



**XX EDIÇÃO**  
**De 25 a 29 de agosto 2025**  
**Academia Militar das Agulhas Negras, Resende-RJ**





# XX CONGRESSO ACADÊMICO SOBRE DEFESA NACIONAL

## *DroneSwarm2D*: Um Simulador de Enxame de Drones Autônomos para o Estudo de Táticas Defensivas Distribuídas

Autores	Instituição de Ensino
João Paulo de Andrade Dantas	ITA
Lucas Silva Lima	ITA
Rafael Duarte Rocha	ITA
Rafael Hoffmann Giannico	ITA
Denys Derlian Carvalho Brito	ITA



# ROTEIRO

## 1. Contextualização

- ☐ Definição do Problema

## 2. Proposta de Solução

- ☐ Defesa Autônoma e Distribuída usando o mesmo tipo de vetor
- ☐ Delimitação de Escopo

## 3. Fundamentação Teórica

- ☐ Algoritmos Distribuídos
- ☐ Redes *Ad Hoc*

## 4. Metodologia

- ☐ Simulador *DroneSwarm2D*
- ☐ Algoritmos de Defesa
- ☐ Modelagem de Ameaças
- ☐ Táticas Comparadas e Métricas de Avaliação

## 5. Próximos Passos

## 6. Referências



MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



ESCOLA SUPERIOR DE DEFESA  
**ESD**



# CONTEXTUALIZAÇÃO

# Emprego de drones de pequeno porte em conflitos armados



**Figura 1:** Drone de pequeno porte operando em ambiente urbano durante missão ofensiva.

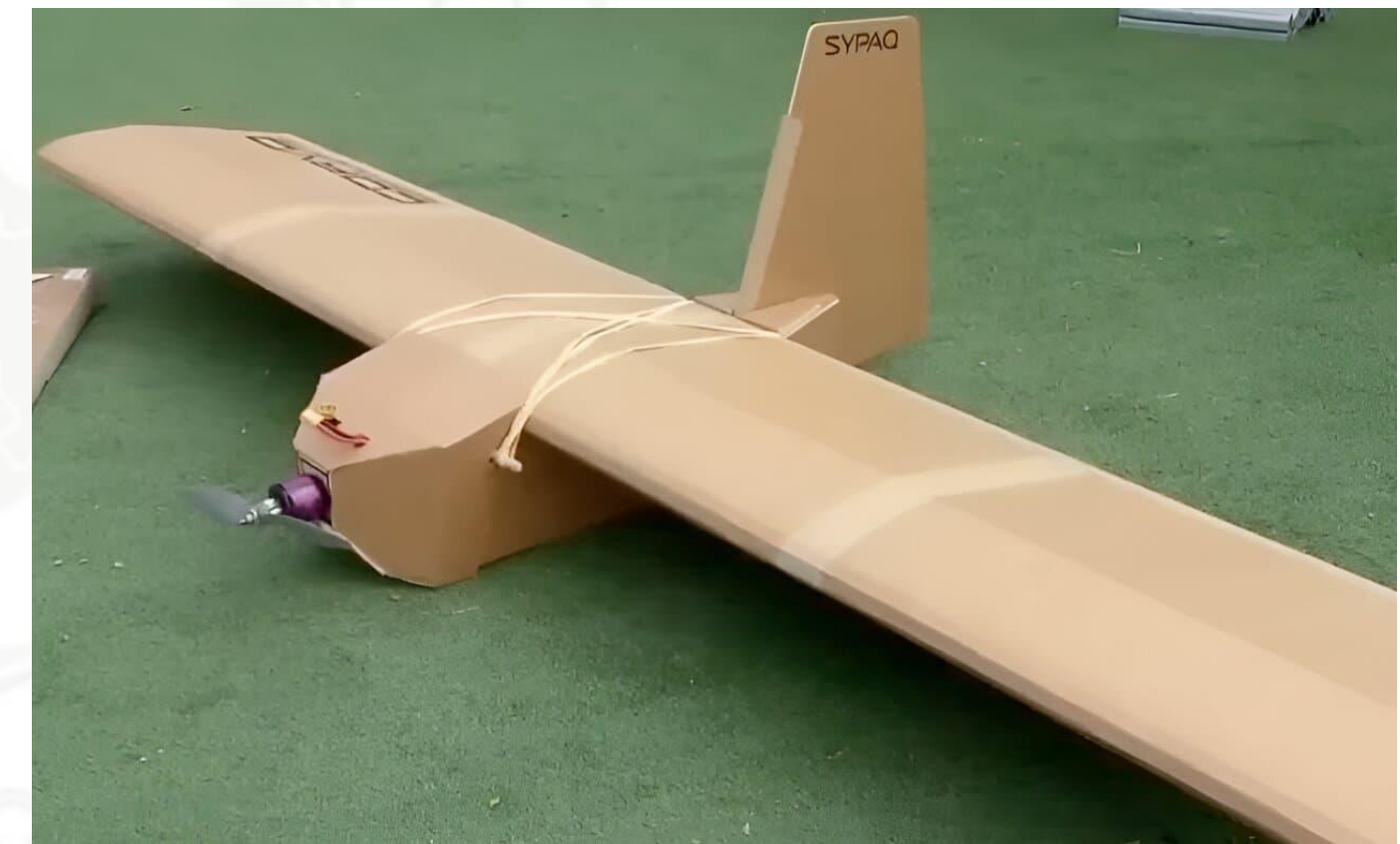


# Emprego de drones de pequeno porte em conflitos armados

- ☐ Proliferação massiva: Mais de 80 países utilizam drones de pequeno porte para fins militares
- ☐ Democratização tecnológica:
  - Custos reduzidos de fabricação
  - Sensores miniaturizados
  - Algoritmos de navegação acessíveis
- ☐ Fácil construção: Adaptação de plataformas comerciais para fins hostis

# Características de drones de pequeno porte

- ☐ Baixo *Radar Cross Section* (RCS)
- ☐ Voo em baixa altitude
- ☐ Perfil de navegação não balístico
- ☐ Construção extremamente versátil



**Figura 2:** Exemplo de drone de papelão, de baixa assinatura radar, adaptado para combate.



# Enxame de Drones



**Figura 3:** Uso massivo de drones de pequeno porte.





MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



ESCOLA SUPERIOR DE DEFESA  
**ESD**



# Limitações da Defesa Atual para esse novo desafio

- ☐ Míssil (US\$ 100k+) vs. Drone comercial (US\$ 500)
- ☐ Arquiteturas centralizadas: Pontos únicos de falha
- ☐ Estoques limitados vs. ataques em massa



MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



# ***Sukhoi Su-57* (US\$ 34.4 M) destruído por drone de pequeno porte e baixo custo (10/06/24)**



**Figura 4:** Imagem satélite pós-ataque realizado por drone de pequeno porte à aeronave militar.





MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



# ***Sukhoi Su-57* (US\$ 34.4 M) destruído por drone de pequeno porte e baixo custo (10/06/24)**



**Figura 5:** Imagem satélite pré e pós-ataque realizado por drone de pequeno porte à aeronave militar.

# Problema

- ❑ Uma nova era de ameaças aéreas:  
“A democratização da tecnologia de drones transformou pequenas aeronaves em armas acessíveis e letais”

**COMO DEFENDER ÁREAS CRÍTICAS CONTRA ATAQUES DE ENXAMES DE DRONE DE PEQUENO PORTE COORDENADOS?**





MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



# PROPOSTA DE SOLUÇÃO

# Proposta: Defesa Autônoma e Distribuída usando o mesmo tipo de vetor

**Conceito Central:** Enxame de drones defensivos autônomos operando em rede ad hoc descentralizada

- ☐ Sem comando central: Eliminação de pontos únicos de falha
- ☐ Coordenação emergente: Comportamento coletivo através de regras locais
- ☐ Tomada de decisão distribuída: Cada agente decide com base em informações parciais

**Vantagens Esperadas:** Maior resiliência, escalabilidade e custo-efetividade



# Escopo do Trabalho

## Foco da Pesquisa:

- ☐ Camada de aplicação (OSI): Algoritmos de coordenação e diretor de navegação
- ☐ Simulação 2D: *DroneSwarm2D*
- ☐ Planejamento clássico: Comportamento determinístico
- ☐ Comunicação idealizada: Troca de mensagens em raio fixo
- ☐ Tratamento de Falhas: Perdas de mensagens, falha de sensor, bipartição de rede, etc

**Não Abordado:** Aspectos de *hardware*, protocolos de rede de baixo nível, segurança criptográfica e artefato bélicos destinados a neutralização de drones de pequeno porte



MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



ESCOLA SUPERIOR DE DEFESA  
**ESD**



# FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA



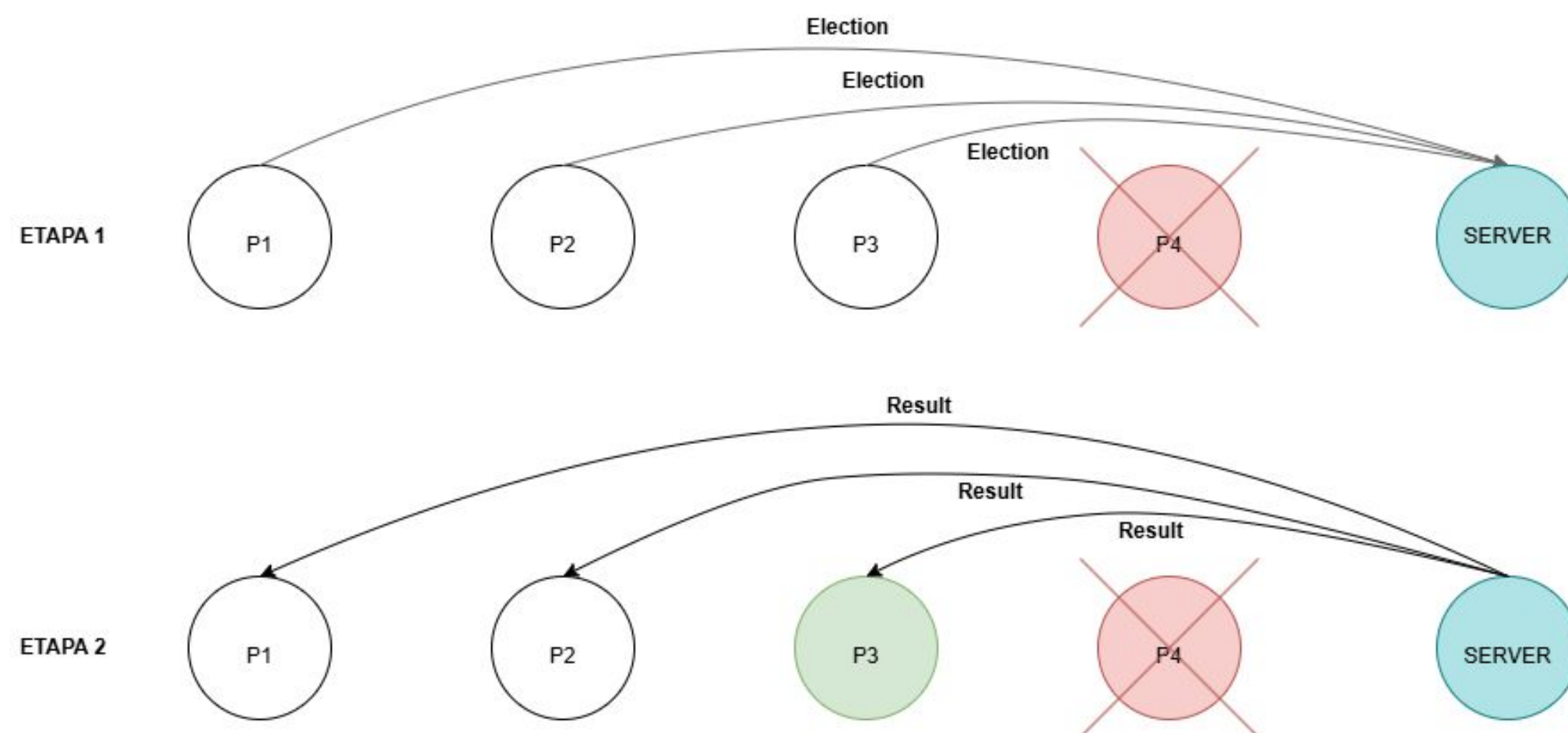
# Algoritmos Distribuídos

**Definição:** Algoritmos projetados para execução em sistemas onde múltiplos agentes processam e se comunicam de forma assíncrona e descentralizada, sem depender de um controlador central.

## Características Fundamentais:

- ☐ Processamento paralelo: Múltiplos nós executam simultaneamente
- ☐ Comunicação por mensagens: Troca de informações entre pares
- ☐ Decisão local: Cada agente decide com base em dados parciais
- ☐ Coordenação emergente: Comportamento coletivo surge das interações

# Exemplo Comparativo (Eleição)



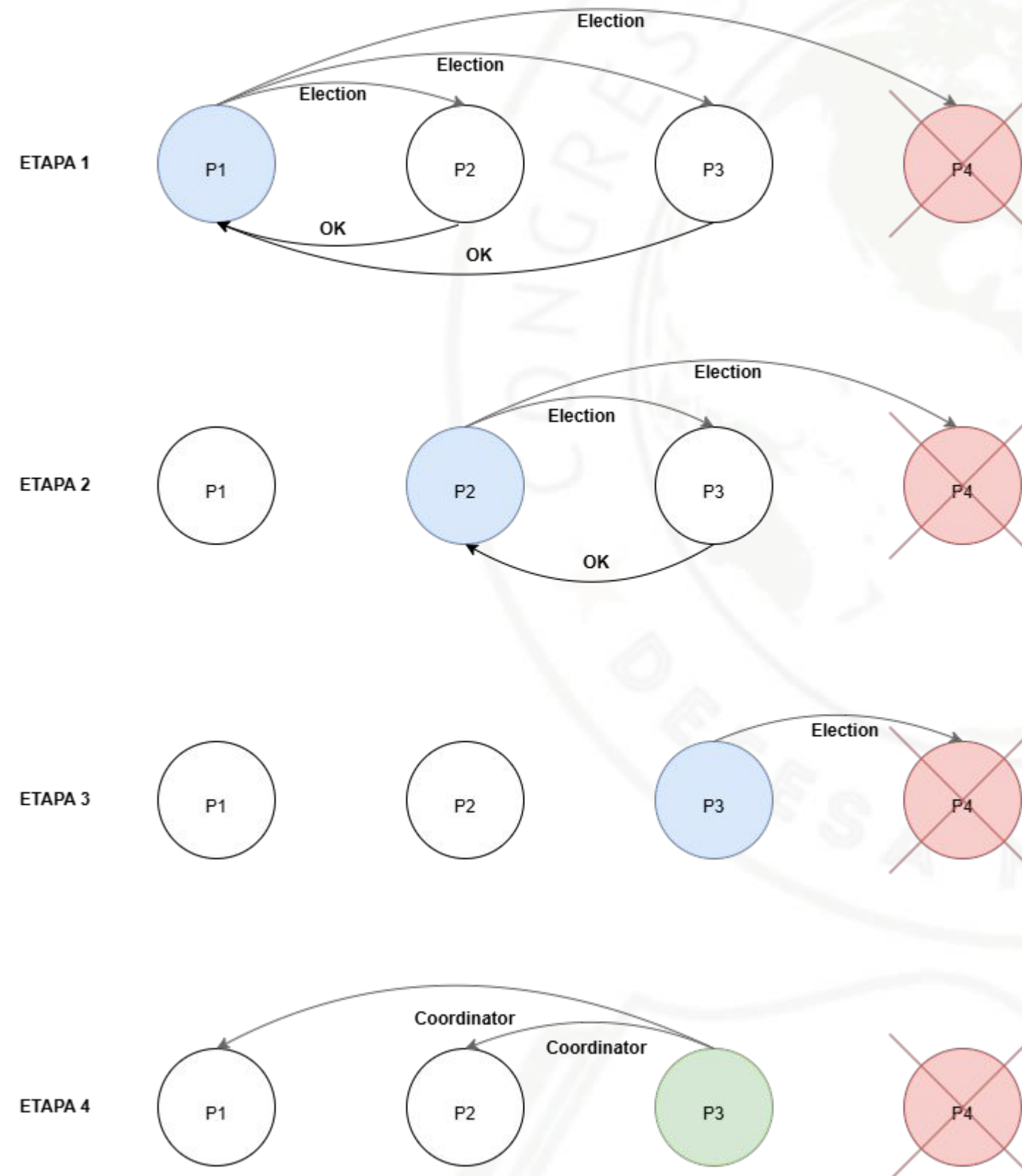
## Vantagens:

- ☐ Fácil entendimento
- ☐ Fácil implementação

**Figura 6:** Diagrama de eleição centralizada de líder.



# Exemplo Comparativo (Eleição)



## Vantagens:

- ☐ Tolerância a falhas
- ☐ Escalabilidade
- ☐ Autonomia local
- ☐ Resiliência

**Figura 7:** Diagrama de eleição distribuída usando o algoritmo *Bully*.

# Redes *Ad Hoc*

**Definição:** Redes descentralizadas que se formam dinamicamente entre dispositivos móveis, sem necessidade de infraestrutura fixa como roteadores, torres ou estações base.

## Características Principais:

- ☐ Auto-organização: Rede se forma automaticamente
- ☐ Cada nó é roteador: Retransmite mensagens de outros
- ☐ Topologia dinâmica: *Links* aparecem e desaparecem
- ☐ Multi-salto: Mensagens passam por vários nós
- ☐ FANETs (*Flying Ad hoc Network*)





MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



ESCOLA SUPERIOR DE DEFESA  
**ESD**



# METODOLOGIA



# Simulador *DroneSwarm2D*

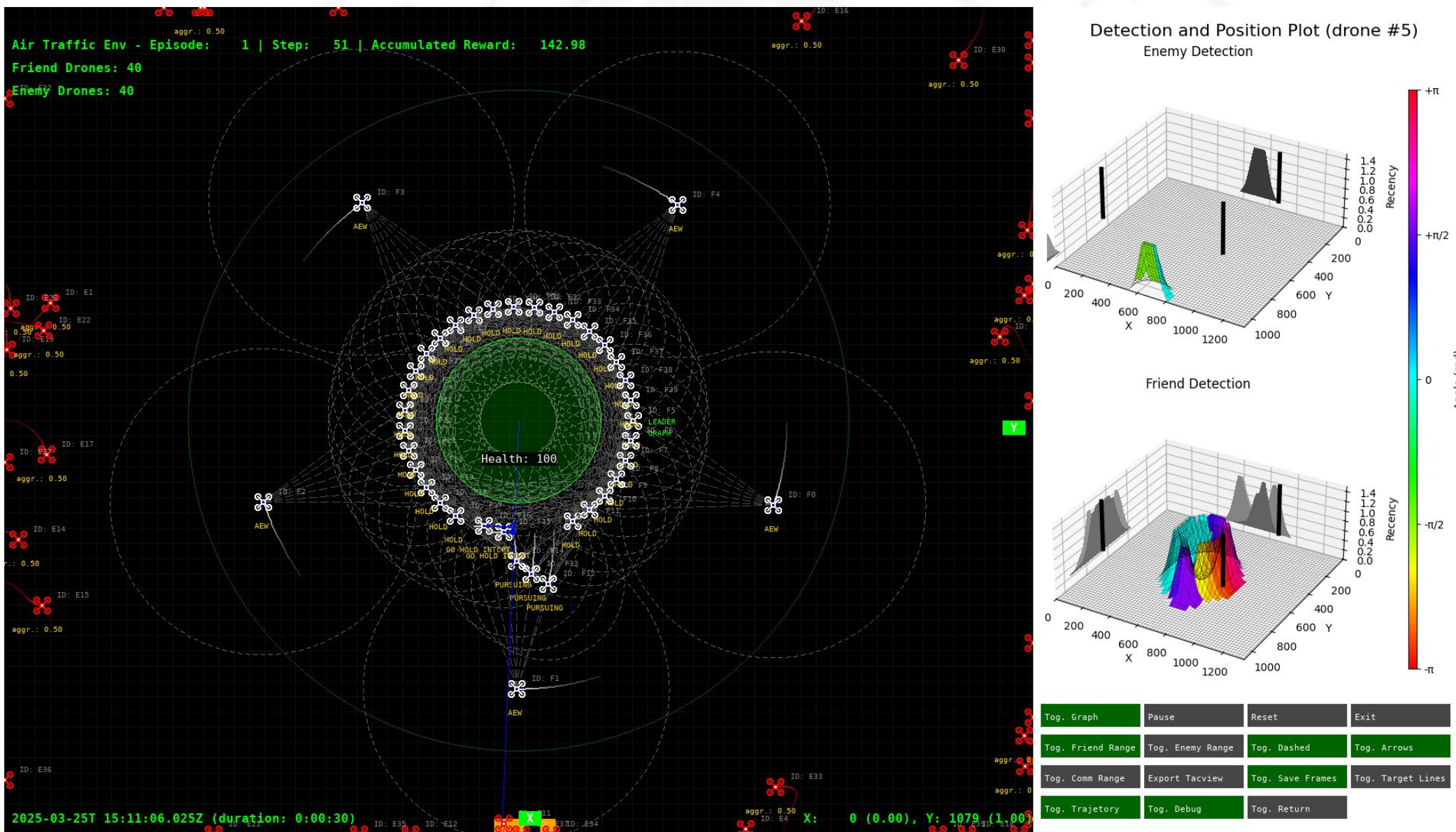


Figura 8: Interface principal do simulador.

## Características:

- ☐ Linguagem: *Python*
- ☐ Visualização: tempo real
- ☐ Extensível: *Env. RL*

## Interface:

- ☐ Simulação: drones e ambiente
- ☐ Estados: representação interna dos agentes



# Simulador *DroneSwarm2D*

**Conceito central:** Drones possuem visão restrita do ambiente e sensor somente de avistamento (direção)

## **Três Componentes:**

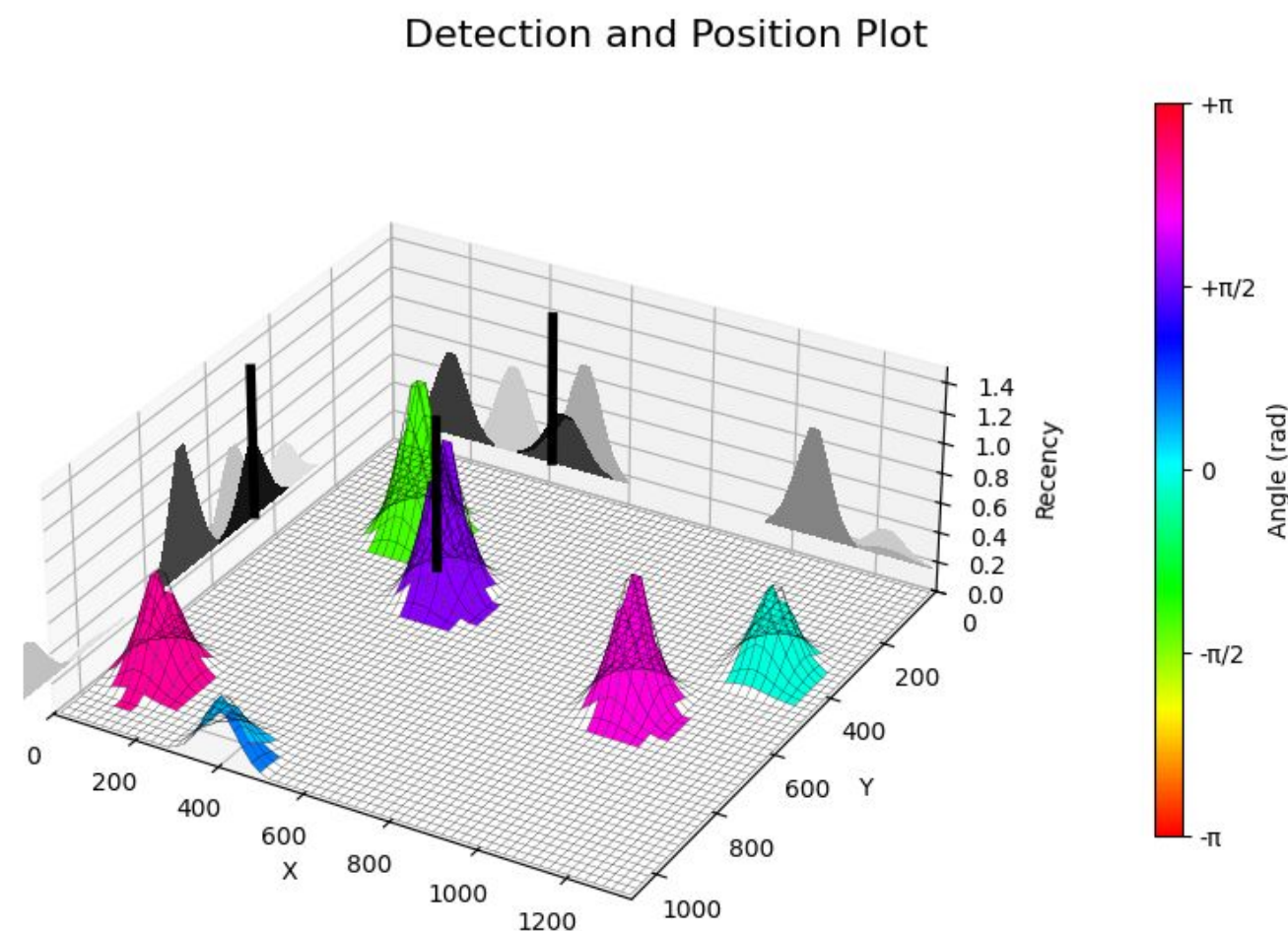
- ☐ Matriz de Recência: Atualidade  $[0,1]$  por região
- ☐ Matriz de Direção: Vetores de movimento observados
- ☐ Posição Própria: Referência para integração

## **Mecanismos:**

- ☐ Decaimento exponencial
- ☐ Junção seletiva de informações
- ☐ Validação por coerência

# Simulador *DroneSwarm2D*

**Matriz de Recência e direção:** Representação vetorial que condensa informação de quão recente foi uma detecção, onde e com qual direção (conhecimento que emerge da rede distribuída)



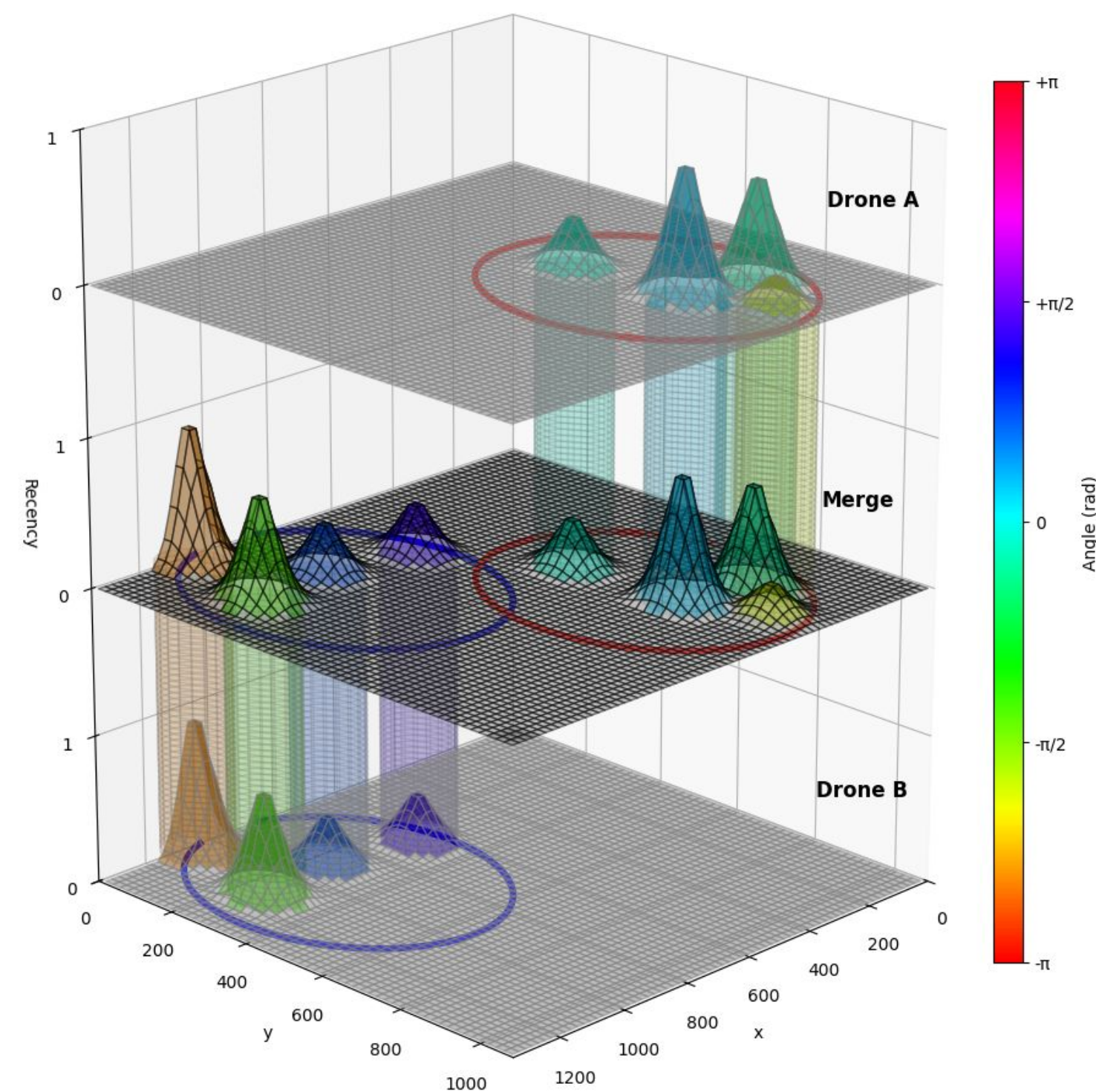
**Figura 9:** Representação interna de drone defensivo: matriz de recência e direção.



# Simulador *DroneSwarm2D*

**Junção de estados:** Processo de fusão de estados internos entre drones por comunicação *ad hoc*

Exemplo de junção de matrizes de recência e direção



**Figura 10:** Junção de estados internos.

# Interceptação baseada em navegação proporcional

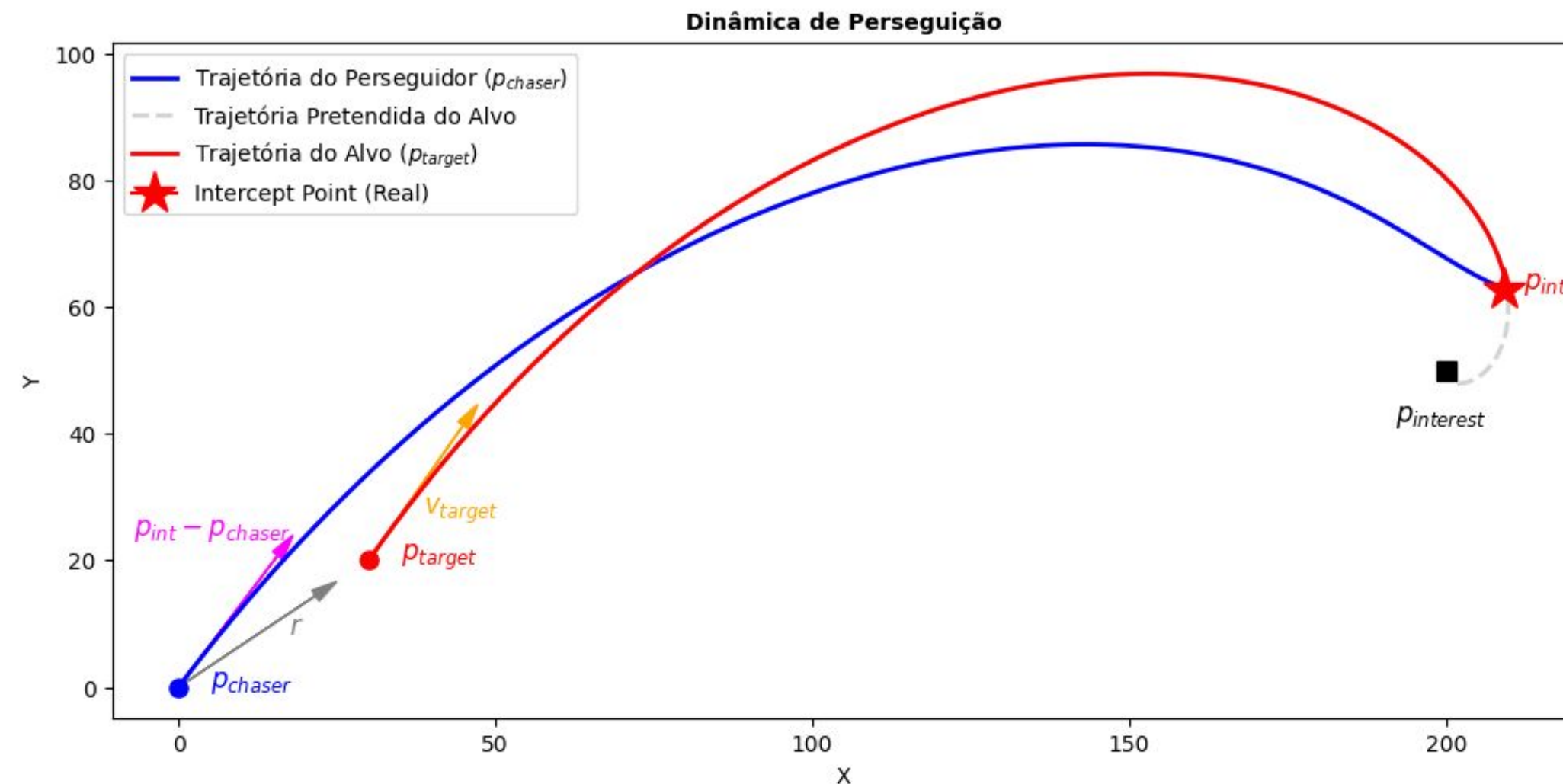


Figura 11: Geometria da interceptação.

**Problema:** Calcular trajetória ótima para interceptar alvo móvel

**Condição de interceptação:**

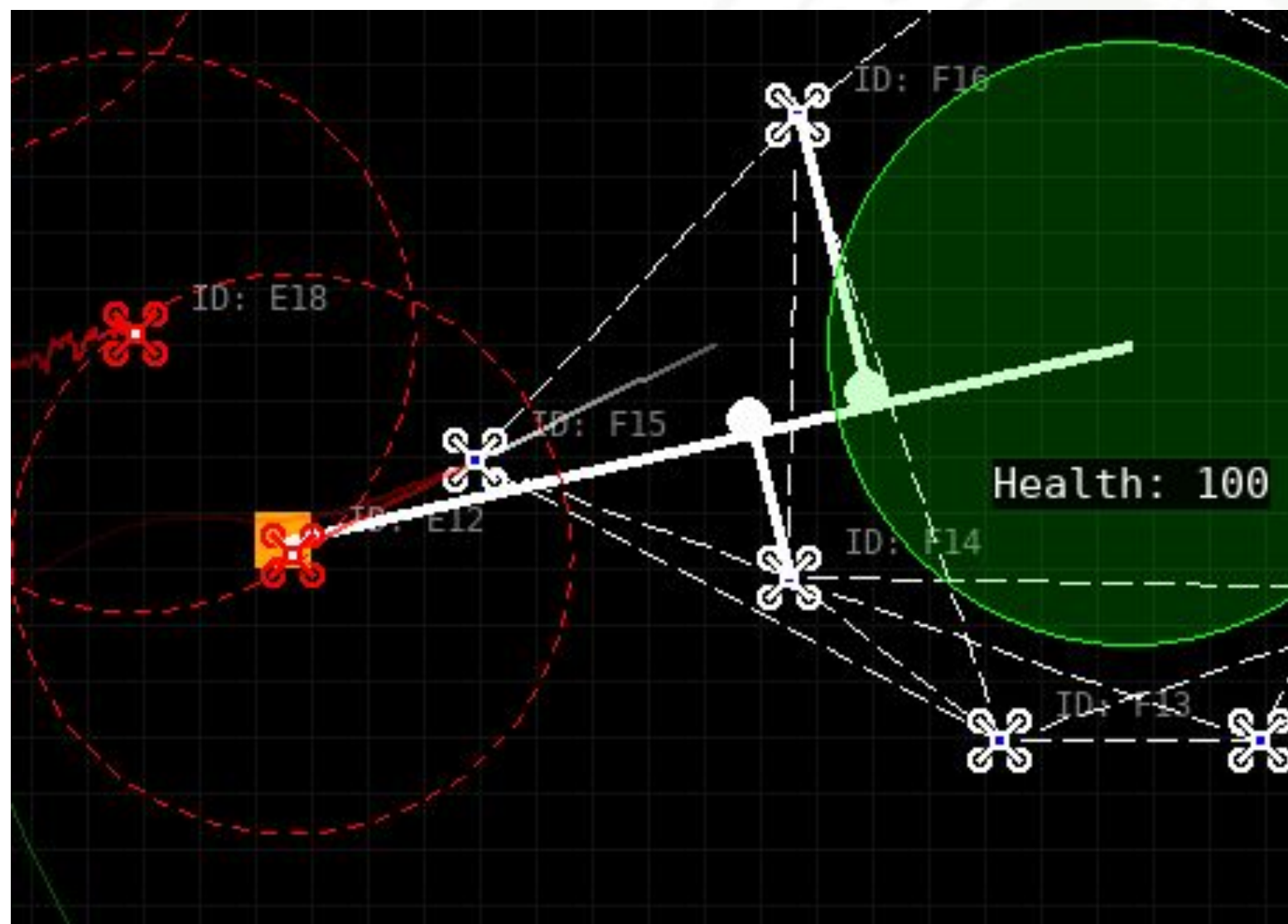
$$\| r + v_t t \| = v_c t$$

**Solução:**

- ☐ Equação quadrática em  $t$
- ☐ Tempo ótimo de interceptação
- ☐ Direção do ponto de encontro



# Estratégia de Posicionamento Passivo



**Holding Ativo:** Estado de espera estratégica não estático

## Ações:

- ☐ Identificar ameaça prioritária
- ☐ Calcular trajetória prevista
- ☐ Posicionar-se interceptando
- ☐ Coordenar com vizinhos

**Figura 12:** Formação de defesa em camadas com posicionamento estratégico dos drones.

**Resultado:** Defesa em camadas e cobertura otimizada



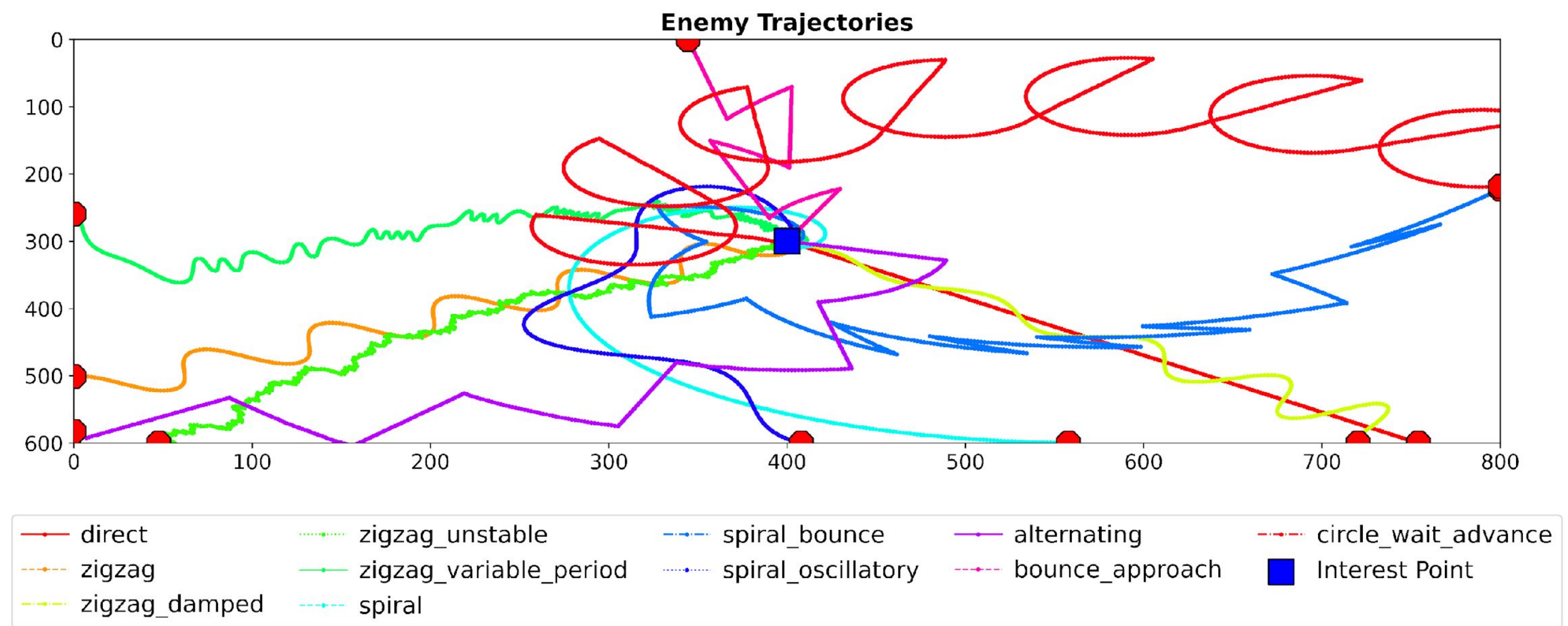
MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



ESCOLA SUPERIOR DE DEFESA  
**ESD**



# Modelagem dos Drones Inimigos



**Figura 13:** Diversidade de padrões de ataque modelados.

## Comportamento Adaptativo

- ☐ Trajetórias variadas: Direta, zigzag, espiral, oscilatória
- ☐ Detecção de defensores: Decisão entre ataque e evasão



# Algoritmo de agressividade adaptativa com base em distância ao alvo.

$$p_{attack} = \max \left( 1 - \frac{d}{2R}, \alpha \right)$$

## Parâmetros

- ☐  $d$ : Distância ao alvo
- ☐  $R$ : Raio defensivo
- ☐  $\alpha$ : Agressividade [0,1]

## Comportamento

- ☐ Se  $r < p_{attack}$ : Ataque direto
- ☐ Caso contrário: Evasão temporária

**Resultado:** Ameaças dinâmicas e pseudo-aleatórias que se adaptam à defesa





# Exemplo de Cenário: Tática Descentralizada

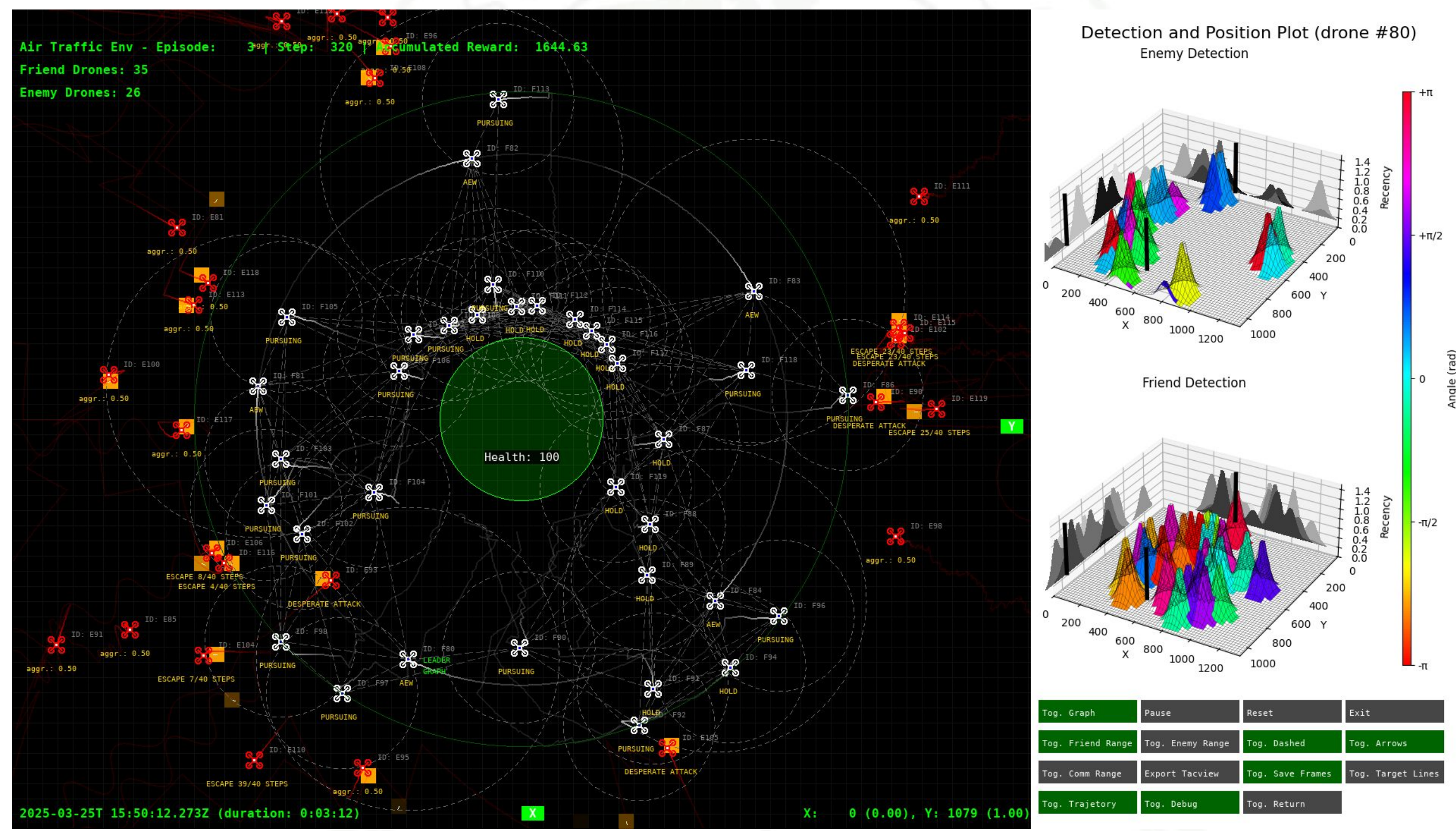


Figura 14: Simulação do controle centralizado em cenário base.





MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



ESCOLA SUPERIOR DE DEFESA  
**ESD**



# PRÓXIMOS PASSOS

# Próximos Passos

## Implementação:

- ☐ Implementar cenários com as táticas a serem comparadas
- ☐ Realizar simulações em lote
- ☐ Colher resultados e gerar visualizações (imagem e vídeo)

## Avaliação:

- ☐ Discriminar resultados obtidos por cenário com testes estatísticos
- ☐ Concluir trabalho, comparando o resultado obtido com o esperado





MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



ESCOLA SUPERIOR DE DEFESA  
**ESD**



# REFERÊNCIAS

# Referências Principais

- BARREIROS, D. **Projeções sobre o Futuro da Guerra: Tecnologias disruptivas e mudanças paradigmáticas (2020–2060)**. IE-UFRJ Discussion Paper, 2019.
- FIGUEIREDO, B. M. **The Use of Uncrewed Aerial Systems by Non-State Armed Groups: Exploring Trends in Africa**. UNIDIR, 2024.
- GONG, J. et al. Introduction to Drone Detection Radar with Emphasis on Automatic Target Recognition. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, 2023.
- DANTAS, J. P. A. et al. ASA: A Simulation Environment for Evaluating Military Operational Scenarios. **Proceedings of the 20th International Conference on Scientific Computing**, 2022.
- SILVA, L. B. **Plataforma de cossimulação para sistemas autônomos com múltiplos drones**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, 2019.
- CATARRO, T. et al. Energy-Aware PSO-based Topology Control in FANETs. **Ad Hoc Networks**, 2024. In press.
- BEKMEZCI, I.; SAHINGOZ, O. K.; TEMEL, S. Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey. **Ad Hoc Networks**, v. 11, n. 3, p. 1254–1270, 2013.
- TANENBAUM, A. S.; VAN STEEN, M. **Distributed Systems: Principles and Paradigms**. Pearson Education, 2010.
- LYNCH, N. A. **Distributed Algorithms**. Morgan Kaufmann, 1996.
- RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. 3rd ed. Pearson Education, 2016.
- GHALLAB, M.; NAU, D.; TRAVERSO, P. **Automated Planning: Theory and Practice**. Morgan Kaufmann, 2004.
- WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to MultiAgent Systems**. 2nd ed. John Wiley & Sons, 2009.
- GUPTA, L.; JAIN, R.; VASZKUN, G. Survey of important issues in UAV communication networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 18, n. 2, p. 1123–1152, 2016.





MINISTÉRIO DA  
**DEFESA**



ESCOLA SUPERIOR DE DEFESA  
**ESD**



# Muito Obrigado!

Lucas Silva Lima  
[limalsl@ita.br](mailto:limalsl@ita.br)



Instituto Tecnológico de Aeronáutica