

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Mecânica

LETÍCIA CUSTÓDIO PEIXOTO
WAGNER JOSÉ DE JESUS FILHO

**ESTUDO PARA EXPOSIÇÃO SEGURA DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO
TRIPULADAS EM AMBIENTES HOSTIS**

Publicação Nº 02

Goianésia - GO
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

FILHO, WAGNER JOSE DE JESUS; PEIXOTO, LETÍCIA CUSTÓDIO

Estudo para exposição segura de veículos aéreos não tripuladas em ambientes hostis. [Goiás] 2024 xi, 20P (ENM/FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2024).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Mecânica.

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 1. Drone | 2. Ambiente hostil |
| 3. Espaço confinado | 4. VANT |
| I. ENC/FACEG | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FILHO, WAGNER JOSE DE JESUS; PEIXOTO, LETÍCIA CUSTÓDIO. Estudo para exposição segura de veículos aéreos não tripuladas em ambientes hostis. [Goiás] 2024 xi, 20P (ENM/FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2024).


CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Leticia Custódio Peixoto, Wagner José de Jesus Filho

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Estudo para exposição segura de veículos aéreos não tripuladas em ambientes hostis.

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica ANO: 2024

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Documento assinado digitalmente
 WAGNER JOSE DE JESUS FILHO
 Data: 28/06/2024 09:13:44-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Letícia Custódio Peixoto
 76385882 - Goianésia/GO – Brasil


Wagner José de Jesus Filho
 76385226 - Goianésia/GO – Brasil

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACEG**


Aprovados por:



**Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes, doutora (FACEG)
(ORIENTADOR)**

Documento assinado digitalmente
 **ALESSANDRO MORAIS MARTINS**
Data: 28/06/2024 10:34:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Alessandro Morais Martins, mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

Documento assinado digitalmente
 **ARIANE MARTINS CAPONI LIMA**
Data: 28/06/2024 10:38:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Ariane Martins Caponi Lima, mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

ESTUDO PARA EXPOSIÇÃO SEGURA DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADAS EM AMBIENTES HOSTIS

Letícia Custódio Peixoto ¹, Wagner José de Jesus Filho ², e
Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes ³

¹Acadêmica de Engenharia Mecânica/FACEG Email: leticia_custodio39@outlook.com

²Acadêmico de Engenharia Mecânica /FACEG Email: filhowagner86@gmail.com

³Orientador(a) e Professor(a) do Curso de Engenharia Mecânica/FACEG Email: marines.gomes@docente.evangelicagoianesia.edu.br

Resumo: Os drones, ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são cruciais na transformação industrial, melhorando a automação e a eficiência. Antes usados principalmente em contextos militares e recreativos, eles agora são essenciais em áreas como inspeção de infraestrutura, agricultura de precisão, logística e monitoramento ambiental. Eles realizam tarefas complexas de forma eficiente e segura, reduzindo riscos para os trabalhadores, no contexto trabalho o uso em locais hostis para eliminação da necessidade da ocupação humana. O objetivo desse trabalho foi apresentar soluções no projeto de desenvolvimento de drones para o uso seguro em ambientes desafiadores e a presença humana em ambientes hostis. A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão da literatura, análise de estudos de caso e aplicações normativas identificando e desenvolvendo soluções à problemática, permitindo a elaboração de um projeto embasado no conhecimento compartilhado entre especialistas da área. Os resultados conduzem a importantes considerações sobre os limites e melhorias no desempenho dos VANT em ambiente hostil como espaço confinado, sendo eles, a operação eficiente mesmo sem sinal, resistência a temperatura, meios para evitar colisões, impulsionando avanços tecnológicos para aplicações industriais específicas.

Palavras-chaves: Inspeção; VANTs; Segurança Industrial.

Summary: Drones, or Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are crucial in industrial transformation, improving automation and efficiency. Once primarily used in military and recreational contexts, they are now essential in areas such as infrastructure inspection, precision agriculture, logistics and environmental monitoring. They perform complex tasks efficiently and safely, reducing risks to workers in the context of work or use in hostile locations to eliminate the need for human occupation. The objective of this work was to present solutions in the drone development project for safe use in challenging environments and human presence in hostile environments. The research was conducted through a literature review, analysis of case studies and normative applications, identifying and developing solutions to problems, allowing the elaboration of a project based on knowledge shared among experts in the field. The results lead to important considerations about the limits and improvements in UAV performance in a hostile environment such as confined space, such as efficient operation even without a signal, temperature resistance, means to avoid collisions, driving technological advances for specific industrial applications.

Keywords: Inspection; UAVs; Industrial Safety.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por avanços tecnológicos na Engenharia Mecânica tem conduzido a uma busca incessante por soluções inovadoras em ambientes industriais desafiadores, em locais de difícil acesso para manutenções. Nesse contexto, a utilização de drones, ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), emergiu como uma ferramenta potencialmente revolucionária para a exploração eficiente de espaços confinados em ambientes hostis, como instalações petroquímicas e áreas de manufatura. A história fascinante dos drones remonta ao início do século XX, desde o desenvolvimento de balões não tripulados e dispositivos de controle remoto até a concepção dos VANTs, datando do século XIX, com destaque para o uso pioneiro pela Marinha Real Britânica em 1917 [1].

A trajetória histórica dos drones compartilha semelhanças notáveis com o desenvolvimento da Internet

ambos inicialmente dedicados a propósitos militares e, com o tempo, tornando-se acessíveis e ganhando popularidade. Um marco significativo nessa história foi a inspiração nas bombas voadoras alemãs V-1 durante a Segunda Guerra Mundial, precursoras dos drones modernos [1].

O modelo emblemático que marcou a história dos drones, foi desenvolvido pelo engenheiro espacial israelita Abraham (Abe) Karem, fundador da Leading System, que criou o Albatross em 1977, utilizando recursos modestos como fibra de vidro caseira e restos de madeira. Desde então, os drones evoluíram consideravelmente expandindo suas aplicações para uma variedade de propósitos civis e comerciais, desde fotografia aérea e entrega de pacotes até monitoramento ambiental e busca e resgate [2].

A complexidade inerente à operação de drones nesses ambientes hostis tal como espaço confinado, com instalações intrincadas e obstáculos presentes, exige uma abordagem meticulosa [2]. Delinear diretrizes práticas que permitam a utilização segura e eficaz de drones nesse

contexto, visando não apenas o reconhecimento de espaços confinados, mas também a maximização da eficiência operacional dessas plataformas.

Ao situar este estudo no contexto da engenharia mecânica, a importância de avanços que transcendem as fronteiras tradicionais, abrindo novas perspectivas para a automação industrial e a otimização de processos. A escolha deste tema reflete a urgência em encontrar soluções eficazes para desafios específicos enfrentados por setores industriais que dependem da exploração de ambientes hostis para suas operações cotidianas [3].

O estágio atual sobre o tema de drones destaca a lacuna existente nas práticas de exposição desses equipamentos em ambientes hostis, em relação a otimização da operacional [3]. A necessidade da presença humana para liberação de ambientes confinados em períodos de manutenção, cria a exposição ao perigo iminente à vida, algo que este estudo visa.

Os drones, ou VANTs, são aeronaves operadas sem piloto humano a bordo, que evoluíram significativamente desde os anos 80 e 90 devido à tecnologia avançada e demandas militares. Hoje, são usados em setores como agricultura, segurança, entretenimento e logística [4]. Ambientes confinados, originalmente não projetados para ocupação contínua, apresentam riscos como acesso restrito, ventilação inadequada, e perigos de afogamento e aprisionamento. Avaliar a atmosfera nesses espaços é crucial para a segurança dos trabalhadores, exigindo a verificação dos equipamentos antes do uso. Os perigos incluem gases tóxicos como monóxido de carbono, riscos biológicos, químicos e físicos. A pesquisa proposta busca desenvolver diretrizes práticas para o uso seguro de drones em ambientes confinados, melhorando a segurança e eficiência operacional [5].

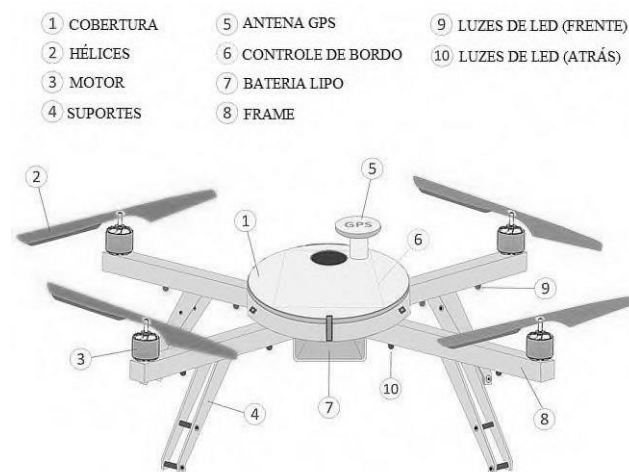
O objetivo central de análise concentra-se na eficiência dos drones, abrangendo a avaliação da estabilidade, capacidade de navegação e desempenho geral dessas plataformas em ambientes hostis para evitar a exposição humana. A análise dessas variáveis é

fundamental para o desenvolvimento de ideias práticas que, por sua vez, fornecerão melhorias tecnológicas e práticas de segurança nas operações industriais.

REFERENCIAL TEÓRICO

O estudo sobre a exposição segura de VANTs, em grandes espaços confinados é uma área de pesquisa crucial diante da crescente adoção dessas tecnologias em ambientes industriais. Os drones têm demonstrado eficácia em diversas aplicações, desde manutenção de infraestrutura até detecção de vazamentos e monitoramento rápido de riscos. Essa versatilidade destaca seu potencial para transformar operações em setores de grande escala [6].

Figura 1: Diagrama básico de um drone



Fonte: [6]

O diagrama da Figura 1 ilustra a estrutura detalhada de um drone, destacando seus principais componentes e suas respectivas funções. Na imagem, podemos identificar a Cobertura (1), que protege os componentes internos; as Hélices (2), responsáveis pelo voo; e os Motores (3), que impulsionam as hélices. Os Suportes (4) fornecem estabilidade e sustentação à estrutura. No centro, encontra-se a Antena GPS (5), essencial para o posicionamento e navegação do drone, e o Controle de Bordo (6), que gerencia o funcionamento do drone. A energia é fornecida pela Bateria LiPo (7), alojada dentro do Frame (8), a estrutura principal que conecta todos os componentes. Para facilitar a visibilidade e orientação durante o voo, o drone possui Luzes de LED na frente (9)

e Luzes de LED na parte traseira (10). Este detalhamento é crucial para a compreensão do funcionamento e manutenção do drone, bem como para qualquer procedimento de montagem ou reparo.

As palavras de Smith [7] ressaltam as vantagens dos drones para inspeções em espaços confinados, evidenciando sua capacidade de acessar áreas de difícil alcance e coletar dados abrangentes de múltiplos ângulos. Essa abordagem pode aprimorar significativamente a qualidade das imagens e a eficácia da coleta de dados nesses ambientes sem a exposição de seres humanos ao risco.

Em uma revisão sistemática sobre drones civis, Al-Dosari, Hunaiti e Balachandran [8] destacam o papel desses veículos não tripulados em aplicações de segurança e proteção, enfatizando sua capacidade de se adaptar a diferentes desafios. No entanto, para uma implementação efetiva em ambientes hostis, é essencial superar obstáculos como detecção de obstáculos, vida útil da bateria e questões de segurança.

Estudos apontam que localizadores a laser, para superar os desafios associados à navegação e à coleta de dados em ambientes restritos, são eficazes [9]. O estudo destaca como a utilização de laser *rangefinders* melhora a precisão da localização e mapeamento em tempo real, crucial para a navegação segura em espaços confinados sem sinais de GPS. Tripicchio et al. [10] discutem a capacidade desses sistemas de realizar inspeções detalhadas e eficazes, reduzindo a necessidade de exposição humana a ambientes perigosos e insalubres. Além disso, o artigo aborda as limitações atuais, como a duração limitada da bateria e a necessidade de algoritmos de navegação mais robustos.

Piotr Kardasz et al. [11] investigam as aplicações emergentes dos veículos aéreos não tripulados (VANTs) no âmbito da engenharia civil e ambiental, conforme publicado na *Journal of Civil & Environmental Engineering*. A pesquisa detalha como os drones têm revolucionado a coleta de dados geoespaciais de alta precisão, a inspeção de infraestruturas e o monitoramento

ambiental, destacando sua capacidade de alcançar áreas inacessíveis e fornecer dados em tempo real. Além disso, os autores discutem as vantagens operacionais dos drones, como a redução de custos e riscos associados a métodos tradicionais de inspeção e monitoramento. O estudo também aborda os desafios técnicos e regulatórios na integração dos VANTs nas práticas de engenharia, sugerindo a necessidade de desenvolvimento contínuo em áreas como autonomia, processamento de dados e conformidade normativa. Esta análise oferece uma compreensão abrangente do impacto transformador dos drones na otimização de processos e na inovação tecnológica dentro do setor.

Bhattacharyya, Spooner e Wemlinger [12] apresentam uma abordagem inovadora para a navegação de drones em espaços confinados utilizando sistemas de visão guiada. Publicado em 2023, o estudo detalha o desenvolvimento e a implementação de algoritmos avançados de processamento de imagem e controle de voo autônomo, que permitem aos drones realizar inspeções precisas e seguras em ambientes de difícil acesso. Os autores descrevem a integração de câmeras de alta resolução e sensores de profundidade, que fornecem dados essenciais para a navegação e mapeamento tridimensional em tempo real. A pesquisa destaca a aplicação dessa tecnologia em setores industriais, onde a inspeção de infraestrutura em espaços restritos é crítica para a manutenção e segurança operacionais. Além disso, o artigo discute os desafios enfrentados, como a calibração de sensores e a mitigação de interferências, oferecendo soluções práticas e sugestões para futuras melhorias. Este estudo contribui significativamente para o avanço da utilização de drones em tarefas complexas de inspeção, enfatizando a importância da visão computacional na melhoria da eficácia e segurança das operações de engenharia.

A norma regulamentadora NR 33, estabelece a segurança e saúde no trabalho em espaços confinados, e desempenha um papel central na discussão da possibilidade sobre a exposição segura de drones em

ambiente hostil, espaço confinado. Ao considerar os requisitos e obrigações delineados por essa norma, torna-se possível delinear meios para cumprimento legal das tarefas desde a inspeção de segurança para entrada de seres humanos no ambiente, quanto a realização do próprio trabalho, dispensando a presença [5].

A literatura consultada inclui as recomendações e exigências da NR 33, fornecendo uma base técnica sólida para a contextualização do tema. Essa norma busca garantir a segurança dos trabalhadores que atuam em espaços confinados, e ambientes insalubre abrangendo desde a avaliação e controle dos riscos até a execução de procedimentos seguros [5].

A NR 33 estabelece obrigações específicas que são relevantes para o tema do artigo. Dentre elas, destaca-se a necessidade de avaliação prévia das condições, averiguando acesso, iluminação, gases presentes no ambiente do espaço confinado, identificando riscos, e a designação de profissionais qualificados para execução de atividades nesses locais [5].

A literatura da NR 33, junto com as exigências específicas para ambientes confinados, oferece subsídios para a discussão dos benefícios do estudo proposto. A utilização segura de drones em grandes espaços confinados pode contribuir para a eficiência das operações, permitindo inspeções detalhadas sem expor trabalhadores a riscos desnecessários. Além disso, a aplicação de drones pode agilizar processos de monitoramento e resposta a emergências, garantindo uma abordagem mais eficaz e segura [5].

A Norma Regulamentadora NR 15 [13], que trata de atividades e operações insalubres, é uma fonte fundamental para a contextualização do estudo sobre a exposição segura de VANT em espaços confinados. Em vigor desde 3 de janeiro de 2022, a NR 15 busca garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores que executam atividades em ambientes insalubres, o que inclui espaços confinados. A NR 15 regula a insalubridade em diversas atividades laborais, abrangendo fatores como calor, frio, umidade, ruído e vibração, frequentemente presentes em

ambientes confinados. A análise desses fatores é fundamental para a aplicação de drones em ambientes hostis, pois impactam diretamente a saúde ocupacional. A norma estabelece limites de tolerância para diversos agentes físicos, químicos e biológicos, proporcionando critérios objetivos para a avaliação da insalubridade. Especificamente, a NR 15 detalha parâmetros como tempo de exposição e limites de tolerância para calor, ruído e vibração, além de exigir o monitoramento ambiental de gases e temperatura. No contexto de grandes espaços confinados, onde os drones seriam operados, a NR 15 oferece diretrizes para avaliar a exposição dos trabalhadores a condições insalubres, garantindo a segurança e saúde no trabalho.

A NR 15 estabelece limites de tolerância para diversos agentes definindo parâmetros de exposição como tempo máximo permitido e intensidade. A norma exige o monitoramento ambiental contínuo para gases e temperatura, assegurando que as condições não excedam os limites seguros. As medições são realizadas com instrumentos específicos: dosímetros e decibelímetros para ruído, termômetros de bulbo úmido para calor, acelerômetros para vibrações, detectores para gases e higrômetros para umidade [13].

METODOLOGIA

A metodologia adotada foi estruturada de maneira a propor soluções de aplicabilidade as problemáticas no uso de VANTs em espaços confinados e possibilitar a repetição do trabalho, garantindo a transparência e replicabilidade do processo.

A coleta de dados foi realizada em etapas distintas para abranger a diversidade da pesquisa. Inicialmente, a fase de revisão bibliográfica permitiu a identificação de tendências, desafios e soluções propostas na literatura existente. A análise de estudos de caso, complementando a revisão, fornece meios para respaldo técnico sobre aplicações práticas de drones em ambientes hostis. A discussão consistirá na avaliação direta da estabilidade, capacidade de navegação e eficiência dos drones em

situações de voo em ambientes hostis. Essa abordagem compreende a teoria existente, mas também valida e amplia as conclusões por meio de sugestões efetivas.

Foram aplicadas as normas NR 33 e NR 15 do Ministério da Economia. A NR 33, referente à segurança em espaços confinados, orientou a avaliação de acesso, iluminação, e presença de gases, assegurando que inspeções com drones atendam aos requisitos de segurança e que não seja necessário a ocupação humana este ambiente. A NR 15, que trata de operações insalubres, foi utilizada para avaliar fatores como calor, ruído e vibração nos ambientes onde o VANT fará as avaliações. A aplicação dessas normas garante conformidade legal e promove a segurança e saúde ocupacional, justificando a exposição a ambientes hostis a fim de gerar qualidade de vida e eficiência nos trabalhos.

Nesse estudo houve como referência três drones. O primeiro é o Elios 3 que é equipado com uma gaiola de proteção esférica, que mantém a estabilidade do drone e facilita a navegação em ambientes complexos. Esta estrutura de proteção permite que o drone continue operando de maneira eficaz, mesmo em casos de contato ou colisões leves, garantindo a segurança e a continuidade das inspeções em áreas de difícil acesso.

Figura 2: Elios 3



Fonte: [14]

O segundo drone de referência é o DJI Phantom 4 Pro V2.0 que é equipado com uma câmera de 20 megapixels com um sensor CMOS de 1 polegada, capaz de capturar imagens de alta resolução e vídeos em 4K. O drone possui um sistema de detecção de obstáculos em cinco direções, que utiliza sensores visuais e

infravermelhos para evitar colisões, porém é utilizado para voos em áreas abertas.

Figura 3: DJI Phantom 4 Pro V2.0



Fonte: [15]

O terceiro drone de referência é o Parrot Anafi USA, que é equipado com uma câmera com zoom de 32x, imagem térmica e capacidade de gravar vídeos em 4K HDR, permitindo capturar imagens detalhadas e dados térmicos essenciais para diversas aplicações industriais. O drone possui um tempo de voo de até 32 minutos e um alcance de até 4 km, além de um design robusto e portátil, ideal para inspeções em infraestrutura, operações de busca e salvamento e mapeamento. Suas capacidades avançadas o tornam uma ferramenta versátil e confiável para profissionais que necessitam de um dispositivo robusto em ambientes desafiadores. Figura 4: Parrot Anafi USA



Fonte: [16]

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo identificou as características e desafios específicos encontrados em ambientes hostis que afetam o desempenho dos drones, resultando em uma compreensão

abrangente dos fatores ambientais e contextuais. A análise destas características permitiu desenvolver instruções específicas adaptadas aos desafios enfrentados pelos drones nestes ambientes.

Navegação de drones em espaços confinados enfrenta desafios significativos devido às limitações desses ambientes, como a falta de sinais de GPS e enfatar perda de sinal de comando. Para superar esses obstáculos, drones com sistemas de navegação autônomos são a solução, permitindo mapeamento e posicionamento precisos sem sinal externo. Esses sistemas utilizam sensores e algoritmos de visão computacional para detectar e evitar obstáculos.

A interferência no sinal é uma preocupação constante, afetando a comunicação entre o drone e o operador. A utilização de comunicação sem fio de longo alcance e baixa latência é crucial para manter uma conexão estável e de alta velocidade, essencial para a transmissão em tempo real de vídeos e dados coletados pelo drone. Em situações onde a perda de sinal é inevitável, o uso de sensores autônomos, como ultrassons, permite a programação de voos autônomos, garantindo a continuidade das operações e aumentando a segurança das missões em ambientes complexos.

Colisões em espaços confinados é um problema, sua maior consequência é a perda do equipamento essencial para inspeções industriais seguras. Utilizar LiDAR e algoritmos SLAM para detecção de obstáculos e mapeamento em tempo real, mostra eficiência. Com uma estrutura resistente a impactos, permitindo operações seguras mesmo após colisões. Uma gaiola de proteção esférica mantém a estabilidade do drone, facilitando a navegação.

A segurança tem sido uma grande vantagem proporcionada pela navegação com drones em espaços confinados. Ao reduzir a necessidade de enviar pessoas para ambientes potencialmente perigosos, os drones reduziram significativamente o risco de acidentes e ferimentos.

Essas inovações não apenas aumentaram a eficiência das inspeções e operações em espaços confinados, mas também resultaram em benefícios financeiros significativos. A capacidade de realizar inspeções rápidas e precisas sem longos períodos de inatividade ou exposição dos trabalhadores a condições perigosas resulta em economias significativas para as empresas.

O controle de drones, especialmente em espaços confinados e ambientes urbanos, é um campo de pesquisa que necessitava de constante atualização devido ao rápido desenvolvimento tecnológico e às versáteis aplicações práticas destas aeronaves sendo uma das dificuldades a visibilidade. As regras abordavam segurança, privacidade com a visão prejudicada o voo pode não ser eficiente mas com uma interação com IoT e a projeção de um sistema no qual permita um voo autônomo, com sensores e laser o problema é resolvido.

Polímeros de alta performance, como a fibra de carbono reforçada com resina epóxi, são ideais para drones em ambientes adversos. Esse material é leve e oferece resistência mecânica e térmica, suportando temperaturas de até 150°C. A fibra de carbono com resina epóxi garante durabilidade e robustez superiores, tornando-a essencial para operações seguras e eficientes em condições extremas, superando as limitações dos materiais convencionais usados em drones comerciais.

A escolha de materiais é fundamental para o desempenho e durabilidade dos drones em diferentes condições operacionais. O DJI Phantom 4 Pro V2.0 utiliza liga de magnésio e plástico ABS, que oferecem leveza e resistência a impactos, mas limitam a operação a uma faixa térmica de 0°C a 40°C, adequados para condições normais, mas não para ambientes hostis.

Na tabela 1 é destacado o comparativo entre os dois drones que fazem referência ao estudo, e um detalhamento de suas principais características, para avaliação de competência.

Tabela 1: Coparação entre os drones estudados como referência

Característica	DJI Phantom 4 Pro V2.0	Flyability Elios 3	Parrot Anafi USA
Estabilidade de Voo	Alta, com GPS e sensores de visão	Alta, com SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) e estabilização baseada em LiDAR (FlyAware™)	Alta, com GPS e sensores de estabilização avançados
Resistência ao Calor	Limitada (0°C a 40°C)	Alta, projetado para ambientes industriais adversos	Alta, projetado para operar em condições ambientais rigorosas
Material Utilizado	Liga de magnésio e plástico ABS	Estrutura em fibra de carbono reforçada com resina epóxi para proteção adicional	Estrutura de fibra de carbono e componentes plásticos reforçados
Eficiência de Voo	Alta, com tempo de voo de até 30 minutos	Alta, otimizada para inspeções em espaços confinados com estabilidade aprimorada	Alta, com tempo de voo de até 32 minutos por bateria
Sistemática de Sinal	Sistema de transmissão Lightbridge	Sistema de transmissão robusto com enlace estendido e retorno ao sinal quando desconectado	Sistema de transmissão avançado, garantindo comunicação estável e de longo alcance
Tipo de Comando	Controle remoto com GPS e modos de voo inteligentes	Controle remoto com interface de usuário avançada, incluindo visualização 3D em tempo real	Controle remoto dedicado que se conecta a dispositivos móveis
Câmera	Câmera 4K com sensor de 20MP	Câmera 4K com sistema de captura de dados de alta resolução, incluindo sensores térmicos	Câmera com zoom de 32x, imagem térmica e gravação de vídeo 4K HDR
Sensores	Sensores de visão, infravermelho e ultrassom	Sensores LiDAR, câmeras VIO e sensores térmicos	Sensores ópticos, térmicos e de estabilização
Distância de Voo	Até 7 km	Limitada a inspeções em ambientes confinados e industriais	Até 4 km, adequado para a maioria das missões profissionais

Fonte: Próprio autor (2024)

Para operações em condições hostis, como superior. O DJI Phantom 4 Pro V2.0, com sua especialmente onde as temperaturas podem alcançar até 150°C, o uso de polímeros de alta performance como a fibra de carbono reforçada com resina epóxi se destaca

construção em liga de magnésio e plástico ABS, é adequado para condições operacionais normais, mas não oferece a resistência térmica e mecânica necessária para

ambientes extremos. Por outro lado, o Flyability Elios 3, com sua construção robusta e tecnologia avançada de navegação, é ideal para ambientes industriais complexos e adversos, garantindo segurança e eficiência nas operações. Além disso, o Parrot Anafi USA, com sua estrutura de fibra de carbono e componentes plásticos reforçados, também demonstra uma capacidade robusta para suportar ambientes exigentes, combinando durabilidade e leveza.

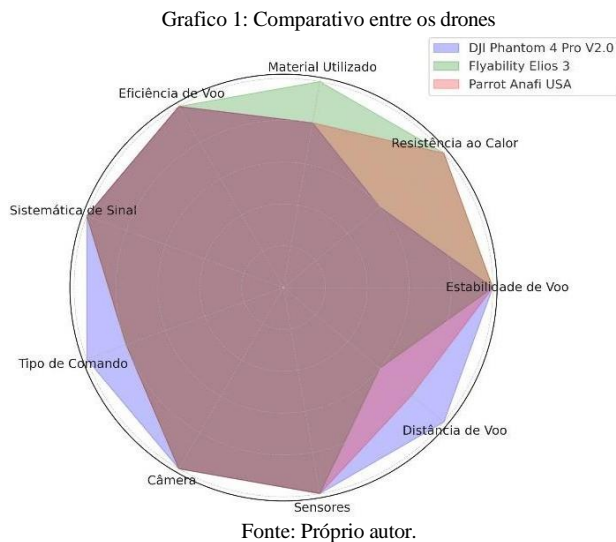
Quando expostos a um espaço confinado com perda de sinal e temperaturas de 150°C, as vantagens e desvantagens dos drones tornam-se evidentes. O DJI Phantom 4 Pro V2.0, construído com liga de magnésio e plástico ABS, possui uma resistência térmica limitada a 0°C a 40°C, tornando-o inadequado para temperaturas extremas de 150°C. Além disso, sua dependência de GPS e de um sinal de controle estável compromete sua navegação em espaços confinados, onde a perda de sinal é comum. Em contraste, o Flyability Elios 3, feito de fibra de carbono reforçada com resina epóxi, suporta temperaturas de até 150°C, sendo ideal para ambientes hostis. Sua estrutura robusta e gaiola de proteção esférica permitem que ele continue operando após colisões. Além disso, o Elios 3 utiliza navegação autônoma com LiDAR e SLAM, permitindo detecção de obstáculos e mapeamento 3D em tempo real, mantendo a operação mesmo sem sinal de controle. No entanto, sua complexidade e custo mais elevado são desvantagens em operações menos extremas.

Apesar de suas limitações em ambientes extremos, o DJI Phantom 4 Pro V2.0 apresenta vantagens significativas em condições operacionais normais. A câmera de 20MP com gravação em 4K oferece imagens de alta resolução, ideais para fotografia e videografia aérea. A eficiência de voo, com até 30 minutos de tempo de voo e 7 km de alcance, permite operações em grandes áreas abertas, uma vantagem sobre drones projetados para espaços confinados, como o Elios 3. A estabilidade de voo do Phantom 4 Pro V2.0 é aprimorada pelo sistema de GPS e modos de voo inteligentes, facilitando a operação em ambientes externos. O sistema de transmissão Lightbridge garante uma conexão de alta qualidade e longo alcance, útil

para levantamentos topográficos e monitoramento de grandes áreas. Além disso, o Phantom 4 Pro V2.0 é mais acessível economicamente, sendo uma opção atraente para usuários que não precisam das capacidades avançadas de resistência térmica e navegação autônoma do Elios 3.

O Parrot Anafi USA se destaca como uma opção intermediária robusta, combinando a portabilidade e a alta qualidade de imagem do DJI Phantom 4 Pro V2.0 com algumas capacidades industriais do Elios 3. Equipado com uma câmera com zoom de 32x, imagem térmica e gravação de vídeo 4K HDR, o Anafi USA é ideal para inspeções detalhadas e segurança pública. Com um tempo de voo de até 32 minutos e um alcance de 4 km, ele oferece uma boa cobertura operacional. Seu sistema de transmissão avançado garante uma comunicação estável e de longo alcance, essencial para missões críticas. O design robusto em fibra de carbono e componentes reforçados proporciona resistência em condições ambientais rigorosas, sendo uma opção versátil e confiável para diversas aplicações profissionais.

Os resultados deste estudo fornecem uma base técnica robusta para aprimorar o uso seguro de drones em ambientes industriais. A análise detalhada das tecnologias de navegação, como os sistemas SLAM e LiDAR utilizados no Flyability Elios 3, evidencia a importância de sensores avançados e algoritmos de visão computacional para navegação precisa em espaços confinados. Essas inovações tecnológicas mitigam os riscos de colisões e melhoram a estabilidade operacional em condições adversas, destacando a necessidade de escolher o drone adequado com base nas especificidades do ambiente operacional.



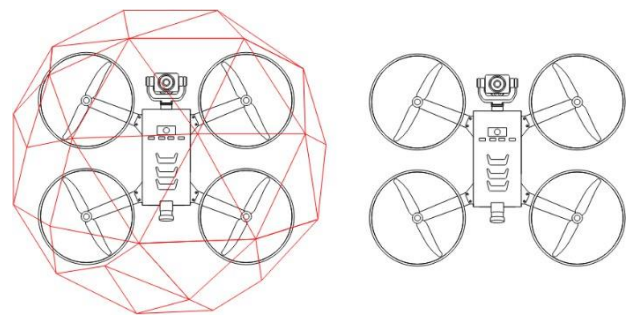
O gráfico 1 no modelo radar apresentado ilustra a comparação detalhada entre três drones de alta performance: DJI Phantom 4 Pro V2.0, Flyability Elios 3 e Parrot Anafi USA. Observa-se que o Parrot Anafi USA se destaca pela sua versatilidade, combinando características robustas como resistência ao calor e material utilizado, semelhante ao Flyability Elios 3, com a estabilidade de voo e eficiência do DJI Phantom 4 Pro V2.0. Embora o Elios 3 seja otimizado para inspeções em espaços confinados, o Anafi USA oferece um equilíbrio superior para aplicações industriais e profissionais, com uma câmera avançada que inclui zoom de 32x e imagem térmica, ideal para inspeções detalhadas e segurança pública. A sistemática de sinal avançada e o tempo de voo prolongado fazem do Anafi USA uma ferramenta confiável e eficiente para diversas missões críticas, destacando-se como uma escolha versátil para profissionais que necessitam de alta performance em ambientes desafiadores.

A escolha de materiais avançados, como a fibra de carbono reforçada com resina epóxi, demonstrou ser crucial para operações em ambientes hostis devido à sua alta resistência mecânica e térmica, superando as limitações de materiais convencionais utilizados em drones comerciais, como o DJI Phantom 4 Pro V2.0. A resistência térmica e a durabilidade desses compostos são essenciais para operações seguras e eficazes.

A integração da tecnologia IoT em drones industriais melhora significativamente a conectividade e a

transmissão de dados em tempo real, essenciais para operações contínuas em ambientes industriais complexos. A IoT permite a comunicação automática entre dispositivos, coletando e transmitindo dados críticos, como temperatura e presença de gases tóxicos, diretamente para sistemas centralizados. Este nível de conectividade reduz a necessidade de intervenção humana em áreas perigosas, aumentando a segurança e a eficiência das inspeções industriais. A aplicação de tecnologias IoT em drones promove uma abordagem mais segura e eficiente, facilitando a manutenção preditiva e a resposta rápida a emergências.

Figura 4: Projeto drone e proteção



Fonte: Próprio autor (2024)

A figura 4 apresenta o projeto de um drone com e sem proteção adicional, destacando as diferenças estruturais desenvolvidas a partir das análises realizadas. A estrutura de proteção esférica, representada em vermelho, envolve completamente as hélices e o corpo do drone, oferecendo uma camada extra de segurança contra colisões. Essa proteção é essencial para operações em ambientes industriais complexos e confinados, onde há alta probabilidade de encontrar obstáculos inesperados. Construída em fibra de carbono reforçada com resina epóxi, a gaiola protetora garante leveza e resistência mecânica e térmica, suportando temperaturas extremas e impactos.

O design convencional do drone, sem a proteção adicional, é mais adequado para operações em condições normais e áreas abertas. No entanto, a adição da gaiola de proteção permite que o drone opere em condições adversas sem comprometer sua integridade, melhorando a segurança

e a durabilidade do equipamento. Combinado com tecnologias avançadas de navegação como SLAM e LiDAR, o projeto aprimorado aumenta a eficiência e a segurança das missões, tornando-o uma ferramenta robusta e versátil para diversas aplicações industriais. Este avanço reflete a capacidade de adaptação da engenharia de drones às necessidades específicas de setores que operam em ambientes extremos e desafiadores.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo identificaram que drones, equipados com sistemas de navegação autônoma e comunicação sem fio de longo alcance, podem operar eficientemente em espaços confinados onde o sinal de GPS é ausente ou fraco.

A pesquisa destacou a importância de tecnologias para reduzir o risco de colisões e melhorar a resistência dos drones a impactos. Sendo a utilização de uma estrutura fixa, para em caso de falha dos sensores e contato com obstáculos minimizar as avarias e perda de controle.

A escolha de materiais para a eficácia dos drones em diferentes condições operacionais é um importante. Materiais convencionais, como liga de magnésio e plástico ABS, são limitados em termos de resistência térmica. Polímeros de alta performance, como a fibra de carbono reforçada com resina epóxi, oferecem maior resistência mecânica e térmica, suportando até 150°C.

As recomendações apresentadas visam não apenas contribuir com a literatura existente, mas garantir a segurança e quando possível a não exposição de seres humanos, potencializando o uso de drones como ferramentas seguras e eficientes em ambientes hostis. Restando para a continuação deste trabalho uma investigação clara sobre as variáveis de estabilidade e eficiência da bateria pela variação de diferentes ambientes.

A pesquisa focou em projetar drones que possam enfrentar esses desafios de maneira eficaz, ressaltando a importância de tecnologias avançadas de navegação autônoma e comunicação sem fio de longo alcance. O projeto visa não apenas melhorar a eficiência operacional

em ambientes hostis, mas também alinha-se com o propósito fundamental da engenharia: facilitar a vida humana e aumentar a segurança. Ao permitir que drones realizem tarefas perigosas ou de difícil acesso, o estudo contribui diretamente para a redução de riscos ocupacionais e potencialmente salva vidas ao minimizar a necessidade de intervenção humana em situações perigosas.

Embora identificado problemáticas como a instabilidade em ambientes com correntes de ar, onde a estabilidade do drone pode ser comprometida, resultando em perda de controle e precisão na execução de tarefas. Além disso, a necessidade constante de ajustes nos atuadores para manter a estabilidade em condições adversas aumenta o consumo de energia, exacerbando um dos principais limitadores operacionais, a curta duração da bateria. A autonomia reduzida restringe o tempo de missão e a capacidade de realizar operações prolongadas ou em áreas extensas. A continuidade desse trabalho deve focar em propostas que possam mitigar os efeitos das correntes de ar e estender significativamente a duração das baterias, possibilitando operações mais seguras e eficazes em uma variedade de ambientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Imperial War Museums. **A Brief History of Drones.** Disponível em: <https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones>. Acesso em: 15 Janeiro 2024.
- [2] GoBandit. "Abraham E Karem: **Drone Inventor History & Biography.**" Disponível em: <https://gobandit.com/abraham-e-karem-drone-inventor-history-biography/>. Acesso em: 31 maio 2024.
- [3] MDPI. "**An Overview of Drone Applications in the Construction Industry.**" Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-446X/3/1/11>. Acesso em: 31 maio 2024.
- [4] SINGER, Peter W. **Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the Twenty-first Century.** Penguin Group, 2009.

- Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=6aStP3Du5cgC&oi=fnd&pg=PT13&dq=Wire+d+for+war+:+the+robotics+revolution+and+conflict+in+the+twenty-first+century&ots=kGVBe_ZdEg&sig=We7HGTwirXiApm6NvnOVYqdPyfE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 31 maio 2024.
- [5] Ministério da Economia. (2022). **Nova NR-33 - Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados**. Vigência a partir de 3 de outubro de 2022 - Portaria SEPRT 1690, de 15/06/2022.
- [6] Torres da Silva, Sávio & Borges, Rodrigo. (2018). **USOS DE DRONES EM ESTUDOS AMBIENTAIS**. 10.13140/RG.2.2.15767.42400.
- [7] SMITH, Michael D. et al. **O Uso de Drones para Inspeção em Espaço Confinado**. *Journal of Industrial Safety and Health*, 2022.
- [8] Al-Dosari, K., Hunaiti, Z., & Balachandran, W. **Revisão Sistemática sobre Drones Cíveis em Aplicações de Segurança e Proteção**. 7(3). <https://doi.org/10.3390/drones7030210>, 2023. Acesso em: 31 maio 2024.
- [9] ANDERSON, David J. et al. **Drones para Inspeção em Espaço Confinado: Uma Revisão de Aplicações e Desafios**. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2021.
- [10] Tripicchio, P., Satler, M., Unetti, M., & Avizzano, C. A. (2018, May 15). **Inspection of industrial confined spaces with micro aerial vehicles and laser rangefinder localization**. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 10(2), 207-224. Sage Publications. [https://doi.org/\[DOI\]](https://doi.org/[DOI]) Acesso em: 31 maio 2024.
- [11] KARDASZ, Piotr et al. **Drones and Possibilities of Their Using**. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, [S.l.], v. 6, n. 5, p. 233, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4172/2165-784X.1000233>. Acesso em: 31 maio 2024.
- [12] T., Bhattacharyya., Catherine, Spooner., Erik, Wemlinger. **Vision Guided Drone Flight for Entering Confined Spaces for Inspection**. 1-4. <https://10.1109/ICIT58465.2023.10143148>, 2023. Acesso em: 31 maio 2024.
- [13] Ministério da Economia. (2022). NR-15 - Atividades e Operações Insalubres. Vigente a partir de 3 de janeiro de 2022, em virtude de ajustes no Anexo nº 3 (calor) e nº 8 (vibração), por meio da Portaria MTP nº 426, de 07 de outubro de 2021.
- [14] Flyability. **"Elios 3 - Digitizing the inaccessible."** Disponível em: <https://www.flyability.com/elios-3>. Acesso em: 31 maio 2024.
- [15] DJI. **Phantom 4 Pro V2.0 - Specifications**. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-pro-v2/specs>. Acesso em: 31 maio 2024.
- [16] PARROT. **Parrot Anafi USA: Technical Specifications**. Disponível em: <https://www.parrot.com/us/drones/anafi-usa>. Acesso em: 18 jun. 2024.