

# Sistemas Robóticos Autônomos

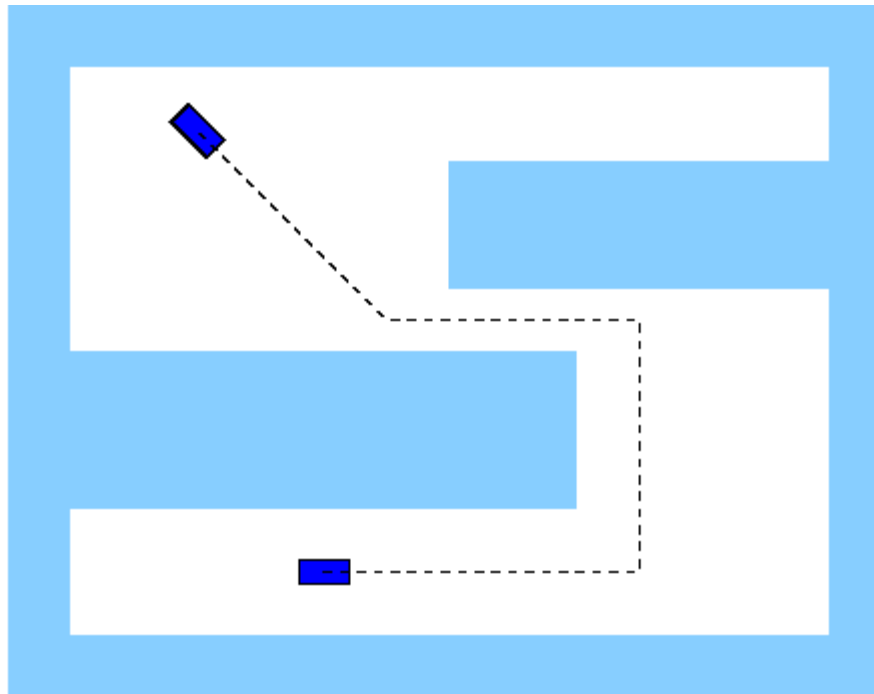
Geração de Caminhos

# Geração de Caminhos

- Controladores de seguidores de caminhos requerem que caminho de referência seja especificado.
- Caminho: curva geométrica contínua, parametrizada, entre a configuração inicial e final.
- Um caminho é percorrido sem levar em conta restrições temporais.
- Seguir um caminho envolve apenas a progressão monotônica, desde seu início até o seu fim

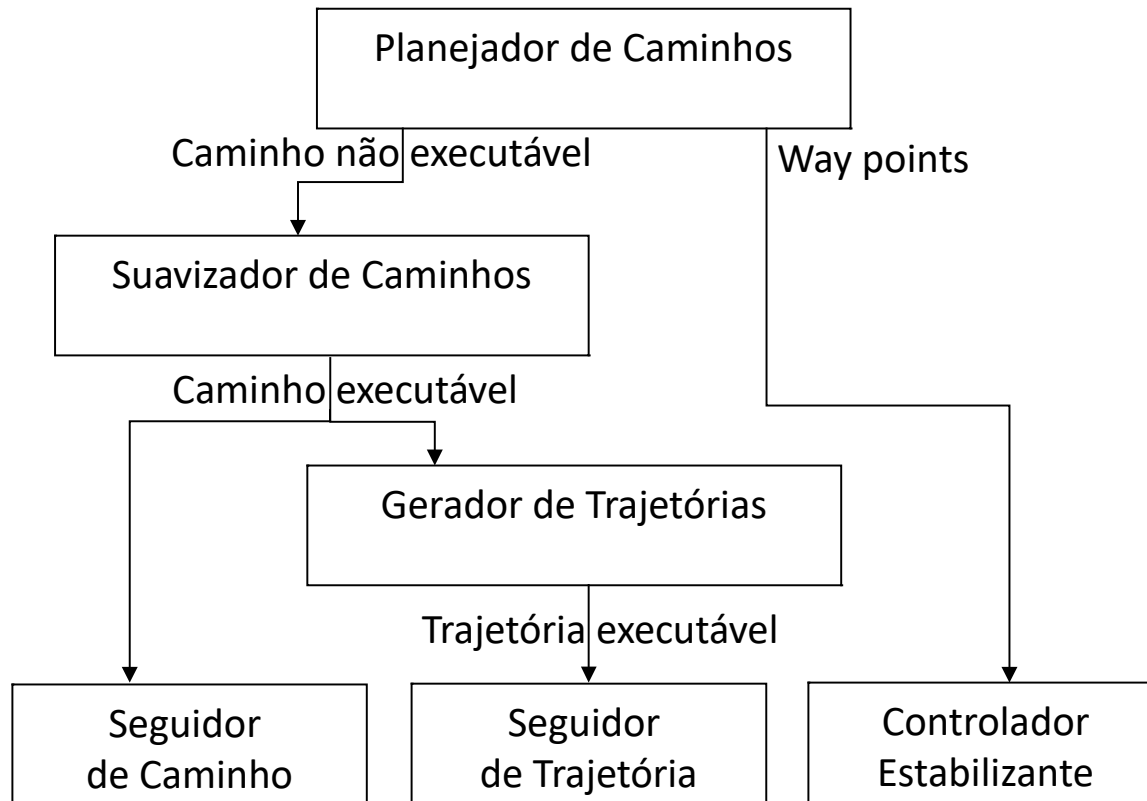
# Problema:

- Planejadores de caminhos geralmente não produzem caminhos que satisfaçam restrições do robô e que possam ser executados pelo mesmo.



## **Possíveis soluções:**

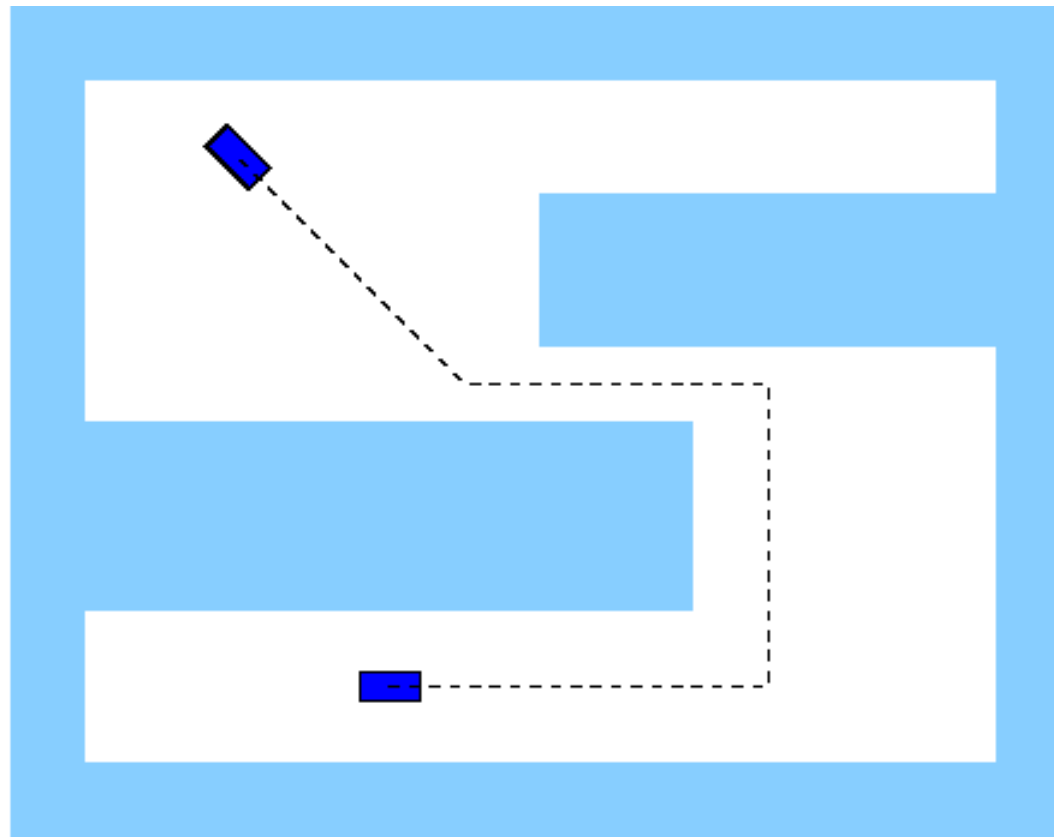
- Planejar levando em conta as restrições do robô (cinemáticas, mecânicas, etc.)  
⇒ Aumenta a complexidade do planejamento.
- Adaptar o caminho, suavizando-o para atender às restrições.  
⇒ Possibilidade de não encontrar o caminho. A adaptação pode resultar em colisão com obstáculos.



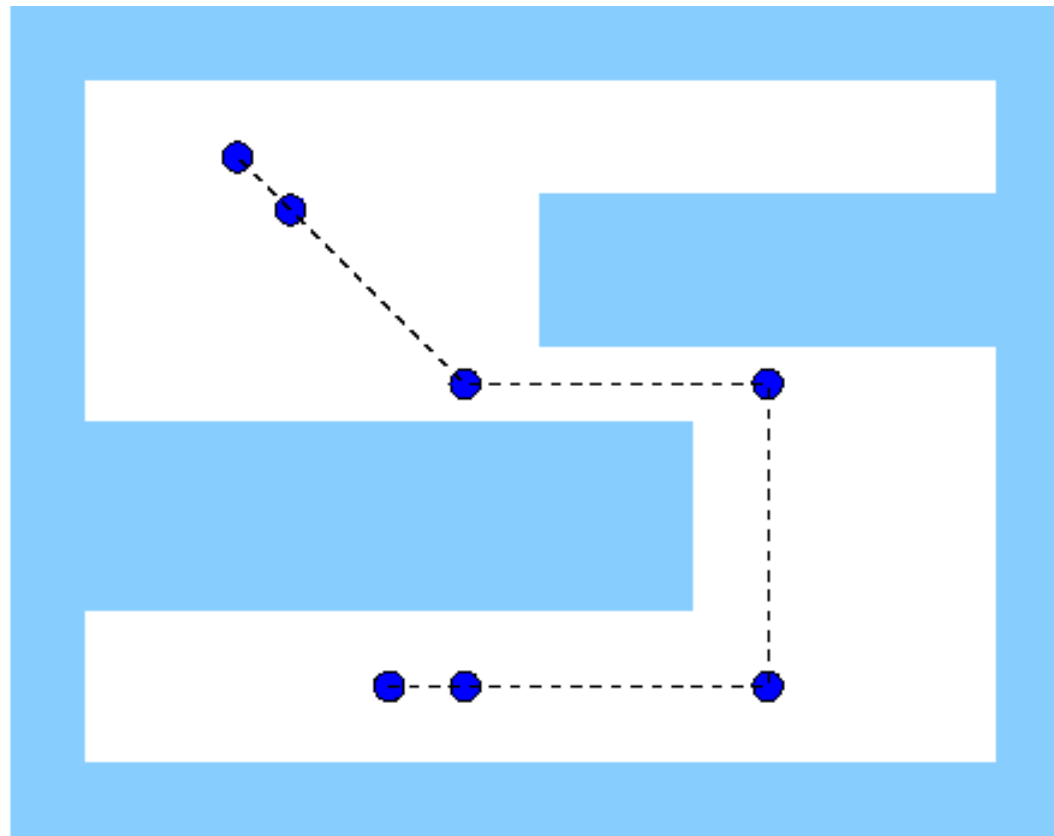
# Adaptação do Caminho Geométrico

- i. Subdivisão do caminho em segmentos delimitados por vértices.
- ii. Cálculo de caminhos executáveis entre vértices de um mesmo segmento (ponto a ponto).
- iii. Verificação de colisões.
- iv. Se necessário, subdivisão em maior número de segmentos e reinício da etapa i.

# Exemplo de adaptação

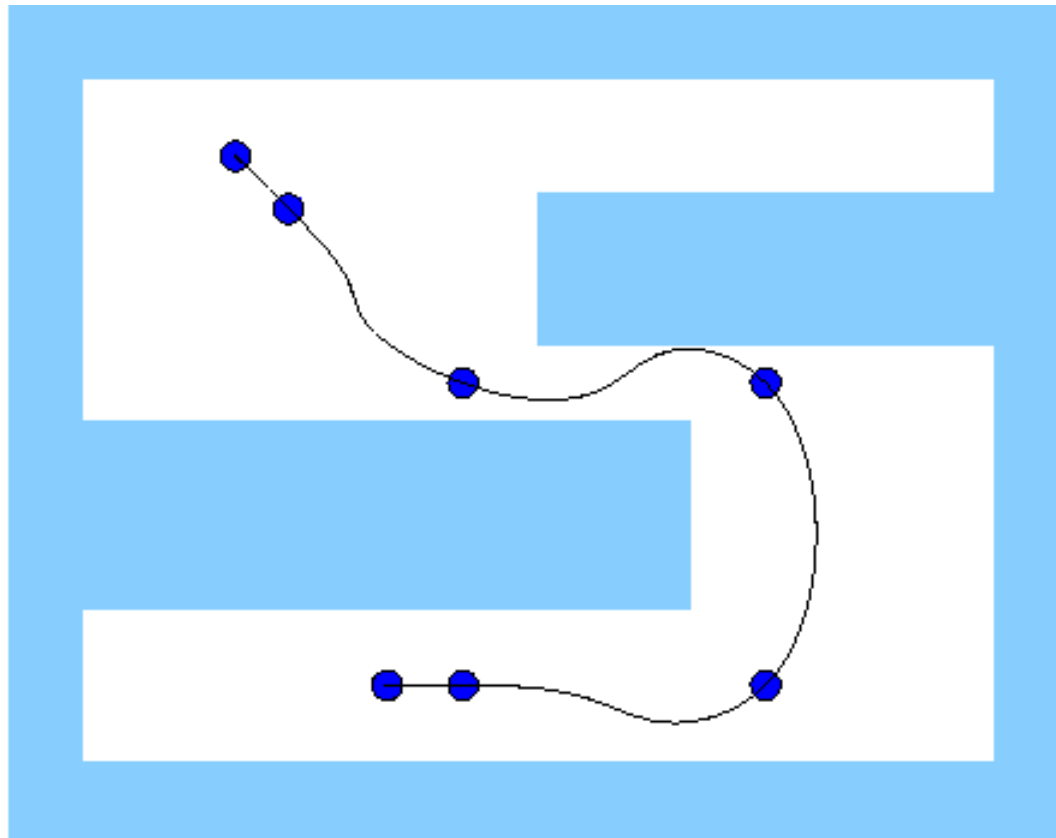


# Subdivisão

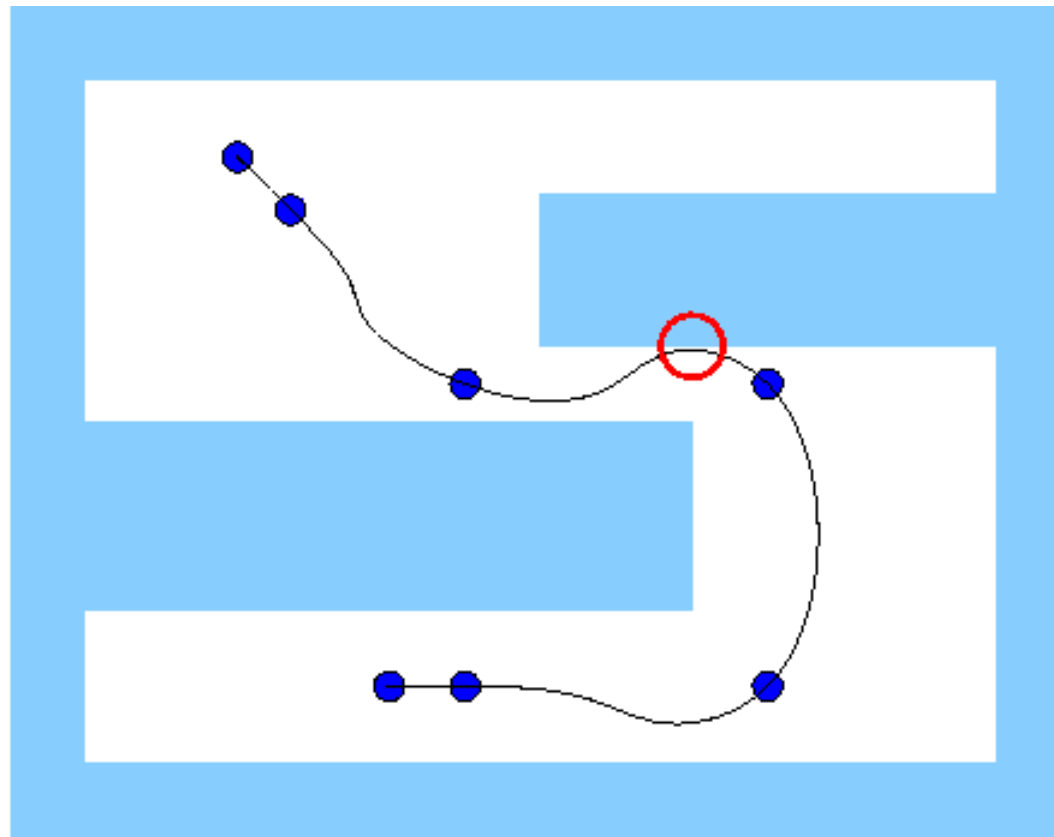




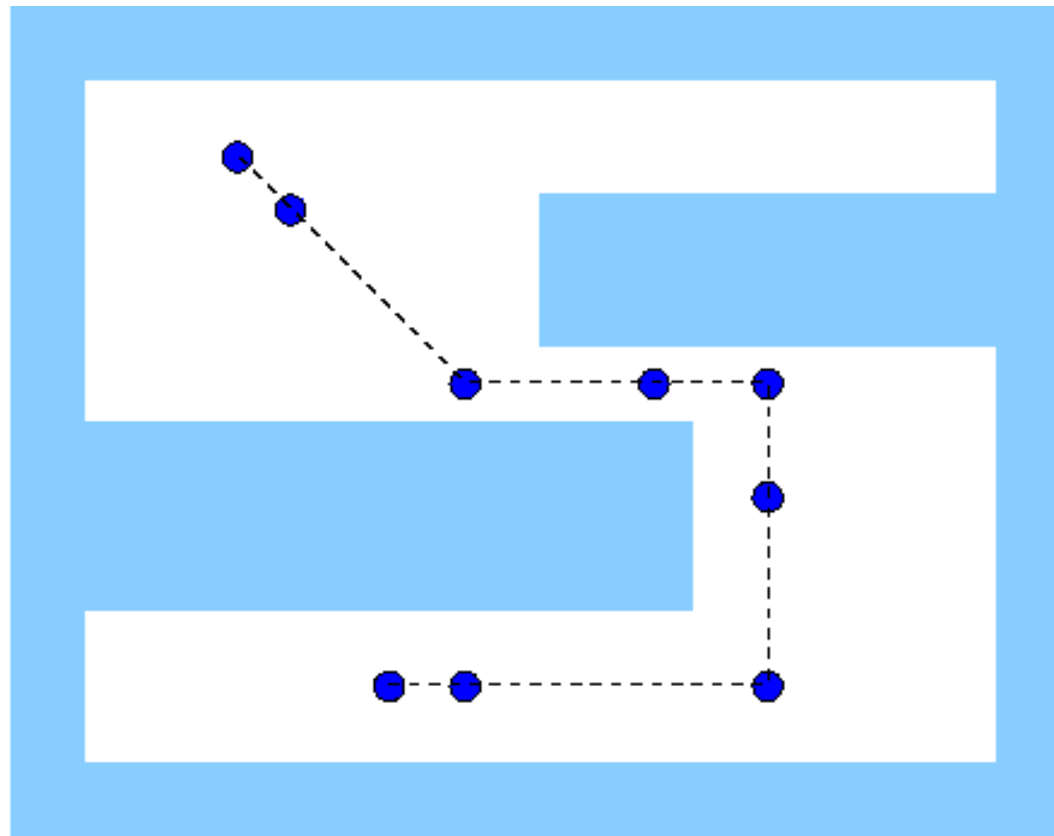
# Caminhos ponto a ponto



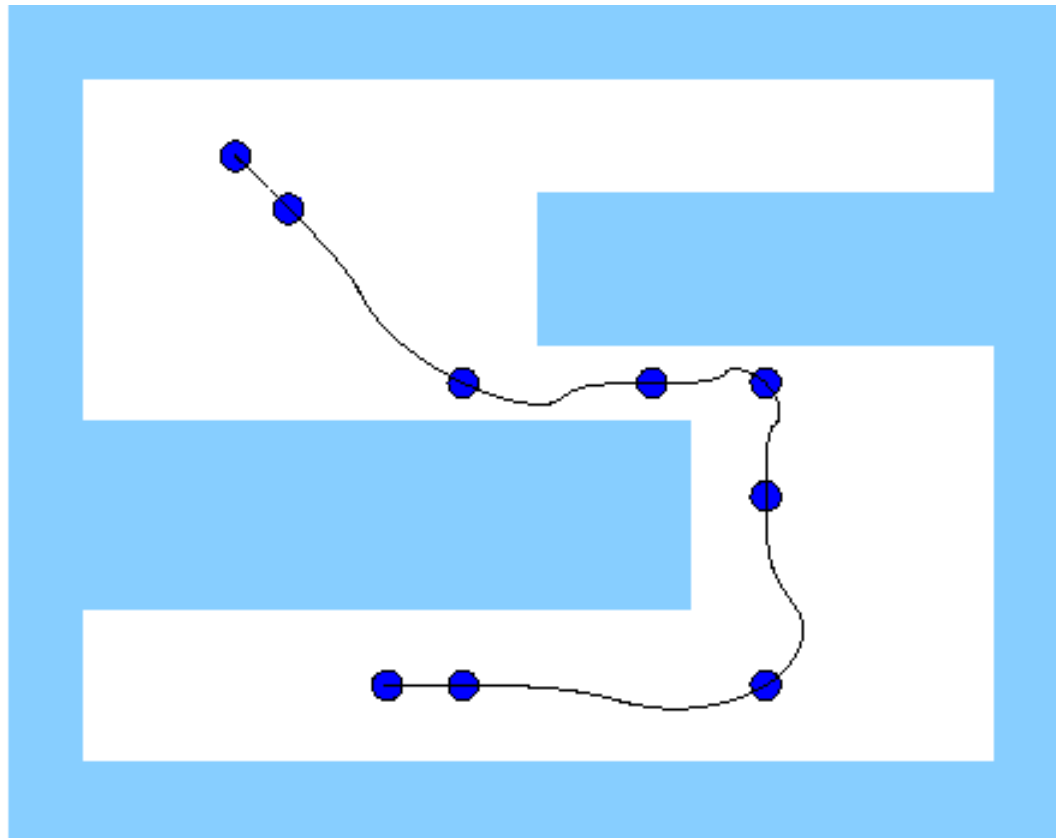
# Teste de colisões



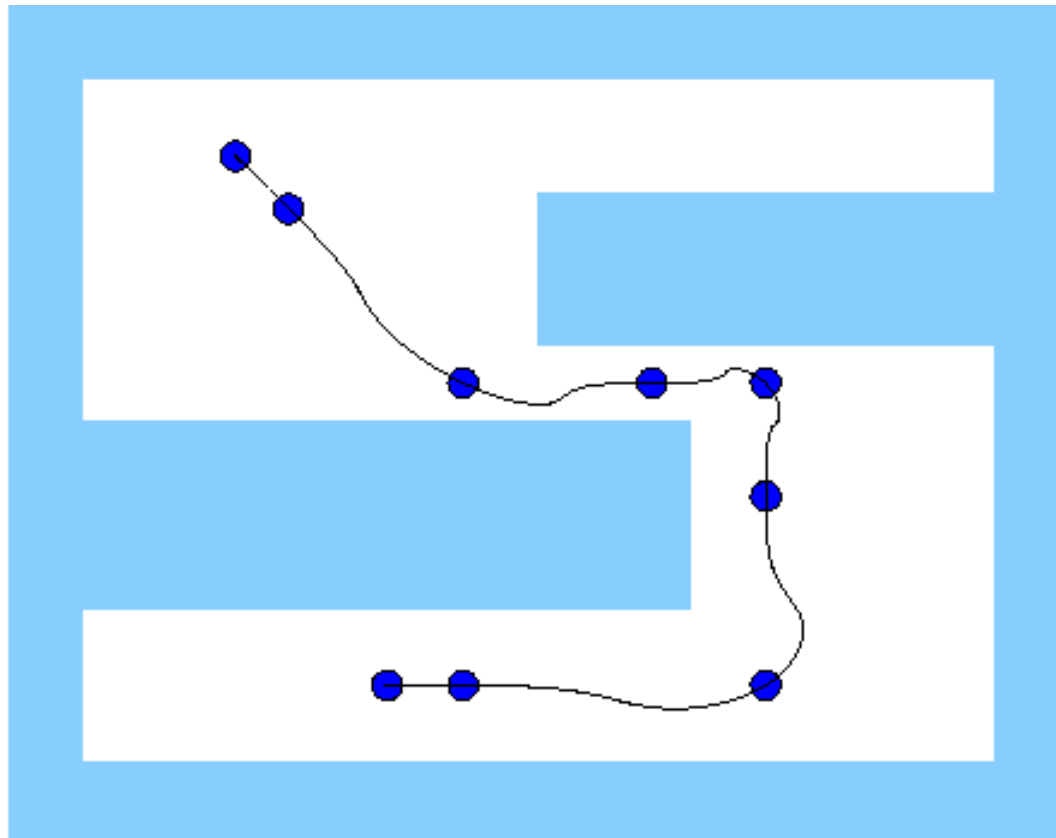
# Subdivisão



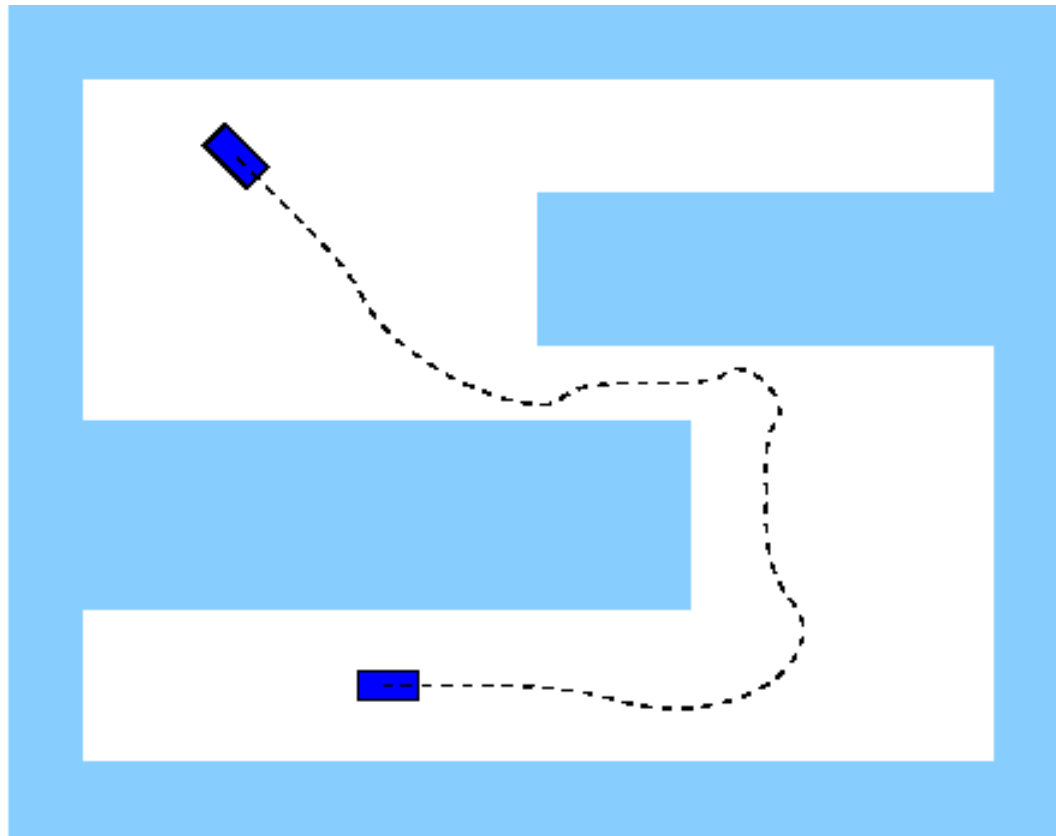
# Caminhos ponto a ponto



# Caminhos ponto a ponto



# Teste de Colisão - Caminho executável



# Métodos de Subdivisão

- Bisseção
  - Maior tempo médio
  - Garantia de convergência em tempo finito
- Aleatório
  - Menor tempo médio
  - Risco de não convergência
- Heurístico
  - Dependente do tipo de trajetória e dos obstáculos

# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

- Caminho de fácil determinação (baixa complexidade) entre um ponto inicial e um ponto final bem determinados
- Diretamente executável pelo robô
- Não leva em conta a presença de obstáculos



# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

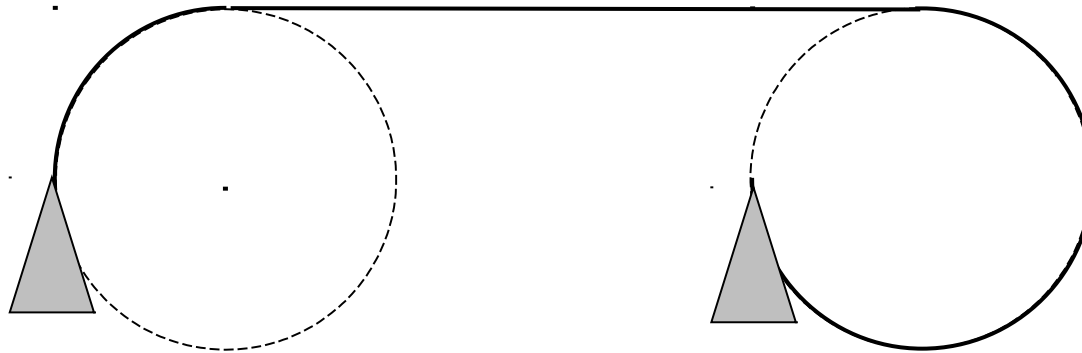
- Principais restrições cinemáticas:
  - Restrições não-holonômicas
  - Raio mínimo de giro
- Métodos de determinação:
  - Caminhos Dubins
  - Caminhos de Reeds e Shepp
  - Clotóides
  - Polinômios cúbicos

# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

- **Caminhos de Dubins (1957)**
- Trabalho pioneiro no planejamento de caminhos ponto a ponto para veículos com restrições no movimento.
- Caminhos são concatenações de arcos de circunferência de raio mínimo e segmentos de reta.
- Aplicado a veículos com restrições no raio de curvatura, como, por exemplo, um carro.
- Considera-se que o veículo se movimenta sempre para frente, como no caso de submarinos, aviões e veículos que não podem se deslocar para trás.
- Um total de seis caminhos possíveis podem ser encontrados entre duas configurações distintas. Geralmente, escolhe-se o de menor comprimento.

# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

- Dubins

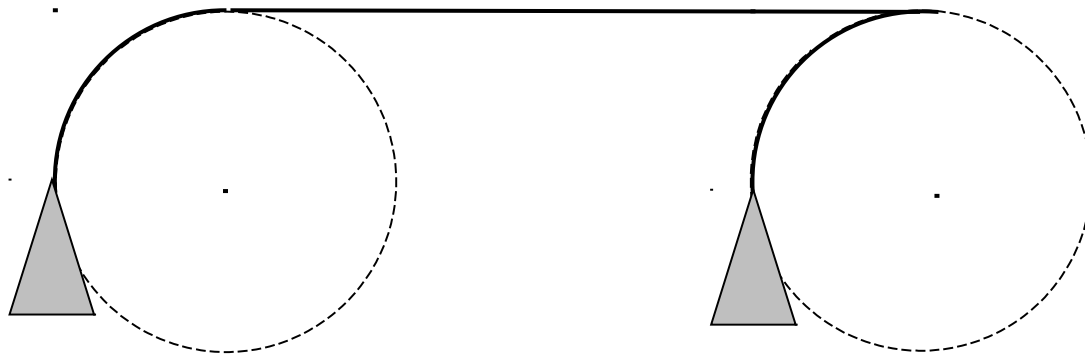


# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

- **Caminhos de Reeds & Shepp (1990)**
- Os caminhos de Reeds & Shepp consistem em concatenações de até arcos de circunferência de raio mínimo e/ou segmentos de reta.
- Aplicado a veículos com restrições no raio de curvatura, como, por exemplo, um carro.
- Movimentos de ré são permitidos.
- Um total de quarenta e oito caminhos possíveis podem ser encontrados entre duas configurações distintas.
- Um deles possui comprimento mínimo. Geralmente, este é o escolhido.

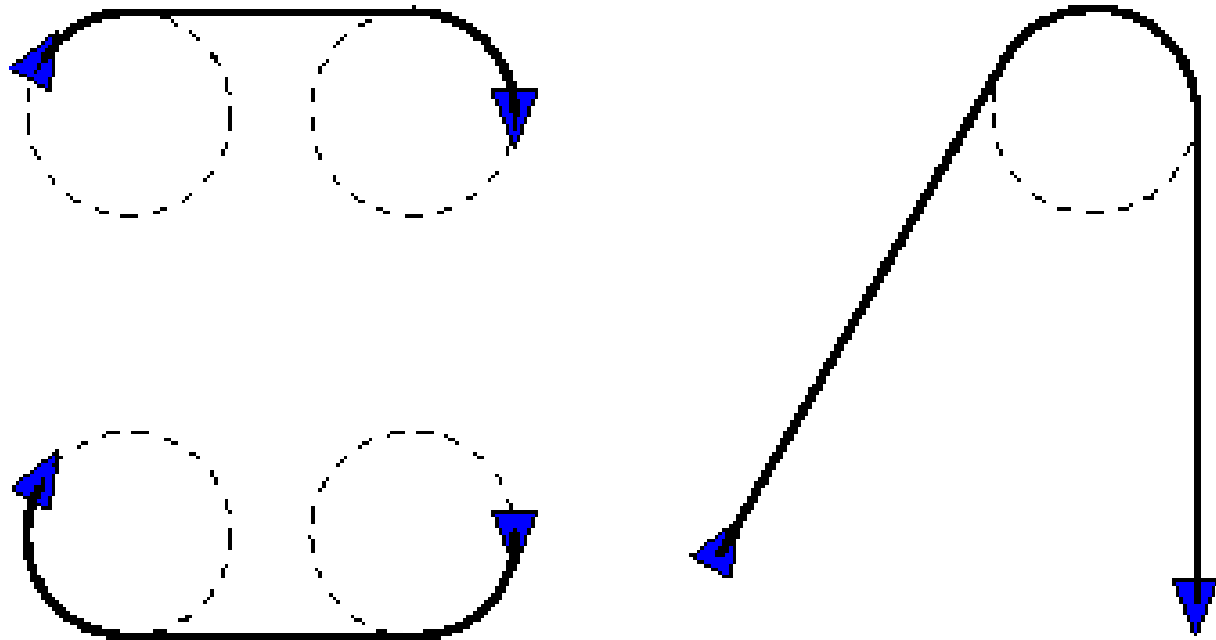
# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

- Reeds & Shepp



# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

- Reeds & Shepp



# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

## **Reeds & Shepp**

- Vantagens:
  - Caminho de comprimento mínimo.
  - Incorpora facilmente restrições quanto ao raio de giro.
  - Trajetória composta por encadeamento de segmentos padronizados, o que facilita o cálculo de velocidade e o teste de colisões.

# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

## **Reeds & Shepp**

- Desvantagens:
  - Exige o teste de 48 combinações
  - As descontinuidades obrigam o robô a ter velocidade nula em ao menos uma das rodas ao mudar de tipo de movimento
  - Se o raio mínimo de rotação é nulo, sempre degenera em trajetórias do tipo “gire – ande – gire”

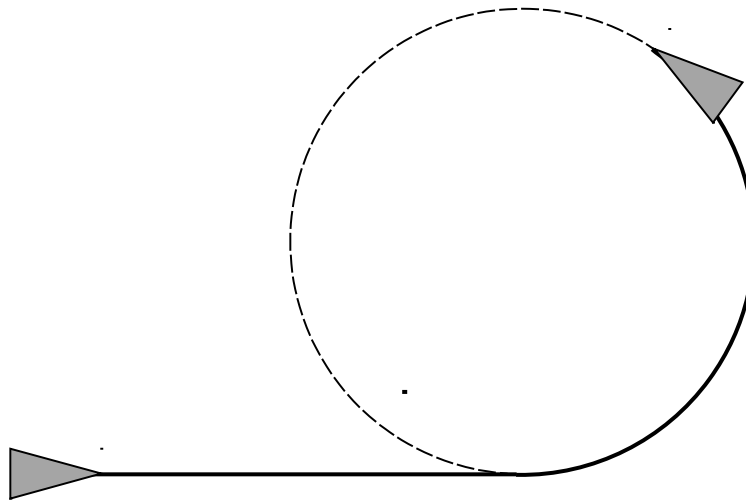


# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

- **Clotóides**
- Caminhos de Dubins ou de Reeds & Shepp apresentam o problema da descontinuidade na velocidade angular na concatenação de segmento de reta e arco de circunferência.
- Clotóide é uma curvatura cujo raio de curvatura varia linearmente com o seu comprimento.
- Possibilitam concatenar segmentos de reta e arcos de circunferência através de uma transição suave, sem descontinuidade na curvatura ou na velocidade angular.

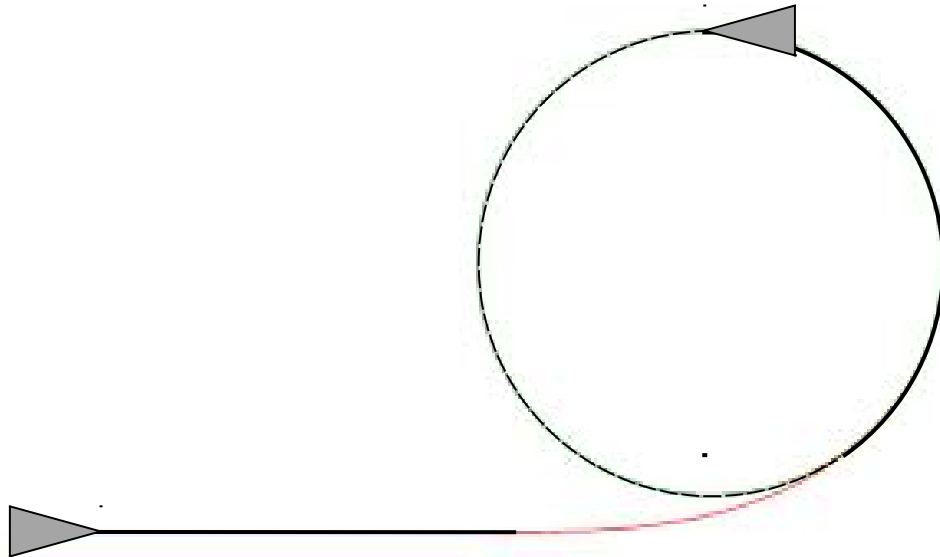
# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

- Descontinuidade na velocidade angular



# Geração de Caminhos Ponto a Ponto

- Clotóide



# Sistemas Robóticos Autônomos

Geração de Caminhos