉTODOS.....	15
5.1 Revisão bibliográfica.....	16
5.2 Desenvolvimento do conceito e projetos técnicos: .....	16
5.3 Aplicação da tecnologia: .....	16
5.4 Implantação do método: .....	17
6. RESULTADOS .....	18
6.1 Revisão bibliográfica .....	18
6.2 Desenvolvimento do conceito .....	18
6.3 Aplicação da tecnologia.....	19
6.4 Implantação do Método .....	20
7. CONCLUSÃO .....	23
Referências .....	24

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda.

A história da Nacional Gás se inicia em 1951, com um jovem empreendedor chamado Edson Queiroz que percebeu mudanças que estavam ocorrendo no mercado mundial na época e trouxe as mesmas para realidade dos cearenses. No início houve uma grande resistência da população devido ao receio do GLP, no entanto o jovem Edson conseguiu convencer a população de Fortaleza a deixar os antigos fogões a lenha pelos novos fogões que utilizavam o novo produto. No início a empresa teve enormes dificuldades, pois além do grande preconceito do povo nordestino com o produto, ainda era difícil a obtenção de GLP, pois o produto era importado do México e Estados Unidos e ainda existia a dificuldade de distribuição do mesmo. Para conseguir superar esses obstáculos foi preciso que o jovem empresário passasse a vender fogões, além de ter que ir pessoalmente nas casas dos clientes para fazer a instalação e informar sobre as vantagens dos novos produtos.

Em 1953, após uma ação arrojada, Edson Queiroz obteve a autorização para carregar seus botijões de gás na Refinaria Landulfo Alves em Mataripe-BA. A partir desta concessão, a Edson Queiroz & Cia., que tinha 289 clientes e comercializava 2,9 toneladas por mês, a partir dessa ação foram reduzidos os custos para obtenção do GLP, conseguindo progressos significativos na distribuição. Por outro lado, o mercado continuava crescendo com a disruptiva do preconceito dos consumidores em Fortaleza. Foi quando a empresa iniciou um crescimento e ampliou para outros estados do Brasil, além deste fato, também se estendeu para outras atividades econômicas.

A Nacional Gás chega aos dias atuais com foco na modernidade, com destaque nacional na comercialização de envasados domiciliar e crescendo cada vez mais no setor granel, graças ao reconhecimento e preferência dos seus parceiros de negócios, clientes e consumidores. Atuando no armazenamento, envase e distribuição de GLP, está presente em quase todo o território nacional.

## **1.2 Desenvolvimento tecnológico e inovação: A transformação dos drones na engenharia de inspeção**

A história do desenvolvimento tecnológico dos drones é uma jornada que remonta aos tempos tumultuados da Segunda Guerra Mundial, com os primeiros conceitos surgindo no início do século XX. Nesse contexto, a Alemanha nazista concebeu as chamadas “bombas voadoras” ou, em alemão, V-1, que apesar de sua simplicidade e vulnerabilidade, voavam em linha reta a uma velocidade constante, sendo responsáveis por mais de 1.000 lançamentos. Posteriormente, durante o mesmo conflito, surgiu sua sucessora, a temida bomba V-2.

O virar do século marcou um marco significativo na expansão do uso de drones para aplicações civis (anos 2000 em diante), abrindo portas para inúmeras possibilidades, incluindo a inspeção predial. A miniaturização de sensores e avanços na estabilidade de voo tornaram os drones acessíveis para uma ampla variedade de tarefas.

A inspeção predial por meio de drones é uma aplicação inovadora e relativamente recente. Sua história pode ser rastreada desde o surgimento dos drones civis.

Com a comercialização dos drones civis na virada do século (anos 2000), a indústria da engenharia de construção começou a explorar as perspectivas oferecidas por esses dispositivos para a inspeção de edifícios.

Durante a década de 2010, empresas e profissionais da área de construção começaram a adotar drones para inspecionar estruturas prediais. A capacidade de sobrevoar edifícios e capturar imagens detalhadas permitiu uma avaliação mais abrangente das condições das estruturas.

A detecção de umidade por meio de drones emergiu como uma aplicação especializada. Sensores infravermelhos e câmeras multiespectrais possibilitam a identificação precisa de áreas com umidade excessiva, infiltrações e outros problemas estruturais.

A inspeção predial por drone oferece benefícios notáveis, como eficiência na coleta de dados, redução de custos e maior segurança para inspetores. Além disso, essa tecnologia permite a manutenção proativa de edifícios, estendendo sua vida útil.

Em resumo, a história do desenvolvimento tecnológico dos drones é uma jornada de inovação que teve início nos primeiros conceitos do século XX, passou por sua utilização militar e se expandiu para aplicações civis nos anos 2000. A inspeção predial por drone, uma aplicação relativamente recente, está transformando a forma como a manutenção e a preservação de edifícios são realizadas, proporcionando benefícios substanciais para a indústria da engenharia, a economia de custos e a segurança das estruturas, do patrimônio e das pessoas.

### 1.3 Cenário

No cenário atual da indústria, a busca por soluções inovadoras na área de inspeção industrial é constante. A evolução tecnológica tem desempenhado um papel fundamental nesse contexto, e uma das inovações mais importantes é o uso da termografia embarcada em drones para identificar patologias em estruturas industriais.

Figura 1: Histórico da tecnologia de drones



Fonte: [aeroengenharia.com/historia-dos-drones](https://aeroengenharia.com/historia-dos-drones) (2023).

Uma aplicação notável dessa tecnologia é a termografia, que utiliza sensores infravermelhos embarcados em drones para identificar problemas como umidade, infiltrações e outras anomalias estruturais de maneira ágil e precisa. Isso não apenas permite intervenções proativas na manutenção industrial, evitando danos significativos

A utilização de drones na inspeção industrial não apenas aumenta a eficiência na coleta de dados, cobrindo grandes áreas em pouco tempo, mas também reduz a dependência de inspeções humanas.

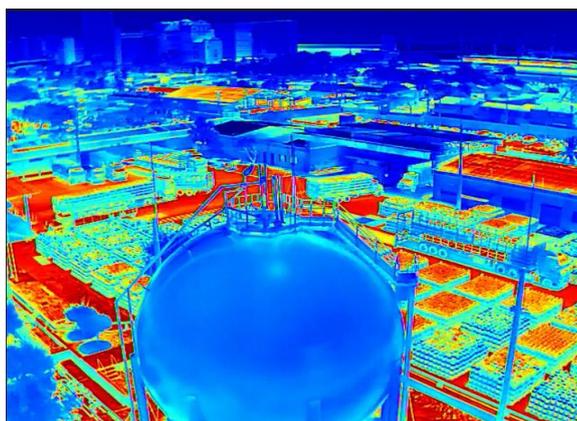
Figura 2: A Evolução da inspeção predial



Fonte: [projetoconstrucaomais.org/post/novas-tecnologias-na-inspecao-e-manutencao-predial](https://projetoconstrucaomais.org/post/novas-tecnologias-na-inspecao-e-manutencao-predial) (2023).

Neste cenário, a termografia por drones está revolucionando a maneira como a inspeção industrial é conduzida. À medida que essa tecnologia continua a evoluir, podemos esperar uma transformação significativa.

Figura 3: Termografia aérea



Fonte: Imagem realizada pelo Autor (2023).

## 2. PROBLEMAS ENCONTRADOS

A realização de inspeções convencionais em edificações frequentemente esbarra em desafios relacionados ao acesso, resultando em implicações substanciais para a eficácia das inspeções e a manutenção de estruturas, custos, exposição aos riscos e falha

humana. Abaixo, exploraremos os principais problemas associados à dificuldade de acesso nas inspeções:

## 2.1 Dificuldade de acesso nas inspeções

As realização de inspeções convencionais em edificações frequentemente enfrenta desafios relacionados ao acesso. Essas limitações têm implicações significativas, como a detecção tardia de problemas e atrasos na execução de manutenção essencial. A figura 4 ilustra algumas das limitações de acesso encontrados.

Figura 4: Limitações de acesso às edificações



Fonte: Imagem realizada pelo Autor (2023).

## 2.2 Elevados custos das inspeções

Os recursos financeiros necessários para conduzir inspeções detalhadas em edificações representam um ônus substancial para as organizações. Isso envolve despesas significativas com mão de obra e equipamentos, impactando os orçamentos das empresas.

## 2.3 Problemas de segurança de execução nas inspeções

Determinadas áreas em edificações apresentam desafios de segurança durante a execução das inspeções. Isso inclui locais de difícil acesso, como superfícies inclinadas e fachadas elevadas. Tais obstáculos podem resultar em inspeções inadequadas ou na necessidade de instalação de andaimes e outras estruturas, elevando os custos e pondo em risco a vida.

## **2.4 Possibilidade de falha humana nas inspeções**

A precisão de inspeções realizadas por inspetores humanos pode ser comprometida por fatores como fadiga, falta de experiência e treinamento inadequado. Essas variáveis podem levar a resultados inconsistentes, com diferentes inspetores avaliando o mesmo problema de maneira distinta. A interpretação subjetiva dos dados coletados também pode resultar em conclusões imprecisas, representando risco para segurança e o patrimônio.

## **2.5 Limitações na identificação visual de patologias**

Outro desafio relevante é que algumas patologias não podem ser identificadas apenas por inspeções visuais. A detecção de não conformidades pode ser prejudicada, resultando inspeções imprecisas e incapazes de reconhecer todos os problemas. Um exemplo disso é identificação de umidade, cuja visualização pode ser imprecisa devido fatores como dificuldade de acesso, limitações humanas e condições climáticas adversas.

# **3. OBJETIVOS**

## **3.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste projeto é apresentar o desenvolvimento tecnológico de uma solução de engenharia que utiliza termografia embarcada em drones para identificar patologias na inspeção industrial. Essa solução tem como finalidade otimizar processos, reduzir custos, mitigar falhas humanas e melhorar a segurança operacional, do patrimônio e das pessoas.

## **3.2 Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos objetivos específicos que fornecem um contexto direto para cada etapa do projeto:

- Identificar problemas de umidade nas edificações da Nacional Gás usando drone. A figura 6 exemplifica problemas de umidade nas edificações na Nacional Gás.
- Avaliar a contribuição dos drones na análise das condições estruturais e da integridade das edificações.

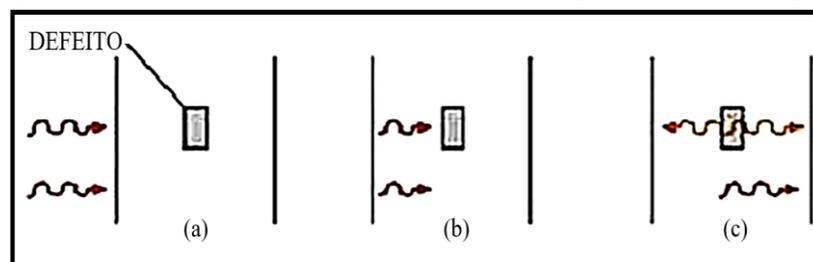
- Avaliar como os drones melhoram a segurança dos trabalhadores e infraestrutura.
- Estimar economia de custos relacionada à prevenção de danos causados pela umidade.
- Explorar as últimas inovações em tecnologia de drone e sensores de umidade por meio revisão da literatura e científica.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Inspeção predial

A aplicação da termografia nos processos de inspeção é baseada na existência de anomalias ou defeitos que influenciam nas propriedades térmicas da estrutura, os defeitos interrompem a transferência de calor do concreto, visto que os vazios existentes são preenchidos com ar ou água, e devido a diferença de condutibilidade térmica dos materiais, é verificado a variação da temperatura ao longo da estrutura (Rocha e Póvoas, 2017).

Figura 5: Propagação idealizada de um único pulso de calor em um material (a) impulso de energia aplicado a superfície; (b) O pulso de calor viaja dentro do material e encontra um defeito; (c) O defeito reflete parcialmente e transmite parcialmente o pulso



Fonte: (Cortizo, 2007).

### 4.2 Drone

Os primeiros desenvolvimentos para drone começaram na década de 50 e destinavam-se exclusivamente para fins militares. Diferentes projetos foram iniciados em diversos países com o objetivo de produzir veículos capazes de transportar missões sem piloto de modo a evitar ainda mais perdas (Agostinho, 2012). Com o passar do tempo a tecnologia passou a ser disseminada, e sua primeira utilização para fim não militar ocorreu em 1986, para monitorar incêndios florestais em Montana nos Estados Unidos (Agostinho, 2012).

Além disso, os drones são ferramentas eficazes para realização de procedimentos de sensoriamento remoto, sendo o principal argumento para o seu uso a capacidade de alcançar locais de difícil acesso, aliado a gama de sensores aplicáveis que podem ser incorporados ao mesmo, como câmara infravermelha, detecção de luz e sensores de distância (LIDAR, em inglês Light Detection And Ranging) (Freimuth e König, 2018).

### **4.3 Termografia**

A termografia infravermelha constitui uma ferramenta preditiva usada no diagnóstico precoce de falhas e outros problemas (estudo de análise de desempenho, a fim de prever e apontar eventuais anomalias, auxiliando na manutenção preventiva). Os resultados são apresentados instantaneamente, durante a inspeção, na forma de imagens térmicas ou termogramas, que representam a distribuição da temperatura superficial do objeto observado e, como tal, registrados para fins das subsequentes providências, por parte dos interessados e posterior arquivamento (ITC, 2014).

Os sistemas de termografia infravermelha captam a radiação térmica, representada no espectro eletromagnético, pelo fato de todos os corpos estarem a uma temperatura superior ao zero absoluto emitindo radiação, e convertem-na num termograma o qual possui uma escala policromática (cores) ou monocromática (cinza). O fenômeno da radiação infravermelha (IR) foi descoberto por William Herschel em 1800 e, em 1821, houve a descoberta do efeito termoelétrico por Thomas Johann Seebeck, que é a conversão direta da diferença de temperatura em tensão elétrica e vice-versa, sendo esse efeito a base para o funcionamento câmeras térmicas (Mistry, 2009; Viégas, 2015). A radiação térmica emitida por um objeto e captado pela câmera térmica é dada pela lei de Stefan-Boltzmann.

Utilização de drones como ferramenta de inspeção predial, focada na detecção de umidade, representa inovação tecnológica de destaque. Esta abordagem se destaca pela eficiência na coleta de dados e capacidade de identificar problemas em estágios iniciais. Além disso, a revisão bibliográfica revela que a integração de drones gera benefícios econômicos substanciais, reduzindo despesas operacionais associadas à umidade.

Em relação às inovações tecnológicas, observa-se uma evolução constante tanto na tecnologia de drones quanto nos sensores de umidade. Isso abrange sensores de alta resolução e drones com recursos de voo autônomo, contribuindo para aprimorar a precisão das inspeções. As pesquisas em sensores de umidade avançados continuam a prometer melhorias adicionais. A conformidade regulatória é uma consideração crítica, que deve cumprir rigorosas regulamentações para garantir a segurança operacional. Essas normativas destacam a importância de inspeções regulares, tornando fundamental que o uso de drones em inspeções prediais esteja alinhado com esses requisitos. Além disso, essa revisão bibliográfica servirá como base sólida para a pesquisa detalhada, incluindo a proposição de recomendações estratégicas e operacionais, bem como a promoção de conscientização e educação sobre essa tecnologia inovadora.

## 5. MÉTODOS

Este trabalho utiliza termografia embarcada em drone para identificar manifestações patológicas na inspeção industrial, com base em estudos de autores como Rangel (2016), Pereira (2019), Silva e Santos (2020), Almeida e Lima (2018), Torres e Marques (2017), Santos e Ferreira (2019), Lima e Santos (2020) e Carvalho e Silva (2018), estabelecendo sólido fundamento de conhecimento. A constante evolução na tecnologia de drones e sensores de umidade, incluindo sensores de alta resolução e drones com recursos de voo autônomo, é observada. A conformidade regulatória é crucial, exigindo a conformidade. A integração de inspeções por drone promete melhorar a segurança e produtividade, criando um ambiente de trabalho mais eficiente e seguro. Essa revisão bibliográfica serve como base para a pesquisa detalhada, incluindo recomendações estratégicas e operacionais, bem como a promoção da conscientização e educação sobre essa tecnologia inovadora.

Figura 6: Fluxo da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.1 Revisão bibliográfica

Com base na revisão bibliográfica, desenvolvemos o conceito para aplicação do drone na inspeção predial e detecção de manifestações patológicas resultantes de um mecanismo de degradação, onde patologia é a ciência que as estuda. Estas manifestações, salvo algumas exceções, apresentam-se externamente, “característica, a partir da qual se pode deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, assim como pode-se estimar suas prováveis consequências” (OLIVEIRA, 2013). Também incluiu planejamento preliminar do uso de drone, identificação dos sensores necessários e definição dos requisitos técnicos específicos para essa aplicação inovadora.

### 5.2 Desenvolvimento do conceito e projetos técnicos:

A revisão bibliográfica proporcionou uma base sólida para o desenvolvimento do conceito de utilização do drone na inspeção industrial com foco na detecção de umidade. Este processo envolveu o planejamento detalhado das operações com drone, a seleção criteriosa dos sensores apropriadas e a definição precisa dos requisitos técnicos para garantir uma implementação eficaz.

### 5.3 Aplicação da tecnologia:

Nesta etapa, selecionamos o drone Mavic 2 Enterprise Advanced, considerado ideal para a aplicação devido às suas dimensões adequadas e alta autonomia de voo. Com capacidade para 27 minutos de operação ininterrupta, o drone possibilitou a realização de inspeções abrangentes em diversos elementos das instalações, desde telhados e fachadas até tubulações e tanques, contribuindo significativamente para a identificação precoce de umidade.

Figura 7: Mavic 2 Enterprise Advanced



Fonte: Mavic 2 Enterprise Advanced - Drones de inspeção de mapeamento industrial | DJI Enterprise

Na Tabela 1 são apresentadas as principais vantagens e limitações do uso da câmera termográfica integrada ao drone de acordo com a literatura (Yehia et al., 2007; Agostinho, 2012; Sham et al., 2012; Jorge e Inamasu, 2014; Mavromatidis et al., 2014; Seibert e Teizer, 2014; Domingues, 2015; Melo e Costa, 2015; Pajares, 2015; Watase et al., 2015; Zhang et al., 2015; Ariwoola, 2016; Ellenberg et al., 2016; Hiasa et al., 2016; Rehman et al., 2016; Entrop e Vasenev, 2017; Muñoz et al., 2017; Witczuk et al., 2017; Freimuth e König, 2018); Ramírez et al., 2018; Andrade et al., 2019).

Tabela 1: Vantagens e limitações do uso da câmera termográfica integrada ao drone

VANTAGENS	LIMITAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de alcançar áreas de difícil acesso;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obter dados em tempo real;</li> <li>• Reduzir riscos operacionais;</li> </ul> </li> <li>• Aumentar a segurança do operador e dos colaboradores envolvidos;</li> <li>• Redução no tempo de inspeção, gerando economia e agilizando o planejamento de recuperação da estrutura;</li> <li>• Maior confiabilidade se comparada aos métodos convencionais;</li> <li>• Tecnologia rápida, não-invasiva, não destrutiva e sem contato;</li> <li>• Pode ser aplicada a uma distância considerável para se analisar e inspecionar grandes áreas em pequenos intervalos de tempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autonomia de voo entre 30 min a 2 h, em modelos com menos de 150 kg;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições climáticas favoráveis, implicando tanto no voo quanto na emissividade calorífica da superfície;                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sujeito as regulamentações e restrições locais para realização do voo, não sendo possível ser realizado em qualquer localidade;</li> </ul> </li> <li>• Interferência nos resultados devido a reflexões caso seja utilizada em um prédio que tenha edifícios vizinhos com fachadas espelhadas;                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alterações em leituras obtidas a distâncias superiores a 10 metros entre a câmera e objeto estudado;</li> </ul> </li> <li>• Não é possível medir a espessura e a profundidade da manifestação patológica.</li> </ul> </li> </ul>

Fonte: 447-Original Article Text-5963-5-10-20210525 (1).pdf

#### 5.4 Implantação do método:

A fase de implantação do métodos foi uma etapa essencial para garantir o êxito da utilização do drone na inspeção industrial, com foco na detecção de umidade. Nesse processo, a formação e capacitação dos operadores da Nacional Gás desempenharam um papel central, preparando-os de maneira abrangente para aplicar com eficácia e pleno conhecimento as metodologias necessárias para a aplicação eficaz dessa tecnologia.

O treinamento abordou desde as regulamentações rigorosas até as práticas seguras de operações e os métodos recomendados para a coleta de dados precisos. Os operadores foram submetidos a instruções detalhadas sobre o planejamento meticuloso das operações

com drone, incluindo a identificação de áreas críticas para inspeção e a definição precisa dos requisitos técnicos exclusivos para cada missão.

Durante as inspeções em campo, os operadores utilizaram o drone de forma precisa e eficiente para coletar dados, e identificando corrosão de armaduras na fachada, infiltração em muros e umidade.

## **6. RESULTADOS**

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos por seguir os métodos definidos anteriormente. Cada etapa contribuiu para a eficácia da utilização da termografia embarcada em drones na inspeção industrial, com foco na detecção de umidade.

### **6.1 Revisão bibliográfica**

A revisão bibliográfica forneceu o embasamento necessário para o desenvolvimento do conceito de utilização de drones na inspeção predial, com ênfase na detecção de manifestações patológicas resultantes de mecanismos de degradação. Esse conhecimento é fundamental para a identificação de manifestações patológicas externas e para a compreensão de sua natureza, origem e consequências. Além disso, a revisão bibliográfica contribuiu para o planejamento preliminar do uso de drones, a identificação dos sensores necessários e a definição dos requisitos técnicos específicos para essa aplicação inovadora.

### **6.2 Desenvolvimento do conceito**

O desenvolvimento do conceito de utilização de drones na inspeção industrial foi alicerçado na revisão bibliográfica e proporcionou a base sólida para a implementação desse método. Esse processo incluiu o planejamento detalhado das operações com drones, a seleção criteriosa dos sensores apropriados e a definição precisa dos requisitos técnicos necessários para garantir uma execução eficaz.

### 6.3 Aplicação da tecnologia

Neste ponto crucial da pesquisa, a seleção do equipamento desempenhou papel vital na detecção de patologias relacionadas à umidade nas instalações. Optamos pelo drone Mavic 2 Enterprise Advanced, uma escolha cuidadosa, devido às suas dimensões adequadas e alta autonomia de voo. Este drone oferece uma capacidade impressionante de operação ininterrupta, com até 27 minutos de voo, permitindo inspeções detalhadas em diversos elementos das edificações.

A câmera termográfica do drone permite uma análise patológica através da diferença de temperatura permitindo identificar pontos de umidade e alta temperatura. O controle remoto inteligente com tela superluminosa com 5,5 polegadas, 1080p com visibilidade nítida mesmo sob luz solar direta, tornando a navegação e evitando erros de operação. O farol M2EA ilumina a aeronave durante operações noturnas, cumprindo as regulamentações de voos noturnos ou nublados. Além disso, o alto-falante M2EA que armazena gravações de voz e reproduz clipes em repetição, enquanto o holofote M2EA proporciona iluminação de alto alcance, ideal para locais de baixa luminosidade e assim análises das falhas com precisão. Destacamos também a altura máxima 6.000m, permitindo uma visão ampla da base, A câmera CMOS ½ polegada com 40 megapixels de resolução oferece qualidade superior nas fotos, permitindo uma análise precisa das patologias. O zoom de até 32x é particularmente útil para inspecionas áreas de difícil acesso, auxiliando na inspeção destes pontos. O sistema de detecção omnidirecional, detecta e evita obstáculos frente/trás, baixo/cima e laterais a uma distância de até 40 metros.

Já as cores típicas encontradas nas imagens termográficas podem variar, mas geralmente seguem uma escala de cores padrão:

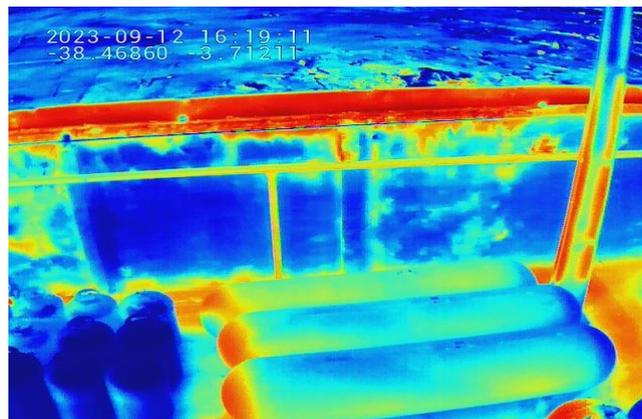
- **Roxo, azul e verde:** Representam temperaturas mais baixas, indicando áreas com menor probabilidade de problemas de umidade.

- **Amarelo e laranja:** Sinalizam temperaturas intermediárias, sugerindo possíveis pontos de interesse que requerem uma análise mais aprofundada.

- **Vermelho e branco:** Indicam temperaturas mais elevadas e podem sugerir a presença de problemas de umidade, vazamentos ou outros defeitos.

Na figura 8 vemos a escala conhecida como “Rainbow” (arco-íris), onde as cores quentes representando a parte mais quente da imagem e cores frias representando as partes mais frias, mas adiciona mais cores à mistura. É bom para identificar objetos em ambientes com diferenças mínimas de calor. A alternância de paletas altera a aparência de uma cena e destaca áreas-chave de uma imagem térmica sem alterar nenhum dado de temperatura.

Figura 8: Escala conhecida como rainbow (arco-íris) para termografia



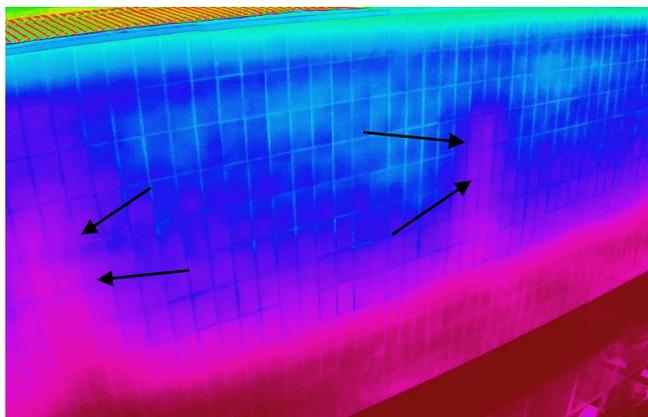
Fonte: Imagem realizada pelo Autor (2023).

#### 6.4 Implantação do Método

A fase de implantação do método foi uma etapa essencial para garantir o sucesso da inspeção industrial utilizando termografia embarcada em drone. A formação e capacitação dos operadores desempenhou um papel central nesse processo.

Em voo realizado para inspeção industrial foram coletadas imagens da edificação, conforme figura 11, onde foi detectado na fachada pontos de diferentes tonalidades que indicam temperaturas distintas e que, por consequência apresentam umidade, destacado pelas setas, requerendo intervenção.

Figura 9: Detecção de pontos umidade utilizando o drone

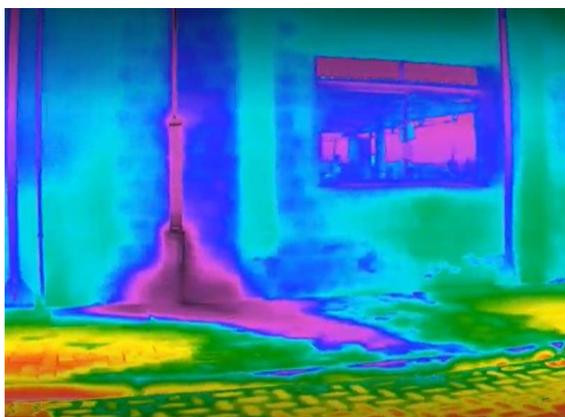


Fonte: Imagem realizada pelo Autor (2023)

As informações coletadas pelo drone foram processadas e interpretadas de maneira minuciosa. A tecnologia de termografia infravermelha proporcionou uma imagem térmica em que cada cor representava um nível de temperatura superficial dos objetos inspecionados. A análise detalhada dessas imagens permitiu identificar focos de umidade, anomalias e outras manifestações patológicas.

A figura 10 mostra uma infiltração ocasionada pelo dreno do sistema de refrigeração do ambiente, onde a água que está sendo expurgada causa patologia em parte da fachada e piso. Esse fluido poderá a longo prazo prejudicar também as fundações do prédio pois o mesmo está sendo absorvido para o solo nas proximidades da estrutura.

Figura 10: Identificação de patologia (infiltração)



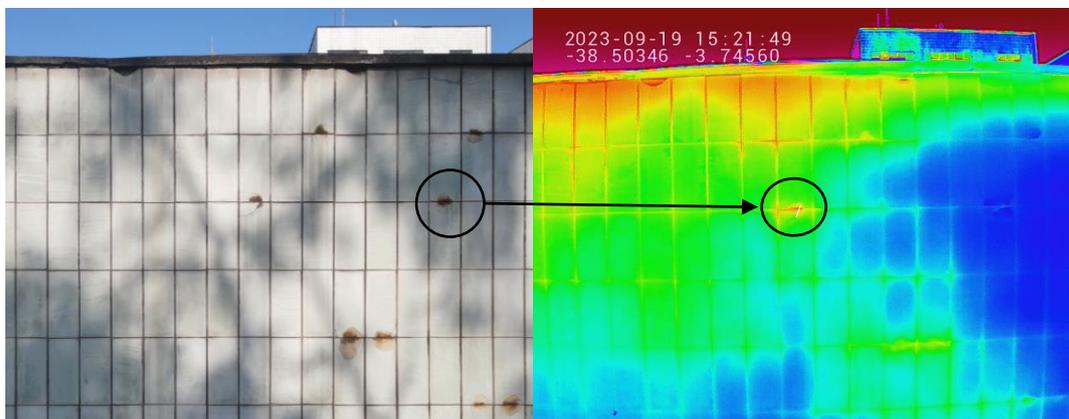
Fonte: Imagem realizada pelo Autor (2023)

Com a termografia infravermelha, foi possível identificar situações, incluindo presença de umidade confinada e infiltração. O termograma capturou o gradiente térmico,

possibilitando identificar essas anomalias e manifestações patológicas próximas à superfície.

Na figura 11 é possível observar a existência de pontos quentes, em evidência 1 destacado por círculos, que evidenciam a exposição de armadura a intempéries que consequentemente ocasionará a carbonatação da mesma. Essa patologia irá comprometer a estrutura de forma a trazer elevado custo de reparo ou colapso da mesma.

Figura 11: Detecção de patologias com drone e termografia

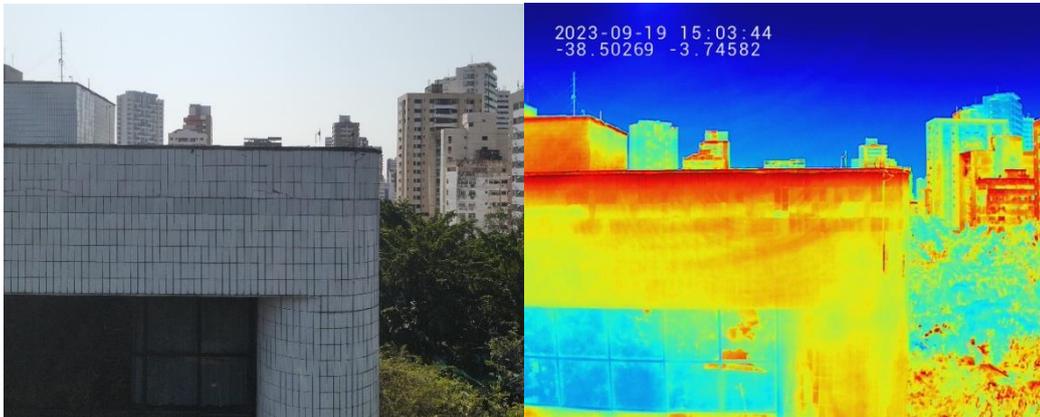


Fonte: Imagem realizada pelo Autor (2023).

Os resultados obtidos nessa fase demonstram claramente a eficácia do método. Além disso, foi constatado que a termografia serviu para análise de pontos quentes e frios, confirmando sua gama de aplicação nos mais diferentes tipos de patologia.

As informações obtidas foram processadas e interpretadas, proporcionando uma análise da condição das estruturas inspecionadas. Essa abordagem baseada no uso do drone e na inspeção por proximidade e câmera térmica nos permitiu tomar decisões precisas e com a priorização de recursos, os direcionando para as áreas que requeriam atenção imediata.

Figura 12: Coleta de dados em campo



Fonte: Imagem realizada pelo Autor (2023).

## 7. CONCLUSÃO

Com os resultados deste estudo demonstramos que a utilização da termografia embarcada em drones na inspeção industrial, com foco na detecção de umidade, é uma abordagem altamente eficaz e inovadora. Durante a fase de implantação, os operadores foram treinados para coletar e interpretar dados de forma precisa. As imagens termográficas forneceram uma visão detalhada das estruturas inspecionadas, permitindo a identificação de umidade, infiltrações e outras manifestações patológicas. Essa abordagem não apenas se mostrou eficaz na detecção de patologias, mas também possibilitou a priorização de recursos para intervenções imediatas. Em resumo, os resultados deste estudo confirmam que a termografia embarcada em drones é uma ferramenta valiosa para a inspeção industrial, contribuindo significativamente para a manutenção preventiva e a preservação de estruturas. Este método oferece uma análise detalhada e precisa das condições das edificações, permitindo uma gestão mais eficiente e econômica da manutenção e reparo de instalações industriais.

## REFERÊNCIAS

1. O'Drones. (2023). História dos Drones. <https://odrones.com.br/historia-dos-drones/>
2. Aeroengenharia. (2023). História dos Drones. <https://aeroengenharia.com/historia-dos-drones/>
3. Insights da DJI Enterprise. (2023). Drones de Construção. <https://enterprise-insights.dji.com/blog/construction-drones/>
4. FlyGuys. (2023). Indústrias de VANTs na Construção. <https://flyguys.com/uav-industries/con>
5. Smith, J., Johnson, R., & Brown, A. (2018). The Role of Drones in Building Inspections: A Case Study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(12), 04018107.
6. Johnson, R., Davis, C., & Garcia, M. (2020). Applications of Drones in Facility Management: A Review. *Facilities*, 38(9/10), 592-613.
7. Brown, A., & Lee, K. (2019). Economic Impact of Drone Inspections in Commercial Real Estate. *Journal of Facilities Management*, 17(4), 358-373.
8. Davis, C., Chen, S., & Huang, L. (2021). The Cost-Savings Potential of Drone-Based Moisture Inspections. *Construction Research Congress Proceedings*, 144(4), 04018110.
9. Garcia, M., Santos, P., & Rego, L. (2020). Advancements in Drone Technology for Building Inspections. *Journal of Structural Engineering*, 146(5), 04020040.
10. Huang, L., Johnson, R., & Smith, J. (2022). Advanced Moisture Sensors for Drone-Based Building Inspections. *Automation in Construction*, 132, 103917.
11. ABNT NBR 16747 de Inspeção Predial - Normas de Inspeção Predial. (2022).
12. OSHA. (2019). Occupational Safety and Health Administration. U.S. Department of Labor.
13. Safety in Industrial Facilities. (2020). National Safety Council.

14. Silva, W. P. A., Lordsleem Júnior, A. C., Ruiz, R. D. B., Rocha, J. H. A. (2021), "Inspeção de manifestações patológicas em edifícios utilizando câmera termográfica integrada ao veículo aéreo não tripulado (VANT): uma pesquisa documental", Revista ALCONPAT, 11 (1), pp. 123 - 139, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.447>.

15. Artigo - Inspeção de manifestações patológicas em fachadas utilizando aeronaves remotamente pilotadas.pdf (mackenzie.br).