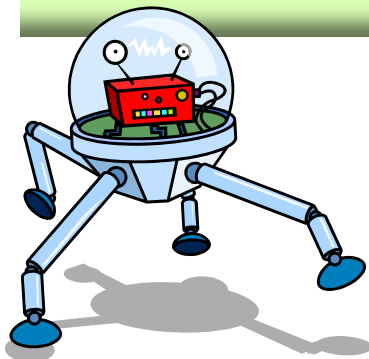


# Planejamento automatizado



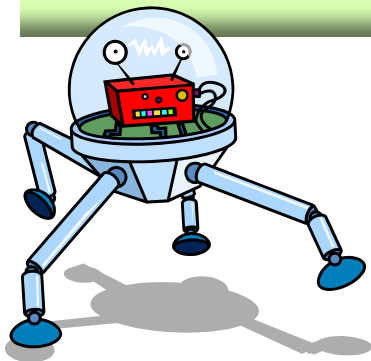
Introdução e Conceitos básicos

Leliane Nunes de Barros

Silvio do Lago Pereira

Com algumas modificações de Karina Valdivia Delgado

# Planejamento automatizado



Introdução e Conceitos básicos:

- Planejamento em IA
- Modelo conceitual de Planejamento

# Humanos planejando e agindo

- Agindo sem (explicitamente) planejar:
  - Propósito imediato
  - Comportamentos cotidianos
  - A sequência das ações pode ser facilmente adaptada
- Agindo após planejar:
  - Uma nova situação
  - A tarefa é complexa
  - O ambiente é de risco
  - Precisa colaborar com outros

# Definição de Planejamento

- **Planejamento :** processo de deliberação explícito de escolha e organização de ações através da antecipação (previsão) de seus efeitos. Esse processo de raciocínio procura satisfazer (através da execução de ações), objetivos previamente estabelecidas.
- **Planejamento em IA:** estuda esse processo de raciocínio, usando o computador. Planejamento é uma sub-área da IA.

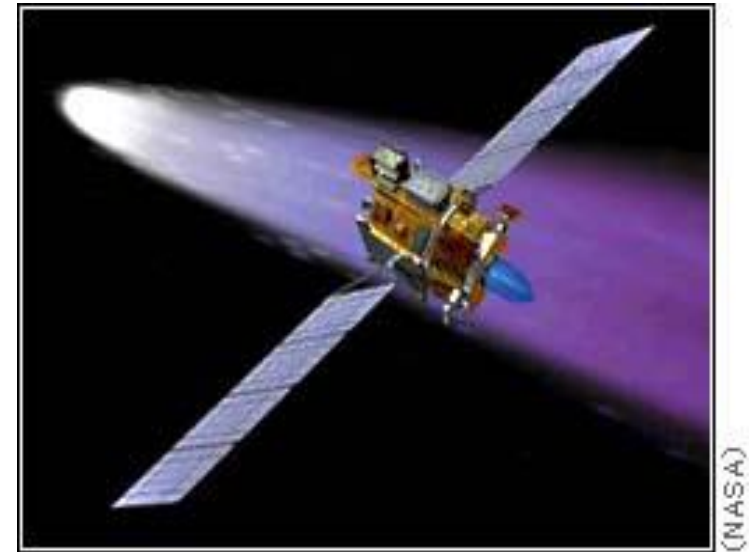
# Por que estudar planejamento?

- **Objetivo científico de IA :** entender a inteligência
  - Planejamento é parte do comportamento inteligente
- **Objetivo de engenharia de IA:** construir entidades inteligentes
  - Construir software de planejamento para escolher e organizar as ações de sistemas autônomos inteligentes

# Planejamento: aplicações

- Espaçonaves

- Espaçonave sem seres humanos a bordo usada na exploração espacial.
- Planejamento autônomo e escalonamento.
- Remote Agent da Nasa (2000)
  - Primeiro programa de planejamento autônomo para controlar as operações de uma nave espacial.



# Planejamento: aplicações

## • Exploração planetária



Veículo de exploração (*rover*) em Marte: guiado por um software autônomo de planejamento/controlado de Inteligência Artificial. Ex:

- Spirit: aterrissou em 2004. Cobriu uma distância de 7,73 km. Suas rodas ficaram presas na areia.
- Opportunity: aterrissou em 2004. O rover ainda estava em operação em janeiro de 2011.
- Curiosity: aterrissou em 2012. Atualmente, executa sua missão.
- Outros lançamento a Marte planejados para 2018.



# Planejamento: aplicações

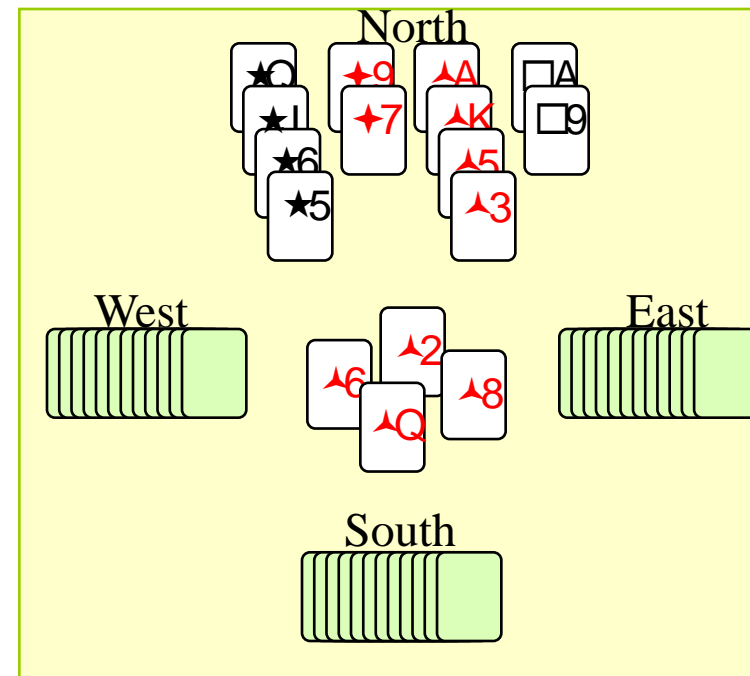
- Planejamento de processo de manufatura
  - É usado para planejar operações de estamparia (*bending*) na indústria automotiva
- Planejamento logístico
  - DART (Dynamic Analysis and Replanning Tool) para planejamento logístico automatizado e a programação de execução do transporte.





# Planejamento: aplicações

- Sistema de suporte nas tarefas humanas de planejamento.
- Indústria de Jogos, por exemplo: nas narrativas e construção de personagens não-jogadores; Bridge

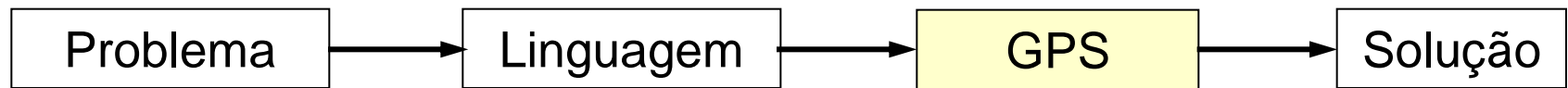


# Planejamento de domínio específico vs. Planejamento independente de domínio

- Planejamento de domínio específico: usa uma representação específica e técnicas adaptadas para resolver cada problema.
- Planejamento independente de domínio: usa representações e técnicas genéricas.
  - Explora o que é comum nos problemas de planejamento
  - Conduz ao entendimento geral de planejamento

# Planejamento: motivação inicial

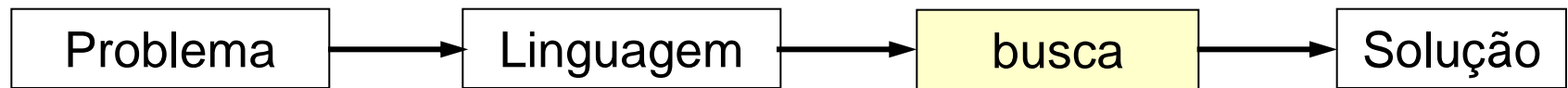
- Um dos principais objetivos da IA foi/é o desenvolvimento de um *Resolvedor Geral de Problemas (General Problem Solver)* [Newell & Simon, 1961]



- **Idéia:** problemas são descritos numa linguagem de alto-nível de abstração e são resolvidos automaticamente
- **Objetivo:** facilitar a modelagem de problemas (menor custo) com um prejuízo mínimo em termos de desempenho.

# Planejamento: motivação inicial

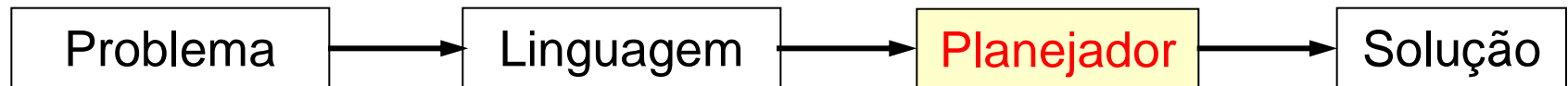
- Um dos principais objetivos da IA foi/é o desenvolvimento de um *Resolvedor Geral de Problemas (General Problem Solver)* [Newell & Simon, 1961]



- **Idéia:** problemas são descritos numa linguagem de alto-nível de abstração e são resolvidos automaticamente
- **Objetivo:** facilitar a modelagem de problemas (menor custo) com um prejuízo mínimo em termos de desempenho.

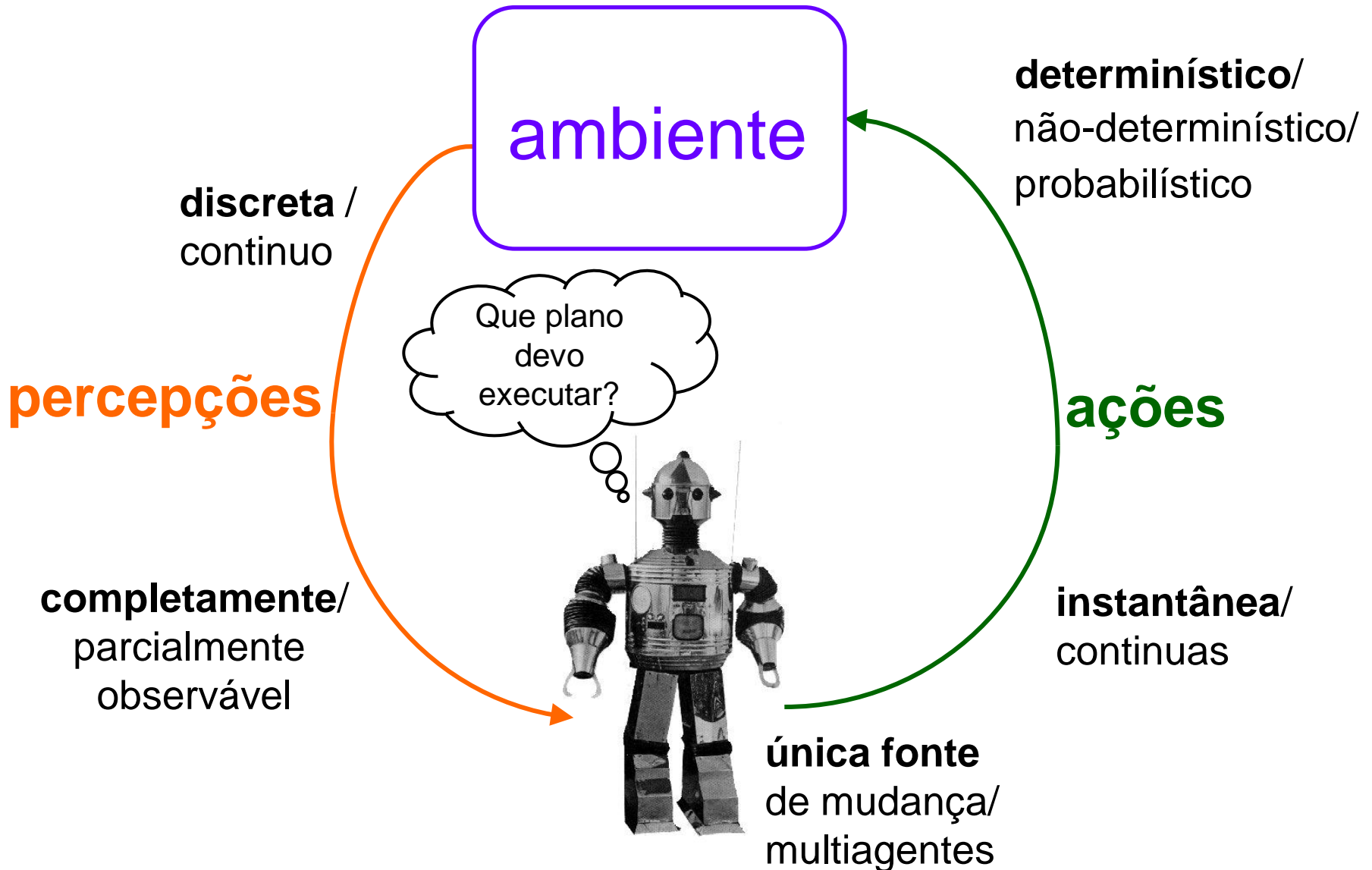
# Planejamento: motivação inicial

- Um sistema de planejamento pode ser considerado um solucionador geral de problemas (**STRIPS**) [Fikes, 1971]



Importante: formas diferentes de planejamento envolvem modelos diferentes

# Modelos do ambiente



# Planejamento

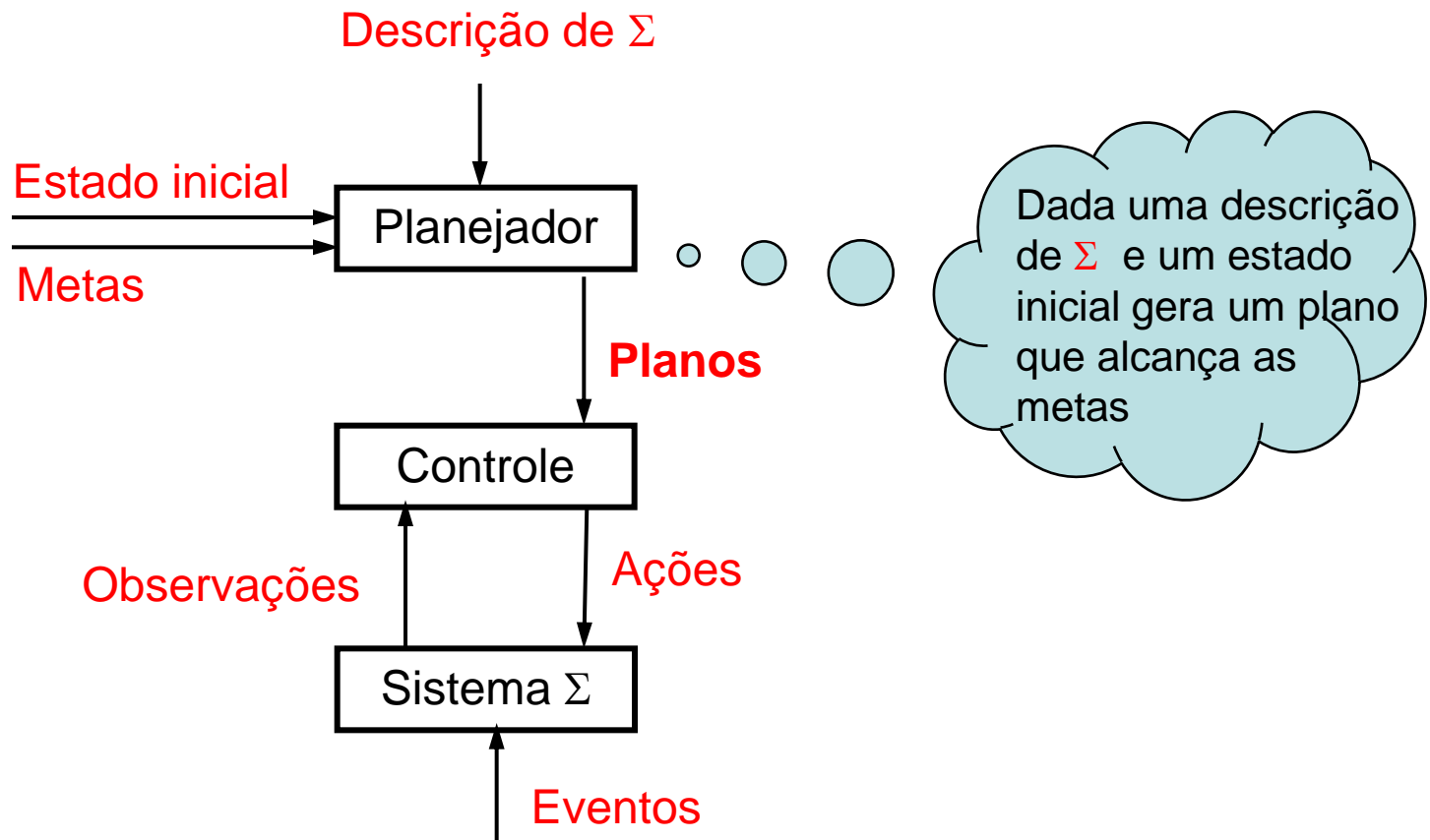


modelo conceitual

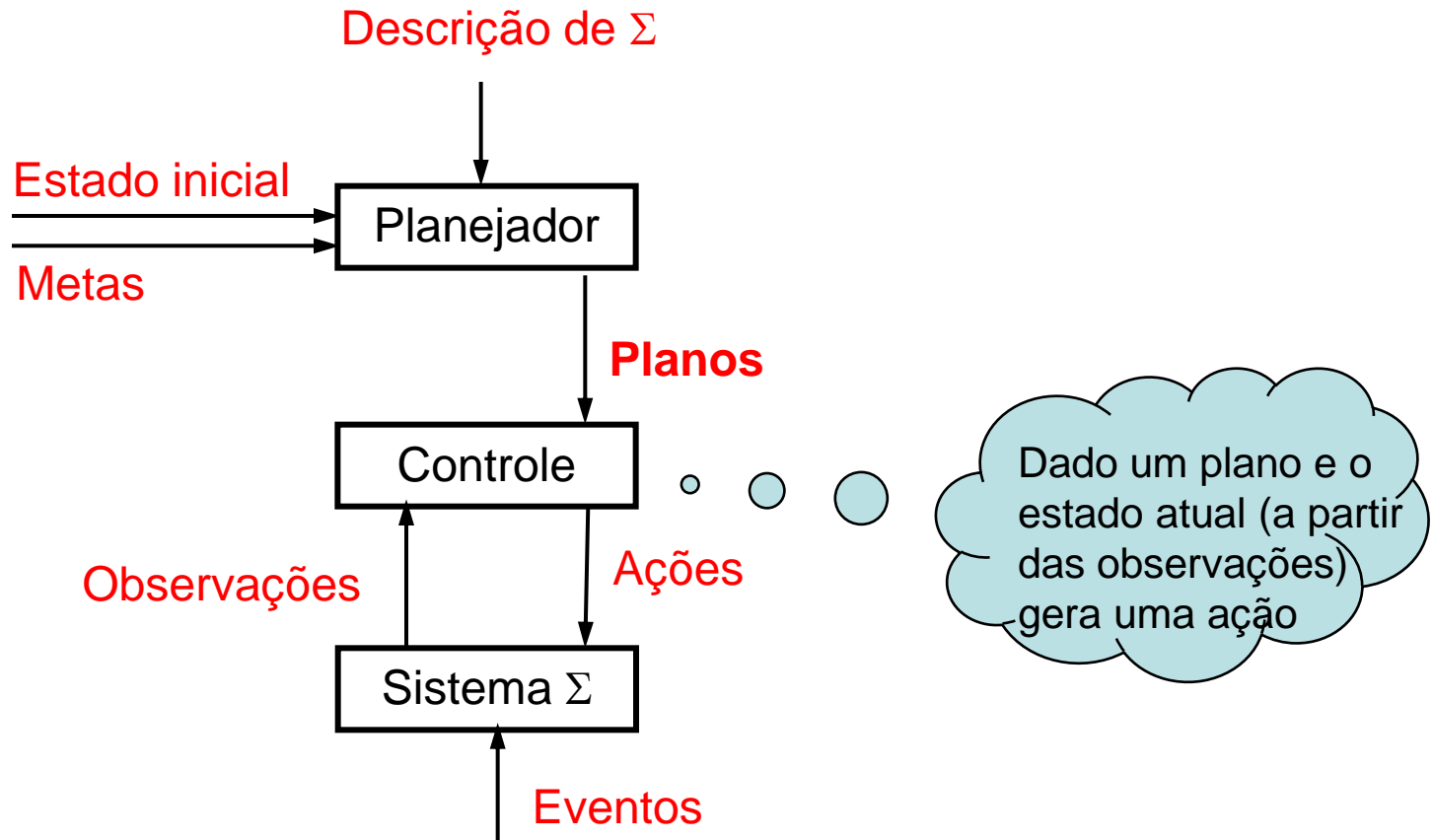
*Automated Planning: Theory and Practice* (2004)  
Ghallab, Dana Nau, and Paulo Traverso.



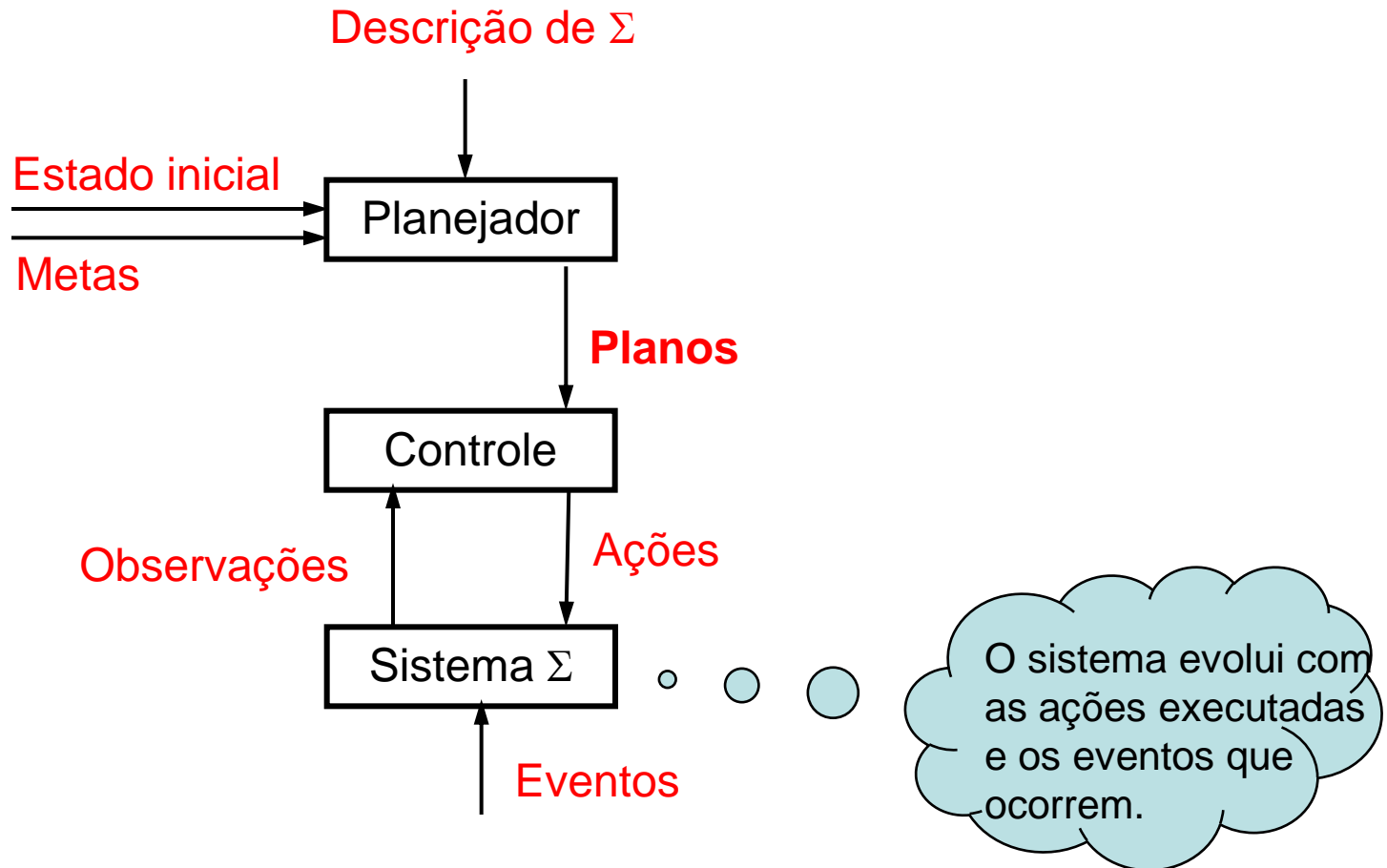
# Modelo conceitual para planejamento



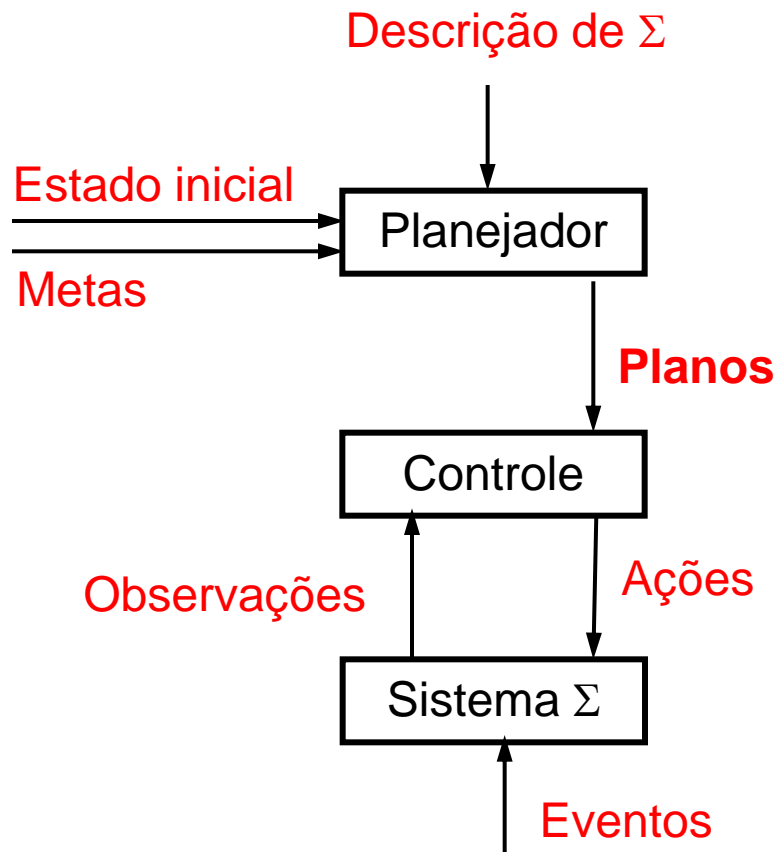
# Modelo conceitual para planejamento



# Modelo conceitual para planejamento

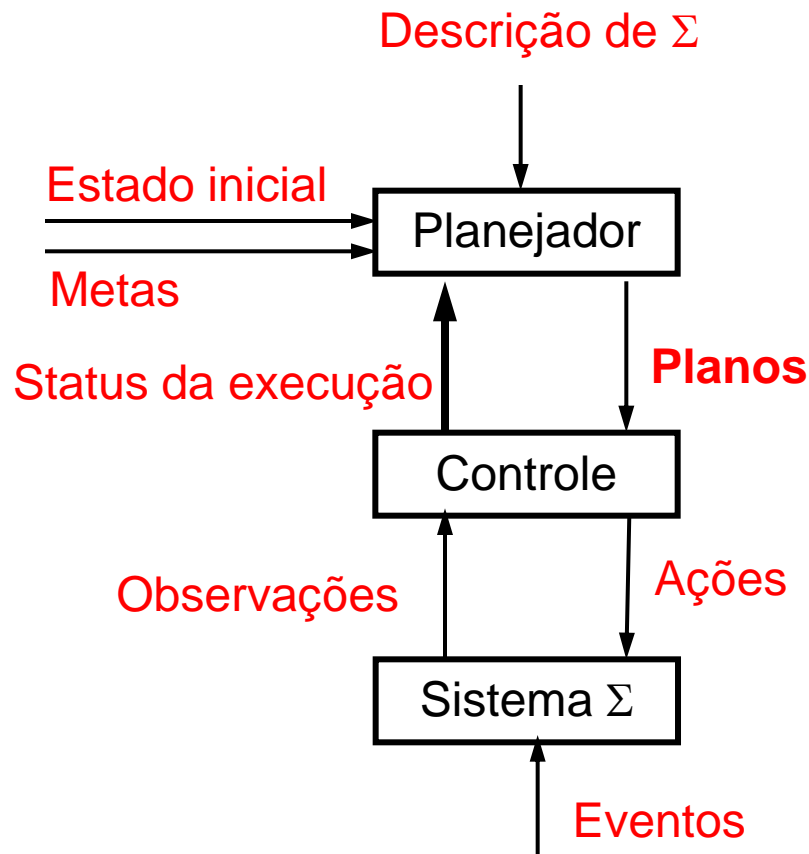


# Modelo conceitual para planejamento



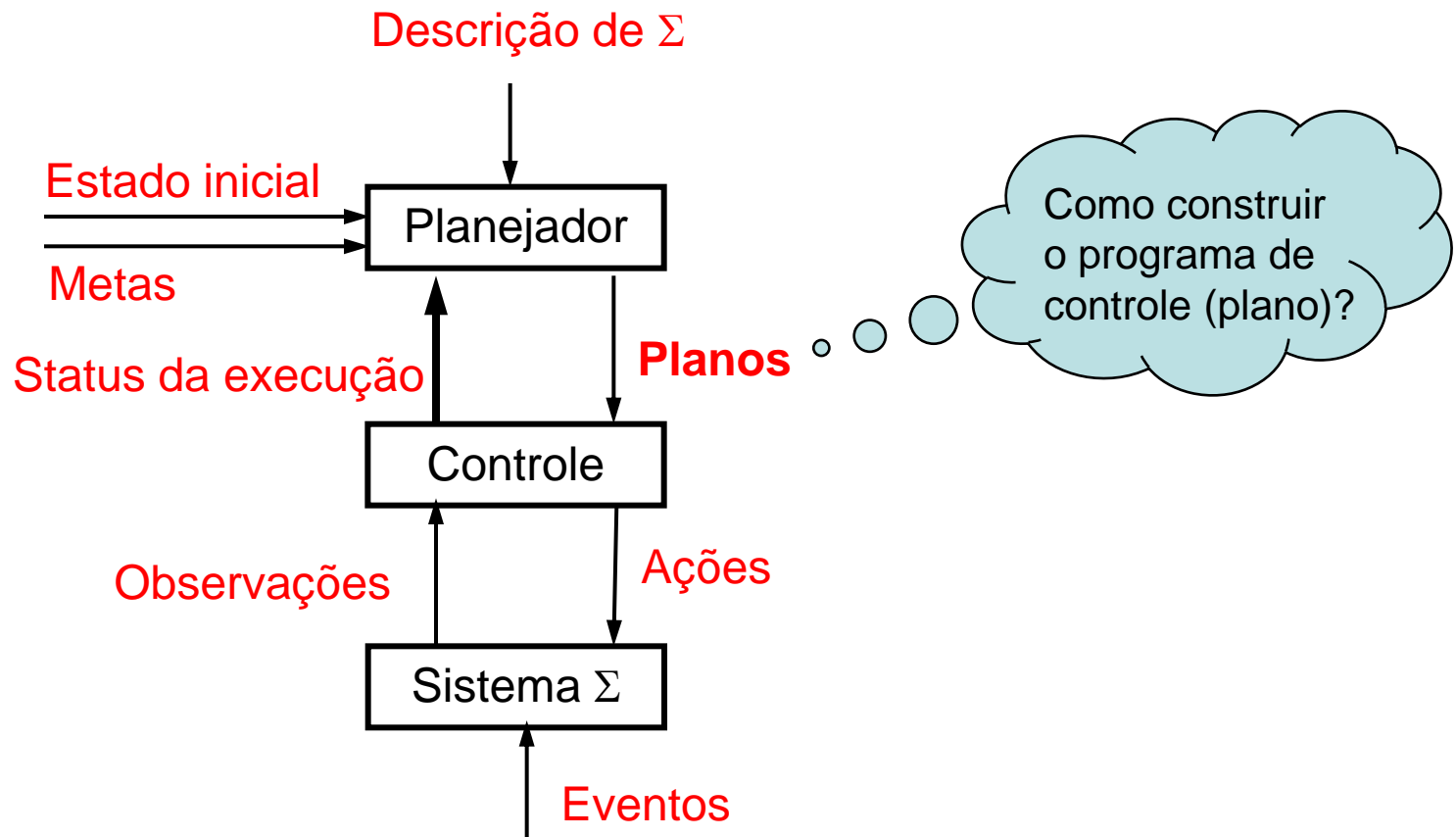
-Problema: o sistema físico pode diferir do modelo descrito por  $\Sigma$ .  
-Um modelo mais realístico intercala planejamento e execução.

# Modelo conceitual para planejamento



-Problema: o sistema físico pode diferir do modelo descrito por  $\Sigma$ .  
-Um modelo mais realístico intercala planejamento e execução.

# Modelo conceitual para planejamento



# Como construir o programa de controle?

Três abordagens:

1. **Programação**: (modelo de  $\Sigma$  conhecido mas não explícito)

**Especificação do programa de controle** pelo projetista. Tanto o modelo como o problema não são especificados formalmente mas estão na cabeça do programador e implícito no programa.

2. **Planejamento automatizado**: (modelo de  $\Sigma$  conhecido e explícito)

**Especificação do problema** pelo projetista em uma linguagem formal  $\rightarrow$  o programa de controle é derivado automaticamente.

3. **Aprendizado automatizado**: (modelo de  $\Sigma$  é desconhecido)

**Especificação do problema** pelo projetista em uma linguagem formal  $\rightarrow$  tanto o modelo como o programa de controle são "aprendidos" automaticamente através da experiência (direta no sistema)

As três abordagens são consideradas não exclusivas e em geral, se complementam. Possuem seus pontos fortes e fracos.





# Modelo Conceitual

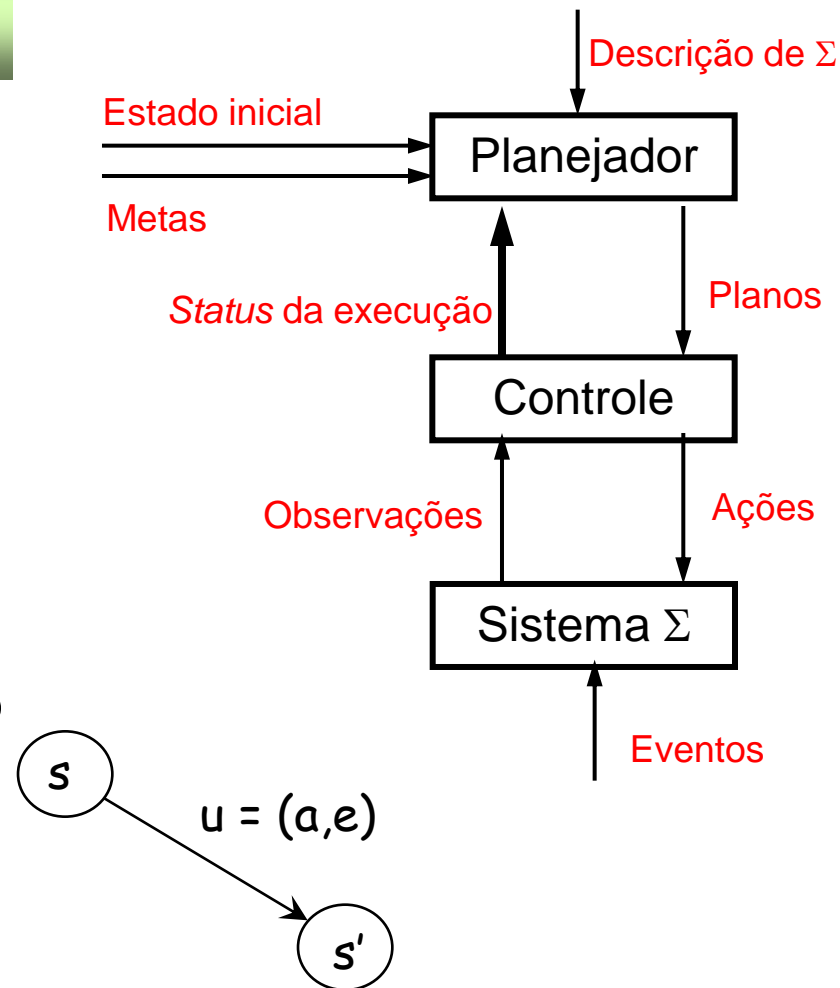
descrição de  $\Sigma$

Modelo  $\Sigma$  :

- o sistema evolui através de eventos e ações.
- representação gráfica:
  - grafo dirigido cujos nós são estados em  $S$ .
  - se  $s' \in \gamma(s, u)$ , sendo  $u$  o par  $(a, e)$  com  $a \in A$  e  $e \in E$ , então o grafo contém um arco  $u$  de  $s$  a  $s'$
- Se  $a$  é uma **ação aplicável** no estado  $s$ , executá-la em  $s$  leva  $\Sigma$  a um outro estado  $s' = \gamma(s, a)$ .

$\varepsilon$  é um evento neutro  $\Rightarrow \gamma(s, a, \varepsilon) = \gamma(s, a)$

no-op é uma ação neutra  $\Rightarrow \gamma(s, \text{no-op}, e) = \gamma(s, e)$



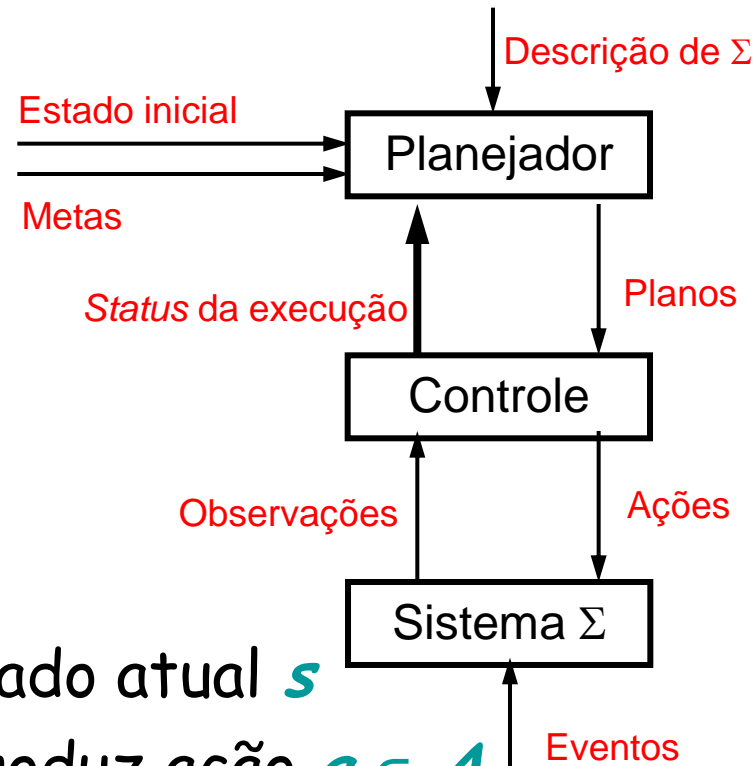
# Modelo Conceitual

modelo de observação

Função de observação  $h: S \rightarrow O$

- produz observação  $o$  sobre o estado atual  $s$

**Controle:** dada a observação  $o \in O$ , produz ação  $a \in A$



# Modelo Conceitual

## metas

Exemplos de descrições de metas:

- Um estado ou um conjunto de estados meta  $S_g$  (metas de alcançabilidade)

*Encontre uma sequência de transição de estados terminando em um estado meta  $s \in S_g$*

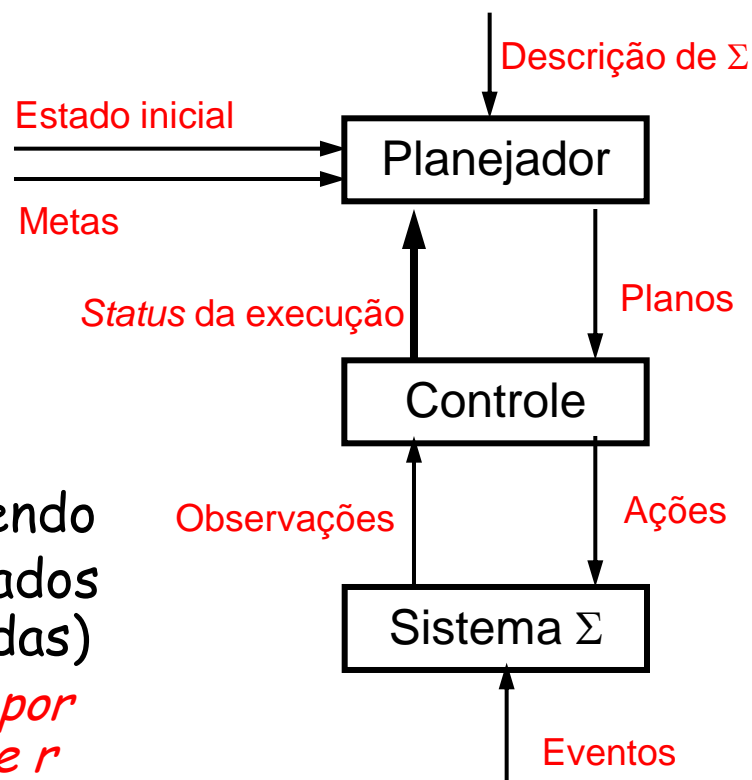
- Conjunto de estados meta  $S_g$  + satisfazendo alguma condição sobre o conjunto de estados percorridos pelo sistema (metas estendidas)

*Atinja um estado meta  $s \in S_g$ , passando por estados com valor total menor ou igual que  $r$*

- Otimização de uma função utilidade (ou recompensa) relacionada aos estados (metas de otimização)

*Otimize alguma função utilidade (sum, max) de visitar os estados*

- Execução de tarefas (planos abstratos), especificadas recursivamente como conjuntos de sub-tarefas e ações



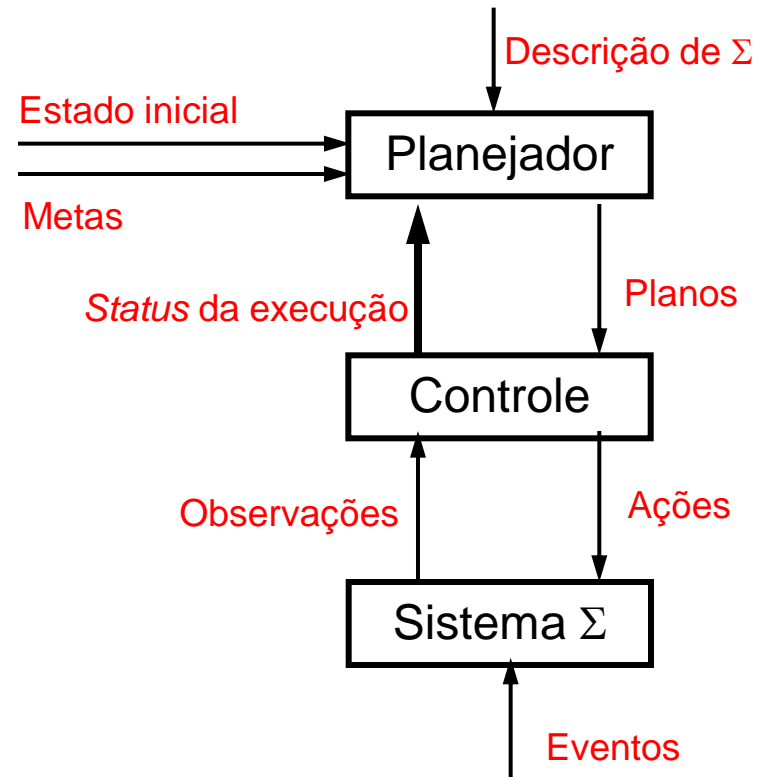
# Modelo Conceitual

## plano

Um plano é uma estrutura que fornece as ações apropriadas a serem aplicadas para alcançar algum objetivo quando começamos em um estado dado.

Ex:

- Lista com a sequência de ações
- Função que mapeia estados em ações.
- Caminho no grafo de transição de estados.



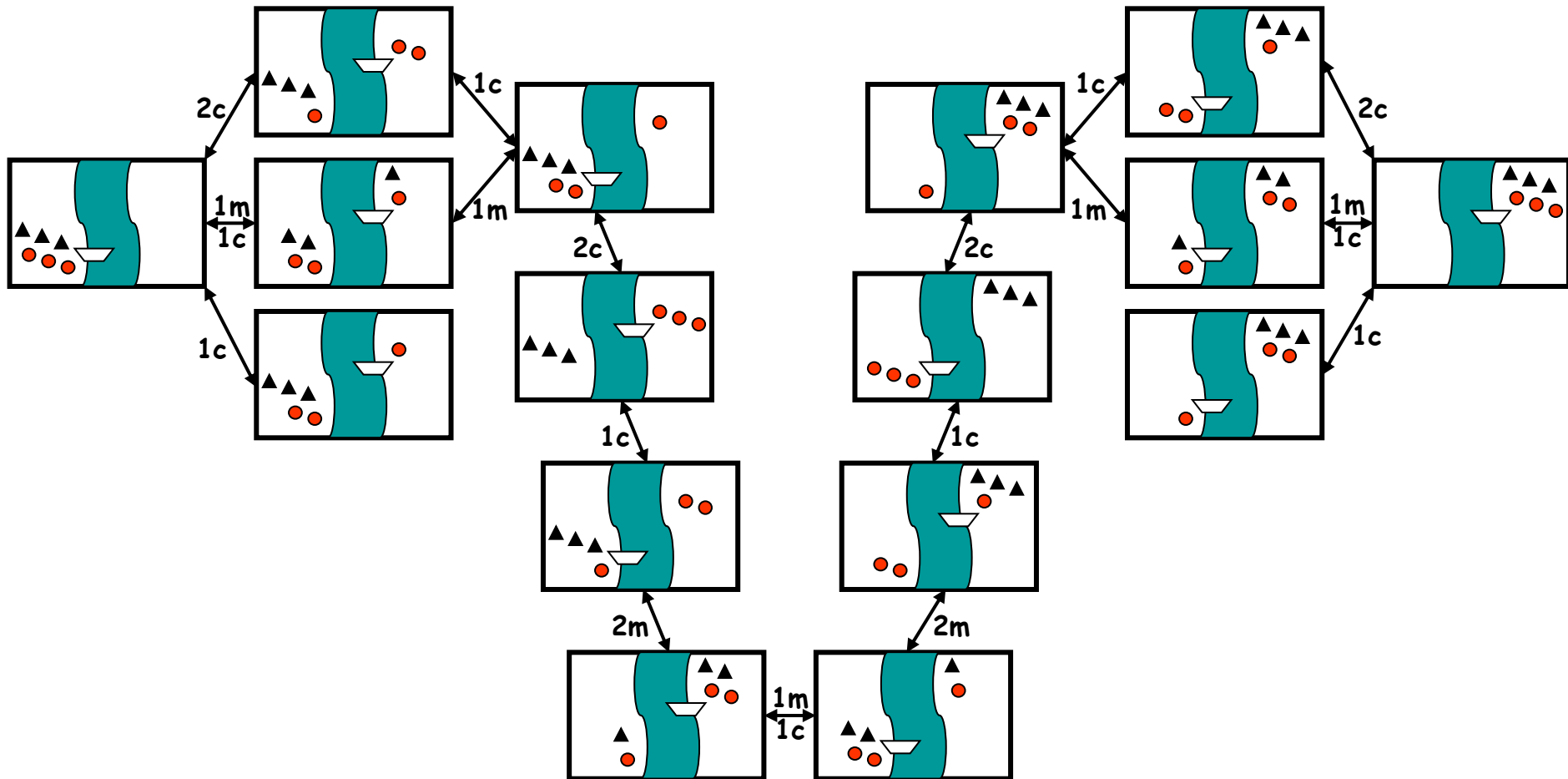
# Problema dos canibais e missionários



- Três missionários e três canibais estão às margens de um rio. Na mesma margem existe um bote com capacidade para no máximo duas pessoas.
- O problema é encontrar uma forma de levar as 6 pessoas para a outra margem do rio, sem nunca deixar numa margem um número maior de canibais do que de missionários, pois os canibais comeriam os missionários.

Elaborar o grafo do sistema de transição de estados considerando como estado inicial a configuração da figura.

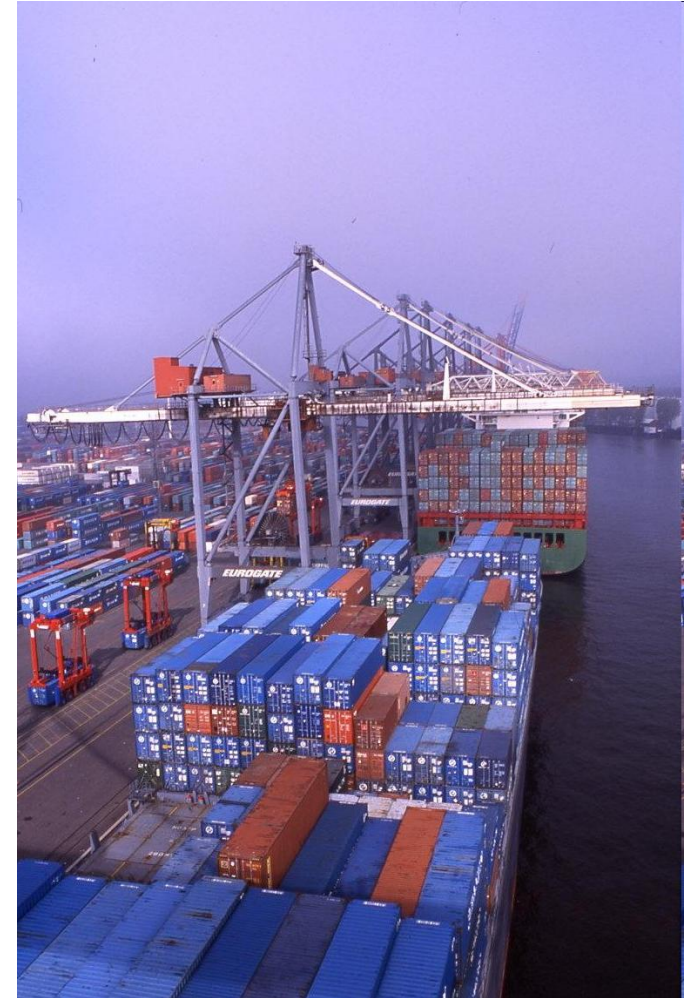
# Problema dos canibais e missionários: grafo do sistema de transição de estados



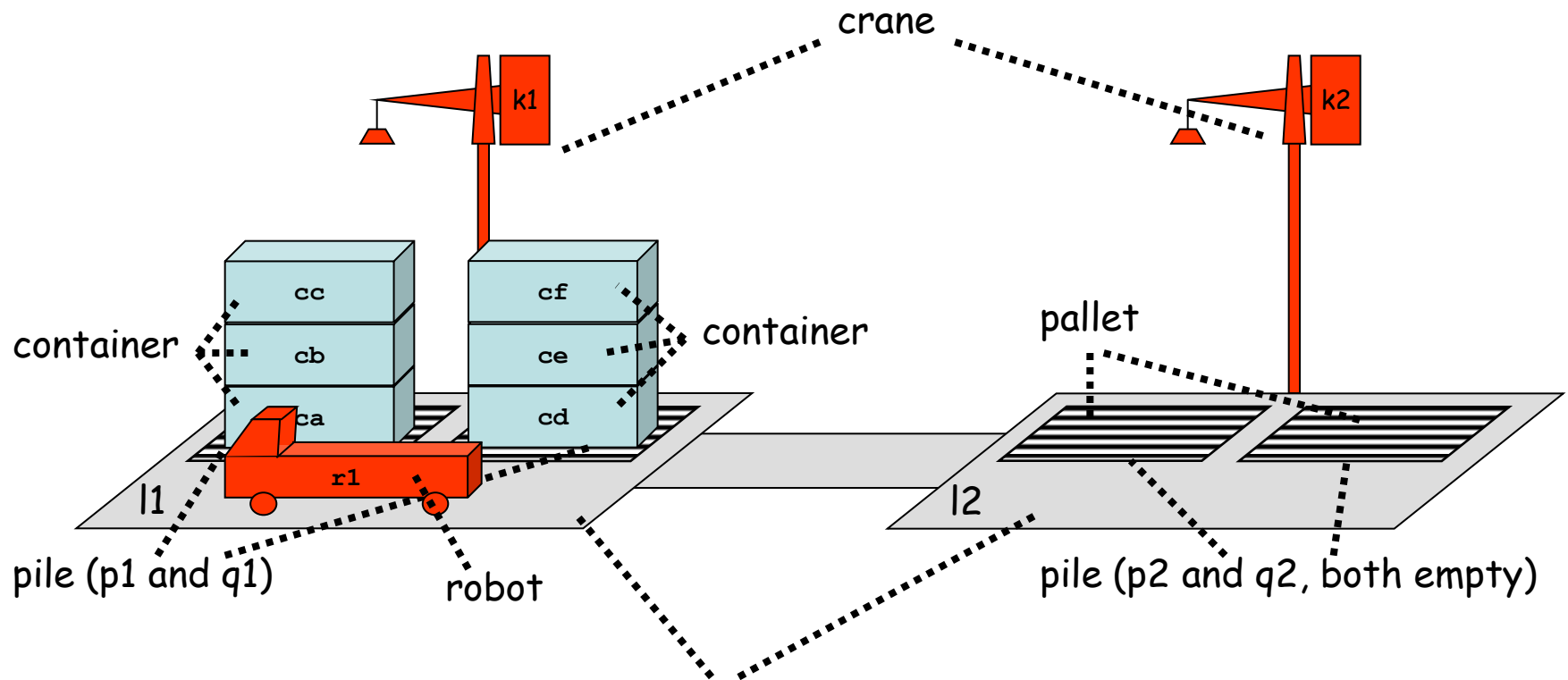


# Domínio dos Robôs Portuários (Dock-Worker Robots -DWR)

- Porto, com vários locais (docas), navios ancorados, áreas de armazenamento de containers, e áreas de estacionamento para caminhões e trens.
- Guindastes (crane) para carregar e descarregar os navios, e carrinhos robô para mover os containers



# DWR: Exemplo de Estado



# DWR: ações

- **move** robot  $r$  from location  $/$  to some adjacent and unoccupied location  $/$
- **take** container  $c$  with empty crane  $k$  from the top of pile  $p$ , all located at the same location  $/$
- **put down** container  $c$  held by crane  $k$  on top of pile  $p$ , all located at location  $/$
- **load** container  $c$  held by crane  $k$  onto unloaded robot  $r$ , all located at location  $/$
- **unload** container  $c$  with empty crane  $k$  from loaded robot  $r$ , all located at location  $/$

# Exemplo de DWR:

- Sistema de transição de estado  $\Sigma = (S, A, E, \gamma)$

- $S = \{s_0, \dots, s_5\}$

- $A = \{\text{move1}, \text{move2}, \text{put}, \text{take}, \text{load}, \text{unload}\}$

- $E = \{\}$

- $\gamma$ : como ilustrado

- $h(s) = s$  para todo  $s$

- Entrada do planejador:

- Modelo  $\Sigma$

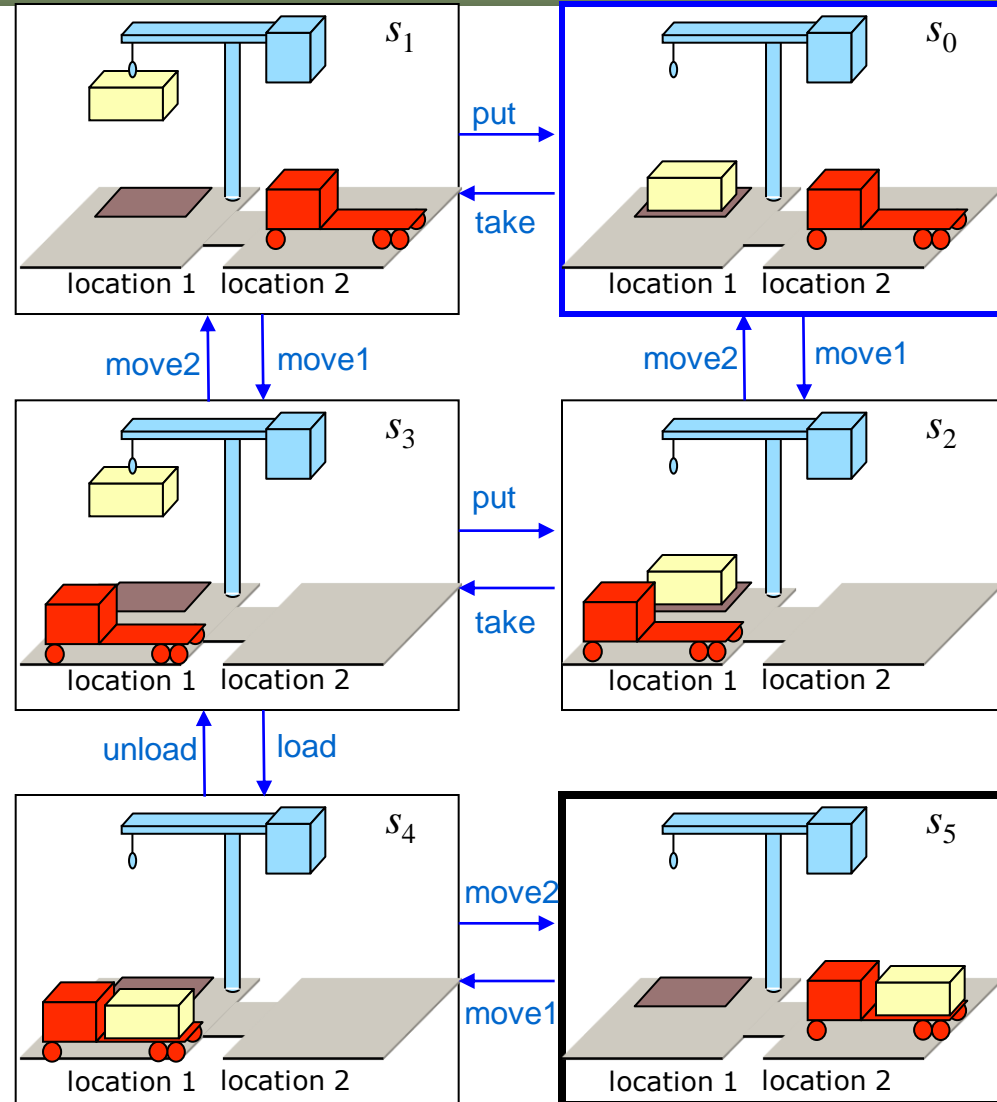
- Estado inicial  $s_0$

- Estado meta  $s_5$

- Um plano solução:

$\text{move1} \rightarrow \text{take} \rightarrow \text{load} \rightarrow \text{move2}$

Representação gráfica do  
modelo de transição de estados



# Planejamento



abordagem clássica

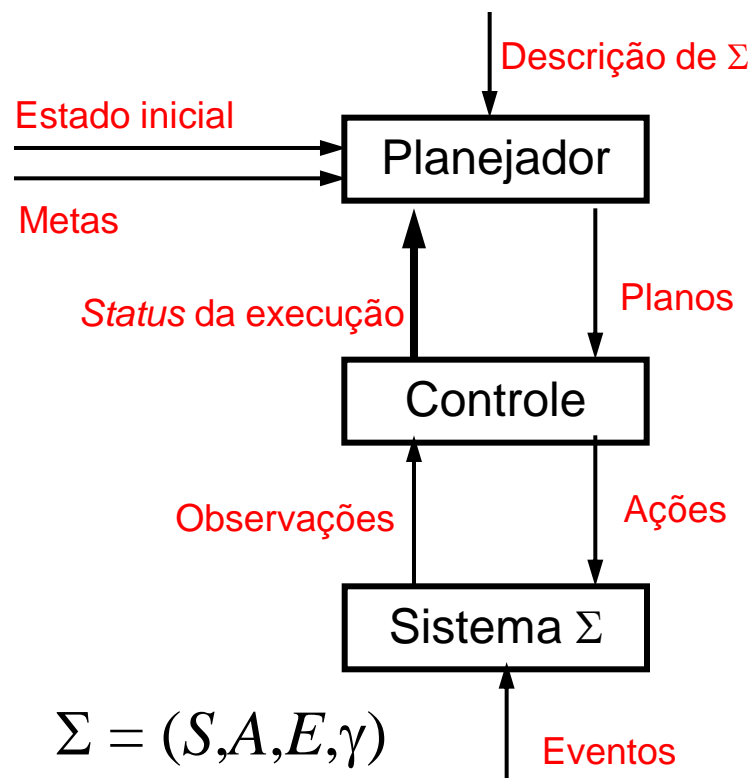
# Suposições restritivas

## A0 ( $\Sigma$ finito):

- O espaço de estados  $S$  é finito
- $S = \{s_0, s_1, s_2, \dots, s_k\}$  para algum  $k$

## A1 ( $\Sigma$ totalmente observável):

- A função de observação  $h: S \rightarrow O$  é a função identidade
- o controle sempre sabe em que estado ele está.



$$\begin{aligned}\Sigma &= (S, A, E, \gamma) \\ S &= \{\text{estados}\} \\ A &= \{\text{ações}\} \\ E &= \{\text{eventos}\} \\ \gamma &: S \times (A \cup E) \rightarrow 2^S\end{aligned}$$

# Suposições restritivas

## A2 ( $\Sigma$ determinístico):

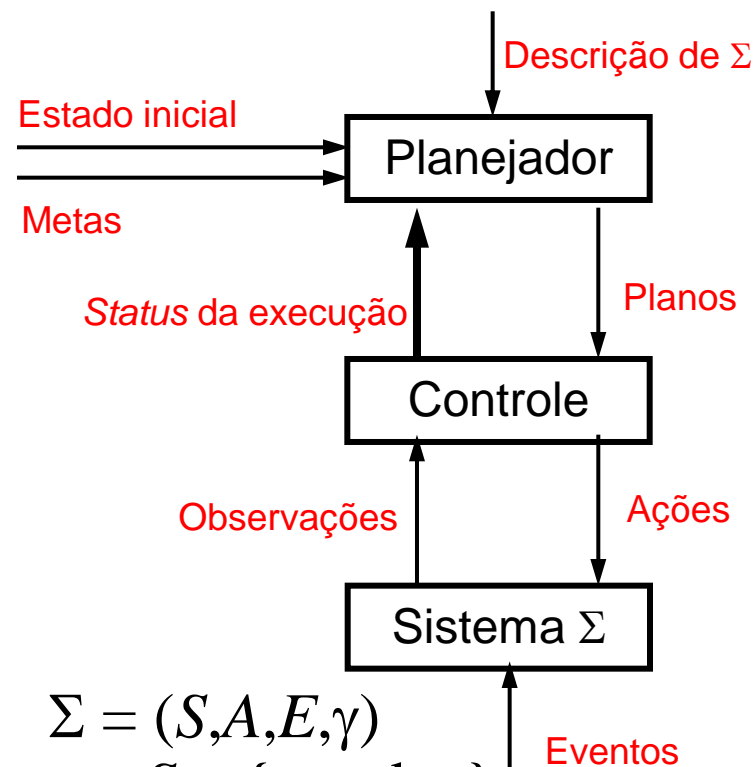
- Para todo estado  $s$  e  $u$  em  $A \cup E$ ,  $|\gamma(s, u)| = 1$
- Cada ação ou evento tem apenas uma saída possível

## A3 ( $\Sigma$ estático):

- $E$  é vazio: nenhuma mudança ocorre no sistema  $\Sigma$  exceto aquelas efetuadas pelo controle

## A4 (metas de alcançabilidade):

- O objetivo é somente alcançar um  $s \in S_g$



$$\begin{aligned}\Sigma &= (S, A, E, \gamma) \\ S &= \{\text{estados}\} \\ A &= \{\text{ações}\} \\ E &= \{\text{eventos}\} \\ \gamma &: S \times (A \cup E) \rightarrow 2^S\end{aligned}$$



# Suposições restritivas

## A5 (planos sequenciais):

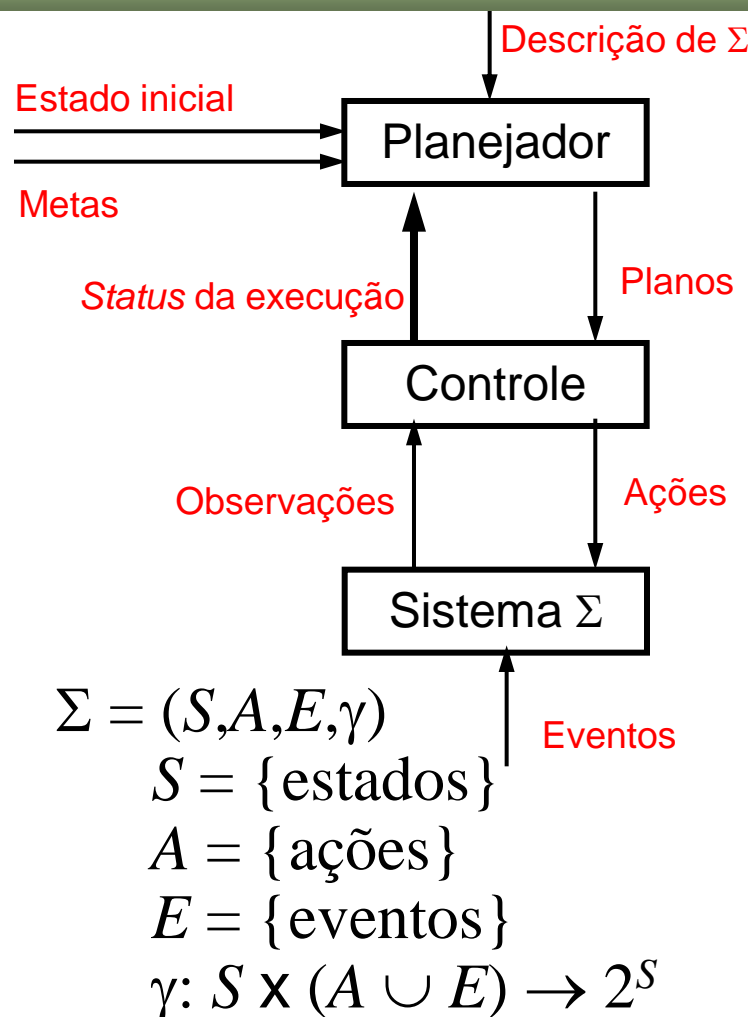
- A solução é uma seqüência de ações totalmente ordenada  $(a_1, a_2, \dots a_n)$

## A6 (tempo implícito):

- Transições de estados instantâneas, i.e., ações sem duração de tempo

## A7 (planejamento *off-line*):

- O Planejador não considera o *status* da execução



# Planejamento Clássico

Planejamento clássico faz as 8 suposições restritivas

- **Problema de Planejamento Clássico:**

- Dado  $(\Sigma, s_0, S_g)$ , encontre uma seqüência de ações  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  que produza uma seqüência de transições de estados  $(s_0, s_1, \dots, s_n)$  tal que:

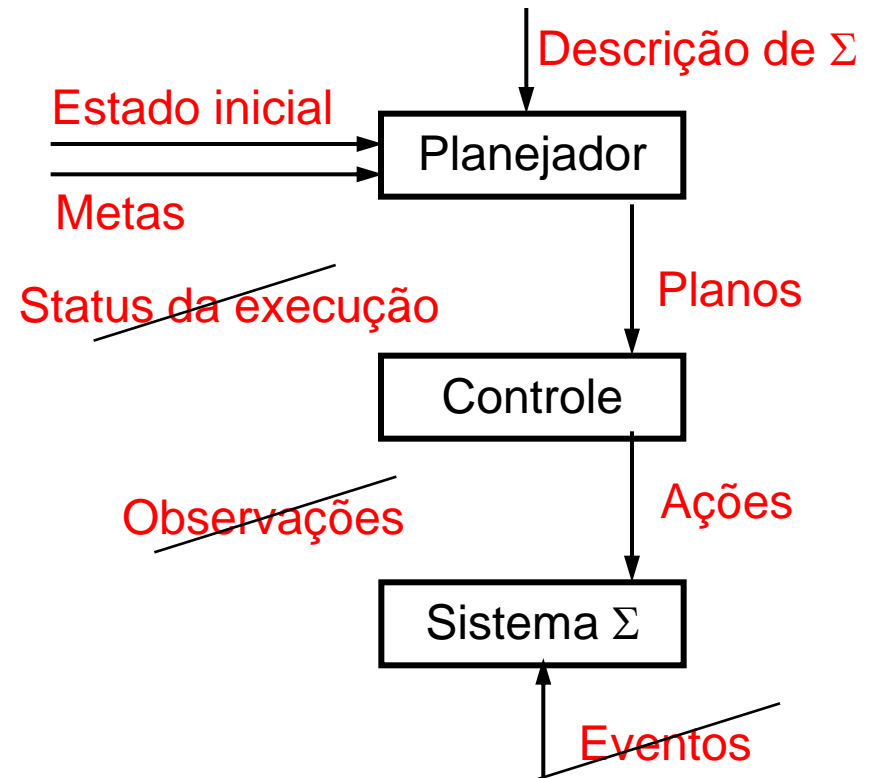
$$s_1 = \gamma(s_0, a_1),$$

$$s_2 = \gamma(s_1, a_2),$$

...

$$s_n = \gamma(s_{n-1}, a_n)$$

e  $s_n$  pertença à  $S_g$ .



# Planejamento Clássico: exemplo

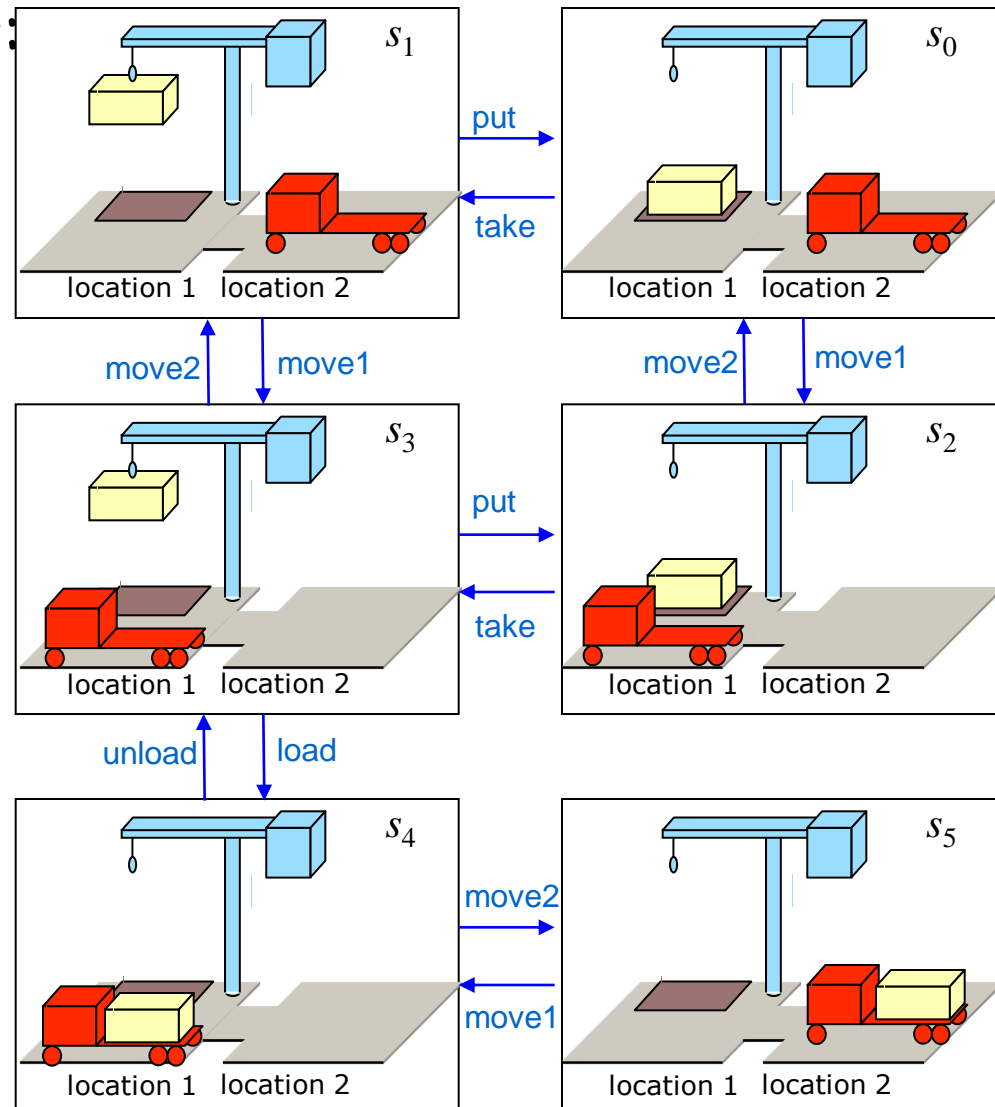
## Exemplo dos Robôs Portuários:

- sistema finito, determinístico, estático
- conhecimento completo
- metas de alcance
- tempo implícito
- planejamento *offline*

Se fornecemos o grafo  $\Sigma$  explicitamente, Planejamento clássico é basicamente uma busca de caminho em um grafo

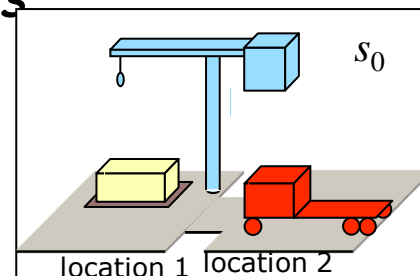
- estados são nós
- ações são arestas

Esse é um problema trivial?



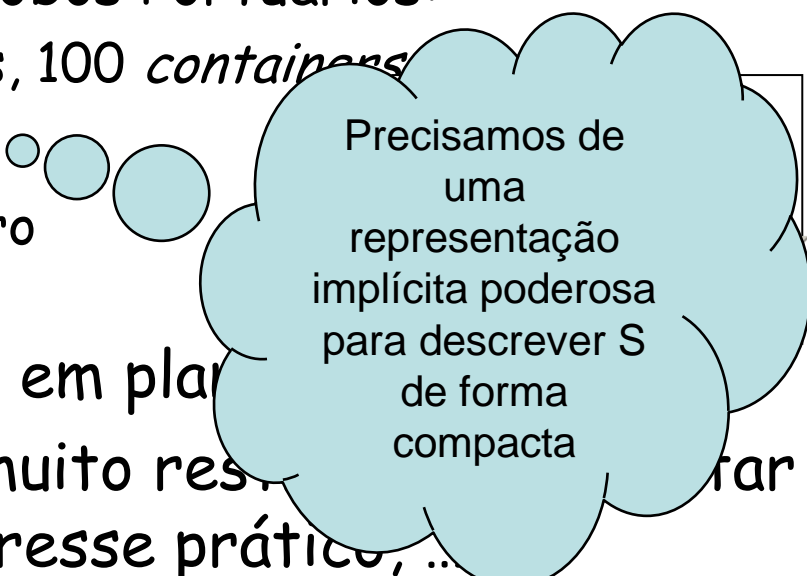
# Planejamento Clássico

- Porém, mesmo para domínios simples, o grafo  $\Sigma$  pode ser muito grande, não sendo factível fornecer o grafo explicitamente.
- Computacionalmente muito difícil
  - generalização do exemplo dos Robôs Portuários:
    - 5 localizações, 3 pilhas, 3 robôs, 100 *containers*
  - isso implica em  $10^{277}$  estados
    - mais do que  $10^{190}$  vezes o número de partículas no universo!
- Existem muitas pesquisas de IA em planejamento clássico
- Apesar de ser uma abordagem muito restritiva para tratar a maioria dos problemas de interesse prático, ...  
... *muitas das idéias de soluções do planejamento clássico têm se mostrado úteis na resolução de problemas práticos*



# Planejamento Clássico

- Porém, mesmo para domínios simples, o grafo  $\Sigma$  pode ser muito grande, não sendo factível fornecer o grafo explicitamente.
- Computacionalmente muito difícil
  - generalização do exemplo dos Robôs Portuários:
    - 5 localizações, 3 pilhas, 3 robôs, 100 *containers*
  - isso implica em  $10^{277}$  estados
    - mais do que  $10^{190}$  vezes o número de partículas no universo!
- Existem muitas pesquisas de IA em planejamento
- Apesar de ser uma abordagem muito restrita, a maioria dos problemas de interesse prático, ...  
... *muitas das idéias de soluções do planejamento clássico têm se mostrado úteis na resolução de problemas práticos*



Precisamos de uma representação implícita poderosa para descrever S de forma compacta