

MIRES

Minefield Reconnaissance Simulator

- **Naval Postgraduate School, Monterey, CA**
- Mauricio José Machado Guedes
- Prof. Alan R. Washburn (advisor)
- Prof. Samuel E. Buttrey (second reader)

Introdução

- Este trabalho simula a busca conduzida por um LMRS (Long-Term Mine Reconnaissance System).
- O LMRS é um sofisticado UUV (Unmanned Undersea Vehicle), que possui dois sensores:
 - um de longo alcance (LR);
 - e outro de curto alcance (SR).

Introdução

- O sensor LR é capaz de detectar mas não de identificar os objetos.
- O sensor SR tem capacidade de identificar, mas para isso precisa se aproximar bastante do objeto.
- Por ter autonomia limitada, o UUV precisa de trajetórias otimizadas que maximizem a quantidade de minas identificadas

GPS Position Fix Capability

Torpedo Tube L&R



2 Autonomous UUVs

RF and Acoustic Communications



electronics/
information systems

Single Sortie Reach 75-120 nm

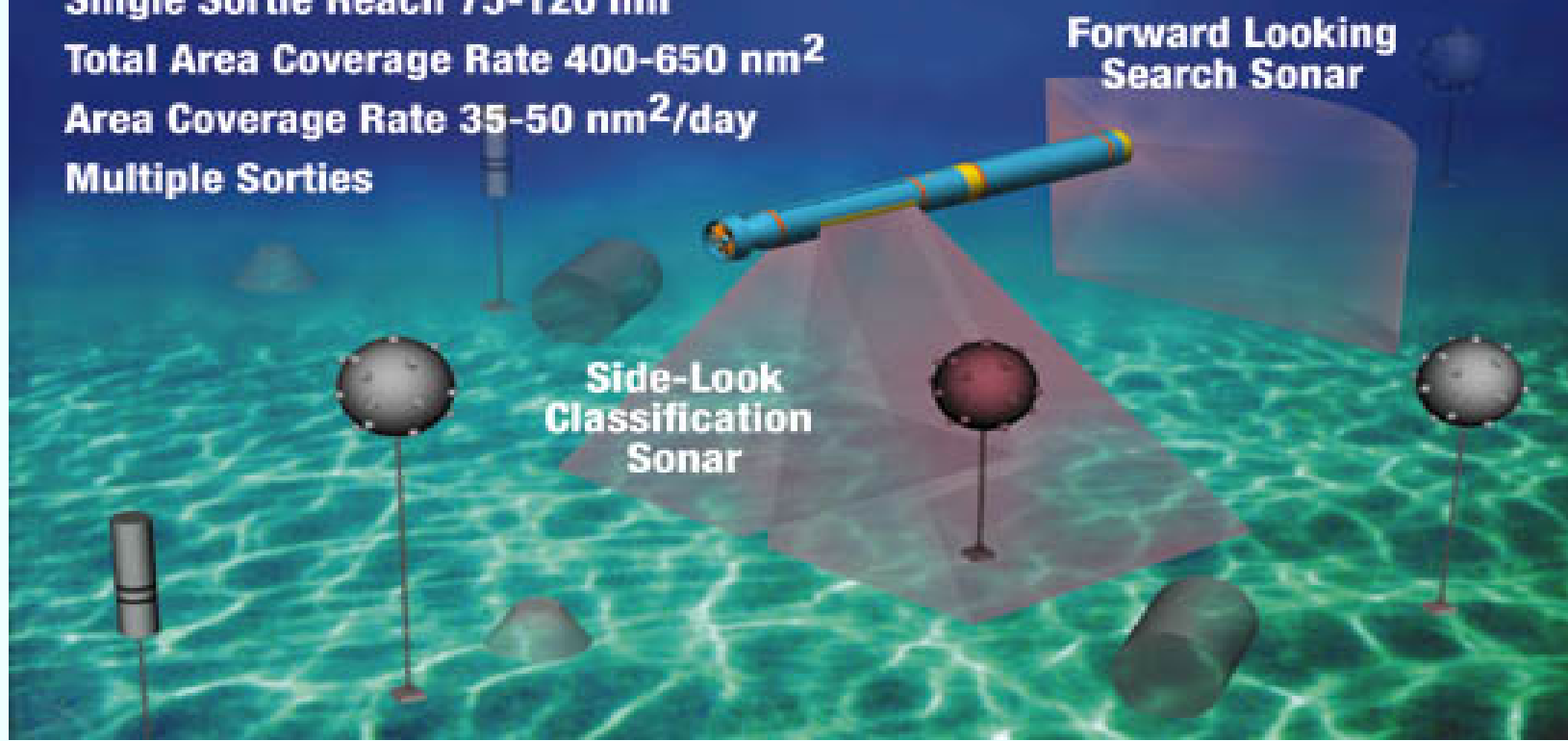
Total Area Coverage Rate 400-650 nm²

Area Coverage Rate 35-50 nm²/day

Multiple Sorties

Forward Looking
Search Sonar

Side-Look
Classification
Sonar



Introdução

- Este trabalho implementa um programa de simulação de Monte Carlo, chamado **MIRES**

Objetivos

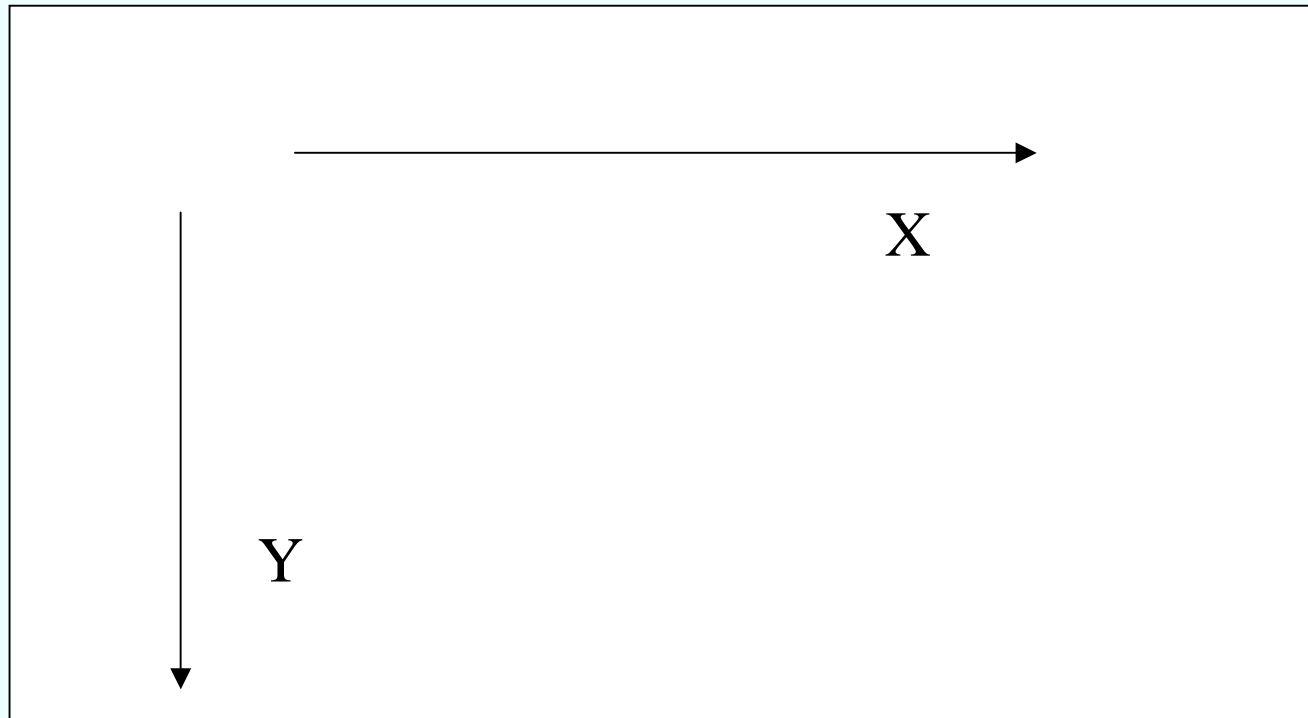
- Determinar o melhor modo de busca para o UUV esclarecer o campo minado.
- Estimar o número de minas restantes no campo minado.

O MODELO

Representação do Campo Minado

- Formato retangular
- O número de minas e de objetos é gerado segundo uma distribuição de Poisson.
- A posição de cada elemento no campo é gerado segundo uma distribuição uniforme em cada eixo.
- Representação 2D.

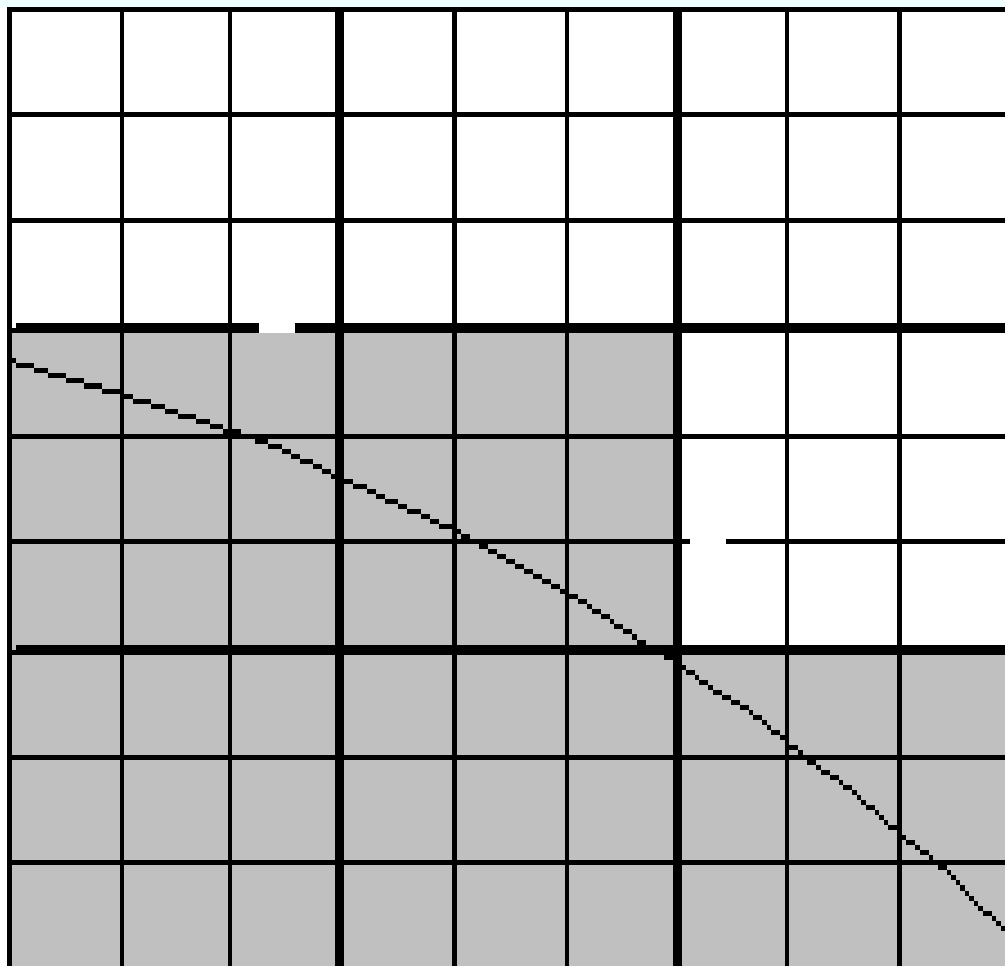
Sistema de coordenadas X-Y



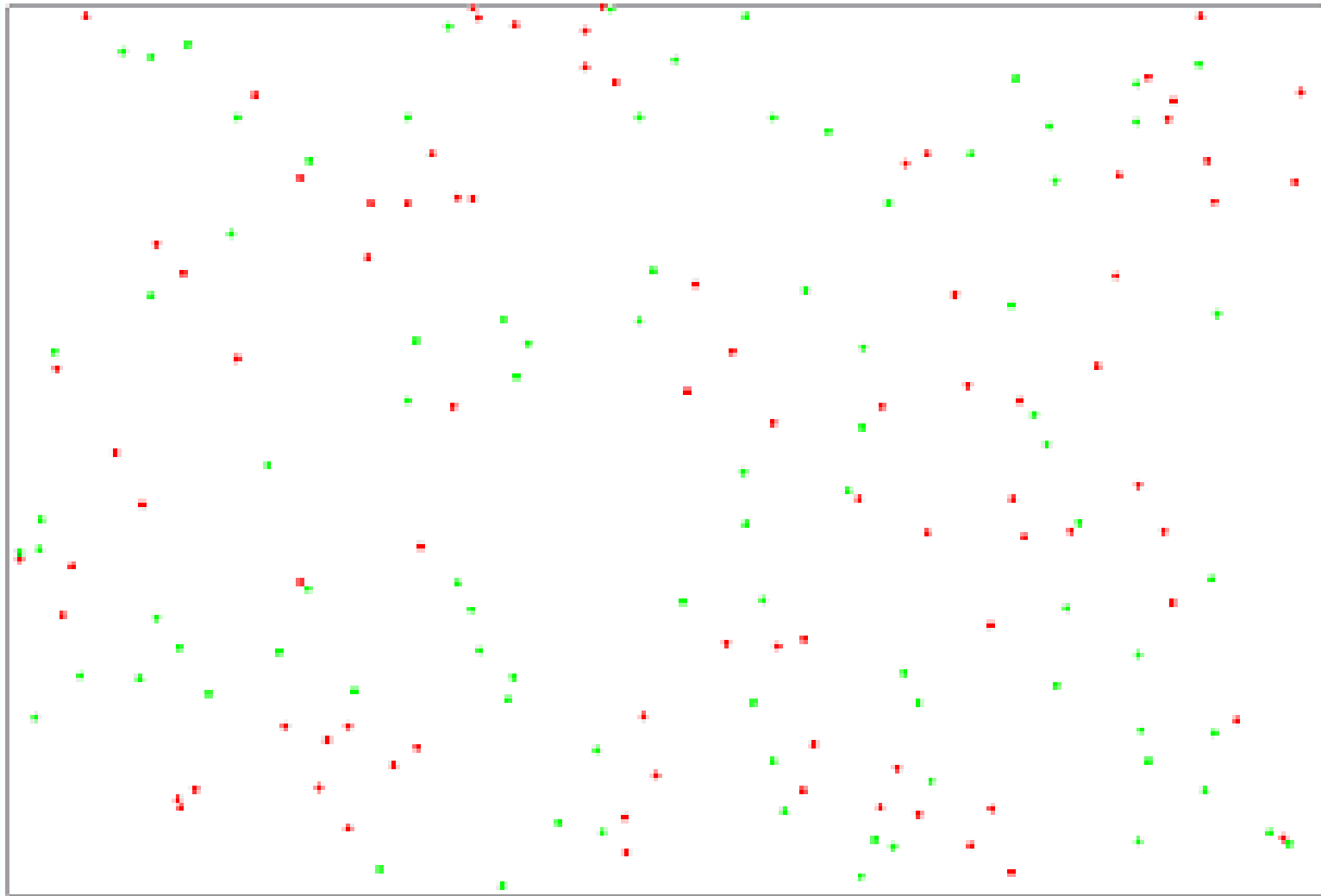
Representação do Campo Minado

- Cada objeto ocupa nove pixels.
- Nove pixels são uma unidade quadrada.

Área Esclarecida



Representação do Campo Minado



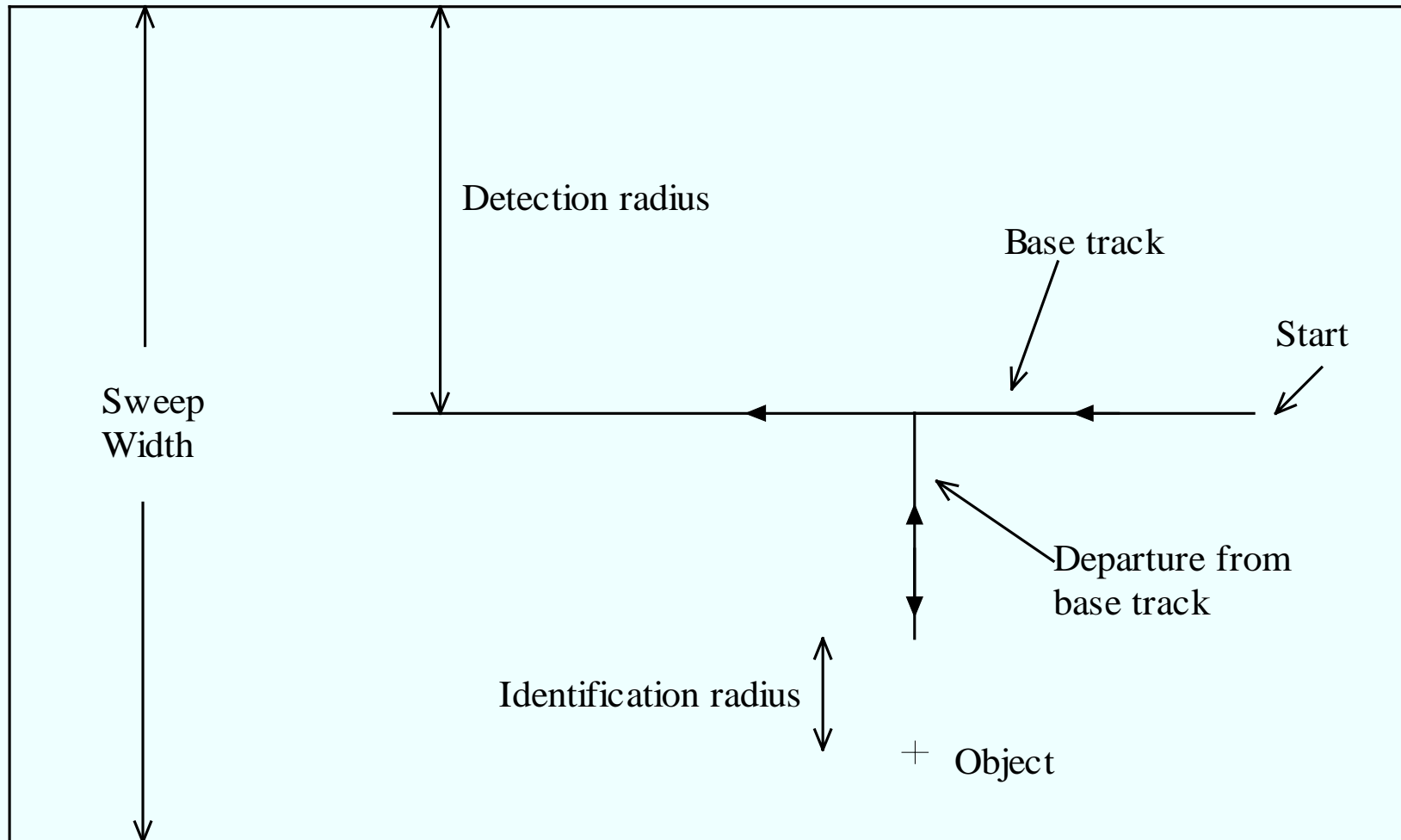
Modos de Busca

- Dois modos de busca são considerados:
 - busca planejada, onde o UUV segue um caminho pré-definido, podendo se afastar dele somente o necessário para identificar objetos.
 - Busca aleatória, onde o UUV vai ao objeto detectado mais próximo.

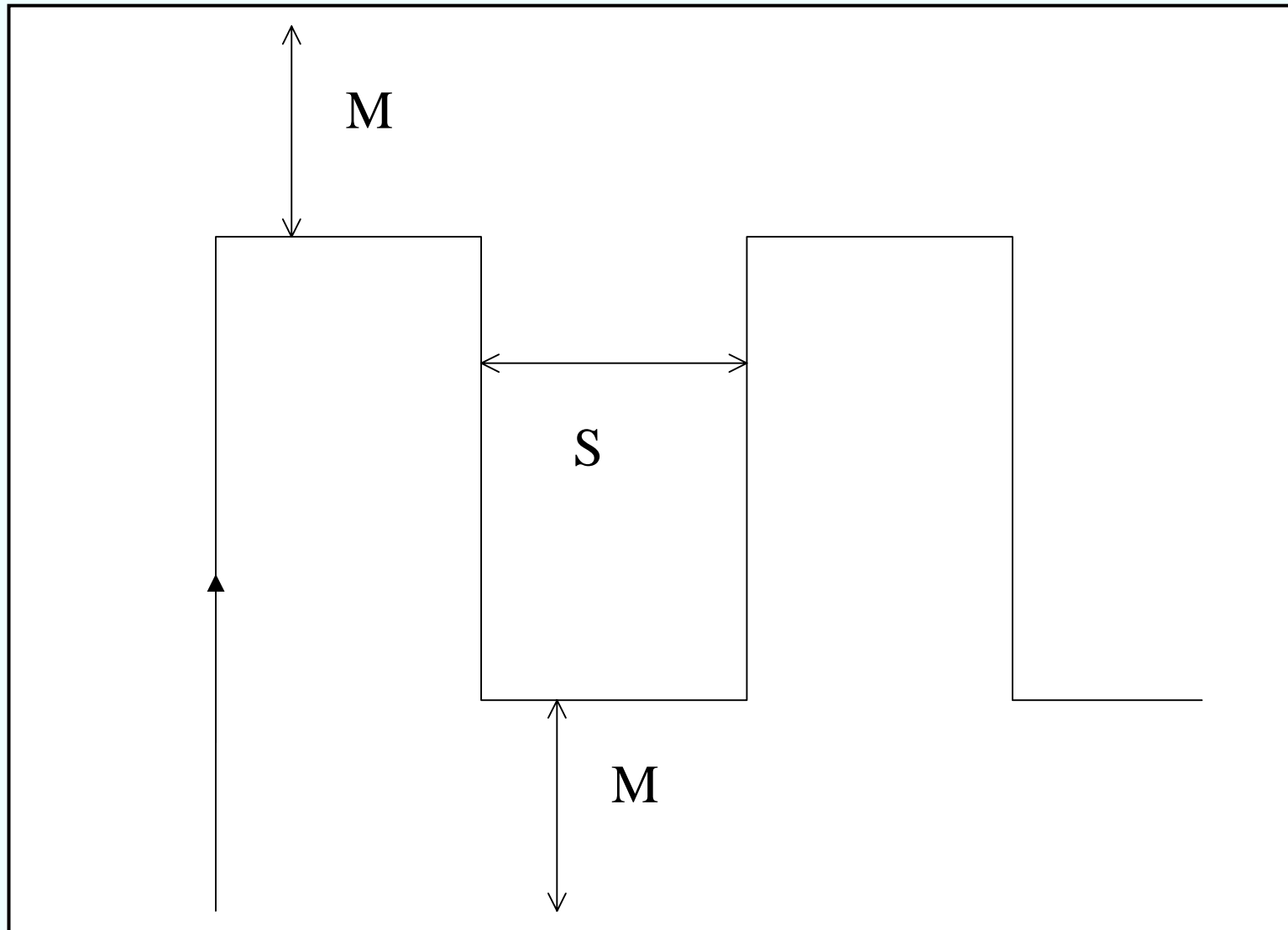
Busca Planejada

- Faz a busca em colunas.
- Segue um caminho pré-definido.
- Se afasta do caminho para identificar um objeto detectado.
- Após a identificação, retorna para o caminho pré-definido.

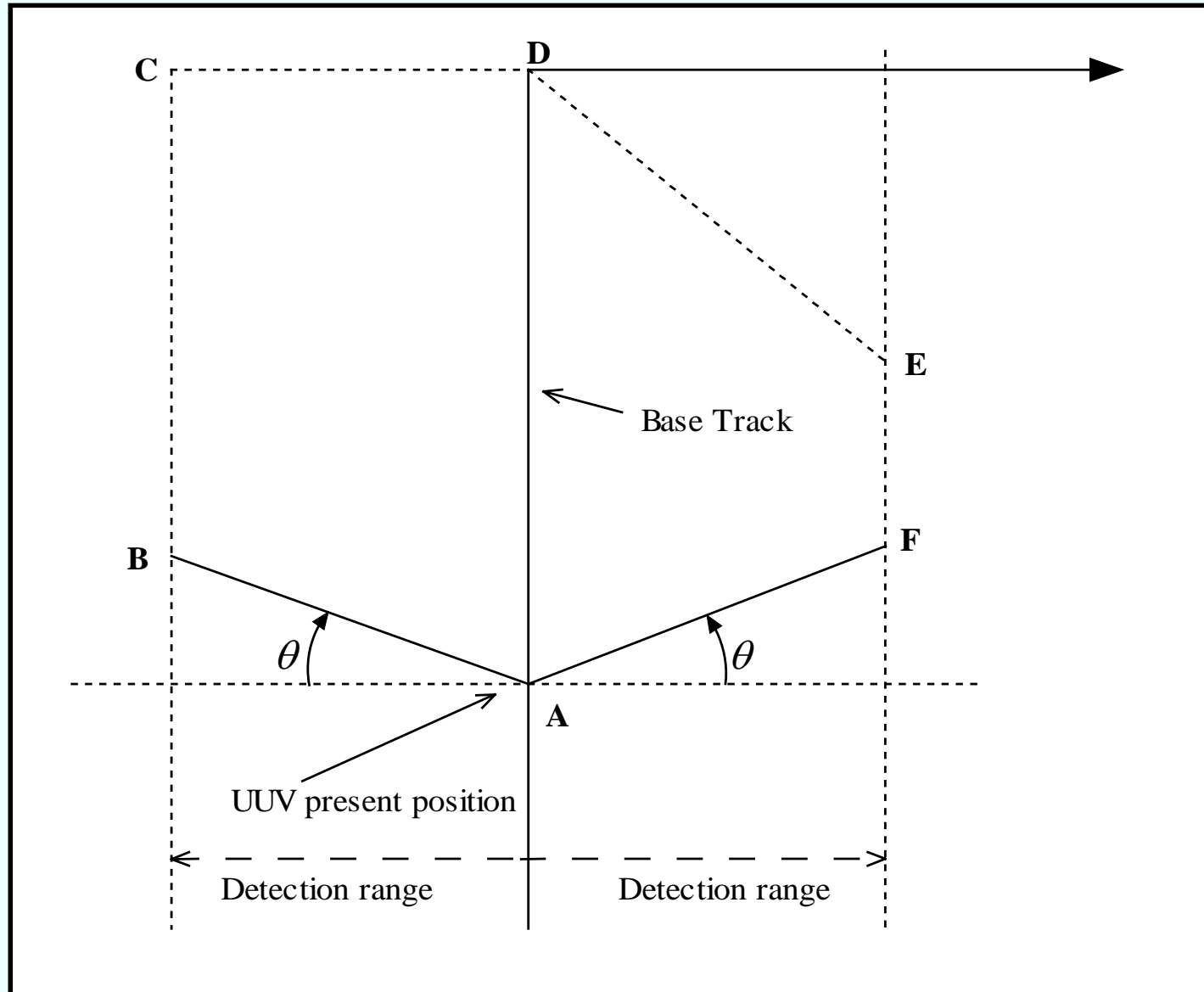
Busca Planejada



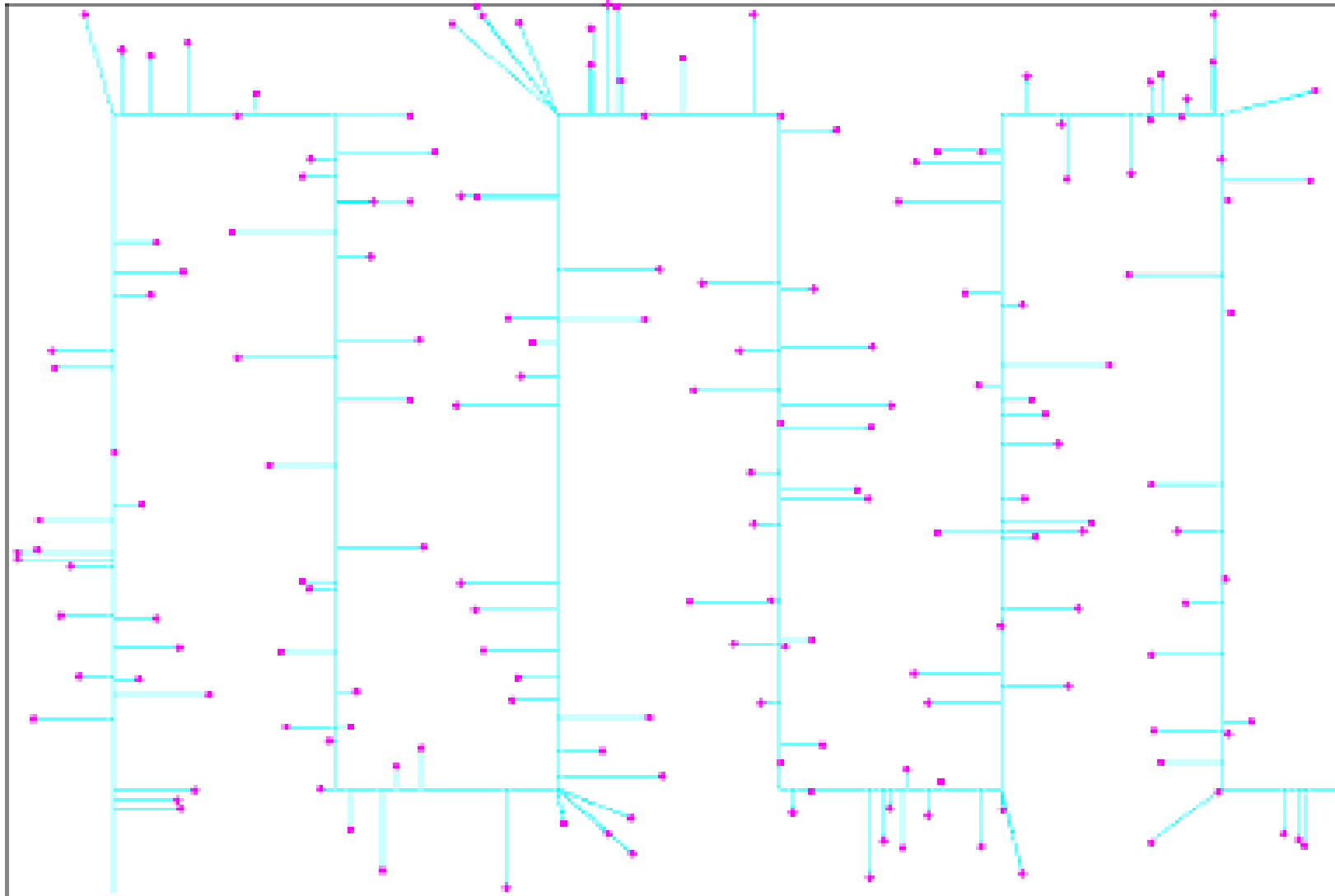
Busca planejada



Busca Planejada



Busca planejada



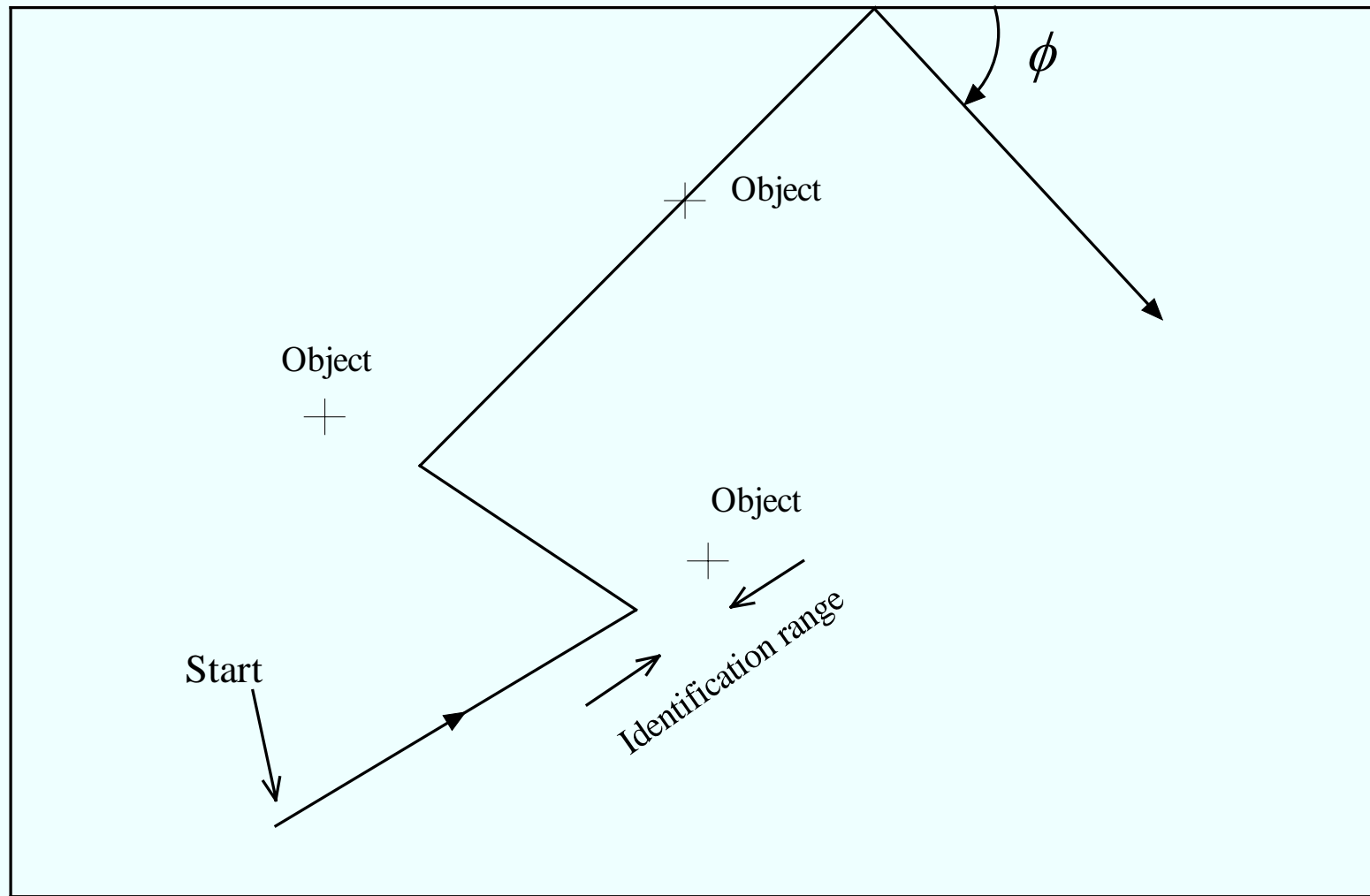
Busca Aleatória

- Não há caminho pré-definido.
- Após uma detecção, aproa ao objeto e fecha distância até identificar o alvo.
- Uma vez que o objeto seja identificado, o UUV aproa a outro objeto detectado ou continua em linha reta até que um objeto seja detectado
- O UUV ricocheteia nas bordas.

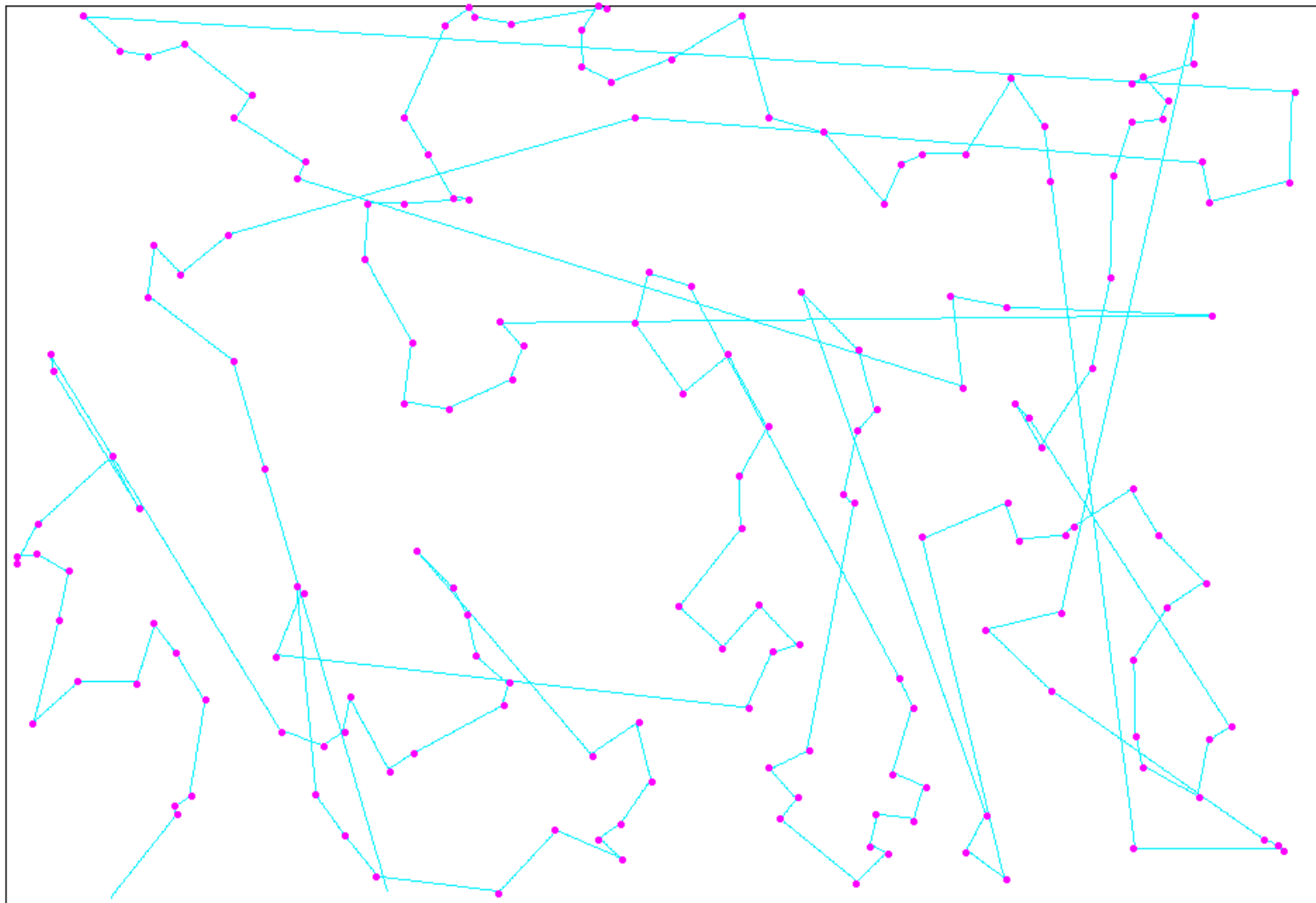
Busca Aleatória

- Busca aleatória com memória: o UUV mantém todos os contactos na memória.
- Busca aleatória sem memória: O UUV considera somente os objetos dentro do raio de detecção atual para determinar a próxima proa a tomar.

Busca Aleatória



Busca Aleatória



O SISTEMA

O Sistema

- Escrito em Fortran 95.
- Parte gráfica usando Fortran QuickWin.

O Sistema

ENTRADA

- Definição do caminho
- Número de replicações
- Largura do campo
- Comprimento do campo
- Ângulo de saída da rota
- Raio de detecção (LR)
- Raio de ident. (SR)
- Ponto de partida
- Quantidade de minas
- Quantidade de objetos
- Incremento
- Autonomia (distância)

MIRES

SAÍDA

- Número real de minas restantes após a busca.
- Número estimado de minas restantes após a busca.

Cálculo da Distância Percorrida

$$y_{new} = y_{old} * \sin(\alpha) * inc$$

$$x_{new} = x_{old} * \cos(\alpha) * inc$$

$$D_i = \sqrt{(x_{new} - x_{old})^2 + (y_{new} - y_{old})^2}$$

$$D_{total} = \sum_{i=1}^n D_i$$

Estimação do Número de Minas Restantes

$$\hat{N}_{mi} = \left(N_{found} \right) \left(\frac{A_{unco}}{A_{co}} \right) \left(\hat{\beta} \right) + \left(N_{found} - N_{ident} \right) \hat{\beta}$$

$$\hat{\beta} = \frac{N_{mi}}{N_{ident}}$$

Estimação do Número de Minas Restantes

N_{found} = Quantidade de contatos obtidos (detectados + identificados)

N_{ident} = Quantidade de contatos identificados (minas + objetos)

N_{mi} = Quantidade de minas identificadas

\overline{N}_{mi} = Quantidade de minas restantes

A_{co} = Area coberta pelo UUV

A_{unco} = Area não coberta pelo UUV

β = Fração de contatos que são minas

OS TESTES

Modos de Busca Testados

- Quatro casos foram selecionados:
 - 1 – Busca planejada com 0° de ângulo de saída.
 - 2 – Busca planejada com 20° de ângulo de saída.
 - 3 – Busca aleatória com memória.
 - 4 – Busca aleatória sem memória.
- Dois tipos de campo minado:
 - A - Alta densidade.
 - B - Baixa densidade.

Limite Superior para a Busca

- Primeiro, é necessário calcular a distância requerida para executar uma busca exaustiva.
- Dois casos: alta e baixa densidade.
- É necessário também calcular o espaçamento entre derrotas ótimo a ser usado em cada caso.

Limite Superior para a Busca

- O espaçamento ótimo é dado pela fórmula [KOOPMAN]:

$$S = \sqrt{\frac{2A}{N}}$$

- Onde

S é o espaçamento entre derrotas

A é a área do campo minado

N é o número médio de objetos

Limite Superior para a Busca

- Obtido o espaçamento ótimo, determina-se agora a distância média percorrida pelo UUV necessária para uma busca exaustiva é [KOOPMAN]:

$$DIST = \sqrt{2AN}$$

A: área do campo minado

N: número de objetos

Limite Superior para a Busca

- A distância necessária para busca exaustiva é:

$$DIST_{alta} = \sqrt{2 \times 960 \times 635 \times 200} = 15.615$$

$$DIST_{baixa} = \sqrt{2 \times 960 \times 635 \times 50} = 7.808$$

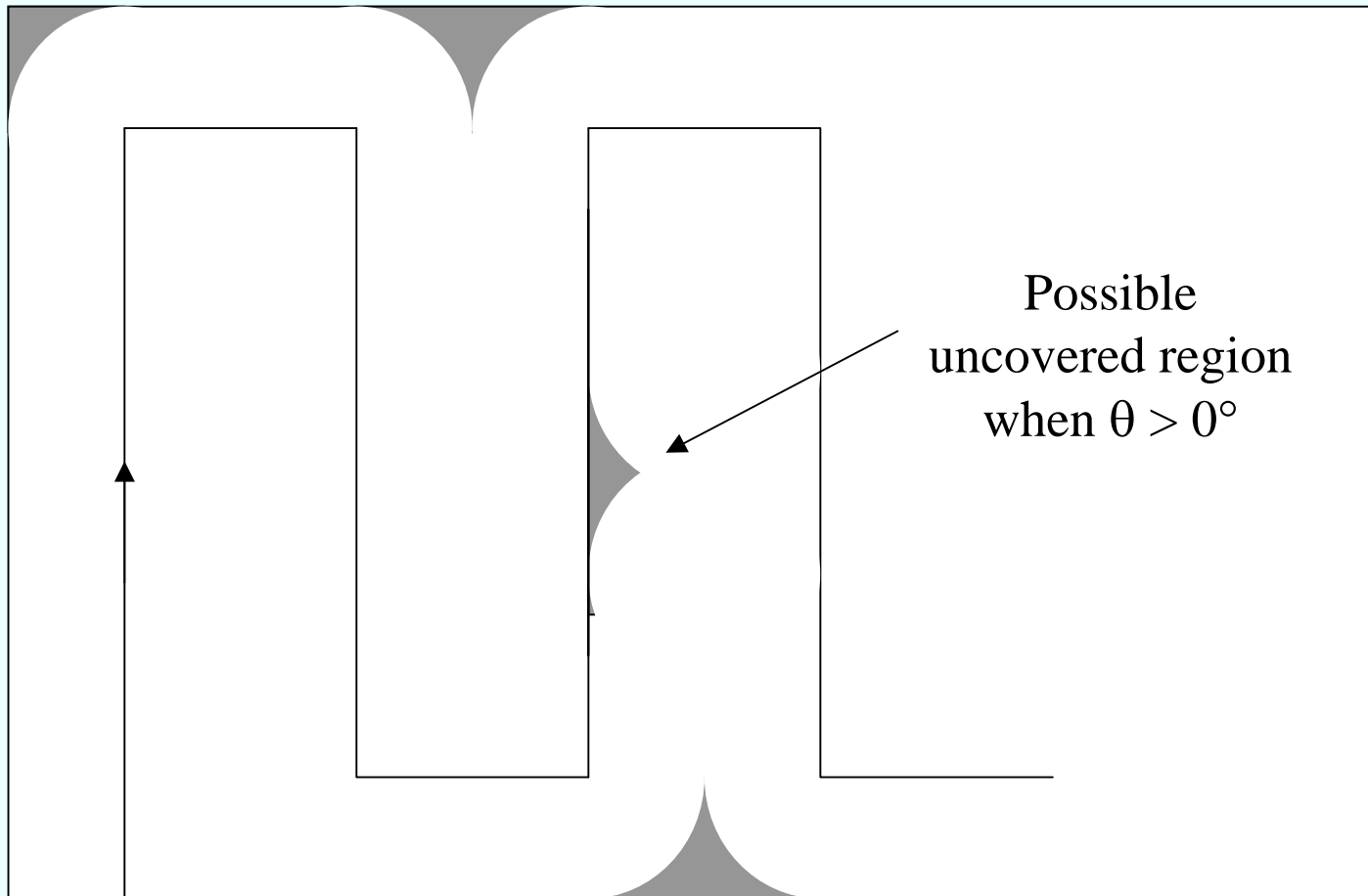
Limite Superior para a Busca

- Agora, rodando MIRES com 500 replicações no modo 1 com o alcance SR igual a zero, com ângulo de saída igual a zero, com espaçamento entre derrotas ótimo, para campos minados dos tipos A e B, obtém-se o limite superior para a distância.

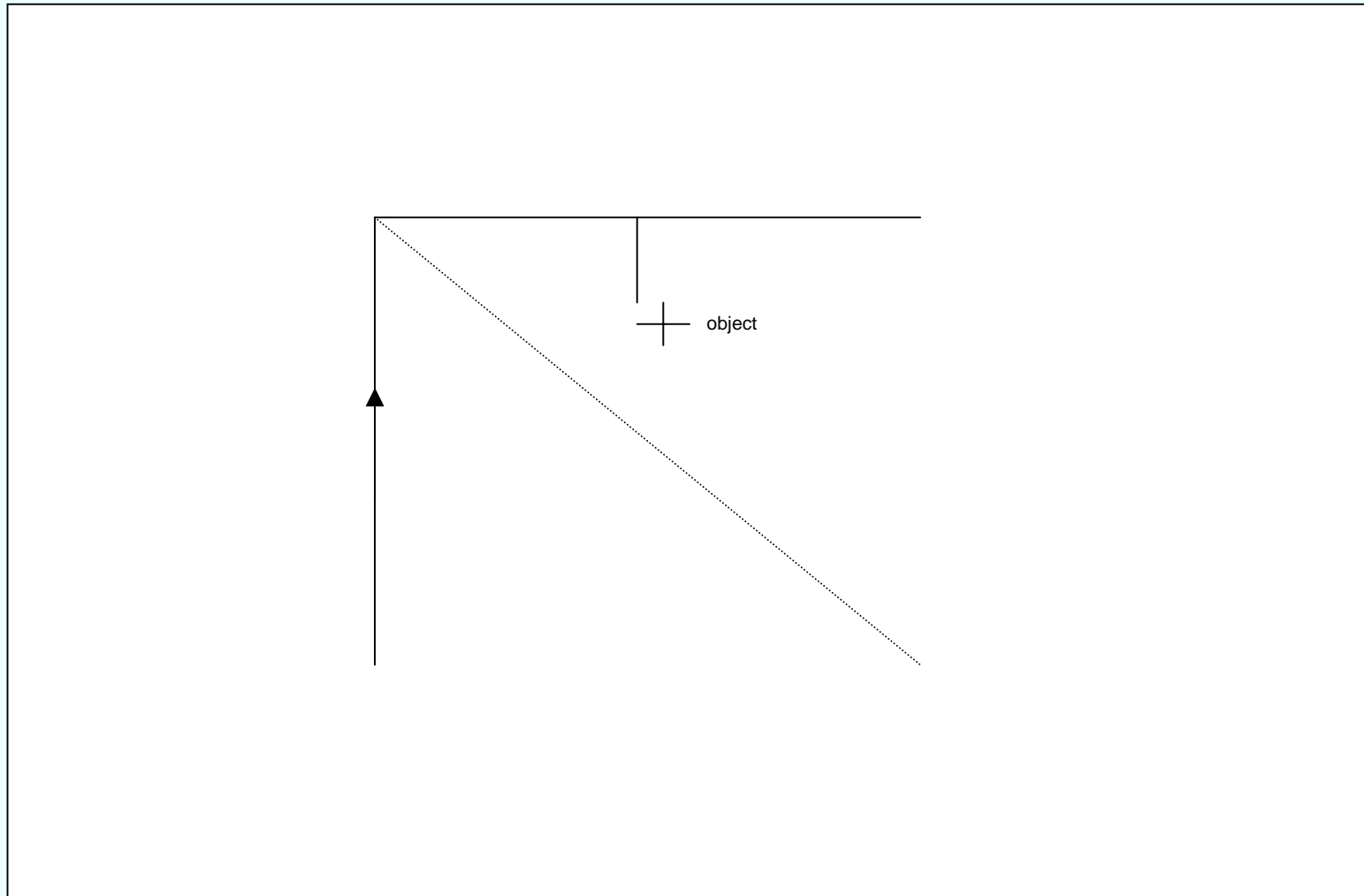
Distância para Busca Quase Exaustiva

	DISTÂNCIA (DIST)	
	Baixa Densidade	Alta Densidade
Mires	6.535 unidades	13.978 unidades
Teór.	7.808 unidades	15.615 unidades

Porque quase ?



Porque quase ?



Determinação das Buscas

72 cenários diferentes

Modos de busca	1-Planej. c/ 0° de saída 2-Planej. c/ 20° de saída 3-Aleat. c/ memória 4-Aleat. s/ memória
Autonomia do UUV	80% da DIST 60% da DIST 40% da DIST
Densidade do campo minado	Baixa = 50 objetos Alta = 200 objetos

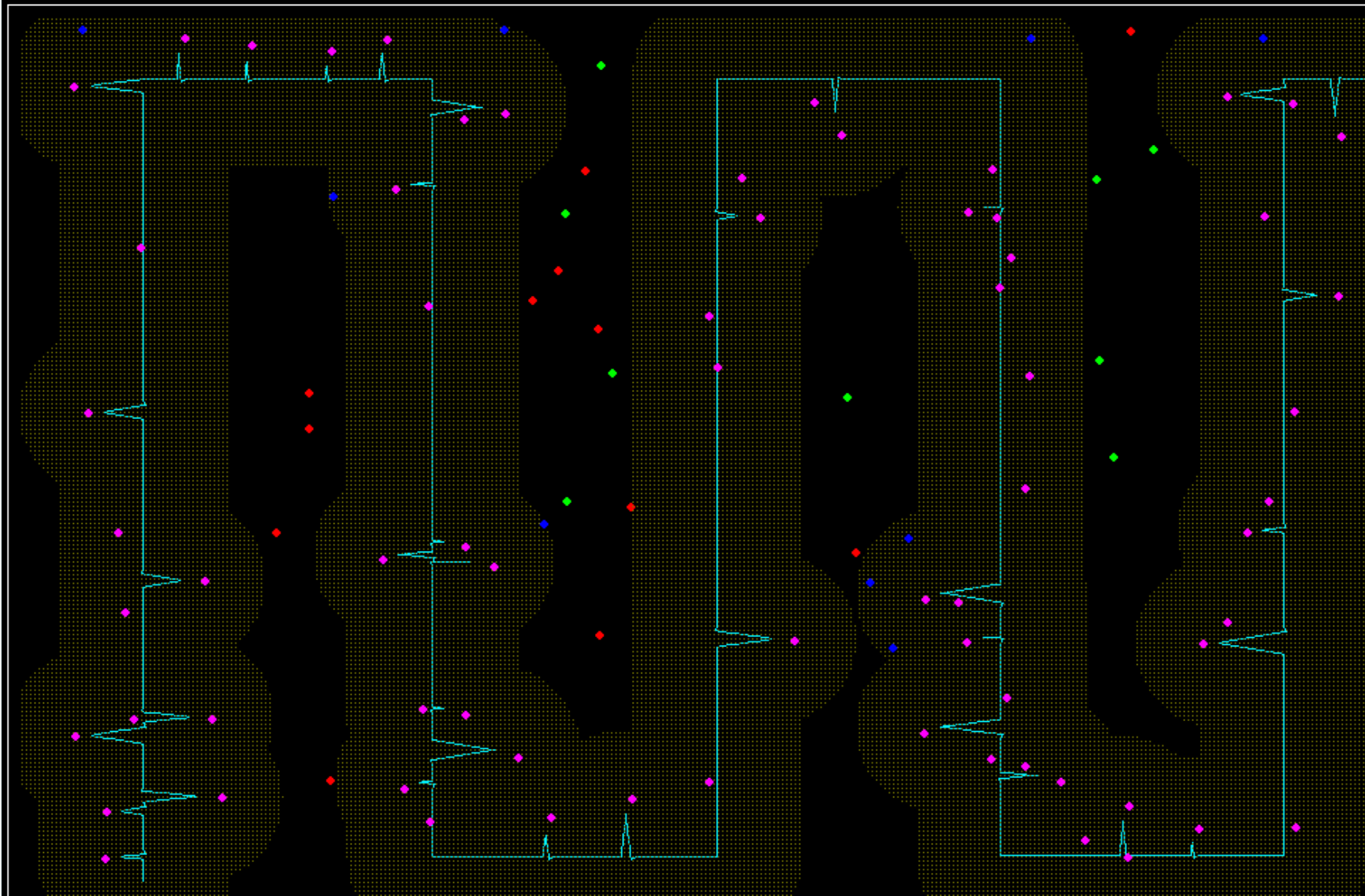
Determinação das Buscas

Raios de detecção e de identificação	Curto Médio Longo
Tamanho do campo	960 x 635 unidades
Quantidade de minas	50%

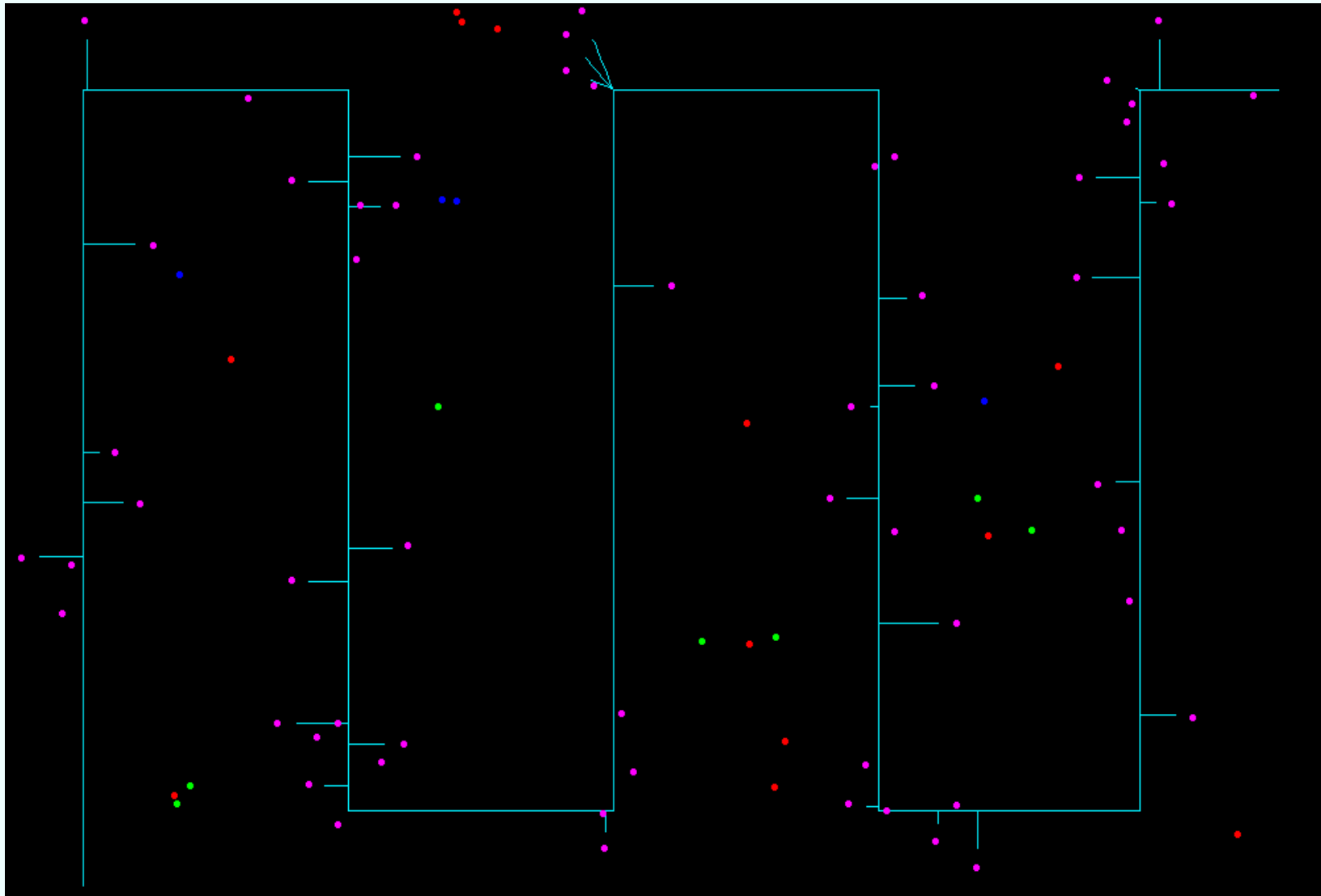
Determinação das Buscas

Raio de detecção	Curto = 20 unidades Médio = 40 unidades Longo = 80 unidades
Raio de identificação	Curto = 4 unidades Médio = 8 unidades Longo = 16 unidades
Tamanho do incremento	3

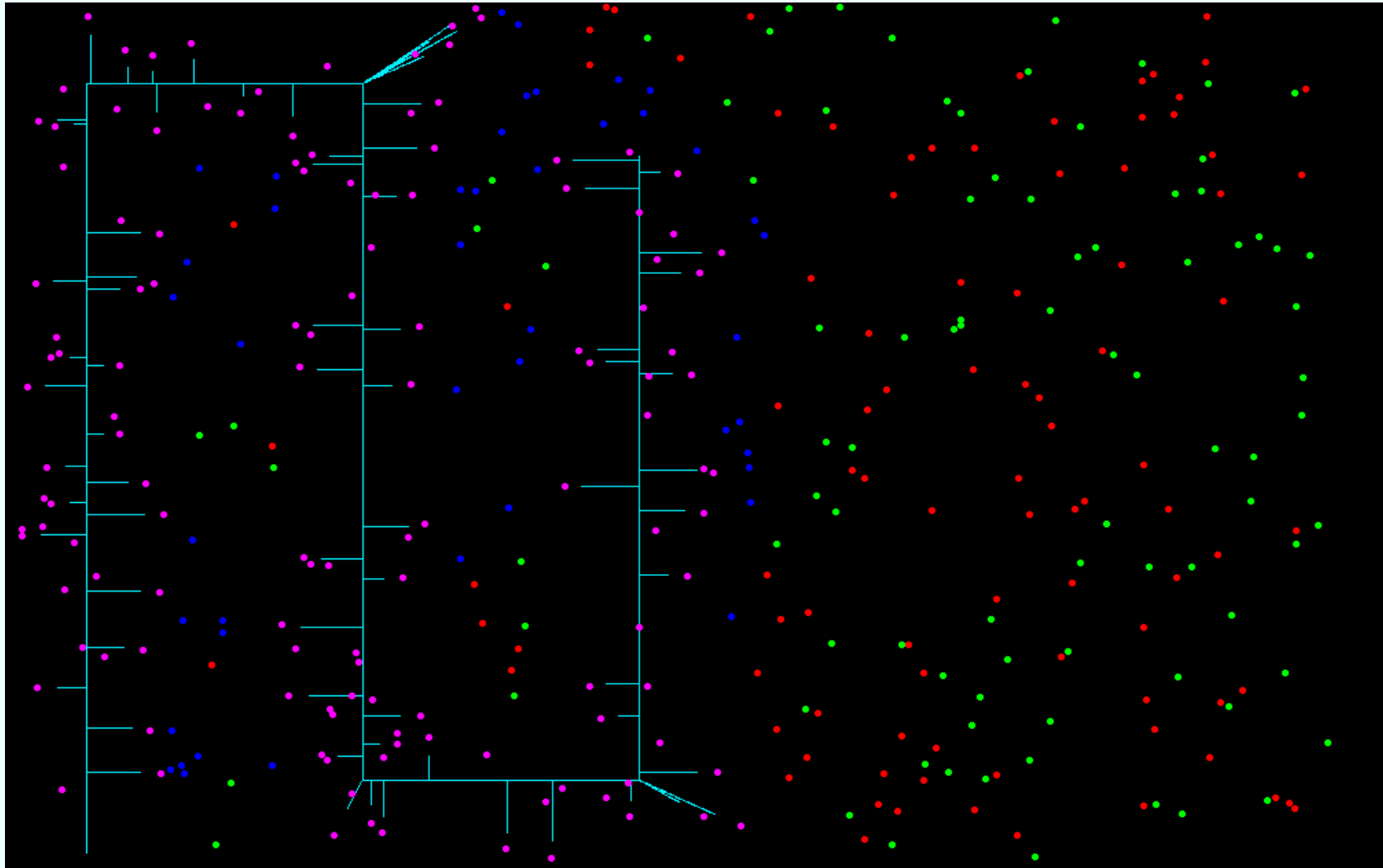
Executando MIREs



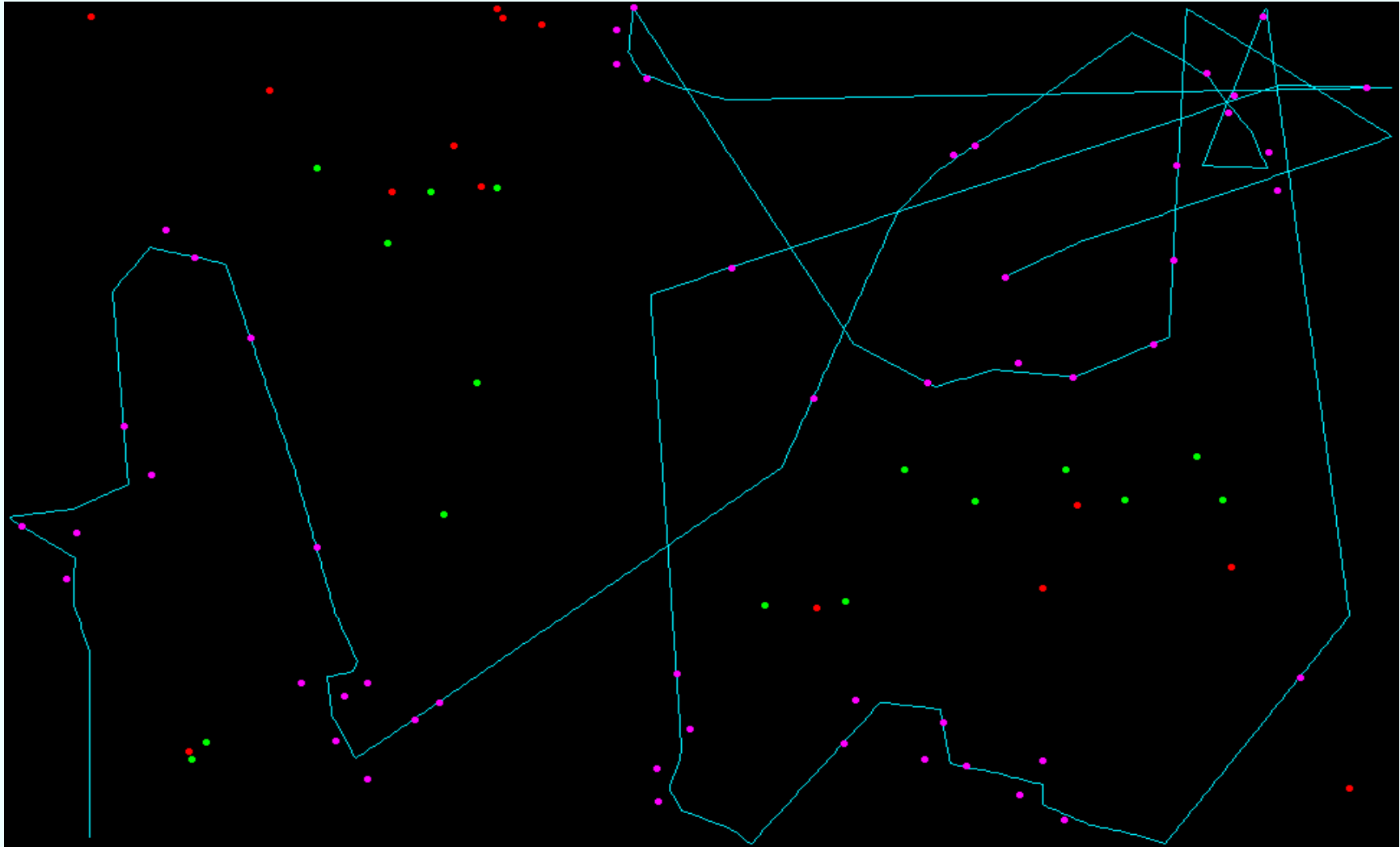
LR=60, SR=20, DIST=6000



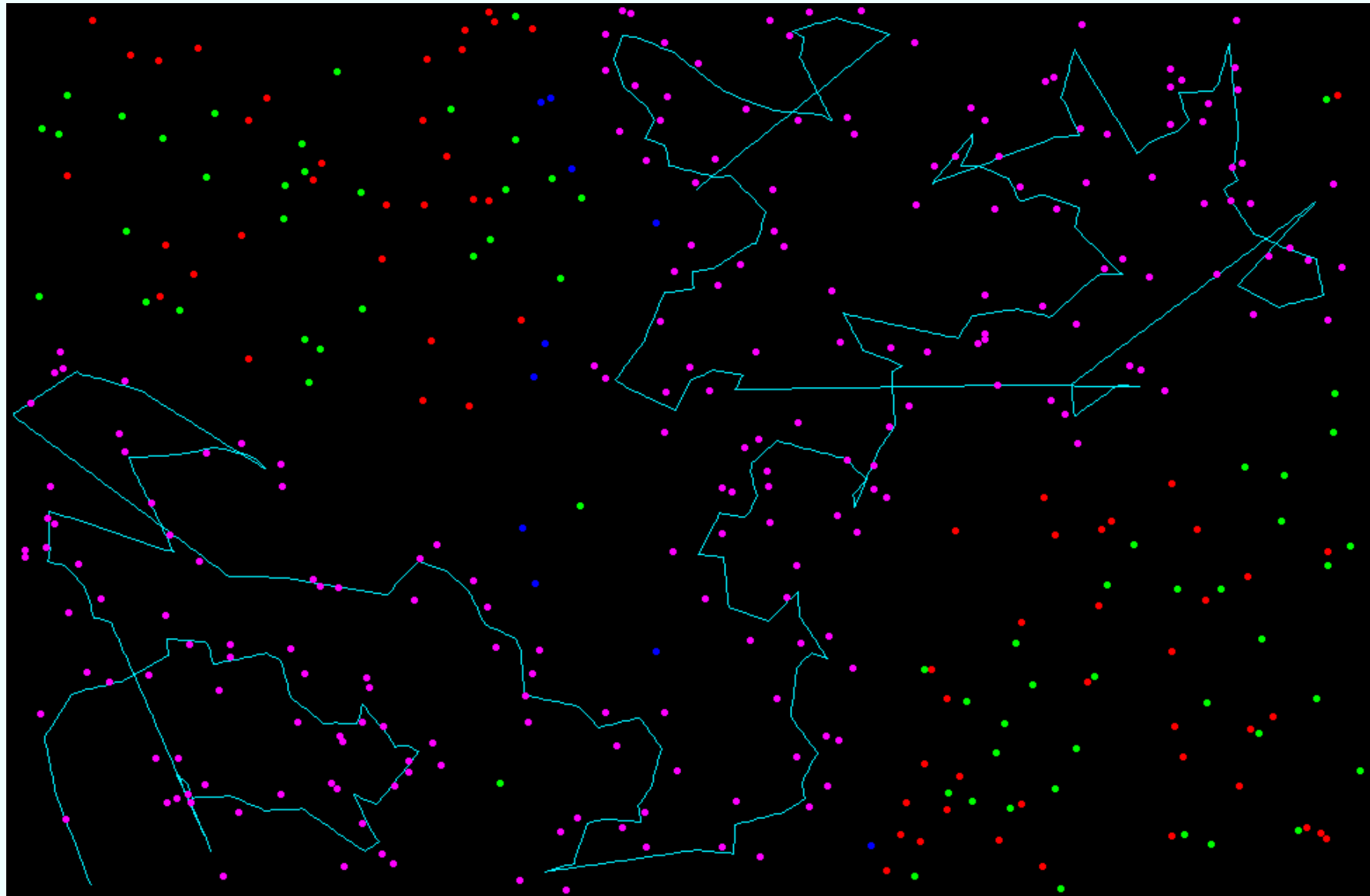
LR=60, SR=20, DIST=6000



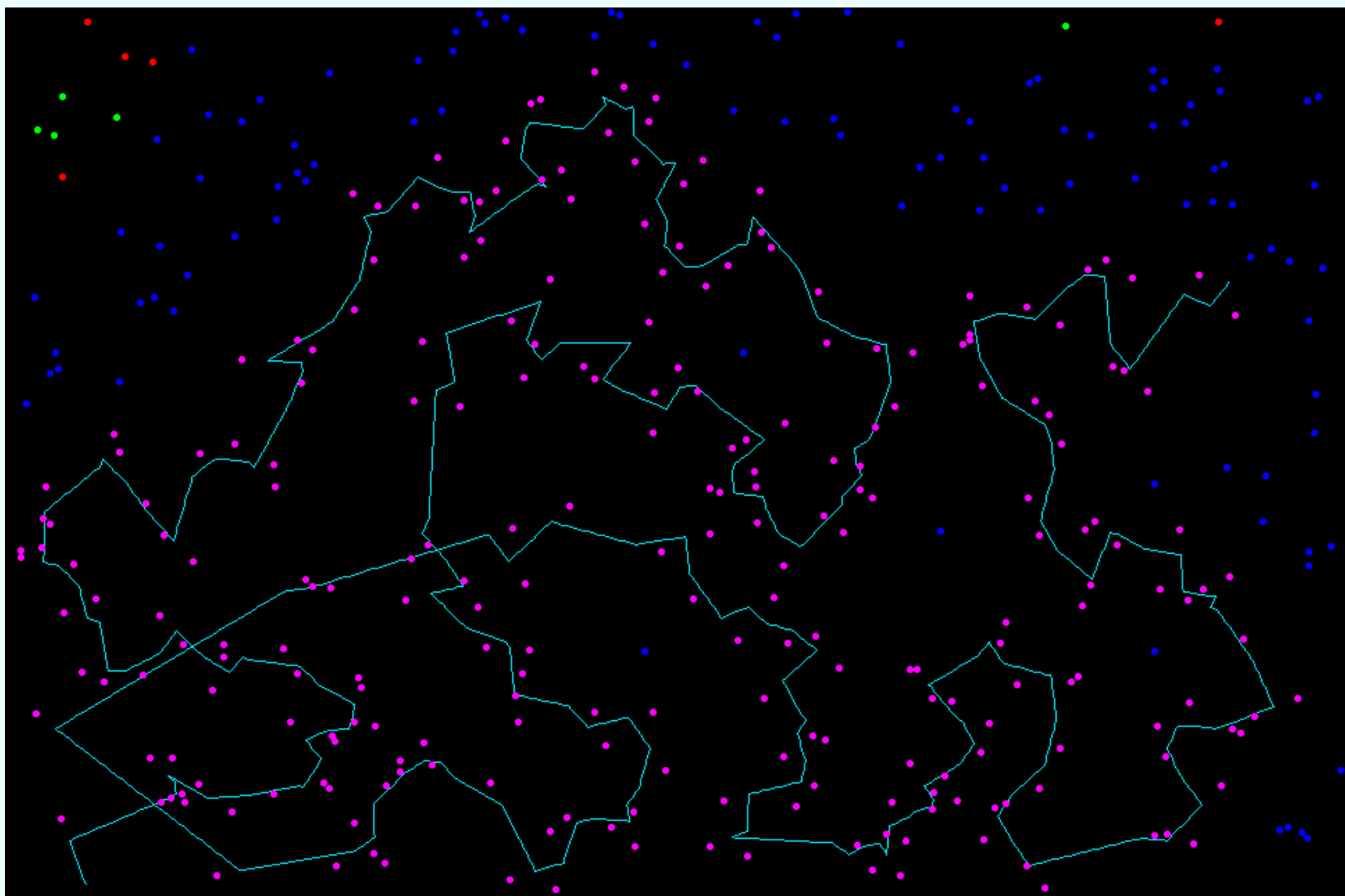
LR=60, SR=20, DIST=6000



LR=60, SR=20, DIST=6000



LR=180, SR=20, DIST=6000



Resultados

	Quantidade <u>Real</u> de Minas Restantes para 80 % da DIST											
	Baixa densidade						Alta densidade					
Mo -do	Curto alcance		Médio alcance		Longo alcance		Curto alcance		Médio alcance		Longo alcance	
	m	DP	m	DP	m	DP	m	DP	m	DP	m	DP
1	17.2	4.1	10.8	3.3	4.5	2.4	42.1	6.3	17.1	5.2	15.7	6.5
2	17.2	4.1	10.4	3.2	2.7	1.9	40.0	6.2	9.0	4.3	7.1	5.2
3	17.4	4.1	12.6	3.5	6.6	3.2	49.0	7.7	25.6	8.0	2.5	3.3
4	17.4	4.1	12.7	3.7	6.3	3.0	48.7	7.2	25.7	7.3	4.9	5.0

Resultados

	Quantidade <u>Estimada</u> de Minas Restantes para 80% da DIST											
	Baixa densidade						Alta densidade					
	Curto alcance		Médio alcance		Longo alcance		Curto alcance		Médio alcance		Longo alcance	
	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w	m	w
Mo -do 1	17.4	1.12	11.3	0.59	4.8	0.42	42.0	1.10	17.4	0.83	15.9	1.06
2	17.2	1.10	10.6	0.53	3.0	0.31	40.0	1.02	9.3	0.67	7.7	0.88
3	17.4	1.12	12.9	0.67	6.6	0.44	49.1	1.34	26.0	1.23	2.7	0.47
4	17.4	1.12	12.9	0.67	6.5	0.42	48.7	1.29	25.6	1.15	5.2	0.80

Resultados

	A estimativa foi boa ? (para 80 % da DIST)					
	Baixa densidade			Alta densidade		
Modo	Curto	Médio	Longo	Curto	Médio	Longo
1	S	S	S	S	S	S
2	S	S	N	S	S	N
3	S	S	S	S	S	S
4	S	S	S	S	S	S

Conclusões

Conclusões

- MIRES foi capaz de fazer uma boa estimativa do número de minas restantes no campo minado.
- O número total de estimativas ruins foi de 4 em 72.

Conclusões

Melhor Modo de Busca

	Baixa Densidade			Alta Densidade		
Autonomia	Curto	Médio	Longo	Curto	Médio	Longo
80 %	1 ou 2	2	2	2	2	3
60 %	1 ou 2	2	2	2	2	3
40 %	1, 2, 3 ou 4	2	2	2	4	3

FIM

