

ENXAMES DE DRONES PARA SALVAR BIOMAS BRASILEIROS

Cleomar Marques, Ph.D.

Pesquisador em Inteligência Artificial, Engenharia e Automação

Projeto CM²O Insights

 biot.tec.br

 cm2o.com.br/default.html



Resumo

É comum aparecerem em reportagens nas TVs, em post nas redes sociais, entre outros locais, reportagens sobre o emprego militar de drones. Quando particularmente operam em conjunto e de maneira coordenada, são denominados Enxame de Drones. É surpreendente a agilidade, capacidade de carga, autonomia e navegação precisa desses equipamentos usados como armamentos modernos.

Tecnologias ainda no estado da arte podem ser encontradas e estão embarcadas nesses drones, como bancadas de baterias com grafeno, navegação completamente autônoma e com diferentes métodos de localização precisa, com aperfeiçoamento contínuo da precisão de localização em cenários onde operam devido ao uso de Aprendizado de Máquinas, especificamente de Aprendizado Profundo, associado à Redes Neurais, o que permite que o equipamento aprenda com as suas incursões em cenários onde operam.

O emprego dessa tecnologia para apoio a biomas pode ser muito vantajoso e eficiente. Por meio de uma Arquitetura adequada para localização de suas bases, instalação de “Torres Farol” em pontos estratégicos dentro das áreas de emprego de Enxames de Drones, onde beacons direcionais seriam emitidos em frequências que permitissem fazer uma triangulação pelos drones, constituindo recurso preciso para sua navegação, além de Bases Operacionais que permitissem rápido acesso a qualquer ponto dentro de suas áreas de monitoramento, poderiam debelar microfocos de incêndios, por exemplo.

Ou localizar animais em estado de perigo devido a incêndios ou inundações repentinas, realizando até resgate deles, com uso de drones de categorias adequadas para esse trabalho. Os custos operacionais dessa Arquitetura para Salvar Biomas pode ser ínfimo, se comparado aos estragos que um microfoco de incêndio pode proporcionar num bioma

como o Cerrado, por exemplo, ou em encostas ou lugares de difícil acesso a equipes de salvamento e resgate com veículos ou mesmo com helicópteros.

I. Introdução

Infelizmente vemos atualmente grandes áreas de florestas nativas queimarem e provocar a destruição de centenas de km² de flora e fauna eventualmente ainda nem conhecidas e catalogadas. A dificuldade em identificar, localizar e iniciar os primeiros combates a pequenos focos de incêndios ocasiona seu alastramento e destruição de áreas geográficas consideráveis rapidamente. Não obstante, se existissem recursos que pudessem agir imediatamente após a detecção desses pequenos focos, combatendo-os e extinguindo-os antes que se alastrassem e ficassem fora de controle, muitos danos poderiam ser evitados, decorrendo em preservação de recursos naturais e evitando prejuízos de toda ordem e de valores imensuráveis.



Floresta nativa queimada

Incêndios devastam grandes áreas de florestas nativas, destruindo ecossistemas inteiros — muitas vezes, com espécies ainda nem catalogadas pela ciência. A dificuldade está em **detectar e agir com rapidez** antes que o fogo se alastre.



Microfoco de incêndio

Pequenos focos de incêndio poderiam ser neutralizados com o emprego **imediato** de drones operando em enxames, reduzindo drasticamente os danos. Isso evitaria perdas ambientais, materiais e humanas.



Animal em risco

Alguns exemplos de cenários onde Enxames de Drones poderiam ter feito diferença:

- Inundações recentes no RS: localização exata de frentes de alagamento por monitoramento. Localização e alerta nas áreas a serem atingidas, localização de fauna nessas áreas, contribuindo para possibilitar seu resgate antecipado e ágil. Direcionamento de equipes resgate para apoio antecipado e efetivo às populações previstas de serem atingidas. Resgate de populações nas áreas que eventualmente fossem atingidas e que não tivessem sido evacuadas na fase de alertas. Essas ações dariam subsídios para o emprego direcionado das equipes de resgates e seus recursos disponíveis próximos aos locais de atuação para se obter o máximo de eficiência possível nas operações.



Alagamento recente no RS

Enxames de Drones poderiam mapear alagamentos, prever o avanço das águas e alertar comunidades. Também localizariam fauna em risco e ajudariam no resgate de pessoas e animais.

- Incêndios atuais na Amazônia: Dezenas de focos de incêndios ocorrem diariamente naquela região. Sejam decorrentes de ação humana, como fogueiras que não apagadas completamente, pontas de cigarros eventualmente jogadas por transeuntes em seus veículos naquelas áreas, ou mesmo ações criminosas que possam provocar incêndios com objetivos diversos. A agilidade com que tais focos poderiam ser debelados por meio do emprego de Enxames de Drones contribuiria para evitar a propagação descontrolada de queimadas e salvar muitas espécies que hoje são destruídas por esses incêndios, além da vegetação nativa e rica das áreas afetadas.



Incêndio atual na Amazônia

Na Amazônia, dezenas de focos surgem todos os dias. Se detectados com antecedência, drones poderiam debelar incêndios em estágio inicial e salvar espécies em risco de extinção.

- Enchentes de rios com isolamento de populações humanas e da fauna: diversas regiões no Brasil são inundadas regularmente devido ao regime de chuvas decorrentes do clima. Entretanto em outras ocasiões podem ocorrer inundações decorrentes de variáveis não computadas ou previstas. A previsão dessas enchentes certamente é matéria complexa, e à luz dos poucos recursos dessas regiões para ação de apoio após a ocorrência de cheias, o não contribui para evitar perdas de vidas ou mesmo colocar os habitantes das áreas atingidas em situação de riscos iminentes as suas vidas. Com mapeamento em tempo real de eventuais cheias por meio do emprego de drones, as equipes de resgate disponíveis poderiam ser direcionadas de maneira otimizada, tanto para auxiliar na evacuação de áreas com probabilidade alta de danos por essas cheias ou no resgate após a ocorrência de cheias.



Enchente do rio Taquari

Enxames podem monitorar enchentes em tempo real, apoiar evacuações seguras e orientar equipes de resgate. Tudo com rapidez, precisão e visão aérea estratégica.

O emprego de Enxames de Drones nesses cenários descritos como exemplo pode ser muito vantajoso em diversos aspectos. Seus custos operacionais podem ser otimizados com uma Arquitetura adequada onde a localização de suas bases, principal, nos biomas e dentro das áreas dos biomas, com quantidade e diversidade de tipos de drones para cada uma dessas áreas definidas e otimizadas pelo estudo científico do histórico de ocorrências, para estabelecer precisamente os recursos necessários que constituirão essa Arquitetura. Os recursos financeiros para a implantação, operação e a manutenção dos recursos dessa Arquitetura se justificaria pelos benefícios imensuráveis que o apoio prévio e ágil poderia oferecer tanto às populações por meio da infraestrutura e recursos provisionados pelo Estado, como a preservação da fauna e flora dos biomas quando houver ocorrências que possam resultar em situações de risco.

II. O que é Enxame de Drones?

O termo “enxame de drones” refere-se à operação simultânea e coordenada de múltiplos veículos aéreos não tripulados (VANTs) com objetivo comum, seja ele monitoramento, ação direta, ou suporte logístico. Inspirado no comportamento coletivo de insetos como abelhas e formigas, esse conceito explora o uso de inteligência embarcada e comunicação entre dispositivos para execução de tarefas complexas com alta eficiência.

Cada drone pode atuar de forma autônoma, mas conectado a um sistema de coordenação que gerencia os comportamentos individuais e coletivos. A operação em enxame permite rápida cobertura de grandes áreas, redundância de missões em caso de falha de unidades, e adaptação dinâmica às condições do terreno ou da missão.



Enxame de Drones

Um enxame de drones é a operação coordenada de diversos drones com objetivo comum, como monitoramento, ação emergencial ou logística.

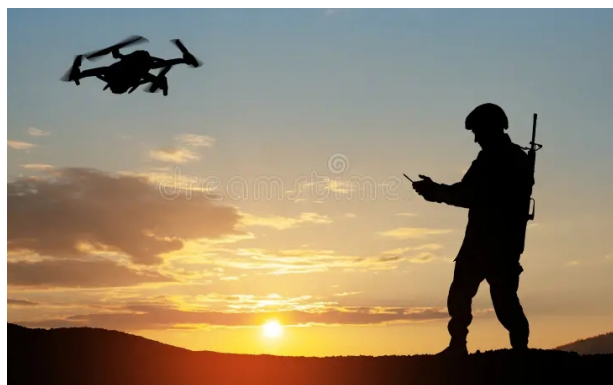
A ideia é inspirada em comportamentos de insetos sociais, como formigas e abelhas, que atuam em grupo de forma descentralizada e eficiente. No contexto da preservação dos biomas, essa abordagem representa um salto qualitativo na forma como é possível mapear, intervir e responder a eventos críticos com agilidade, precisão e baixo custo.

Vantagens da operação em enxame:

Essa abordagem permite:

- ✓ Cobertura de grandes áreas
- ✓ Redundância de missões
- ✓ Resiliência a falhas
- ✓ Adaptação a diferentes situações

A. Descrição Técnica de um Drone



Drone em operação militar

Funcionamento Básico

Um drone é um sistema mecatrônico autônomo ou remotamente pilotado que reúne sensores, atuadores, algoritmos de controle e comunicação sem fio. Com hélices ou asas fixas, seu voo é controlado por variações de rotação dos motores e ajustes finos coordenados por uma unidade de controle embarcada (geralmente baseada em microcontroladores e giroscópios).

Categorias de drones

Existem diversas classificações, sendo as principais:

- **Multirotores:** versáteis, ideais para manobras precisas e hover (parado no ar);



- **Asa fixa:** com maior autonomia, ideais para patrulhamento de longas distâncias;



- **VTOL (Vertical Take-off and Landing)**: combinam as vantagens dos dois anteriores, podendo decolar na vertical e planar por longos trechos.



Autonomia e Capacidade de Carga

A autonomia depende da tecnologia de baterias e do peso total embarcado. Drones modernos com baterias de grafeno, por exemplo, podem alcançar mais de 90 minutos de voo contínuo. A capacidade de carga varia entre centenas de gramas (para sensores e câmeras) até dezenas de quilos (para equipamentos de resgate ou combate a incêndios leves).



Bateria de grafeno para drone

Navegação por Referências Visuais (com Deep Learning)

Uma abordagem inovadora e altamente eficiente é a navegação baseada em referências visuais do terreno. Nesse método, o drone captura imagens em tempo real e as compara com mapas previamente aprendidos por meio de redes neurais profundas (deep learning). A cada missão repetida, o drone refina sua compreensão da geografia local, tornando-se mais preciso, mesmo sem depender exclusivamente de GPS.

Vetores tridimensionais representando relevo, vegetação e formações geográficas são processados pela IA embarcada, permitindo que o drone corrija desvios de trajetória automaticamente e se adapte a mudanças no ambiente. Esse aprendizado progressivo

torna a navegação mais confiável e abre caminhos para missões complexas em biomas com sinal GPS limitado ou instável.

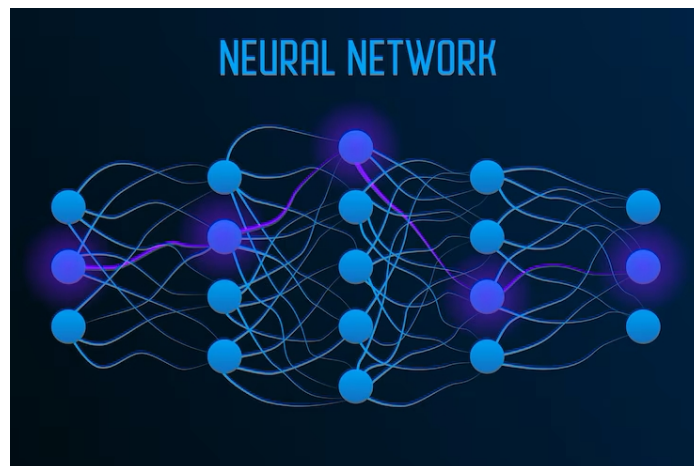


Ilustração de rede neural

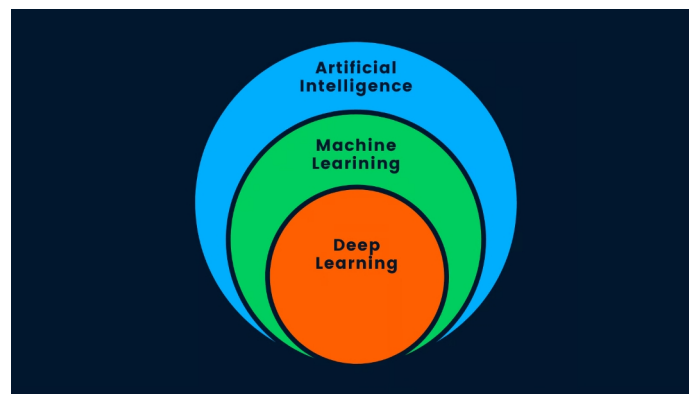
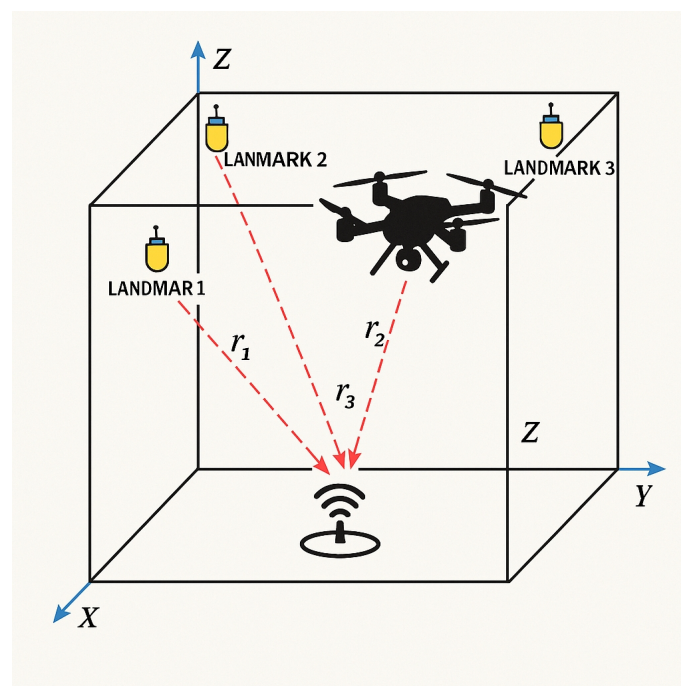
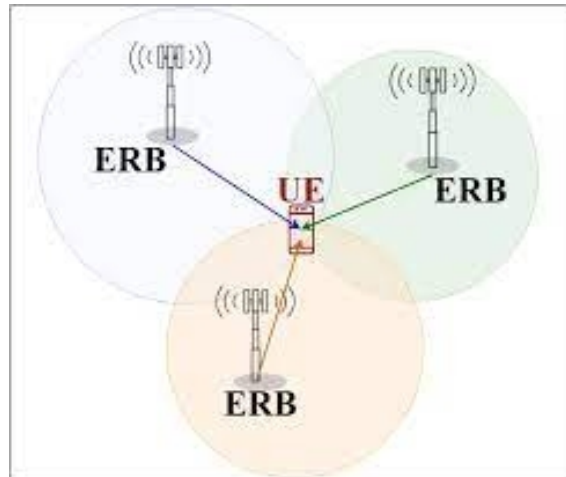


Ilustração de Aprendizado Profundo



Navegação por Referências no Solo

Drone estimando sua posição com base em pontos fixos no relevo e aprendizado contínuo do ambiente.



Triangulação por ondas eletromagnéticas para determinar posição geográfica

Acessórios Essenciais

Os drones podem carregar câmeras térmicas, sensores ambientais, braços robóticos e rádio de longo alcance. São versáteis e adaptáveis a diferentes missões. Para operações em biomas, certos recursos se tornam indispensáveis: Câmeras térmicas para localizar focos de calor e vida animal;



Câmera térmica DJI XT2

- Sensores de gás para detectar queima de vegetação;



Sensor de gás DJI M30

- Braços robóticos ou compartimentos de carga para lançar água ou transportar pequenos animais;



Braço robótico longo

- Rádio de alta frequência para manter conexão mesmo em áreas remotas.



Comunicação em alta frequência

Cada drone atua com autonomia local, mas conectado a um sistema inteligente central que coordena o enxame e define suas rotas.

Custo-benefício Operacional

O custo de aquisição e manutenção de drones caiu drasticamente nos últimos anos. Um sistema bem planejado, com categorias de drones ajustadas a diferentes funções (reconhecimento, combate, resgate), pode operar de forma contínua e com custo inferior ao de missões com veículos terrestres ou helicópteros, além de reduzir os riscos humanos.

III. O quê são Biomas?

Biomas são grandes unidades ecológicas formadas por conjuntos de ecossistemas que compartilham características climáticas, de solo, vegetação e fauna. No Brasil, os biomas

representam a diversidade natural do território e abrigam uma imensa variedade de espécies vegetais e animais, muitas das quais endêmicas ou ainda pouco estudadas.

Os principais biomas brasileiros são: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampa. Cada um apresenta desafios específicos que impactam diretamente a preservação ambiental, como queimadas, desmatamento, urbanização desordenada e mudanças climáticas.

Biomas Brasileiros e sua Importância

- **Amazônia:** maior floresta tropical do mundo, regula o clima global e abriga milhares de espécies.



Bioma Amazônia



Imagem típica do bioma Amazônia

- **Cerrado:** savana brasileira, essencial para o abastecimento de aquíferos.

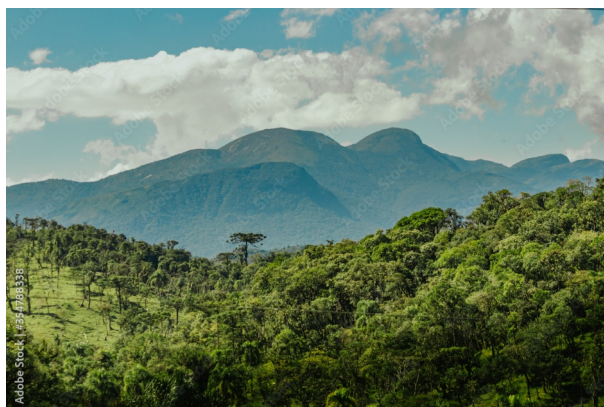


Bioma Cerrado



Imagem típica do bioma Cerrado

- **Mata Atlântica:** biodiversidade riquíssima e ameaçada pela ocupação urbana.



Bioma Mata Atlântica



Imagem típica do bioma Mata Atlântica

- **Pantanal:** maior planície alagada, berçário natural de diversas espécies aquáticas e terrestres.



Bioma Pantanal



Imagem típica do bioma Pantanal

- **Caatinga:** bioma exclusivamente brasileiro, resiliente, mas vulnerável à desertificação.



Bioma Caatinga



Imagem típica do bioma Caatinga

- **Pampa:** campo natural no sul do país, importante para a pecuária e conservação de espécies herbívoras.



Bioma Pampa



Imagem típica representante do bioma Pampa

Emprego de Drones em Cada Bioma

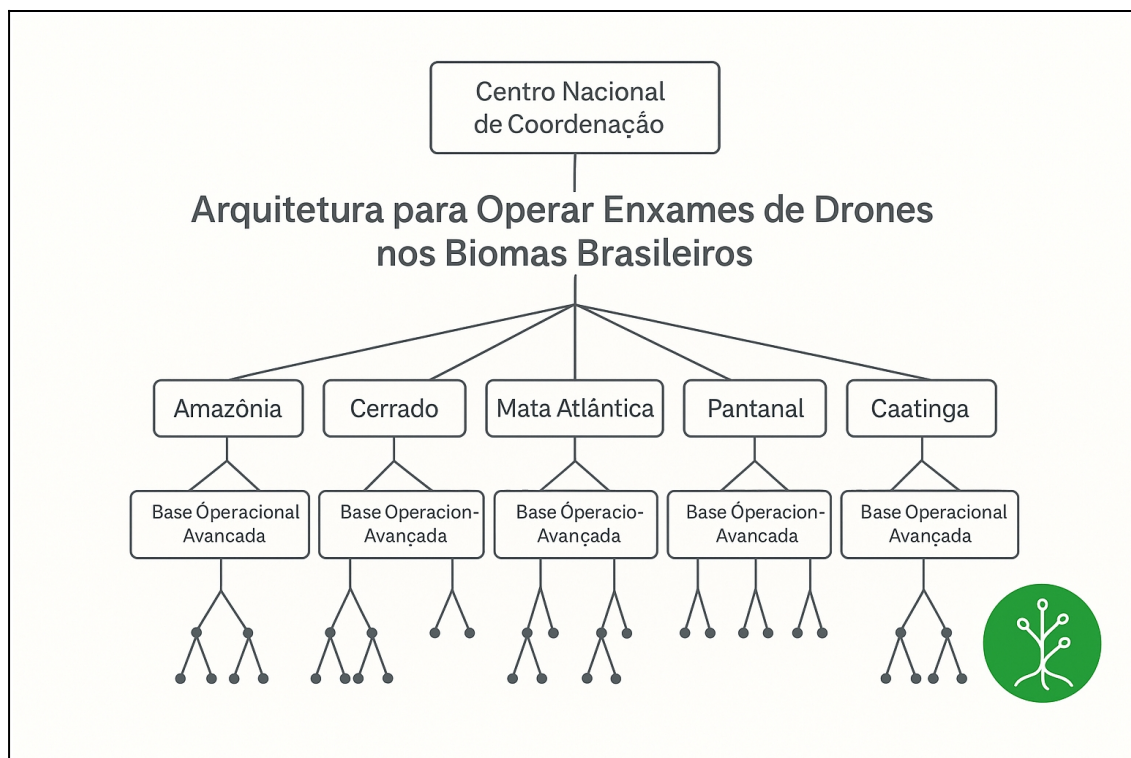
A aplicação de enxames de drones deve considerar a característica de cada bioma:

- Na Amazônia e Cerrado: combate e prevenção de focos de incêndio.
- No Pantanal: acompanhamento de áreas alagadas e socorro à fauna.
- Na Caatinga: monitoramento de áreas vulneráveis à seca e erosão.
- Na Mata Atlântica: vigilância contra ocupação irregular e reflorestamento assistido.
- No Pampa: controle de queimadas e detecção de espécies ameaçadas.

IV. Arquitetura para Operar Enxames de Drones nos Biomas Brasileiros

O Brasil possui dimensões continentais, com biomas que variam enormemente em clima, relevo, vegetação e densidade populacional. Para que o uso de enxames de drones seja realmente eficaz na preservação ambiental e no enfrentamento de emergências, é necessário adotar uma arquitetura operacional escalável e adaptável a essas diferentes realidades.

A proposta aqui segue o modelo de uma **árvore N-ária hierárquica**, similar à estrutura do DNS na internet, mas aplicada ao contexto físico e logístico dos biomas. Nesse modelo:



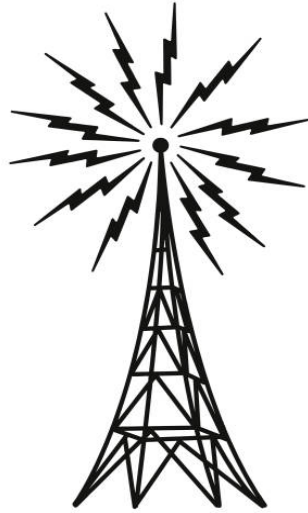
Arquitetura Centro Nacional de Coordenação (CNC) Proposta

A proposta inclui uma Arquitetura Operacional com Bases posicionadas estrategicamente, diferentes tipos de drones e uso racional de recursos. Resultado: **resposta rápida e otimização de custos.**

Descrição da Arquitetura CNC Proposta

Arquitetura constituída de Árvore Hierárquica adaptativa, derivada da Árvore Hierárquica N-ária, com o objetivo de otimizar a logística do CNC e estruturas organizadas em níveis.

- **Nível 0 (Raiz):** um **Centro Nacional de Coordenação**, responsável por supervisão macro, análise de dados em larga escala e integração com políticas públicas e centros de pesquisa.
- **Nível 1: um nó operacional por bioma.** Cada bioma brasileiro (Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal, Caatinga, Pampa) possui seu próprio centro regional, adaptado às suas necessidades ecológicas e logísticas.
- **Nível 2:** subdivisões regionais específicas dentro de cada bioma, considerando critérios como extensão geográfica, frequência de eventos (como queimadas ou alagamentos) e presença de fauna vulnerável.
- **Nível 3 (folhas da árvore):** são as **Bases Operacionais Avançadas**. Estas são compostas por:
 - Torres farol com beacons direcionais, auxiliando na triangulação precisa de posição dos drones;



Torre Farol

- Abrigos para recarga automatizada e reposição rápida de baterias;



Abrigo automatizado

- Compartimentos para carga útil (como água ou kits de resgate);



Drone equipado para transporte de cargas

- Conectividade autônoma para manter comunicação com a hierarquia superior.



Alta conectividade nas comunicações

Essa arquitetura **proporciona capilaridade**: a capacidade de chegar rapidamente aos pontos mais remotos e críticos com o tipo certo de drone para cada missão (monitoramento, resposta rápida, resgate ou combate a incêndios).

A partir dessa estrutura descentralizada, mas coordenada, é possível automatizar rotas de patrulhamento, ativar protocolos emergenciais com inteligência distribuída e registrar métricas ambientais com altíssima resolução temporal e geográfica.

Com base em IA e aprendizado contínuo, as missões passam a ter **otimização progressiva**, reduzindo consumo de energia, tempo de resposta e riscos à biodiversidade. A arquitetura também se adapta ao avanço da tecnologia dos drones, incorporando novos modelos e sensores sem necessidade de reformular toda a estrutura.

V. Considerações Finais

A integração da tecnologia moderna de drones em operações organizadas por enxames, sustentada por uma arquitetura otimizada e estratégica, representa um divisor de águas na forma como podemos contribuir efetivamente para a preservação dos biomas brasileiros.

O emprego coordenado de enxames de drones permite uma resposta rápida, precisa e escalável a eventos críticos como focos de incêndio, inundações, desmatamentos e ameaças à fauna nativa. Diferente de abordagens tradicionais, a disponibilidade constante de unidades de monitoramento e ação oferece vigilância contínua e intervenções antecipadas em cenários de risco.

Os custos associados à implantação, operação e manutenção dessa arquitetura são ínfimos quando comparados aos danos irreparáveis que poderiam ser evitados: perdas de vidas humanas, extinção de espécies raras da flora e fauna, degradação de ecossistemas inteiros e prejuízos socioeconômicos incalculáveis.

Ao aliar inovação tecnológica a uma causa ambiental urgente, os enxames de drones se consolidam como ferramentas indispensáveis para a proteção dos recursos naturais do país. A preservação dos biomas brasileiros não é apenas uma missão ecológica; é um compromisso com o futuro da humanidade.

Referência para leitura adicional sobre Drones:

Al-Ahmadi, Abdullah. "Drone Attitude and Position Prediction via Stacked Hybrid Deep Learning Model for Massive MIMO Applications." *IEEE Access* (2024).

(Artigo revisado por Cleomar Marques, Ph.D. - IEEE Certificate of Reviewer Recognition – 02-Nov-2024)



Agradecimento

Agradeço sinceramente pela leitura e pelo interesse em conhecer este projeto voltado à preservação dos biomas brasileiros por meio da tecnologia de enxames de drones.

Espero que este artigo tenha contribuído para ampliar a reflexão sobre a importância da inovação a serviço da proteção ambiental, mostrando que é possível aliar eficiência tecnológica com responsabilidade ecológica.

A conservação da nossa biodiversidade é um compromisso de todos nós, e cada iniciativa, pequena ou grande, pode fazer uma diferença significativa.

Sigamos juntos, com consciência, dedicação e respeito à vida, trabalhando para construir um futuro mais sustentável para as próximas gerações.

Muito obrigado!

Cleomar Marques, Ph.D.

