

# Planejamento Dinâmico de Rotas para VANTs em Patrulha Naval

- UFRJ/COPPE/PESC
- CPS767 – Algoritmos de Monte Carlo e Cadeias de Markov
- Aluno: Luiz Henrique Souza Caldas
- Prof.: Daniel Ratton Figueiredo



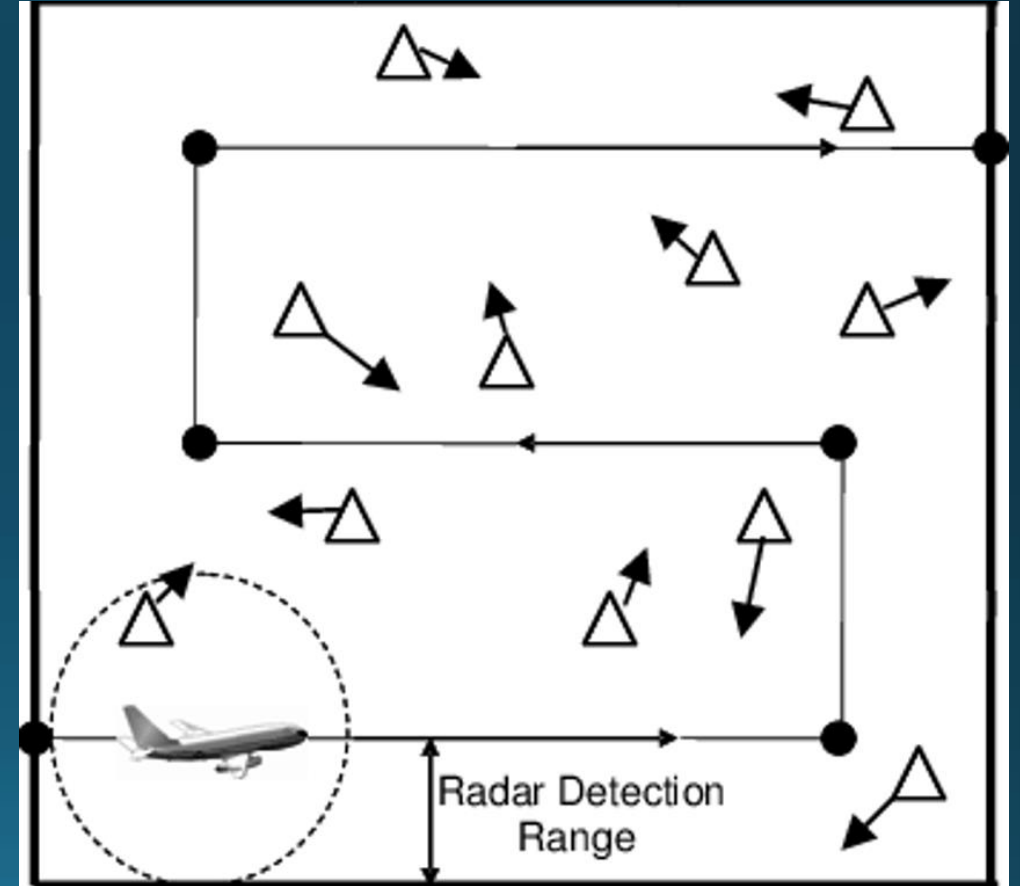
# Introdução

- 4,5 milhões de km<sup>2</sup> de área marítima
- Necessidade de patrulha naval eficiente
- Uso de VANTs para reconhecimento e vigilância
- Necessidade de planejamento de rotas mais inteligente



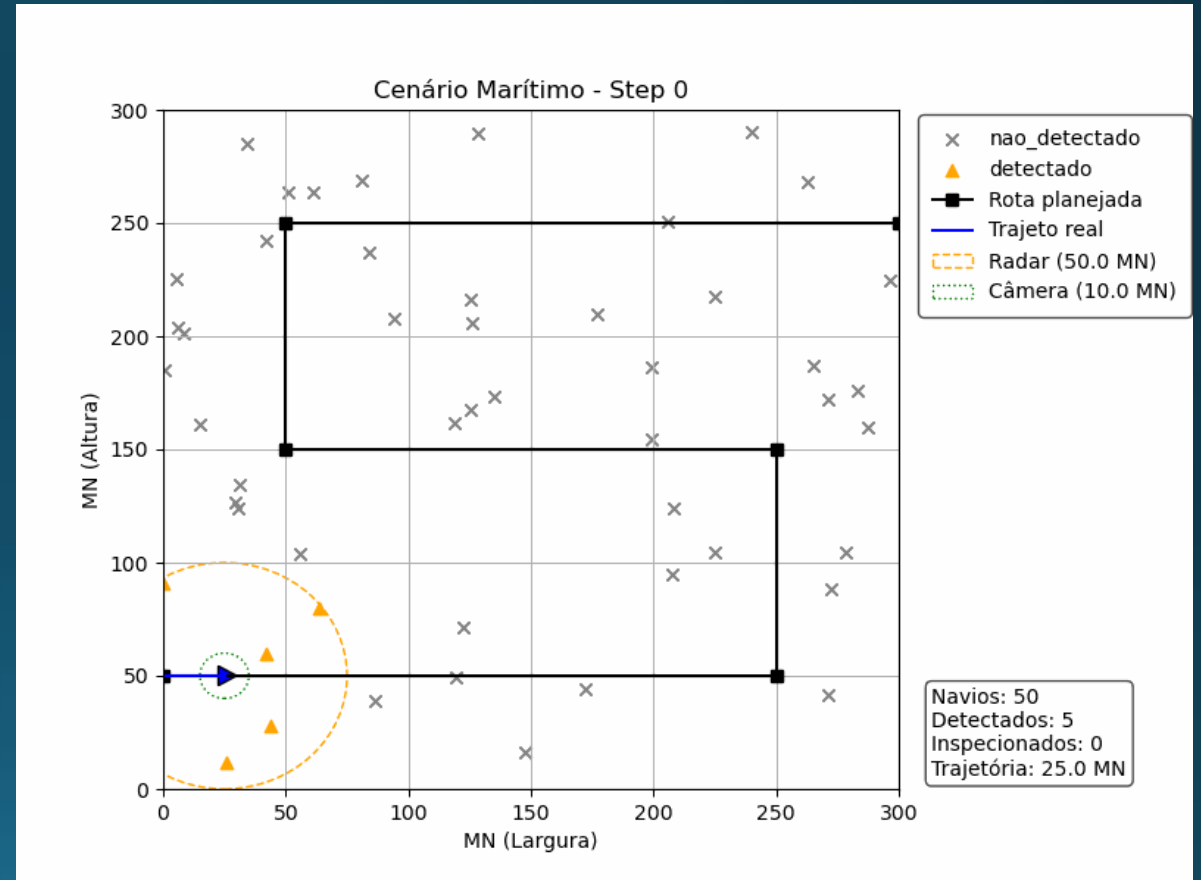
# Problema

- Missões de patrulha com inserção progressiva de alvos.
- Restrições operacionais:
  - Autonomia limitada
  - Alcance desigual dos sensores (radar e câmera)
- Objetivo: maximizar a inspeção de navios
- Formulação:
  - Variação do Problema do Caixeiro Viajante (TSP)
  - Inserção de novos pontos ao longo da missão
  - Reordenamento dinâmico da rota



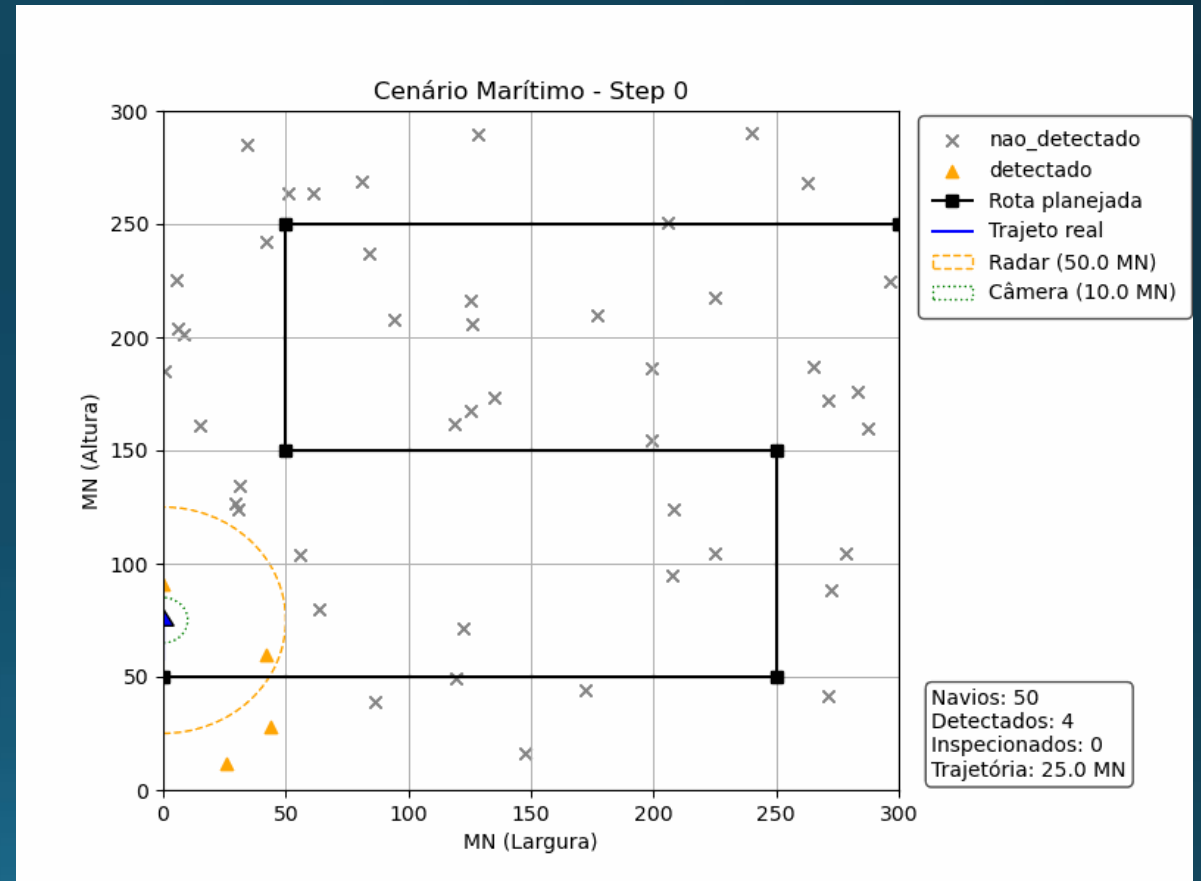
# Metodologia (simulação)

- VANT percorre rota pré-definida com linhas paralelas
- Rota de referência:
  - Número de linhas
  - Alcance do radar
- Sensores embarcados:
  - Radar (50 MN): detecta navios
  - Câmera (20 MN): confirma identificação
- Estados dos alvos:
  - Não detectado
  - Detectado (quando entra no radar)
  - Inspeccionado (quando entra na câmera)
- Alvos estáticos



# Metodologia (políticas)

- Passiva: segue a rota original
- Greed: reordena dinamicamente os alvos e waypoints, priorizando os mais próximos.
- Simulated Annealing: usa um método MCMC para otimizar a sequência de visita, buscando menor distância total.



# Metodologia (simulated annealing)

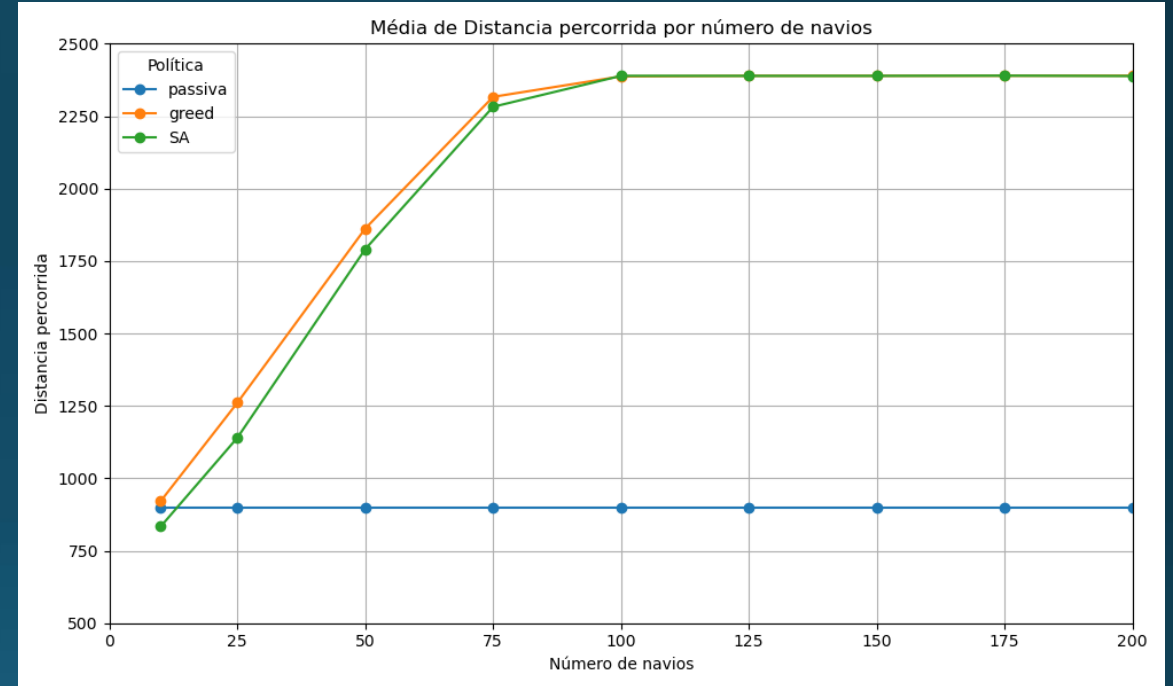
- Inicia com uma permutação aleatória de navios detectados + waypoints restantes
- A cada iteração:
  - Escolhe dois pontos aleatórios da rota  $s$
  - Inverte a ordem entre eles
  - Aceita nova rota  $s'$  se for **melhor** (menor distância  $f(s')$ )
  - Caso contrário, aceita com probabilidade:  $P = e^{-\frac{f(s')-f(s)}{T}}$
- $T_i = T_0 \beta^i$  : temperatura
  - $0 < \beta < 1$
  - $T_0$  : temperatura inicial
  - $i$  : índice
- $N_i$  : iterações em  $T_i$
- Salva a melhor solução
- Cadeia de Markov:
  - Estados: permutações possíveis
  - Transições: inversões possíveis
  - Irredutível, aperiódica e simétrica.

# Resultado (parâmetros)

- Simulação
  - Área de interesse:  $300 \times 300$  MN
  - Velocidade do VANT: 300 nós
  - Sensores: radar (50 MN), câmera (20 MN)
  - Autonomia: 2400 MN
  - Navios: 10, 25 a 200, em incrementos de 25
  - Distribuição dos navios: aleatória e uniforme
  - 100 iterações
- Simulated Annealing:
  - $T_0 = 10$
  - $T_{min} = 10^{-4}$
  - $\beta = 0,9$
  - $N_i = 50$

# Resultados (distância)

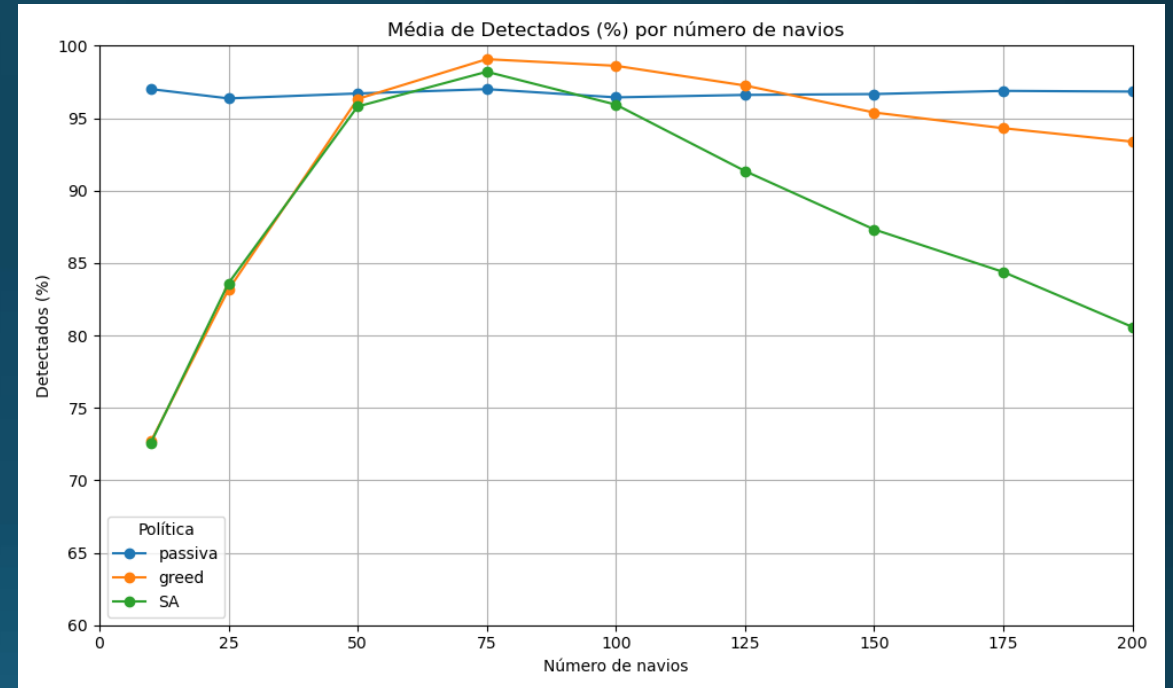
- Política passiva: distância constante (trajetória fixa)
- Greed e SA: aumentam a distância com o número de navios
- A partir de 100 navios, atingem o limite de autonomia
- Antes disso, Simulated Annealing percorre menos, indicando melhor otimização de trajeto





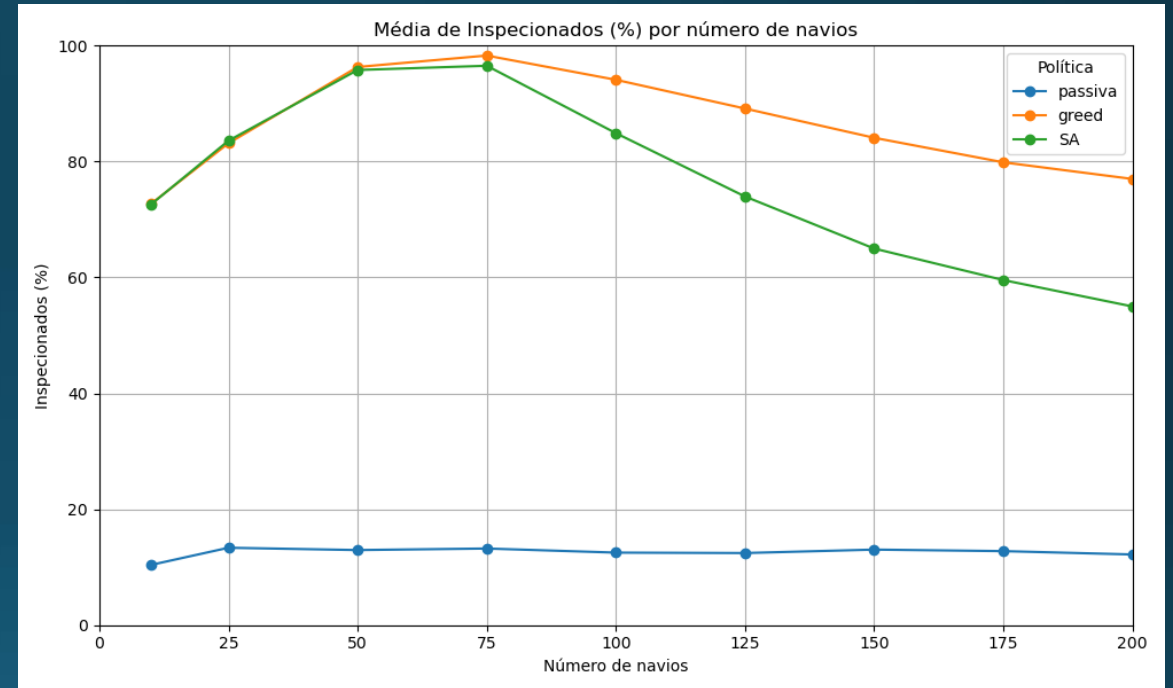
# Resultados (detecção)

- Passiva: mantém taxa constante e geralmente melhor
- Greed e SA: desempenho semelhante até 75 navios
- Em cenários densos, greed detecta mais que SA
- A partir de 100 navios, todas sofrem queda → limitação da autonomia do VANT



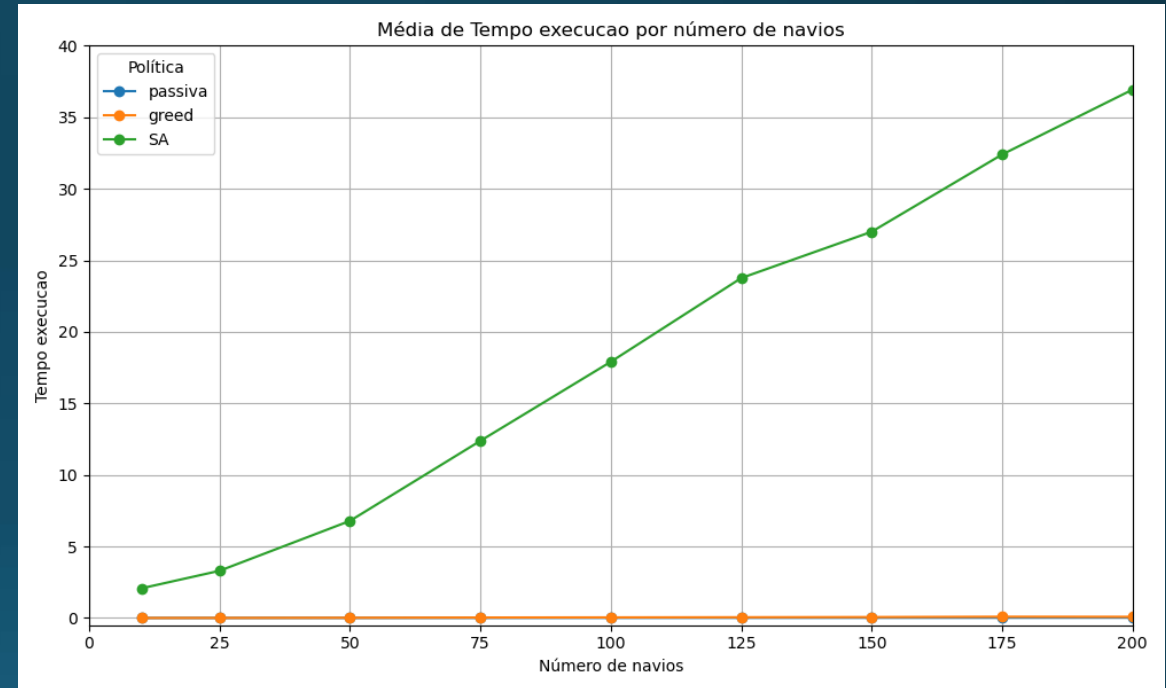
# Resultados (inspeção)

- Passiva: baixa taxa de inspeção (não desvia da rota)
- Greed e SA: desempenho semelhante até 75 navios
- Em cenários densos, greed inspeciona mais
- Queda geral ocorre por limite de autonomia do VANT

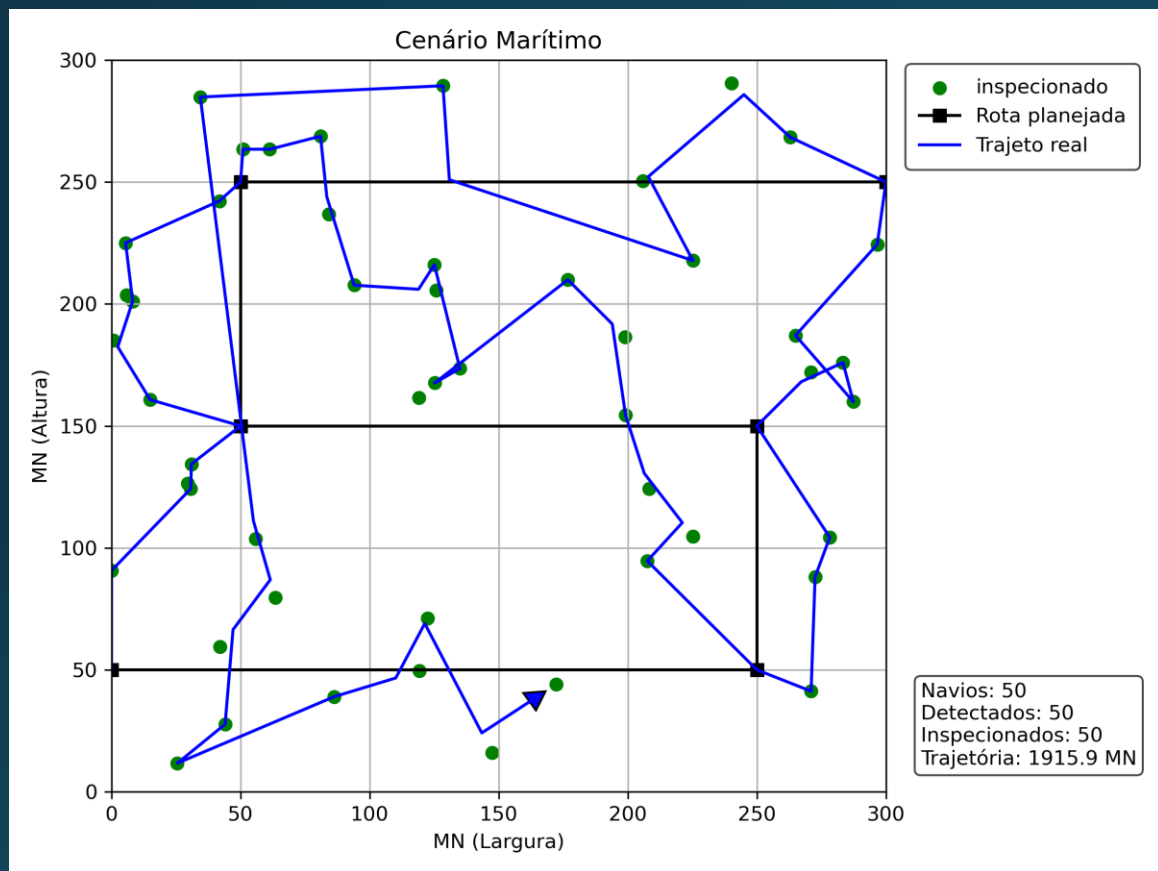


# Resultados (tempo de execução)

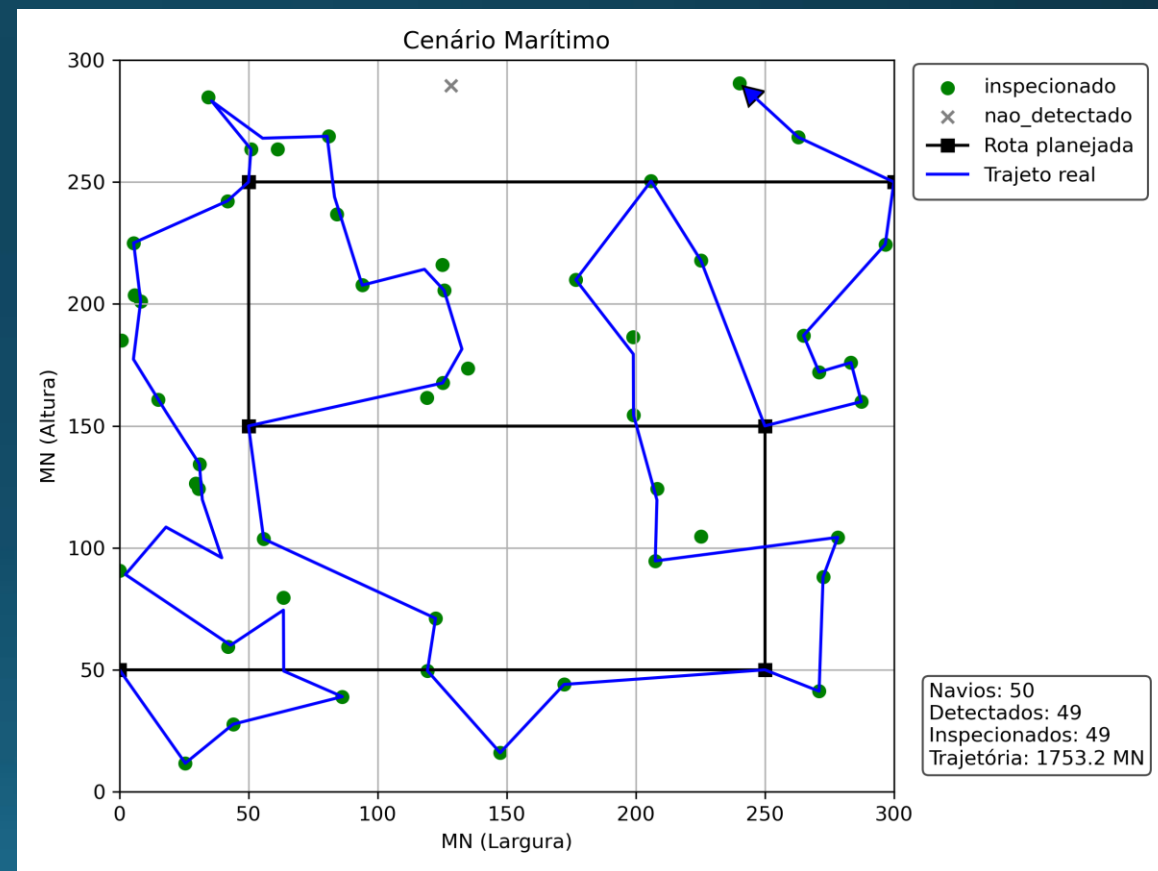
- **Simulated Annealing:**
  - Cresce linearmente com o número de navios  $n$
  - Número de iterações não depende de  $n$
  - Custo da rota:  $O(n)$  por iteração
- **Greed:**
  - Calcula distâncias em  $O(n)$
  - Ordena em  $O(n \log(n))$
  - Tempo desprezível (parece constante)
- **Passiva:**
  - Tempo constante



# Resultados (trajetórias)



**Greedy:** adapta a rota para inspecionar alvos próximos  
→ mais cruzamentos e sobreposição



**Simulated Annealing:** ajusta rota de forma mais otimizada  
→ menor distância e menos cruzamentos

# Conclusão

- Simulated Annealing foi superior à Greed em cenários menos densos ( $\leq 75$  navios), em termos de distância percorrida
- Greed teve melhor desempenho geral na detecção e inspeção com baixo custo computacional
- Em cenários mais carregados, a **autonomia do VANT limitou** a eficácia das políticas ativas

# Trabalhos Futuros

- Incluir dinâmica realista do VANT (manobras e aceleração)
- Considerar **navios em movimento**
- **Paralelizar** simulação e replanejamento em tempo real
- Explorar **funções de custo mais elaboradas**, que levem em consideração a exploração do ambiente

Obrigado