

# Inteligência Artificial

## Aula 11- Planejamento<sup>1</sup>

Silvia Moraes



<sup>1</sup>Este material não pode ser reproduzido ou utilizado de forma parcial sem a permissão dos autores.

# Sinopse

- Nesta aula, introduzimos **planejamento**.
- Este material foi construído com base nos capítulos:
  - 1 do livro Automated Planning and Acting de Ghallab e outros.

# Sumário

- 1 O que já vimos ...
- 2 Agentes Cognitivos - Relembrando
- 3 Introdução à Deliberação
- 4 Deliberação com Modelos Determinísticos

## Aulas anteriores

- Introdução a Agente Reativos e Cognitivos
- Solução de Problemas
  - Representação, Espaço de Estados, Plano: sequência de ações
  - Busca sem informação
  - Busca com informação: A\*, Hill Climbing, Simulated Annealing, Algoritmos Genéticos
    - Algoritmo de busca adversária: Minimax

## Agentes Reativos podem resolver qualquer problema?

- Há problemas, no entanto, em que apenas o estado atual do ambiente e o modelo de mundo são insuficientes para a tomada de decisão.
- Exemplo: Em um cruzamento, qual a direção que um agente taxi deve seguir ?
  - Depende de seu destino
  - O problema exige informação relacionada ao seu objetivo.
- Precisamos, nesses casos, implementar agentes cognitivos.
- Os agentes **cognitivos** são também chamados de **deliberativos**.

## Agentes Deliberativos: Definição

- Para ser considerado de fato “inteligente”, o agente deve ser cognitivo:

### Agente Inteligente

“Um agente age de forma inteligente se:

- suas ações são apropriadas para suas metas e percepções;
- é flexível para mudar de ambientes e metas;
- aprende a partir de experiências;
- faz escolhas apropriadas dentro de um certo percentual de acordo com as limitações computacionais.

## Agente Deliberativos: características

- **Autonomia:** característica fundamental de todo agente
- **Representação explícita do ambiente e de outros agentes:** conhecem o ambiente e quem está nele.
- **Memória das ações:** mantêm um histórico de suas ações e o usa em suas decisões.
- **Organização social:** inspirada na organização humana.
- **Mecanismo de controle deliberativo:** possuem raciocínio (algoritmos).
- **Comunicação direta entre os agentes:** troca explícita de mensagens.
- **Sociedades pequenas:** usa poucos agentes.

## Agentes Deliberativos: características

- **Pró-atividade:** Capacidade de exibir um comportamento direcionado a objetivos. Toma iniciativa com o fim de satisfazer seus objetivos.
- **Habilidade social:** Capacidade de interagir com outros agentes (e possivelmente humanos) a fim de satisfazer seus objetivos. Esta interação pode exigir habilidades de negociação e cooperação para que seus objetivos sejam alcançados.
- **Conhecimento** sobre si, sobre os outros e sobre o domínio.
  - Formas de representação: regras de produção, redes semânticas, lógica, ontologias, ...



## Agentes Deliberativos: definição de deliberação

- É necessário **deliberação** para agir:
  - consiste em **decidir que ações tomar e como executá-las para atingir um objetivo**.
  - refere-se a um **processo de raciocínio** antes e durante a ação que endereça questões como:
    - Se o agente executar uma ação, qual será o resultado dela ?
    - Que ações devem ser tomada e como devem ser executadas para que as ações escolhidas gerem o efeito desejado?
  - As ações escolhidas, relativas por exemplo à força, movimento, percepção ou comunicação, **podem mudar o ambiente e o estado interno do agente**.

## Agentes Deliberativos: definição de deliberação

### Deliberação

Processo de raciocínio que permite ao agente decidir que ações pode ser realizadas e como elas podem ser executadas para atingir um objetivo.

- As capacidades deliberativas de um agente-ator **dependem basicamente de dois fatores**:
  - **autonomia** na execução de ações (sem interferência humana);
  - **diversidade de tarefas** que ele pode executar e do ambiente no qual ele pode atuar.

## Agentes Deliberativos: definição de ator

- Um **agente** é qualquer **entidade capaz de interagir com o seu ambiente**.
  - Quando age deliberativamente está motivado a atingir algum objetivo.
  - Essa ação pode ser de força, movimento, percepção ou comunicação, e pode mudar seu ambiente e seu próprio estado.

### Ator

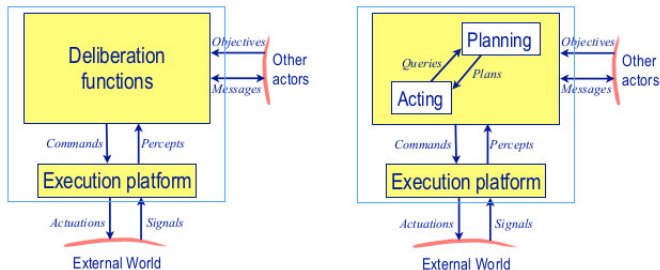
Agente cujas capacidades de deliberação computacional permitem que este raciocine sobre suas ações, as escolha, as organize e aja com a finalidade de atingir um objetivo.

## Agentes Deliberativos: definição de planejamento

- Para deliberar é necessário, em geral, planejar.

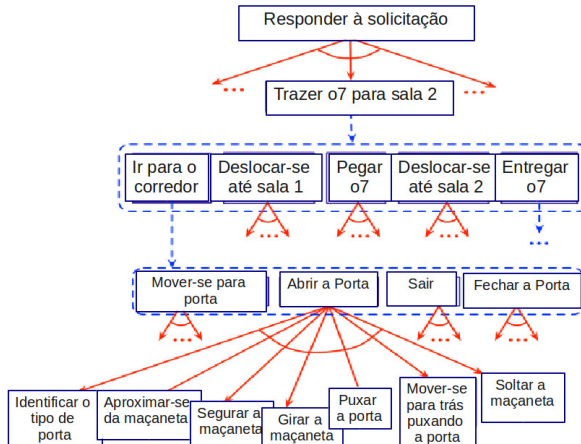
### Planejamento

Consiste em escolher e organizar as ações que o agente pode executar para atingir um determinado objetivo.



## Agentes Deliberativos: exemplo de plano

- **Plano:** A deliberação pode ser realizada por meio de uma coleção de componentes organizados hierarquicamente.



# Agentes Deliberativos: modelos de deliberação

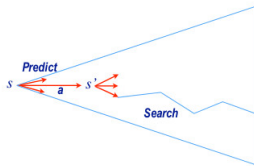
- Os planos seguem modelos :
  - Modelo **Descritivo** de Ações: “**know what**”
    - Descreve o estado (ou conjunto de possíveis estados) que podem resultar da execução de uma ação.
    - Usado para raciocinar sobre que ações podem levar aos objetivos.
    - Ex: descreve genericamente a sequência de passos (a lógica) de como abrir uma porta genérica.
  - Modelo **Operacional** de Ações: “**know how**”
    - Descreve como executar uma ação, ou seja, que comandos devem ser executados e em que ordem, no atual contexto, para que o efeito pretendido seja gerado.
    - Ex: descreve os comandos (e micro-comandos) que o agente deve executar para seguir a lógica de como abrir uma porta de fato.
- Em geral, os modelos **descritivos são mais abstratos**, pois focam nos efeitos da ação e trabalham com bem menos detalhes.

# Agentes Deliberativos: observação x predição

- Estados **Previstos** x Estados **Observados**
  - **Previstos (Preditos)**: são usados quando um ator raciocina sobre o que poderia acontecer e simula mudanças de estado para avaliar o quanto o curso de uma ação é desejável.
  - **Observados**: são usados quando o ator raciocina sobre como executar uma ação em algum contexto.
    - Pode existir incerteza sobre estados observados atuais e futuros (**observações podem ser parciais e imprecisas**)
    - Podem estar desatualizados (**a informação em um ambiente dinâmico é efêmera**)

## Agentes Deliberativos: geração dos planos

- O propósito do planejamento é sintetizar um conjunto organizado de ações para realizar alguma atividade (tarefa) desejada pelo agente-ator.
- Isso pode ser feito combinando procedimentos que “olham à frente” passos preditos dentro de um espaço de busca que foram definidos a partir de um conjunto de ações que levam ao estado objetivo desejado. (**Uso de algoritmos de busca**)
  - Ex: A partir do estado  $s$ , se a ação  $a$  for executada, o estado predito será  $s'$ .





## Agentes Deliberativos: planejamento e domínio

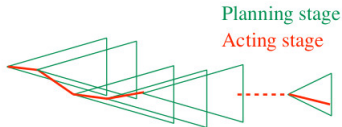
- O **planejamento** podem ser dependente ou independente de domínio.
  - **Independente de domínio:** estão em um nível mais abstrato (nível mais alto da hierarquia). Ex: passos de movimentação de um local para outro.
  - **Dependente de domínio:** são mais específicos (níveis mais baixos da hierarquia), definem a movimentação de um caminhão, de um robô,...

## Agentes Deliberativos: plano x ação

- O planejamento exige modelos descritivos e as ações, modelos operacionais.
- O relacionamento entre planejar e agir é mais complexo do que simplesmente uma sequência linear do tipo “planejar e agir”.
  - Encontrar um plano completo antes de agir nem sempre é fácil e nem sempre é necessário (ambientes previsíveis e bem modelados). Ex: linha de produção
  - É necessário planejar quando o custo ou risco são altos e as ações não são reversíveis.

# Agentes Deliberativos: plano x ação

- Em ambiente dinâmicos, planejar não é trivial:
  - eventos externos podem acontecer e serem difíceis de modelar e prever.
  - planos podem falhar se forem executados cegamente até o fim.
  - a modificação de planos ou mesmo o replanejamento é normal e deve ser embutidos no projeto do agente-ator.



## Agentes Deliberativos: outras funções deliberativas

- Outras funções, além de planejamento e ação:
  - **Percepção** vai além das leituras das entradas, mesmo com métodos elaborados de processamento de sinal e casamento de padrões. A deliberação é necessária em processos bottom-up para encontrar o significado de dados recebidos de sensores, e em processos top-down relativos a atividades que visam o foco de atenção, planejamento de como realizar a percepção e obter informação.
  - **Monitoramento:** consiste em comparar as observações do ambiente com a deliberação predita pelo ator. Usada para detectar e interpretar discrepâncias, avaliar desempenho, desencadear a recuperação de ações quando necessário.

## Agentes Deliberativos: outras funções deliberativas

- Outras funções, além de planejamento e ação:
  - ...
  - **Raciocínio sobre o objetivo:** é o monitoramento dos objetivos ou missões do ator. Visa manter o compromisso do ator com o seu objetivo. Avalia a evolução, novas oportunidades e falhas. Decidi quando um compromisso deve ser abandonado e quando e como atualizar as metas atuais.
  - **Comunicação e interação:** com outros atores, inclui planejamento da comunicação, compartilhamento e delegação de tarefas.
  - **Aprendizagem** pode permitir ao ator adquirir, adaptar e melhorar sua experiência sobre modelos necessários para a deliberação, bem como a aquisição de novos comandos que permitirão estender e melhorar a atuação do ator em seu ambiente de execução.

## Planejamento: representação dos estados

- **Variáveis de estado** são usadas como primitivas de representação em modelos descritivos e operacionais para definir o estado de um ator e de seu ambiente.
  - **Variável invisível:**
    - se não é observável, mas pode ser estimada a partir de observações e informações a priori.
  - **Variável observável:**
    - se seu valor pode ser obtido a partir da execução de uma ação
- Ao longo da execução, uma variável pode estar visível e às vezes, escondida.

## Planejamento Clássico: sistema de transição de estados

- **Definição:** Um sistema de transição de estados (também chamado *classical planning domain*) é a tripla  $\Sigma = \{S, A, \gamma\}$  ou a quadrupla  $\Sigma = \{S, A, \gamma, custo\}$ , onde:
  - $S$  é um **conjunto finito de estados** no qual o sistema pode estar.
  - $A$  é um **conjunto finito de ações** que o ator pode executar.
  - $\gamma: S \times A \rightarrow S$  é uma função parcial chamada **função de predição** ou função de transição de estado. A função é parcial, pois uma ação pode não ser aplicável a um estado.
  - $custo: S \times A \rightarrow [0; \infty)$  é uma função parcial. Apesar do nome, seu significado é arbitrário. Pode se referir a **custo**, tempo, ...

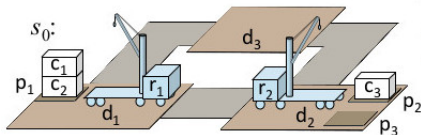
## Planejamento Clássico: características

- No planejamento clássico, consideramos que:
  - **o ambiente é estático e finito**: as mudanças de estado só ocorrem por meio da execução de ações.
  - **não há tempo explícito, nem concorrência**: há apenas uma sequência discreta de estados e ações  $\langle s_0, a_1, s_1, a_2, s_2, \dots \rangle$
  - **determinismo e ausência de incerteza**: os estados são preditos com certeza.



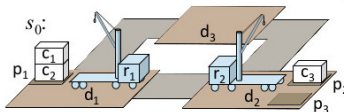
## Planejamento Clássico: exemplo

- Exemplo de transporte de cargas:
  - $B = \text{Robos} \cup \text{Docas} \cup \text{Containers} \cup \text{Pilhas} \cup \text{Booleans} \cup \{\text{nulo}\}$
  - $\text{Robos} = \{r_1, r_2\}$ ,  $\text{Docas} = \{d_1, d_2, d_3\}$ ,  
 $\text{Containers} = \{c_1, c_2, c_3\}$ ,  $\text{Pilhas} = \{p_1, p_2, p_3\}$  e  
 $\text{Booleans} = \{V, F\}$



## Planejamento Clássico: exemplo

- Exemplo de transporte de cargas:
  - Duas propriedades:  $R = \{adj, em\}$ 
    - 1 Um par de docas é adjacente se existir uma estrada entre elas.  
 $adj = \{(d_1, d_2), (d_2, d_1), (d_2, d_3), (d_3, d_2), (d_3, d_1), (d_1, d_3)\}$
    - 2 Cada pila está em uma doca.  
 $em = \{(p_1, d_1), (p_2, d_2), (p_3, d_2)\}$



## Planejamento Clássico: exemplo

- Exemplo de transporte de cargas:
  - Uma variável de estado (predicado) sobre  $B$  é um termo sintático da forma:

$$var(b_1, \dots, b_k)$$

onde:

- $var$  é o nome da variável de estado
- $b_i$  é um membro de  $B$

## Planejamento Clássico: exemplo

- Exemplo de transporte de cargas:

- $X =$

$\{carga(r, c), loc(r, d), ocupada(d), pilha(c, p), sobre(c, l), topo(p, c) \mid$   
 $r \in Robos, d \in Docas, c \in Containers, p \in Pilhas, l \in$   
 $Robos \cup Containers\}$ , onde:

- $carga(r, c)$ : Cada robo  $r$  pode carregar ao menos um container  $c$ .  
Ex:  $carga(r, c)$  se  $r$  está carregando  $c$ , caso contrário  $carga(r, nulo)$
- $loc(r, d)$  é a localização atual do robô  $r$ , que é uma das docas.
- $ocupada(d)$ : indica se uma doca  $d$  está ocupada por ao menos um robô.
- ...

## Planejamento Clássico: exemplo

- Exemplo de transporte de cargas:

- $X =$

$\{carga(r, c), loc(r, d), ocupada(d), pilha(c, p), sobre(c, l), topo(p, c) |$   
 $r \in Robos, d \in Docas, c \in Containers, p \in Pilhas, l \in$   
 $Robos \cup Containers\}$ , onde:

- ...

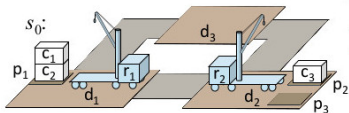
- $sobre(c, l)$ : corresponde à posição de um container  $c$ , que pode estar em um robô  $r$ , sobre outro container ou *nulo* (quando o  $c$  está na base da pilha).

$l \in Containers \cup Robos \cup \{nulo\}$

- $pilha(c, p)$ : indica a pilha em que um container  $c$  está. *nulo* é usado para indicar que  $c$  não está em nenhuma pilha.
- $topo(p, c)$ : indica o container  $c$  que está no topo da pilha  $p$ . *nulo* é usado para indicar pilha vazia.

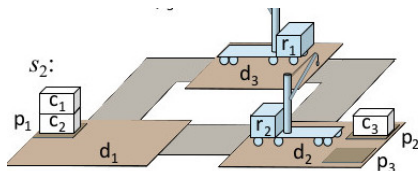
## Planejamento Clássico: exemplo

- Exemplo de transporte de cargas:
  - Seja  $S$  o espaço de estados.

$$s_0 = \{carga(r_1, nulo), carga(r_2, nulo), loc(r_1, d_1), loc(r_2, d_2), \\ ocupada(d_1), ocupada(d_2), \neg ocupada(d_3), \\ pilha(c_1, p_1), pilha(c_2, p_1), pilha(c_3, p_2), \\ sobre(c_1, c_2), sobre(c_2, nulo), sobre(c_3, nulo), \\ topo(p_1, c_1), topo(p_2, c_3), topo(p_3, nulo)\}$$


## Planejamento Clássico: exercício

- **Atividade I** - Represente o estado abaixo, usando os predicados dados.



## Planejamento Clássico: exemplo

- Exemplo de transporte de cargas:
  - **Template para ações:**  
tupla  $\alpha = (head(\alpha), pre(\alpha), eff(\alpha), cost(\alpha))$ 
    - $head(\alpha)$  :expressão sintática da forma  $ação(z_1, ..., z_k)$ , onde  $z \in B$  é parâmetro.
    - $pre(\alpha) = \{p_1, ..., p_m\}$  são as pré-condições, o que é necessário para a execução da ação.
    - $eff(\alpha) = \{e_1, ..., e_n\}$  são os efeitos, ou seja, os “resultados” das ações.
    - $cost(\alpha)$  é um valor positivo, que define o custo da ação. Se omitido, seu valor é 1.

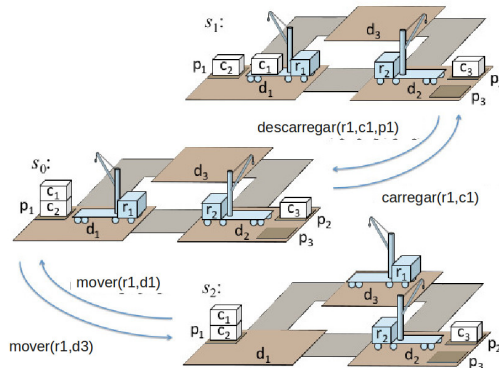


## Planejamento Clássico: exemplo

- Exemplo de transporte de cargas:
  - *carregar*( $r, c$ )  
*pre* : *carga*( $r, nulo$ ), *loc*( $r, d$ ), *em*( $p, d$ ), *sobre*( $c, c'$ ), *topo*( $p, c$ )  
*eff* : *carga*( $r, c$ ), *pilha*( $c, nulo$ ), *sobre*( $c, r$ ), *topo*( $p, c'$ )
  - *descarregar*( $r, c, p$ )  
*pre* : *sobre*( $c, r$ ), *loc*( $r, d$ ), *em*( $p, d$ ), *topo*( $p, c'$ )  
*eff* : *carga*( $r, nulo$ ), *pilha*( $c, p$ ), *sobre*( $c, c'$ ), *topo*( $p, c$ )
  - *mover*( $r, d'$ )  
*pre* : *adj*( $d, d'$ ), *loc*( $r, d$ ),  $\neg$ *ocupada*( $d'$ )  
*eff* : *loc*( $r, d'$ ),  $\neg$ *ocupada*( $d$ ), *ocupada*( $d'$ )

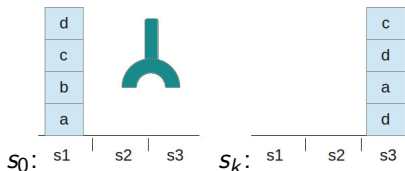
# Planejamento Clássico: exemplo

- Exemplo de transporte de cargas:
  - máquina de estados



## Planejamento Clássico: exercícios

- **Atividade II** - Mundo dos blocos é um problema bem conhecido de planejamento clássico. Na imagem abaixo, existem 4 blocos ( $Blocos = \{a, b, c, d\}$ ) e uma superfície com 3 posições ( $Posicoes = \{s1, s2, s3\}$ ). A tarefa de um robô é organizá-los ou reorganizá-los em uma nova pilha e/ou posição. Para mover o blocos, o robô possui uma garra, capaz de pegar um bloco de cada vez. Sabendo que o robô possui as ações pegar, soltar, empilhar e desempilhar blocos, e que são dados dois estados-exemplo, defina uma representação (predicados) adequada para o problema e para as suas ações.



- **Atividade III:** Usando a sua representação, defina uma máquina de estados que leva do estado  $s_0$  ao estado  $s_k$ .