PLANEAMENTO
CAP 10 (SEC 10.3)

Parcialmente adaptado de

http://aima.eecs.berkeley.edu

e de

Dana Nau: Lecture slides for Automated Planning

Resumo

- Planeamento de Ordem Parcial (POP)
- Grafos de Planeamento (GRAPHPLAN)

Planeamento de Ordem Parcial

- As técnicas anteriores produzem planos lineares totalmente ordenados (sequências de acções).
  - Não permitem que se tire partido da decomposição de problemas.
  - As decisões são tomadas sobre como encadear acções em todos os subproblemas.
- Ideia: adoptar uma estratégia de menor compromisso:
  - Adiar escolhas durante a procura

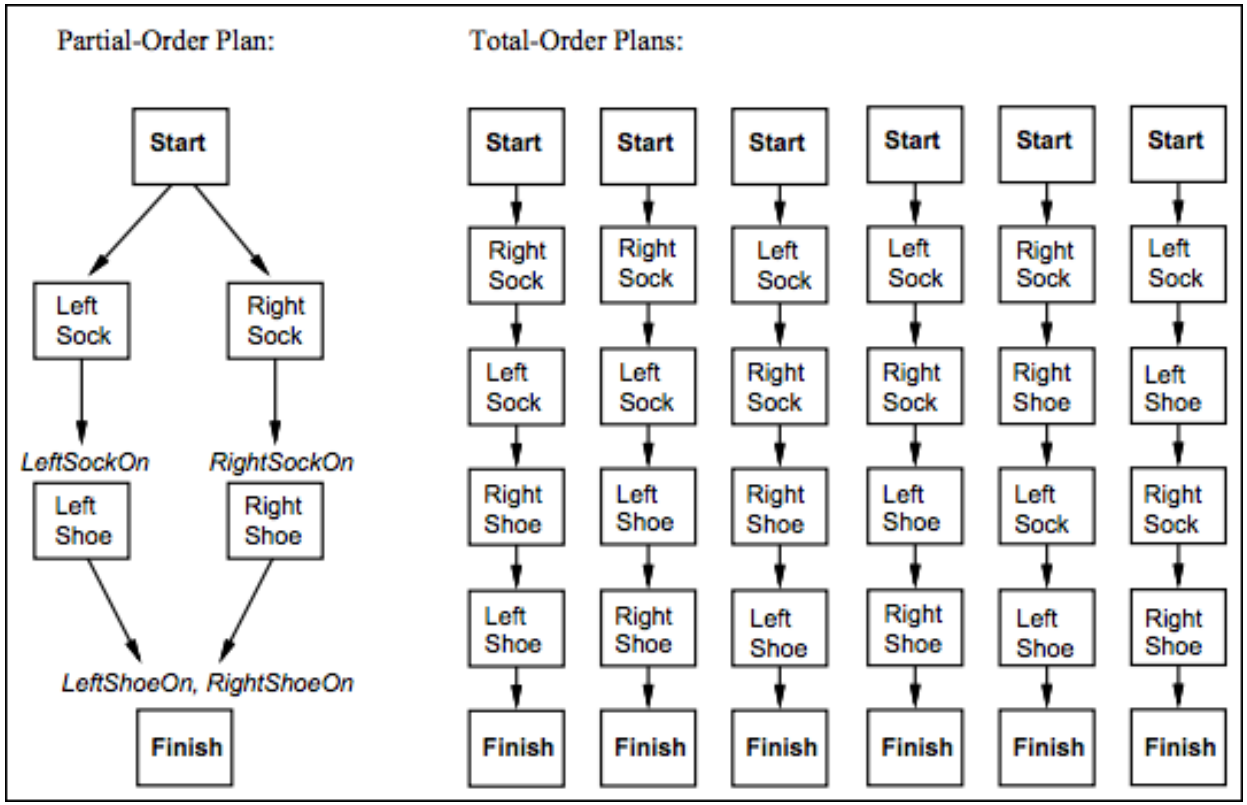
Exemplo: sapatos

Goal(RightShoeOn, LeftShoeOn)
Init()
Action(RightShoe,
PRECOND: RightSockOn
EFFECT: RightShoeOn)
Action(RightSock,
PRECOND:
EFFECT: RightSockOn)
Action(LeftShoe,
PRECOND: LeftSockOn
EFFECT: LeftShoeOn)
Action(LeftSock,
PRECOND:
EFFECT: LeftSockOn)

- Planeador: combinar duas sequêncais de acções:
  - LeftSock, LeftShoe
  - RightSock, RightShoe

Planeamento de Ordem Parcial

- Qualquer algoritmo de planeamento que coloque duas acções num plano sem indicar qual deve ser executada primeiro é um Planeador de Ordem Parcial.



Planos Parciais

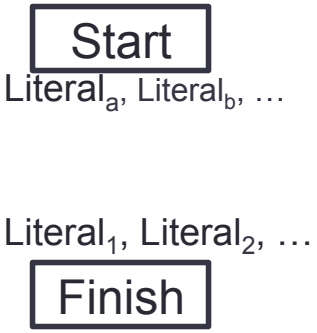
- Cada plano tem 4 componentes:
  - Um conjunto de acções (passos do plano)
  - Um conjunto de restrições de ordenação entre pares de ações A<B
    - A<B lê-se "A antes de B", mas não necessariamente imediatamente antes de B
    - Ciclos representam contradições: A<B, B<C, C<A
  - Um conjunto de ligações causais (intervalos de protecção) entre acções ($A \xrightarrow{p} B$) (entre o efeito p de uma acção e a precondição p de outra acção)
    - $A \xrightarrow{p} B$ lê-se "A obtem p para B" e p deve manter-se verdadeiro desde o momento em que a acção A é executada até ao memento em que a acção B é executada.
  - Um conjunto de pre-condições abertas
    - Se a precondição não foi atingida por uma acção no plano.
    - Uma pre-condição encontra-se alcançada sse é o efeito de um passo anterior e nenhum passo possivelmente interveniente a contraria.
    - Os planeadores reduzem o conjunto de pre-condições sem introduzir contradições.

Planos Parciais

- Um plano é consistente sse
  - não tem ciclos nas restrições de ordenação
  - Não tem conflitos nas ligações causais
- Um plano consistente sem pre-condições abertas é uma solução.

Planeamento de Ordem Parcial (POP) como um problema de pesquisa

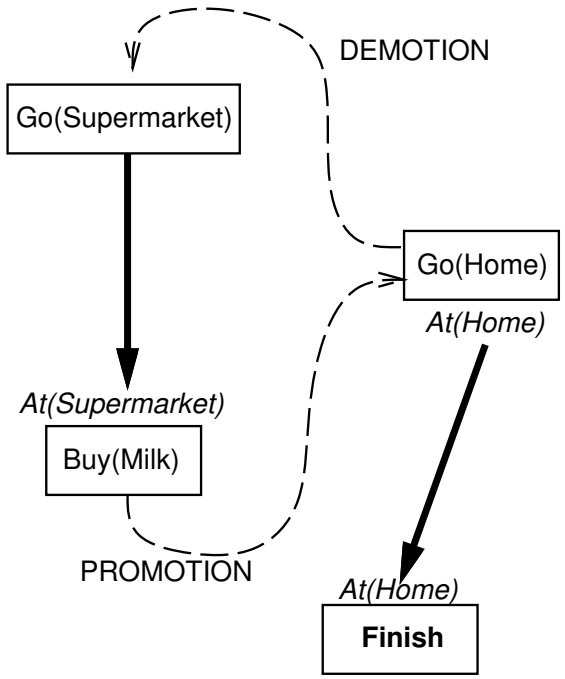
- O plano inicial contém:
  - As acções Start e Finish
    - Start desceve o estado inicial como os seus efeitos
    - Finish descreve o objectivo como as suas pre-condições
  - A restrição de ordenação Start<Finish
  - Nenhuma ligação causal
  - Todas as pre-condições de Finish estão abertas



- Função Sucessora:
  - Escolher uma pre-condição aberta p de uma acção B e gerar um plano sucessor para cada possibilidade consistente de escolher uma acção A que alcance p. Aquando da geração de um plano sucessor:
    - A ligação causal $A \xrightarrow{p} B$ e as restrições de ordenação A<B e Start<A são adicionadas ao plano.
    - Devem ser resolvidos conflitos entre a nova ligação causal e todas as acções existentes
    - Devem ser resolvidos conflitos entre a acção A (se for nova) e todas ligações causais existentes
- Objectivo: não haver pré-condições abertas

Resolução de Conflitos

- Um passo é uma ameaca (conflituante) quando potencialmente destroi uma condicão já alcancada por uma ligação causual. E.g., Go(Home) é uma ameaça a At(Supermarket):



- Despromoção
  - colocar antes de Go(Supermarket)
- Promoção
  - colocar depois de Buy(Milk)

- O teste de consistência assegura que não foram introduzidos ciclos nas relações de ordem temporais.

Algoritmo POP

```
function POP(initial, goal, operators) returns plan
    plan ← MAKE-INITIAL-PLAN(initial, goal)
    loop do
        if SOLUTION?(plan) then return plan
        S_need, c ← SELECT-SUBGOAL(plan)
        CHOOSE-OPERATOR(plan, operators, S_need, c)
        RESOLVE-THREATS(plan)
    end
```

```
function SELECT-SUBGOAL(plan) returns S_need, c
    pick a plan step S_need from STEPS(plan)
        with a precondition c that has not been achieved
    return S_need, c
```

Algoritmo POP

procedure CHOOSE-OPERATOR($plan, operators, S_{need}, c$)

choose a step S_{add} from $operators$ or STEPS($plan$) that has c as an effect
if there is no such step **then fail**
add the causal link $S_{add} \xrightarrow{c} S_{need}$ to LINKS($plan$)
add the ordering constraint $S_{add} \prec S_{need}$ to ORDERINGS($plan$)
if S_{add} is a newly added step from $operators$ **then**
    add S_{add} to STEPS($plan$)
    add $Start \prec S_{add} \prec Finish$ to ORDERINGS($plan$)

---

procedure RESOLVE-THREATS($plan$)

for each S_{threat} that threatens a link $S_i \xrightarrow{c} S_j$ in LINKS($plan$) **do**
    choose either
        Demotion: Add $S_{threat} \prec S_i$ to ORDERINGS($plan$)
        Promotion: Add $S_j \prec S_{threat}$ to ORDERINGS($plan$)
    if not CONSISTENT($plan$) **then fail**
end

Exemplo: pneu sobresselente

Init(At(Flat, Axle) ∧ At(Spare,Trunk))

Goal(At(Spare,Axle))

Action(Remove(Spare,Trunk)
PRECOND: At(Spare,Trunk)
EFFECT: ¬At(Spare,Trunk) ∧ At(Spare,Ground))

Action(Remove(Flat,Axle)
PRECOND: At(Flat,Axle)
EFFECT: ¬At(Flat,Axle) ∧ At(Flat,Ground))

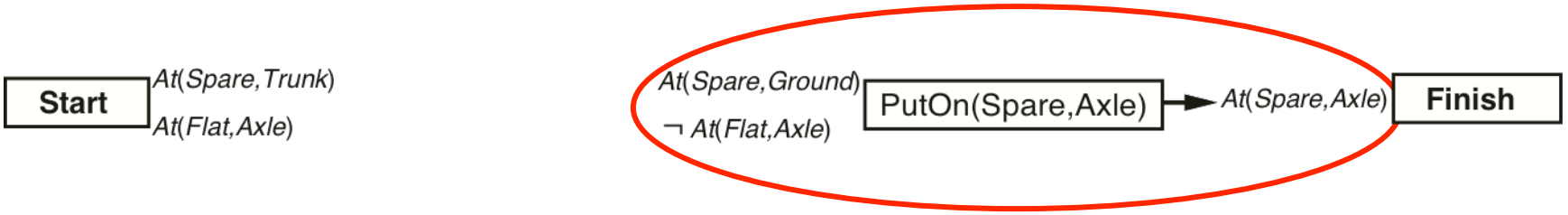
Action(PutOn(Spare,Axle)
PRECOND: At(Spare,Groundp) ∧¬At(Flat,Axle)
EFFECT: At(Spare,Axle) ∧ ¬At(Spare,Ground))

Action(LeaveOvernight
PRECOND:
EFFECT: ¬ At(Spare,Ground) ∧ ¬ At(Spare,Axle) ∧ ¬ At(Spare,trunk) ∧
¬At(Flat,Ground) ∧ ¬ At(Flat,Axle))

Exemplo: pneu sobresselente

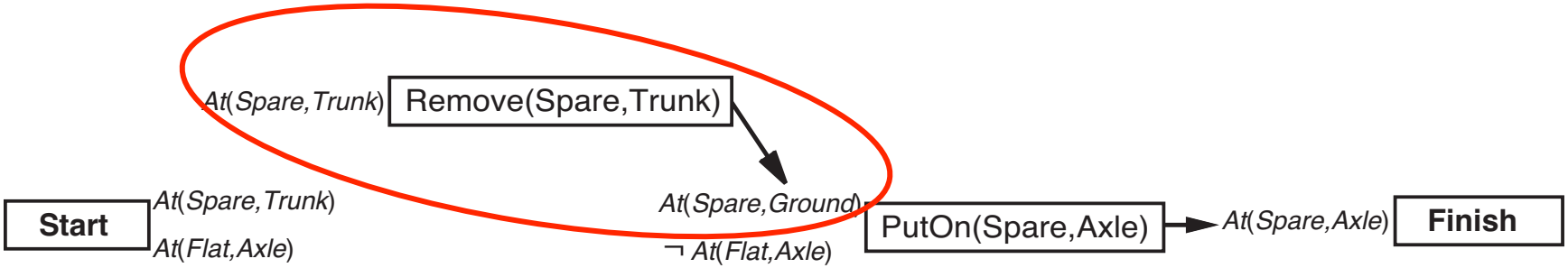
- Plano Inicial: Start com EFFECTS (estado inicial) e Finish com PRECOND (objectivo).

Exemplo: pneu sobresselente



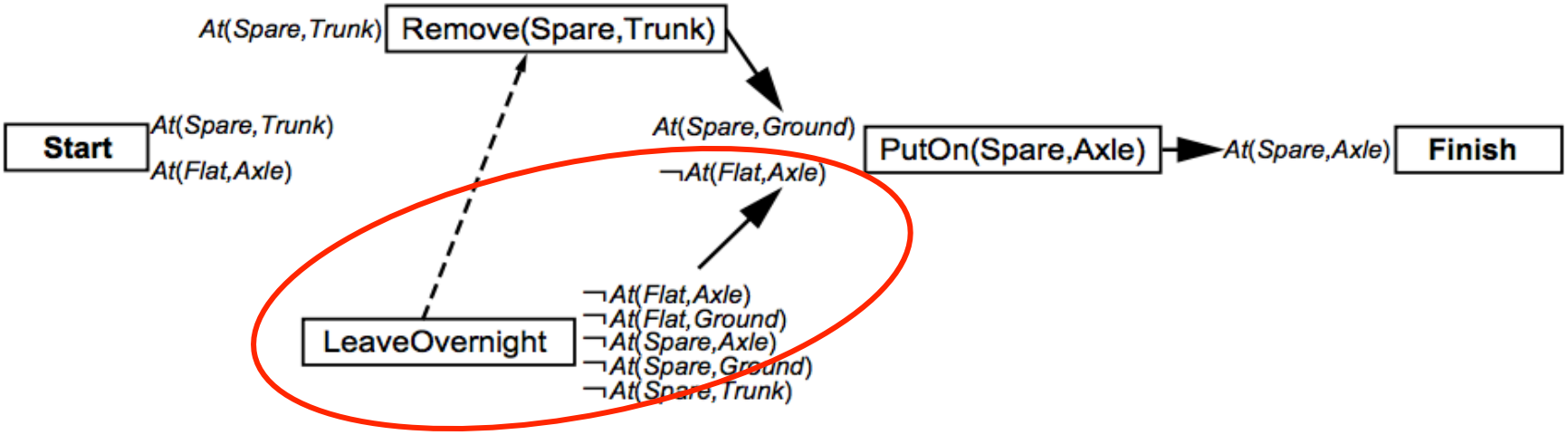
- Escolher uma precondição aberta: At(Spare,Axle)
- Escolher acção aplicável: PutOn(Spare,Axle)
- Adicional ligação causal: $PutOn(Spare, Axle) \xrightarrow{At(Spare, Axle)} Finish$
- Adicionar Restrição de ordenação: PutOn(Spare,Axle) < Finish

Exemplo: pneu sobresselente



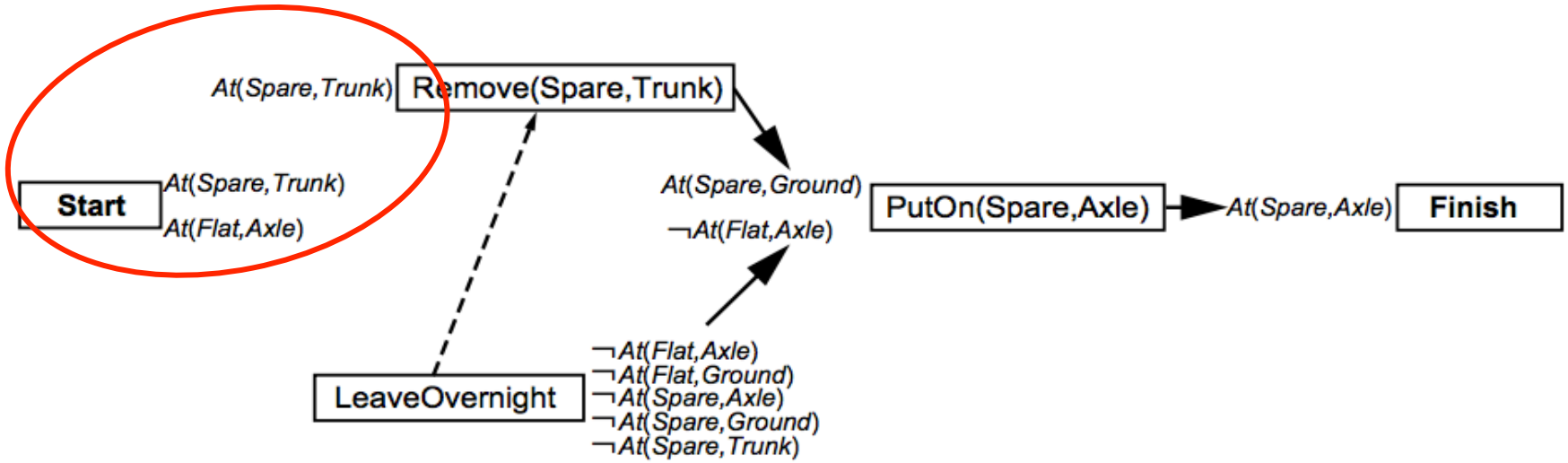
- Escolher uma precondição aberta: At(Spare,Ground)
- Escolher acção aplicável: Remove(Spare,Trunk)
- Adicional ligação causal: $Remove(Spare,Trunk) \xrightarrow{At(Spare,Ground)} PutOn(Spare,Axle)$
- Adicionar Restrição de ordenação: Remove(Spare,Trunk) < PutOn(Spare,Axle)

Exemplo: pneu sobresselente



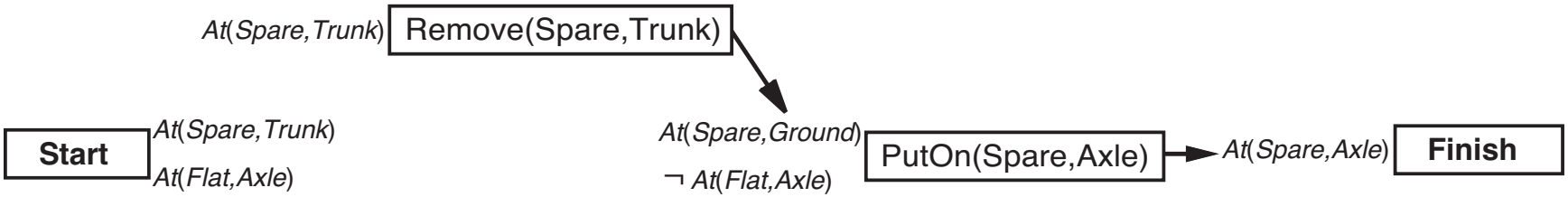
- Escolher uma precondição aberta: ¬At(Flat,Axle)
- Escolher acção aplicável: LeaveOvernight
- Adicional ligação causal: $LeaveOvernight \xrightarrow{\neg At(Flat,Axle)} PutOn(Spare,Axle)$
- Conflito: $Remove(Spare,Trunk) \xrightarrow{At(Spare,Ground)} PutOn(Spare,Axle)$
- Para resolver, adicionar restrição: LeaveOvernight < Remove(Spare,Trunk)

Exemplo: pneu sobresselente

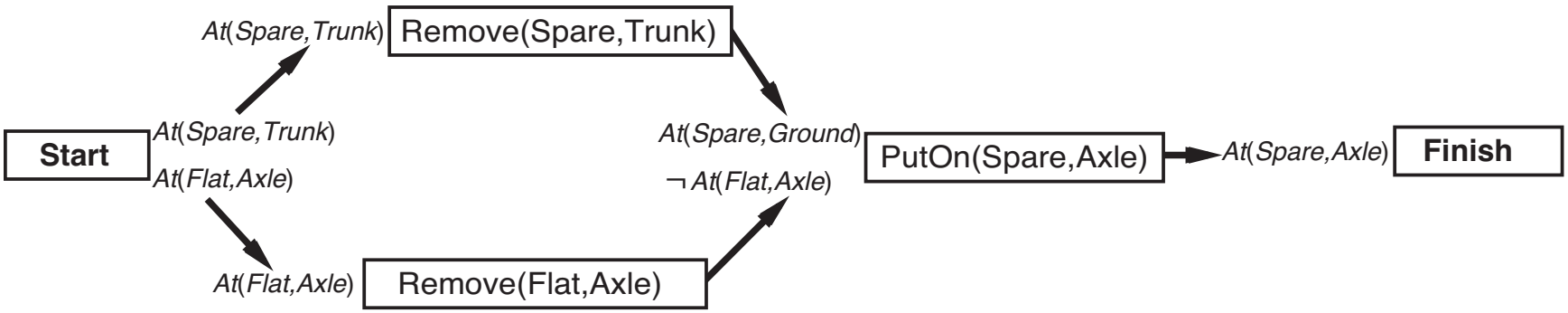


- Escolher uma precondição aberta: At(Spare,Trunk)
- Escolher acção aplicável: Start
- Adicional ligação causal: $Start \xrightarrow{At(Spare,Trunk)} Remove(Spare,Trunk)$
- Conflito: ligação causal com efeito ¬At(Spare,Trunk) em LeaveOvernight
  - Não há reordenação possível!
- Backtrack!

Exemplo: pneu sobresselente



Exemplo: pneu sobresselente

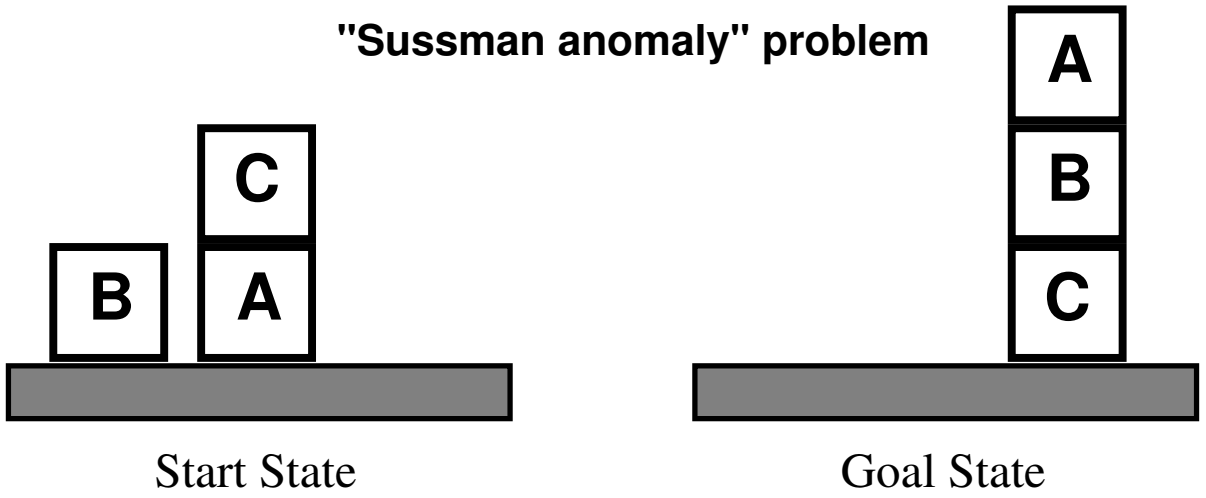


- Resultado final.

Propriedades do POP

- Algoritmo não-determinista: retrocede no caso de falha para pontos de escolha:
  - escolha de S_{add} para alcancar S_{need}
  - escolha de promoção ou despromoção
  - selecção de S_{need} é irrevogavel
- POP é solido, completo, e sistemático (sem repetições)
- Extensões para disjunção, universais, negação e condicionais na definição dos operadores (linguagem ADL).
- POP decompõe o problema, particularmente bom para problemas com muitos sub-objectivos fracamente interligados
- Não representa os estados explicitamente:
  - Difícil desenhar heurísticas para estimar distancia ao objectivo.
- Uma heurística pode ser usada para escolher a condição a satisfazer:
  - Escolher a mais restritiva i.e. a satisfeita pelo menor número de acções
  - Retroceder quando não houver acções que satisfaçam uma pre-condição, mesmo que não haja conflito
- Consegue-se eficiência com boas heurísticas derivadas da descrição do problema (ver mais à frente…)

Exemplo: mundo dos blocos



Clear(x) On(x,z) Clear(y)

PutOn(x,y)

~On(x,z) ~Clear(y)
Clear(z) On(x,y)

Clear(x) On(x,z)

PutOnTable(x)

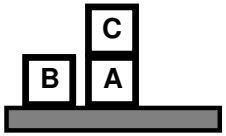
~On(x,z) Clear(z) On(x,Table)

+ several inequality constraints

Exemplo: mundo dos blocos

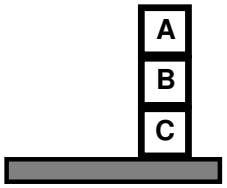
START

On(C,A) On(A,Table) Cl(B) On(B,Table) Cl(C)

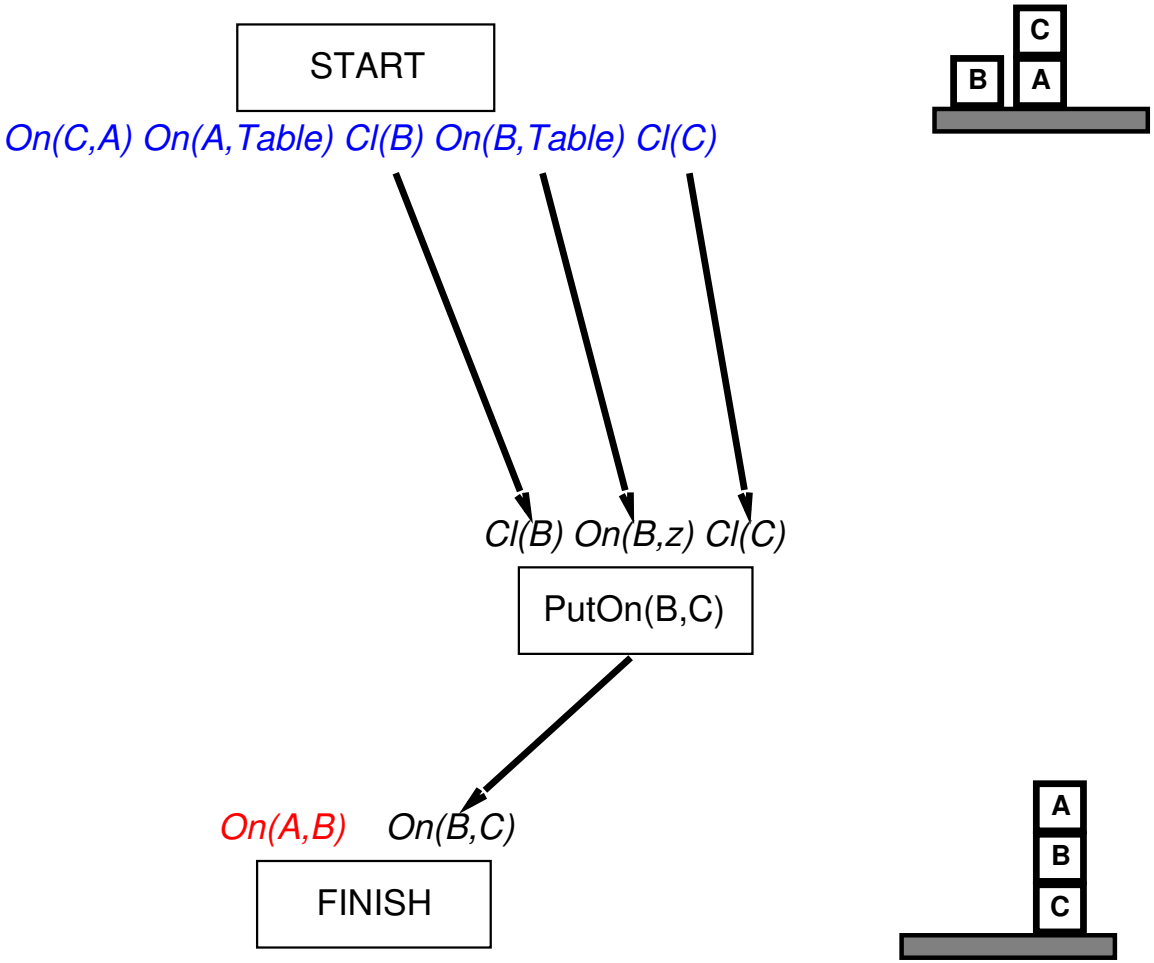


On(A,B) On(B,C)

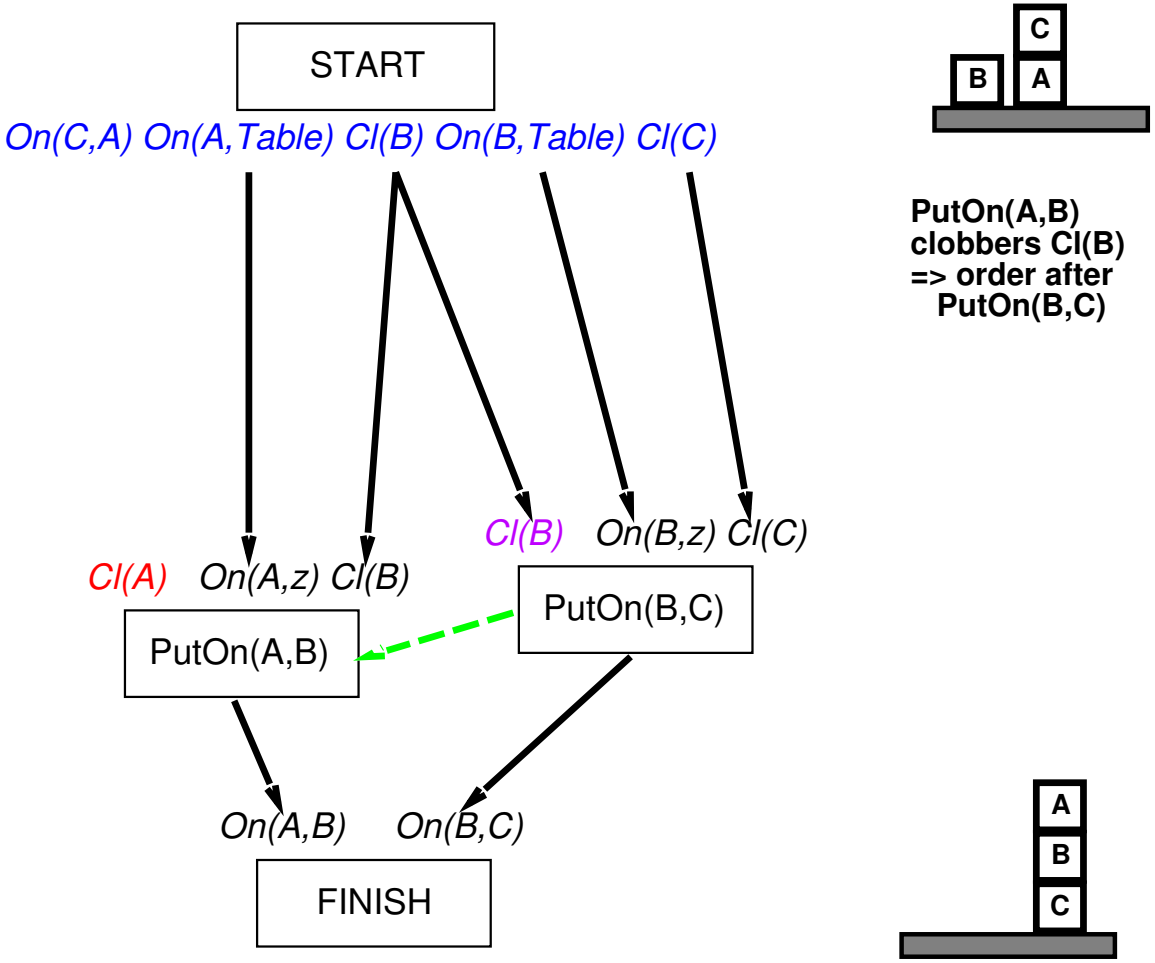
FINISH



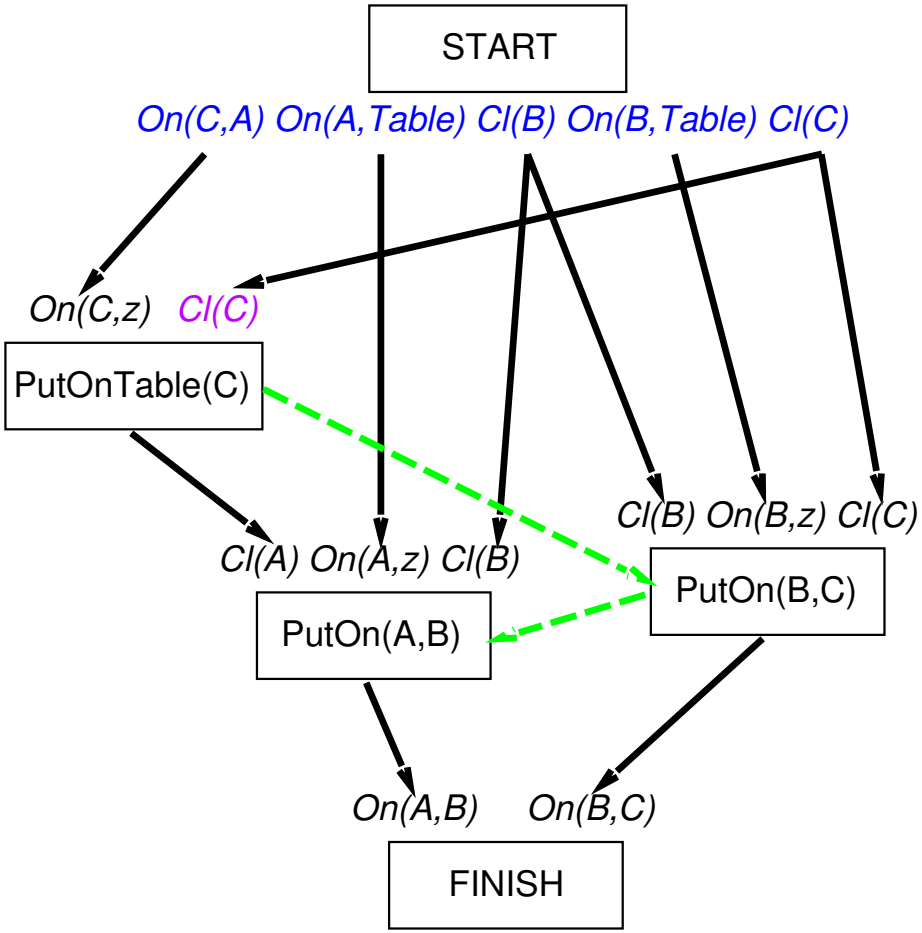
Exemplo: mundo dos blocos

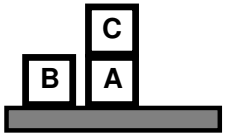


Exemplo: mundo dos blocos



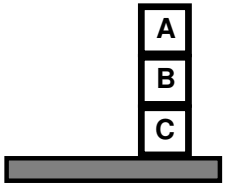
Exemplo: mundo dos blocos





PutOn(A,B) clobbers Cl(B) => order after PutOn(B,C)

PutOn(B,C) clobbers Cl(C) => order after PutOnTable(C)



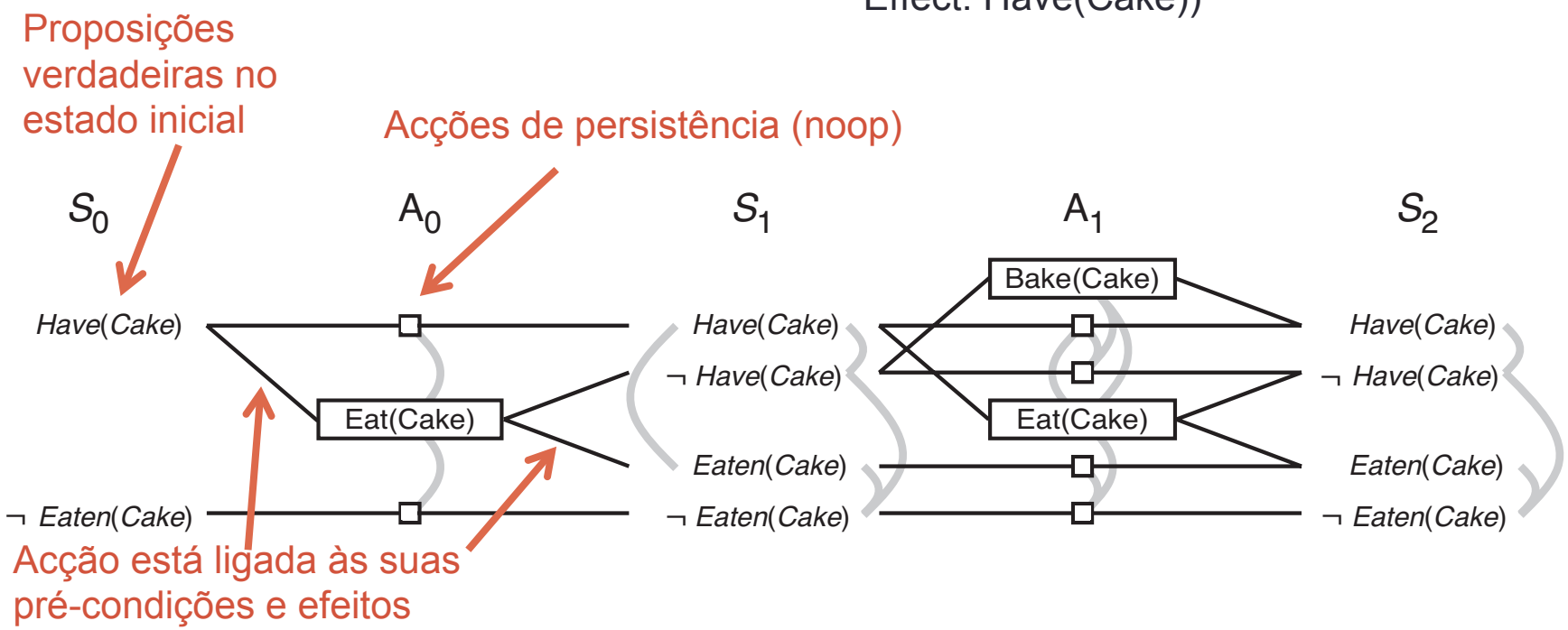
Grafos de Planeamento

- Estruturas de dados especiais usadas para:
  - Derivar melhores heurísticas e.g. para o POP
  - Extrair soluções para o problema de planeamento (algoritmo GRAPHPLAN)

Exemplo: Grafo de Planos

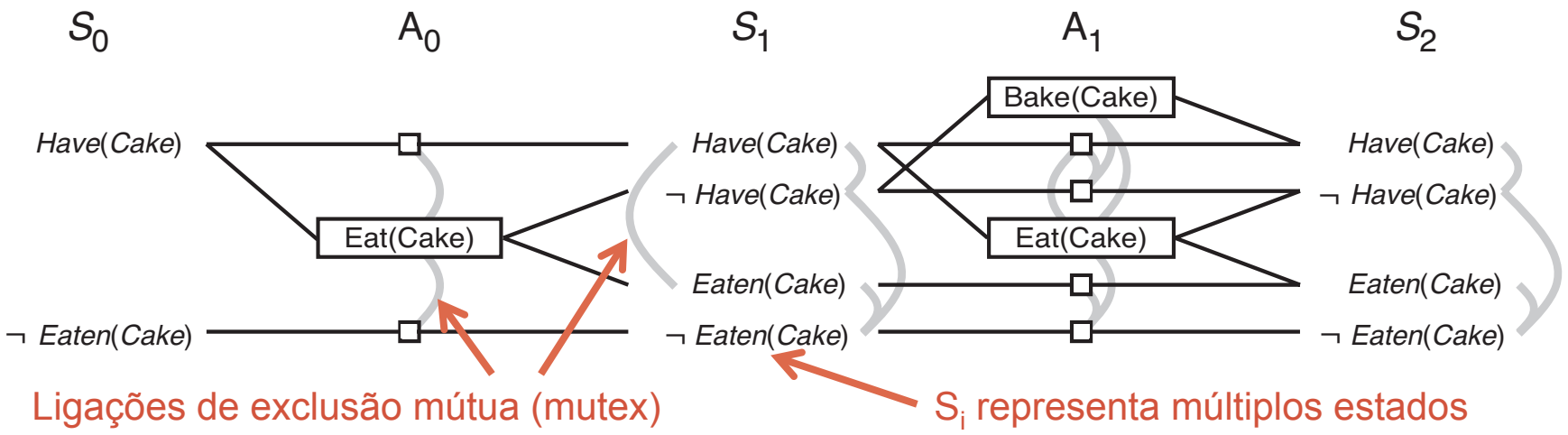
Init(Have(Cake))
Goal(Have(Cake)∧Eaten(Cake))

Action(Eat(Cake)
  Precond: Have(Cake)
  Effect: ¬Have(Cake)∧Eaten(Cake))
Action(Bake(Cake)
  Precond: ¬Have(Cake)
  Effect: Have(Cake))



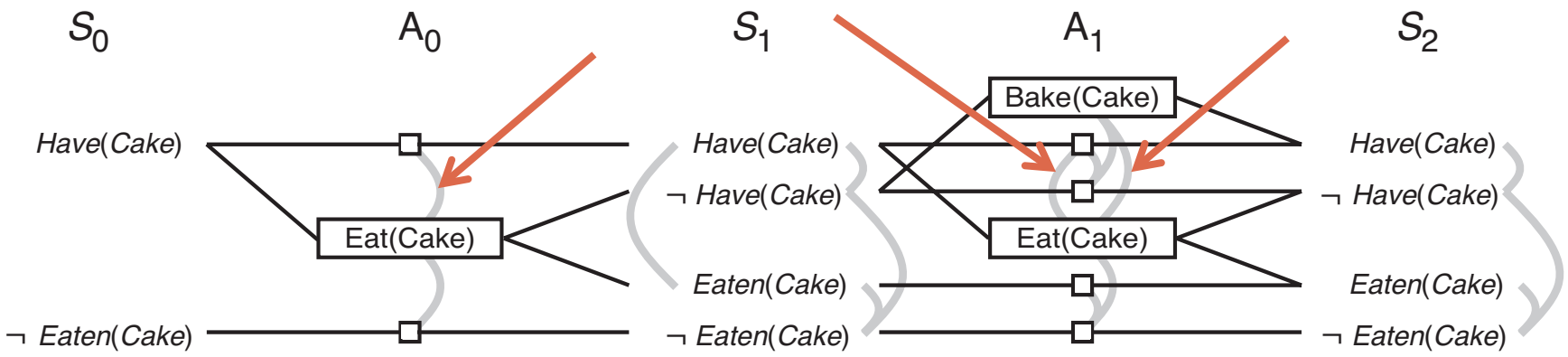
Exemplo: Grafo de Planos

- Em cada nível de estados, listar todos os literais que podem ser verdadeiros nesse estado
- Em cada nível de acções, listar todas as no-ops e todas as ações cujas pré-condições podem ser verdadeiras em estados anteirores
- Repetir até que o plano “estabilize” (chegue a um ponto fixo) i.e. quando novos literais não aparecem (S_i=S_{i+1})
- Construir o Grafo de Planos é um processo polinomial
- Adicionar ligações (binárias) de exclusão mútua (mutex) entre acções em conflito e entre literais em conflito.



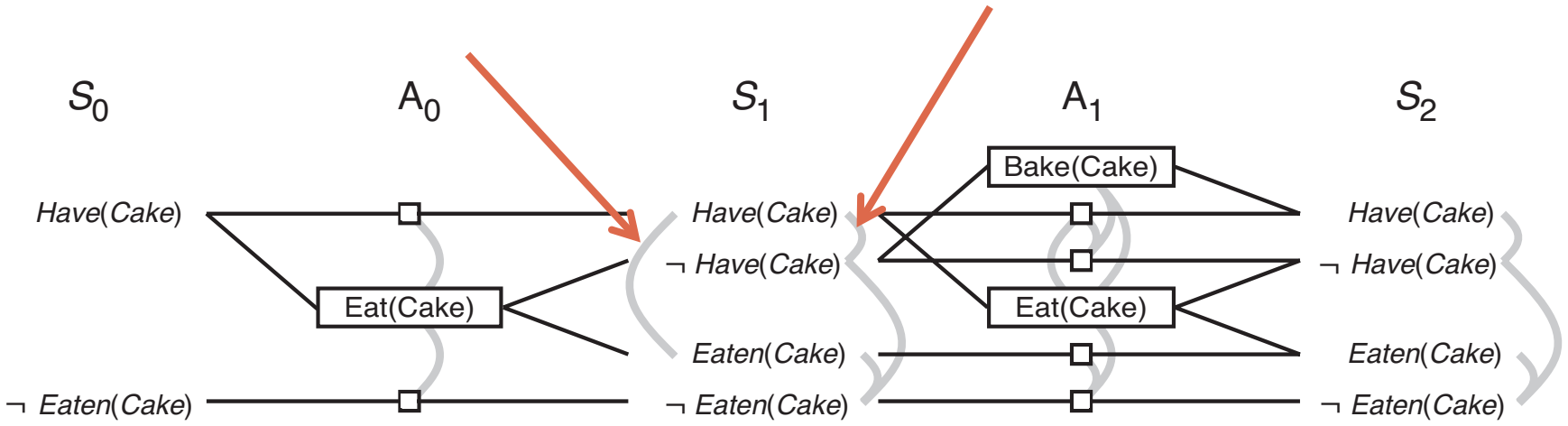
Ligações mutex entre acções

1. Efeitos inconsistentes: uma acção nega o efeito de outra
   - Eat(Cake) e noop de Have(Cake) discordam no efeito Have(cake)
2. Interferência: uma acção nega a pré-condição de outra
   - Eat(Cake) nega a pré-condição da noop de Have(Cake)
3. Competição de recursos: a pré-condição de uma ação é mutex com a pré-condição de outra
   - Bake(Cake) e Eat(Cake): competem na pré-condição Have(Cake)



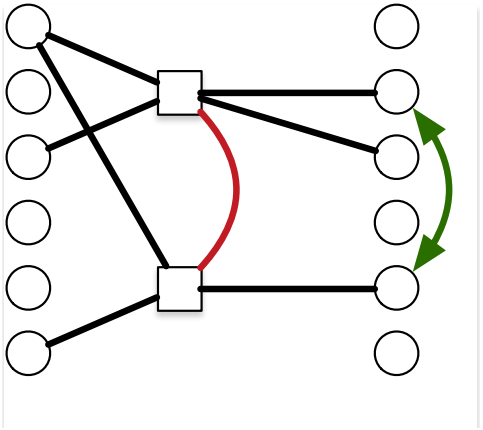
Ligações mutex entre literais

1. Complementaridade: Os dois literais são a negação um do outro
2. Suporte inconsistente: Todo o par de acções que consegue atingir os dois literais é mutex:
   - Em S_1, Have(Cake) e Eaten(Cake) são mutex
   - Em S_2, os mesmos literais não são mutex pois Bake(Cake) e a no-op de Eaten(Cake) não são mutex.

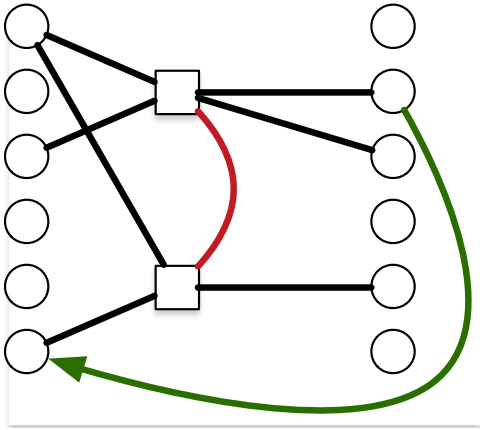


Ligações Mutex (resumo)

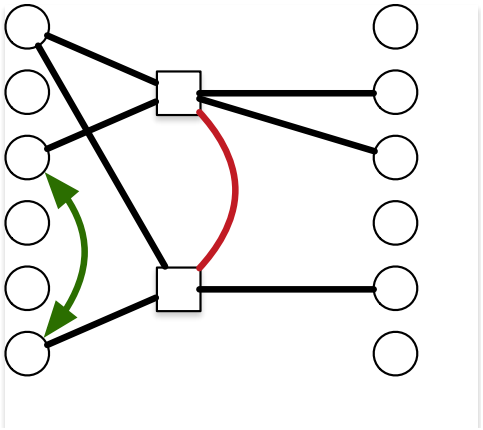
Efeitos Inconsistentes



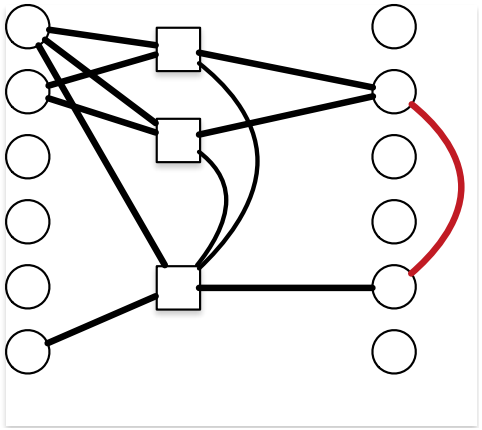
Interferência



Competição de Recursos



Suporte Inconsistente



Grafos de Planos para estimação de heurísticas

- O grafo de planeamento pode ser gerado em tempo polinomial e termina sempre após um número finito de passos:
  - Critério de paragem: quando dois níveis são idênticos.
- Pode-se utilizar o grafo de planeamento para obter heurísticas para o POP.
- Constrói-se o grafo de planeamento até obter um nível de estado em que todos os objectivos sejam alcançados e não sejam mutex dois a dois.

Grafos de Planos para estimação de heurísticas

- Um literal que não aparece no nível final não pode ser atingido por qualquer plano
  - Planeamento por Pesquisa em espaço de estados: qualquer estado contendo um literal não atingível tem um custo $h(n)=\infty$
  - POP: Qualquer plano com uma condição aberta não atingível tem um custo $h(n)=\infty$
- A estimativa de custo de qualquer literal é o primeiro nível em que ele aparece
  - Estimativa é admissível para literais individuais
  - Estimativa pode ser melhorada serializando o grafo (uma acção por nível), acrescentando mutex entre todas as acções num dado nível
- A estimativa de uma conjunção de literais
  - Três heurísticas: max-level, level sum e set level

Estimativa para um conjunto de literais

- Max-level
  - O nível mais elevado de um literal na conjunção
  - Admissível, mas não muito precisa
- Level sum
  - Assumindo o pressuposto de independência de sub-objectivos, soma o custo dos níveis de cada literal
  - Inadmissível, mas funciona bem em problemas essencialmente decomponíveis
- Set level
  - Encontra o primeiro nível em que os literais aparecem todos sem que qualquer par deles seja mutex.
  - Domina max-level, funciona muito bem em problemas onde existe bastante interação entre sub-planos.

Algoritmo GRAPHPLAN

Também se pode usar o Grafo de Planos para extrair um plano.

GRAPHPLAN(*problem*) **returns** *solution* or *failure*
graph ← INITIALPLANNINGGRAPH(*problem*)
goals ← GOALS[*problem*]
loop do
  if *goals* all non-mutex in last level of graph **then do**
    solution ← EXTRACTSOLUTION(*graph,goals,*LENGTH(*graph*))
    if *solution* ≠ *failure* **then return** *solution*
    else if NOSOLUTIONPOSSIBLE(*graph)* **then return** *failure*
  graph ← EXPANDGRAPH (*graph*,*problem*)

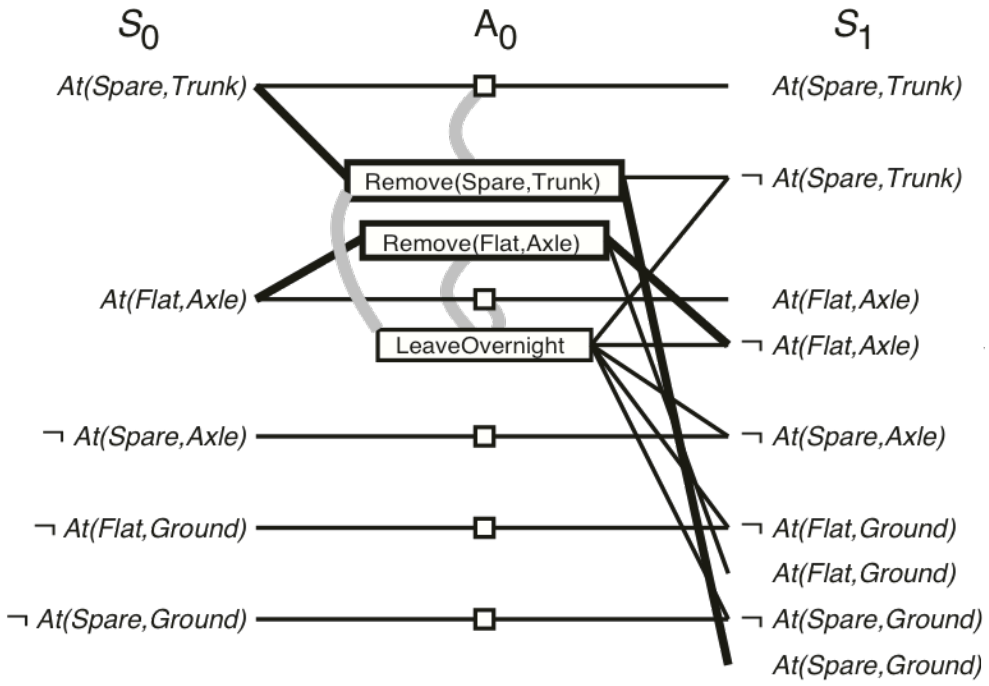
- Duas fases principais
  1. Extraír solução
  2. Expandir o grafo

Exemplo: Execução do GRAPHPLAN

- At(Spare,Axle) não está em S0.
- Não é necessário extrair solução
- Expandir o grafo

Exemplo: Execução do GRAPHPLAN

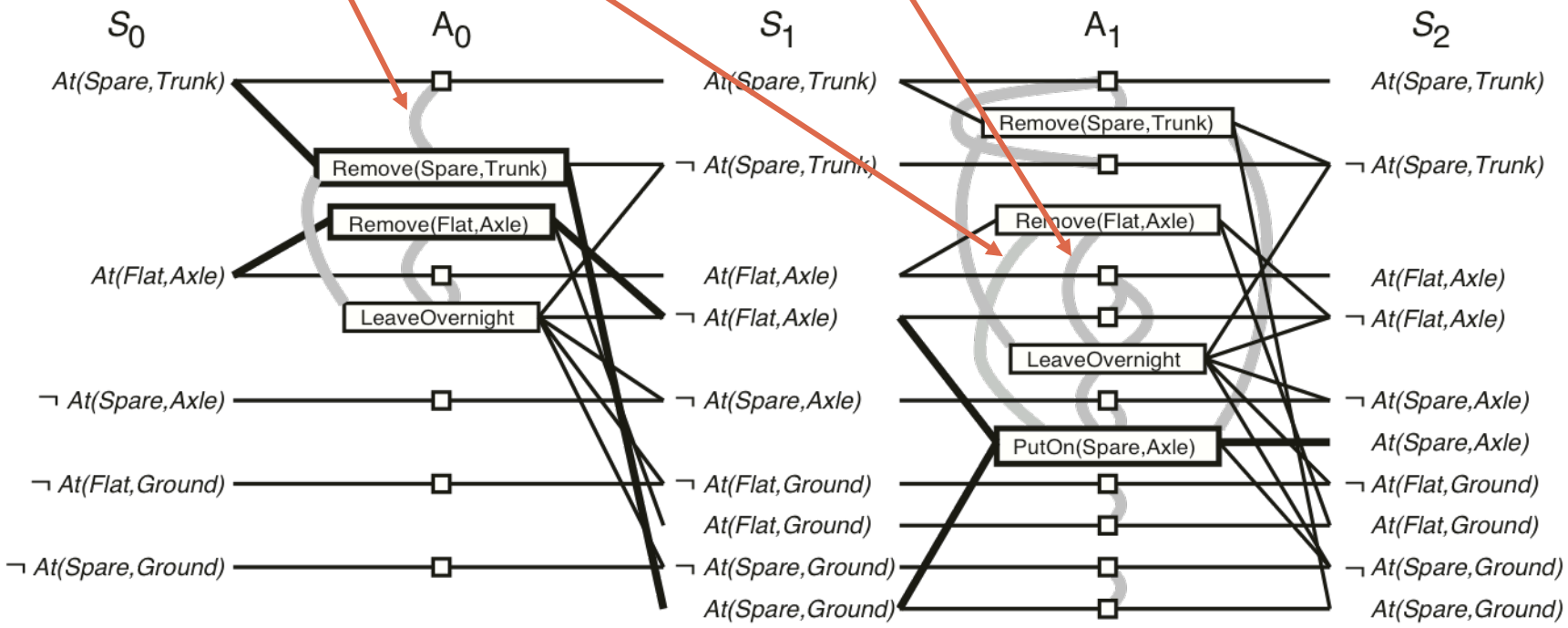
- Três acções são aplicáveis
- Três acções e 5 no-ops são adicionados
- Ligações mutex são adicionadas
  - Nem todas as ligações mutex são ilustradas, para manter o grafo legível…
- At(Spare,Axle) não está em S1.
- Não é necessário extrair solução
- Expandir o grafo



Exemplo: Execução do GRAPHPLAN

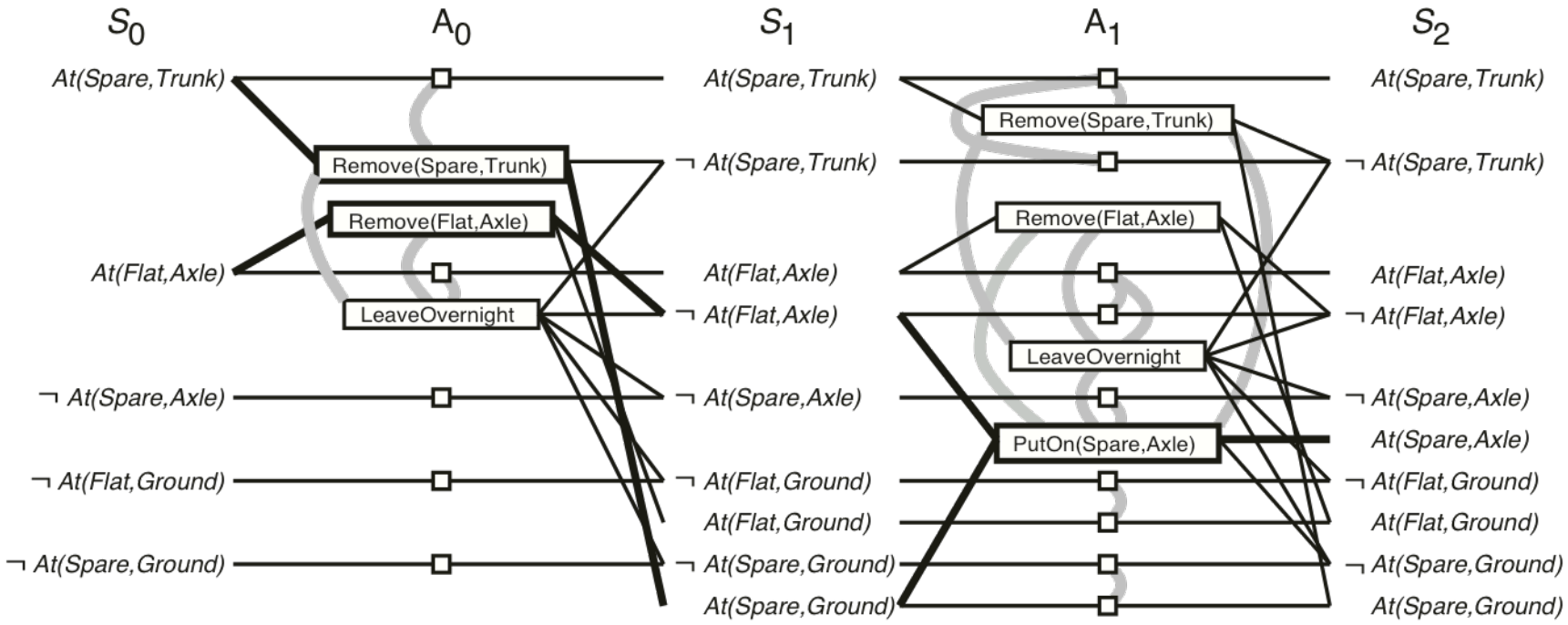
- O grafo de planos ilustra bem as ligações mutex:
  - Efeitos inconsistentes, interferência, competição de recursos, suporte inconsistente.

não ilustrado…



Extracção da Solução

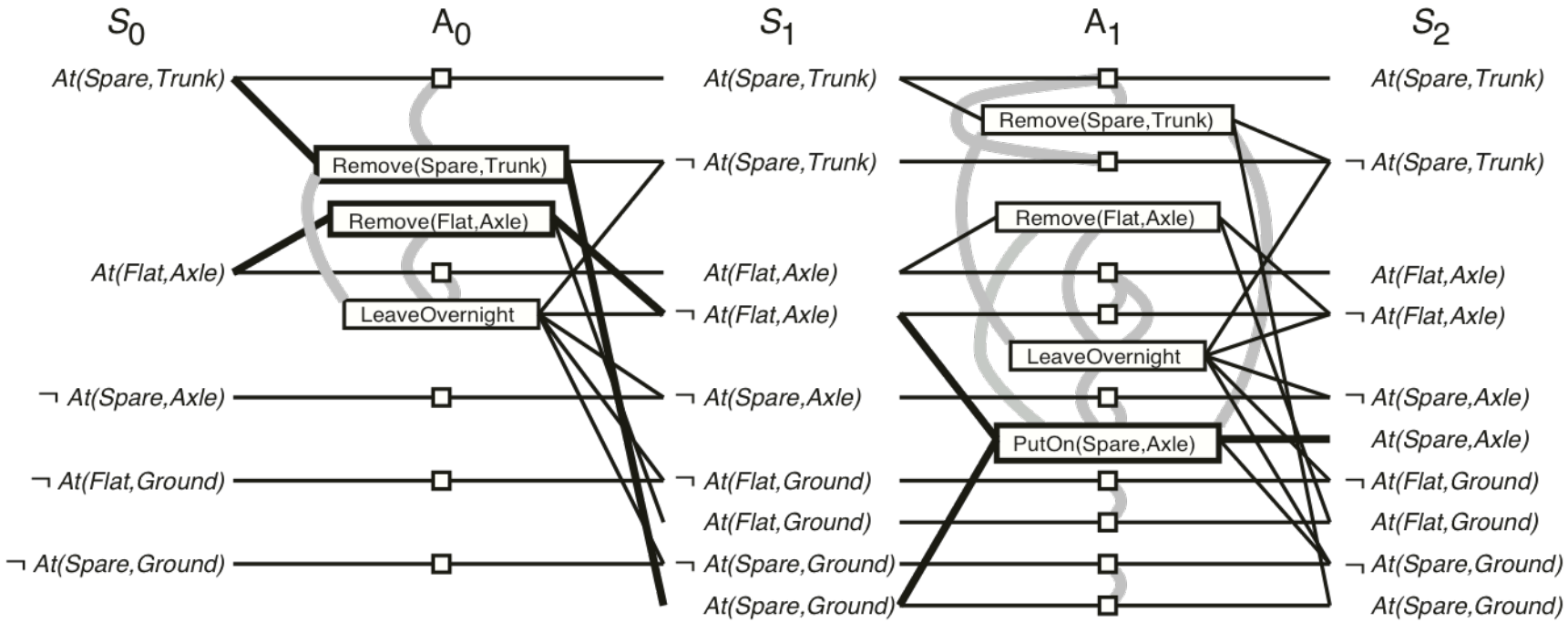
1. Resolver um problema de satsfação de restrições (CSP): variáveis são as acções, domínios são {0=fora do plano, 1=no plano}, restrições são as ligações mutex; ou
2. Procura por retrocesso a partir do último nível.



Extração da Solução com procura por retrocesso

- Começando no último nível de estado
  - Cada objectivo é colocado numa lista de objectivos para o nível de estado corrente
  - A pesquisa itera por todos os factos na lista de objectivos, tentando encontrar uma ação que o suporte e que não seja mutex com qualquer outra acção escolhida
  - Quando uma ação é escolhida, as suas pré-condições são adicionadas à lista de objectivos do nível abaixo
  - Quando todos os factos na lista de objectivos do nível corrente têm uma atribuição consistente de acções, a procura passa para o nível seguinte
- A procura retrocede (backtrack) ao nível anterior se não consegue atribuir uma acção a cada facto da lista de objectivos num dado nível.
- A procura sucede quando o primeiro nível é atingido.

Extracção da Solução



Terminação do GRAPHPLAN

- O GRAPHPLAN termina
  - Literais aumentam monotonicamente
  - Acções aumentam monotonicamente
  - Mutexes decrescem monotonicamente
- É garantido que uma solução não existe quando:
  - Grafo estabiliza com todos os objectivos presentes e não-mutex e
  - EXTRACSOLUTION não encontra uma solução.

Optimalidade do GRAPHPLAN

- Os planos gerados pelo GRAPHPLAN
  - São óptimos no número de paços necessários para executar o plano
  - Não são necessariamente óptimos no número de acções no plano (GRAPHPLAN produz planos parcialmente ordenados)

Comparação com POP

- Vantagem: a procura regressiva do GRAPHPLAN— que é a parte difícil—só olha para as acções no grafo de planeamento
  - Espaço de procura mais pequeno do que o do POP, logo mais rápido
- Desvantagem: para gerar o grafo de planeamento, GRAPHPLAN cria um número enorme de literais concretos (instanciados)
  - Muitos deles podem ser irrelevantes
  - Pode-se aliviar este problema (mas não eliminar) atribuindo tipos de dados a variáveis e constantes
    - Só se instanciam variáveis com termos do mesmo tipo de dados

Slides adicionais

- Apresentação alternativa do GRAPHPLAN, com outro exemplo
- Exemplos adicionais do POP

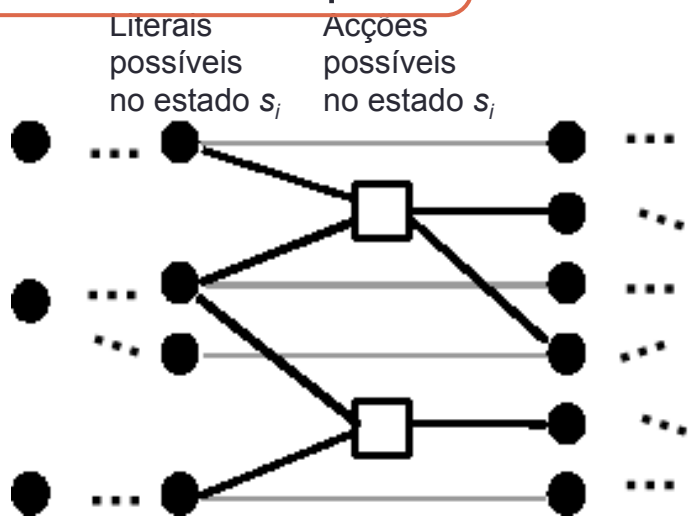
GRAPHPLAN

Graphplan

procedure Graphplan:

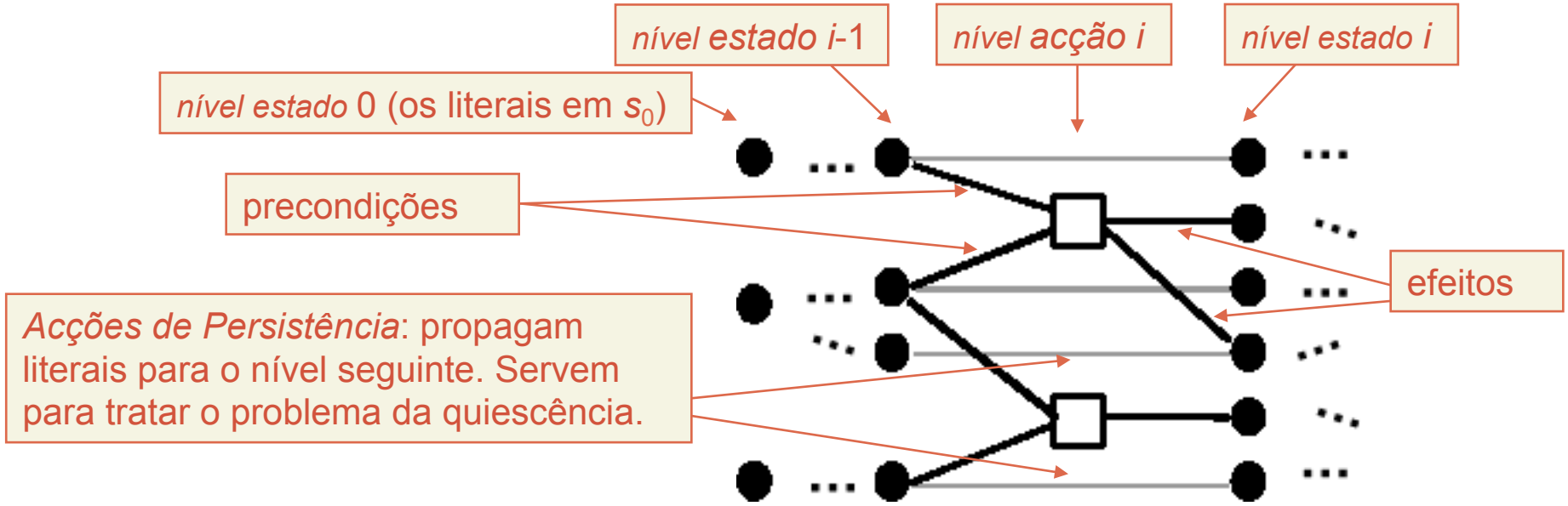
- for k = 0, 1, 2, …
  - *Expansão do grafo:*
    - criar um "grafo de planeamento" contendo k "níveis"
  - Verificar se o grafo de planeamento satisfaz uma condição necessária (mas insuficiente) para a existência de um plano
  - Se satisfizer, então
    - *Extrair solução:*
      - Procura regressiva, modificada para considerar apenas as acções no grafo de planeamento
      - Caso se encontre uma solução, então devolvê-la

problema relaxado



O Grafo de Planeamento

- Camadas alternadas de literais e acções concretos (ground)
  - Todas as acções que possivelmente podem ocorrer em cada instante de tempo
  - Todos os literais produzidos por essas acções



Exemplo

- Suponha-se que pretende preparar um jantar de surpresa para o seu/sua cara-metade (que está a dormir e não deve ser acordado)

  s_0 = {garbage, cleanHands, quiet}

  g = {dinner, present, ¬garbage}

Acção	**Precondições**	**Efeitos**
cook()	cleanHands	dinner
wrap()	quiet	present
carry()	*nenhuma*	¬garbage, ¬cleanHands
dolly()	*nenhuma*	¬garbage, ¬quiet

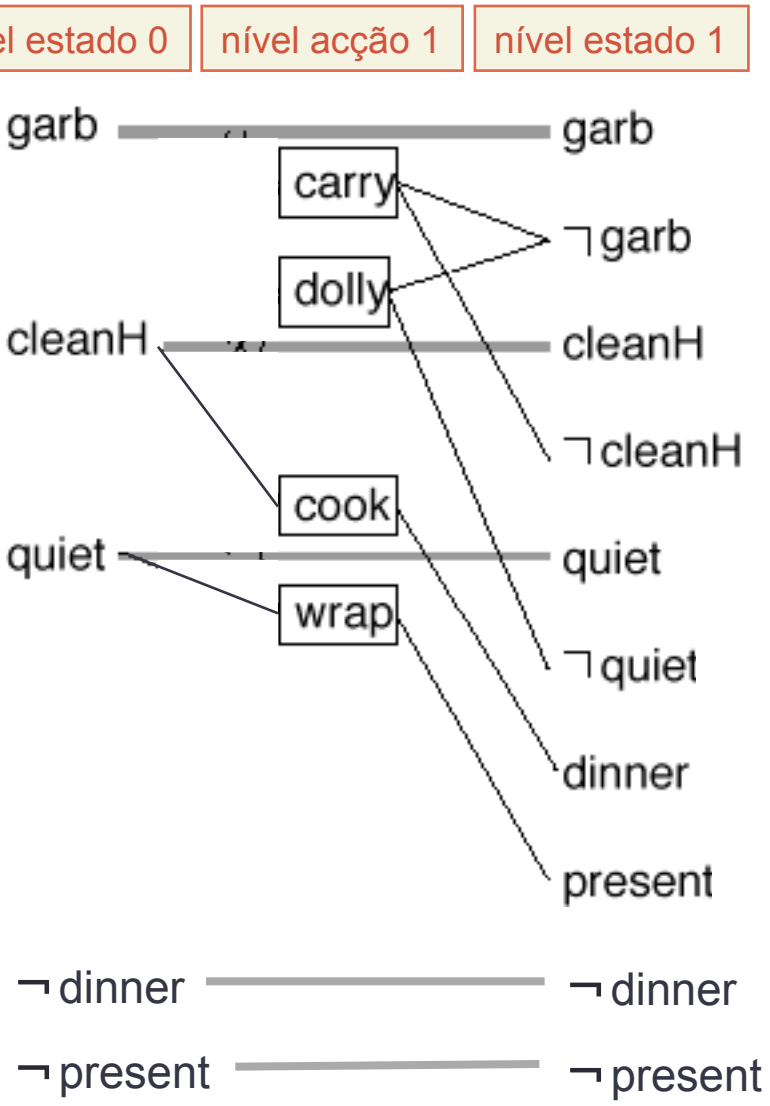
Também se adicionam acções de persistência: uma para cada literal *L*, com precondição *L* e efeito *L*.

Exemplo

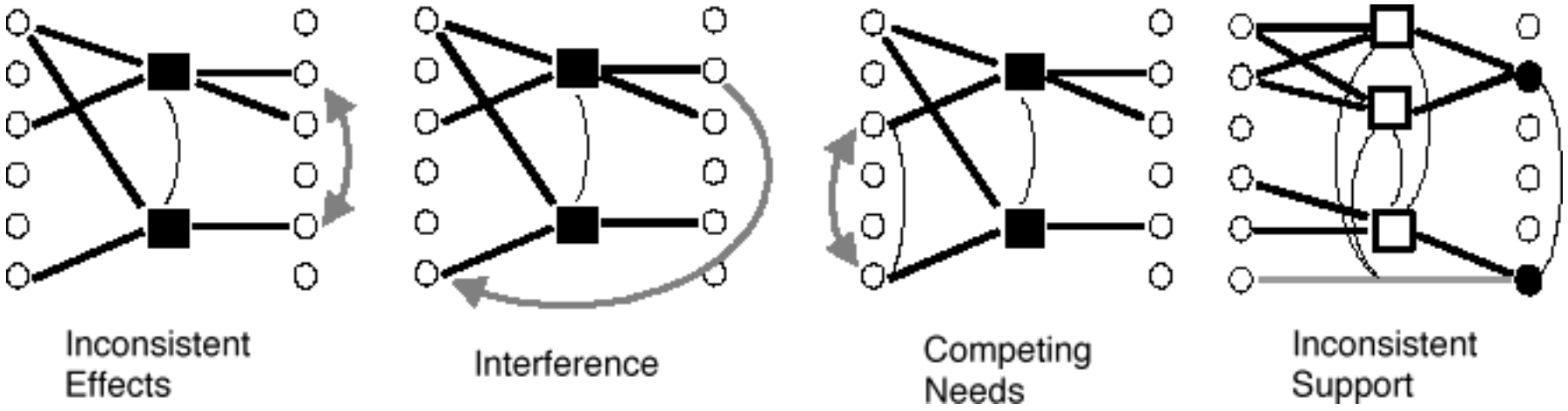
- nível estado 0:
  {todos os átomos em s_0} U
  {negação de todos os átomos não em s_0}
- nível acção 1:
  {todas as acções cujas precondições estão satisfeitas em s_0}
- nível estado 1:
  {todos os efeitos de todas as acções no nível acção 1}

Acção	**Precondições**	**Efeitos**
cook()	cleanHands	dinner
wrap()	quiet	present
carry()	*nenhum*	¬garbage, ¬cleanHands
dolly()	*nenhum*	¬garbage, ¬quiet

Juntamente com as acções de persistência



Exclusão Mútua



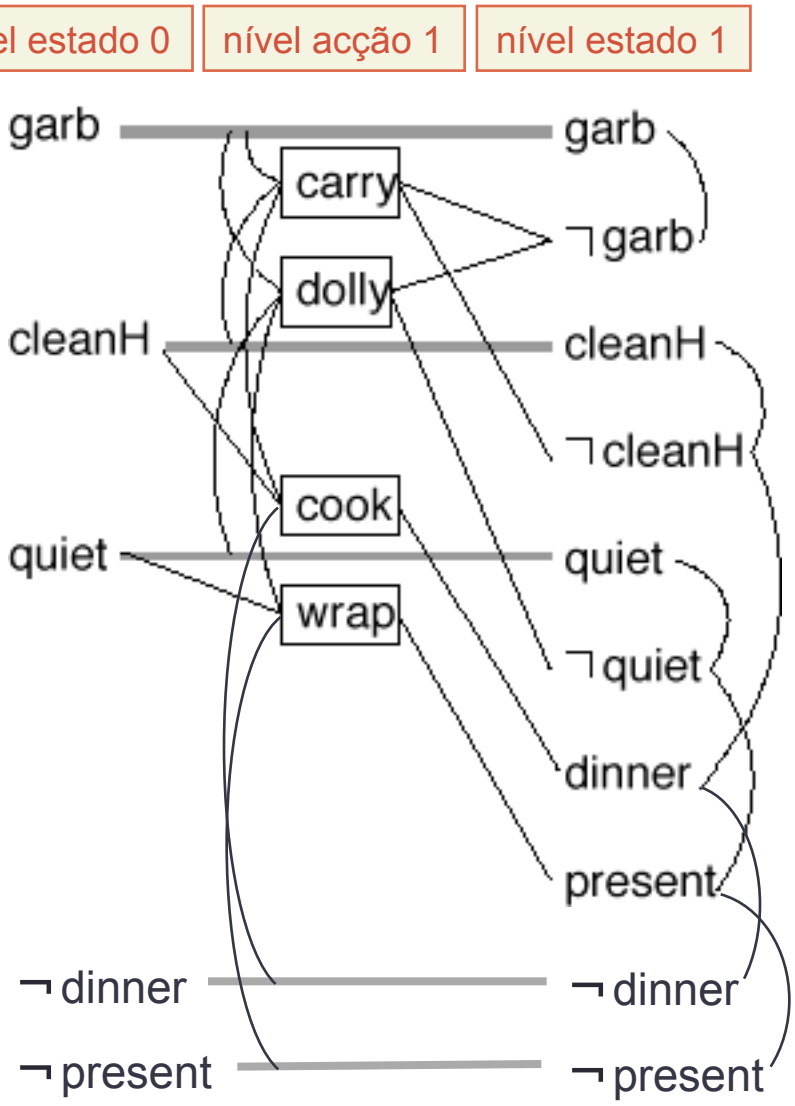
- Duas acções no mesmo nível de acção são mutex se
  - *Efeitos inconsistentes :* o efeito de uma nega o efeito da outra
  - *Interferência:* uma remove a precondição da outra
  - *Necessidades em competição:* têm precondições mutuamente exclusivas
- Caso contrário, não interferem uma com a outra
  - Ambas podem aparecer num plano solução
- Dois literais no mesmo nível estado são mutex se
  - *Suporte inconsistente:* um é a negação do outro, ou todas as maneiras de os alcançar são mutex

Exemplo

- Aumentar o grafo para indicar mutexes
- *carry* é mutex com acção de persistência para *garbage*
  - efeitos inconsistentes
- *dolly* é mutex com *wrap*
  - interferência
- ¬*quiet* é mutex com *present*
  - suporte inconsistente
- quer *cook* quer wrap é mutex com uma acção de persistência

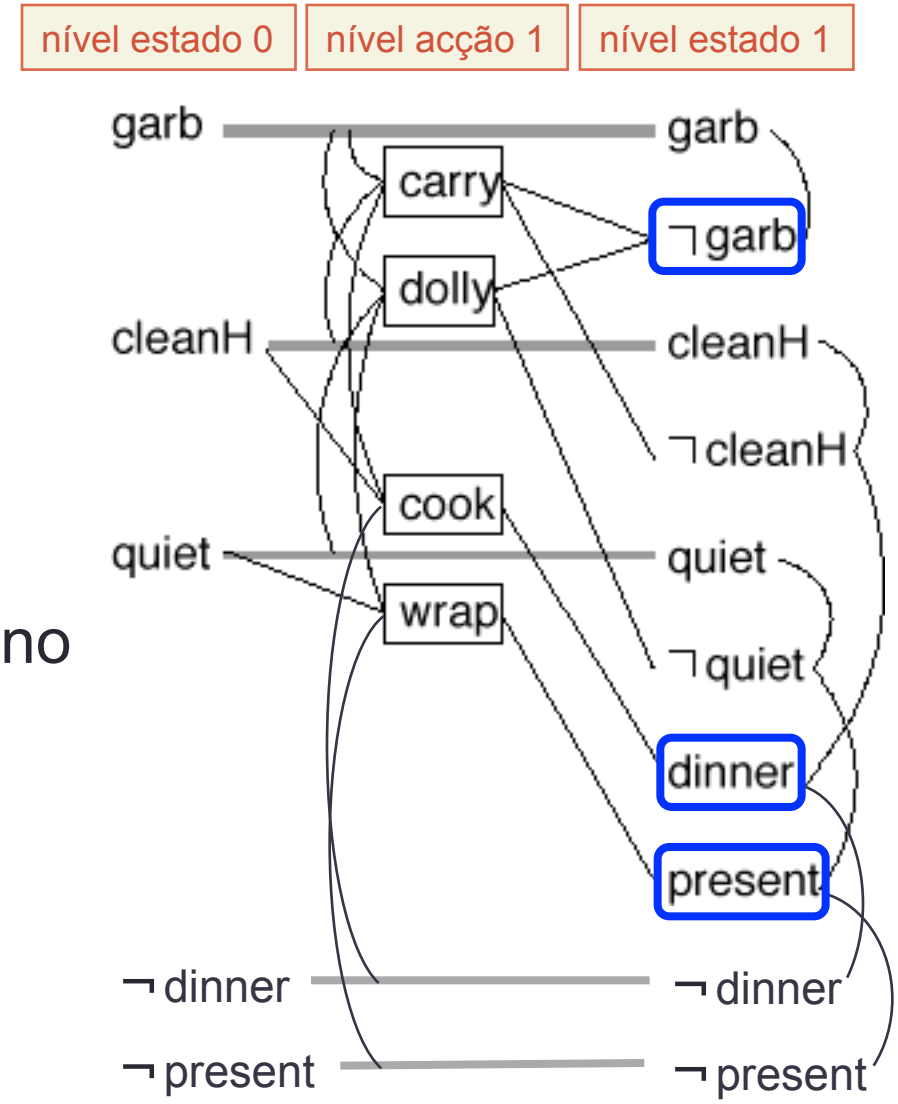
Acção	**Precondições**	**Efeitos**
cook()	cleanHands	dinner
wrap()	quiet	present
carry()	*nenhum*	¬garbage, ¬cleanHands
dolly()	*nenhum*	¬garbage, ¬quiet

Juntamente com as acções de persistência



Exemplo

- Verificar se existe um plano possível
- O objectivo é
  - {¬*garbage, dinner, present*}
- Repare-se que
  - Todos são possíveis em s_1
  - Nenhum é mutex com qq. outro
- Logo, há hipóteses de um plano existir
- Tentar encontrá-lo
  - Extracção da solução



Extracção da solução

Os objectivos que estamos a tentar atingir

O nível de estado s_j

procedure Solution-extraction(*g*,*j*)

se *j*=0 então devolver solução

para cada literal *l* em *g*

escolher não deterministicamente uma acção a usar no estado s_{j-1} para alcançar *l*

Uma acção real ou de persistência

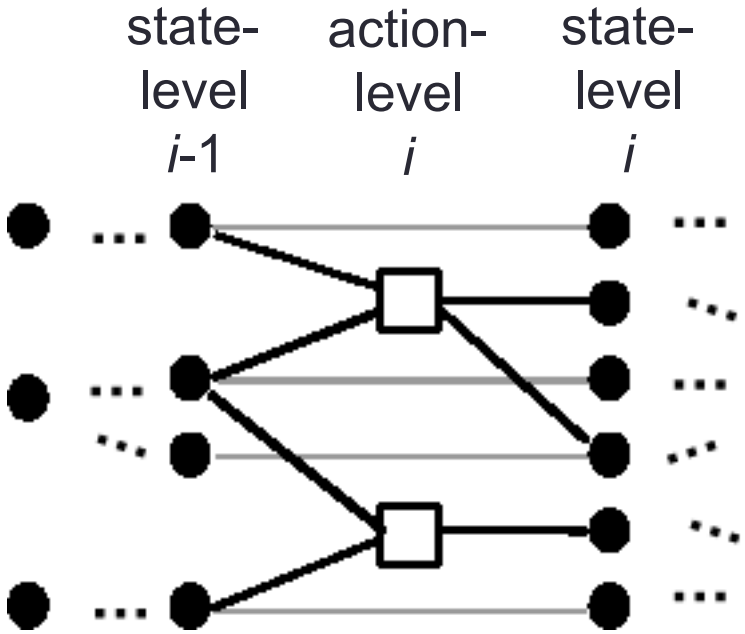
se qualquer par de acções é mutex

então retroceder

g' := {as precondições das acções escolhidas}

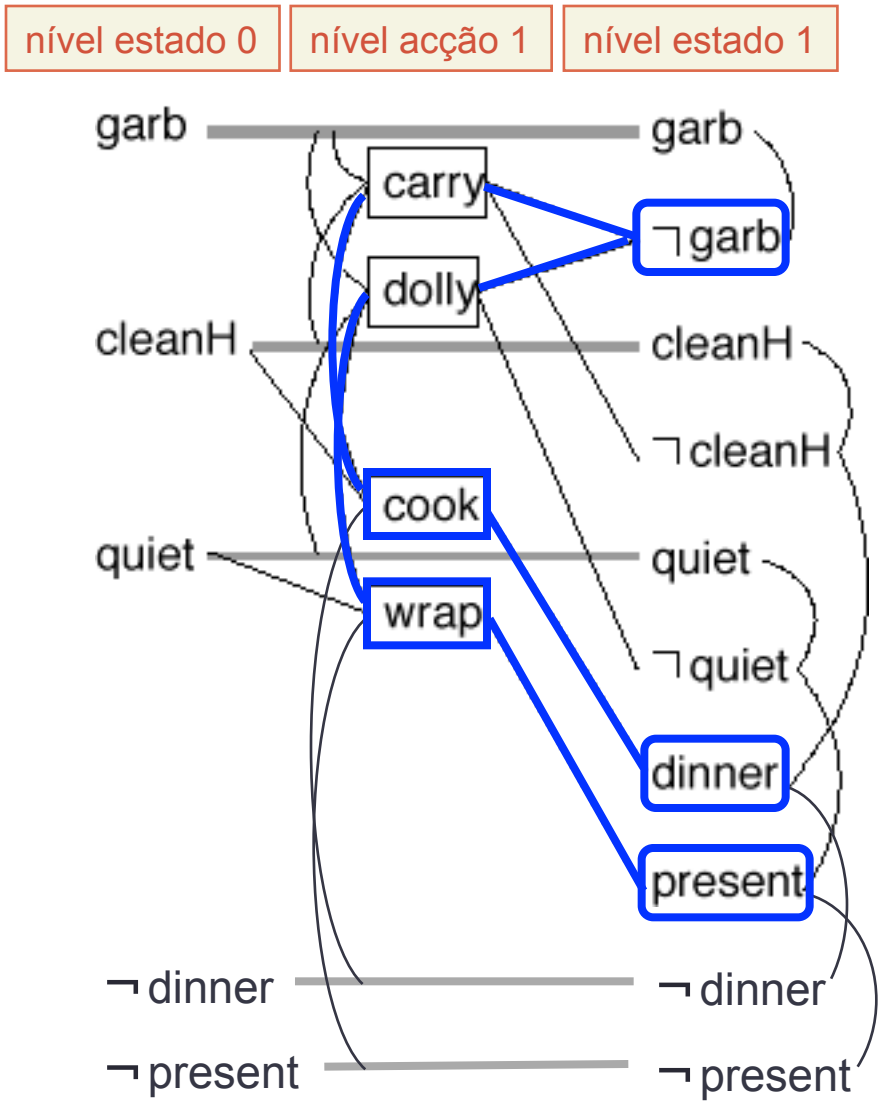
Solution-extraction(*g'*, *j*–1)

end Solution-extraction



Exemplo

- Dois conjuntos de acções para os objectivos no nível estado 1
- Nenhum serve: ambos os conjuntos contêm acções que são mutex



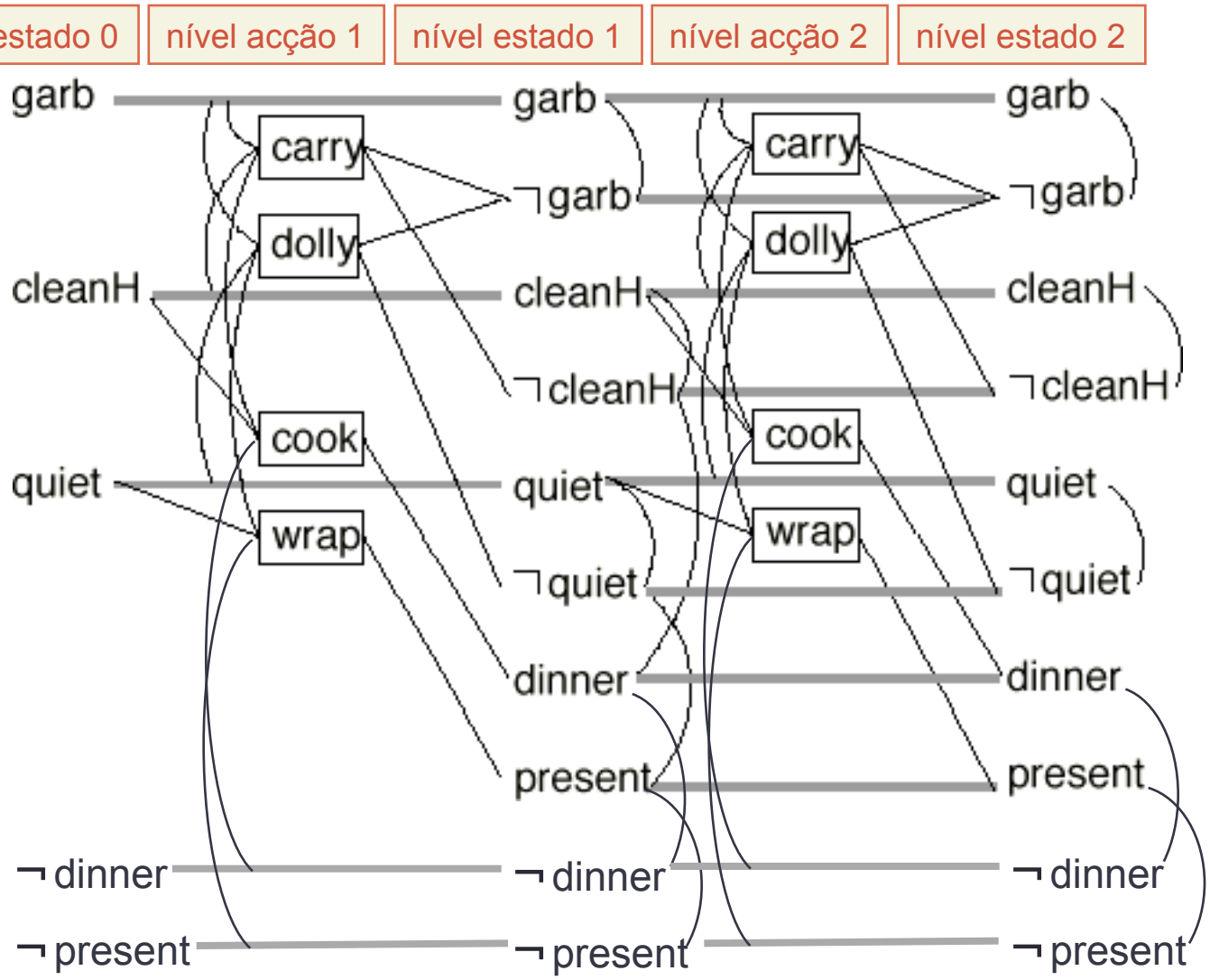
Relembrar como o algoritmo funciona

procedure Graphplan:

- for *k* = 0, 1, 2, …
  - *Expansão do grafo:*
    - criar um "grafo de planeamento" contendo *k* "níveis"
  - Verificar se o grafo de planeamento satisfaz uma condição necessária (mas insuficiente) para a existência de um plano
  - Se satisfizer, então
    - *Extrair solução:*
      - Procura regressiva, modificada para considerar apenas as acções no grafo de planeamento
      - Caso se encontre uma solução, então devolvê-la

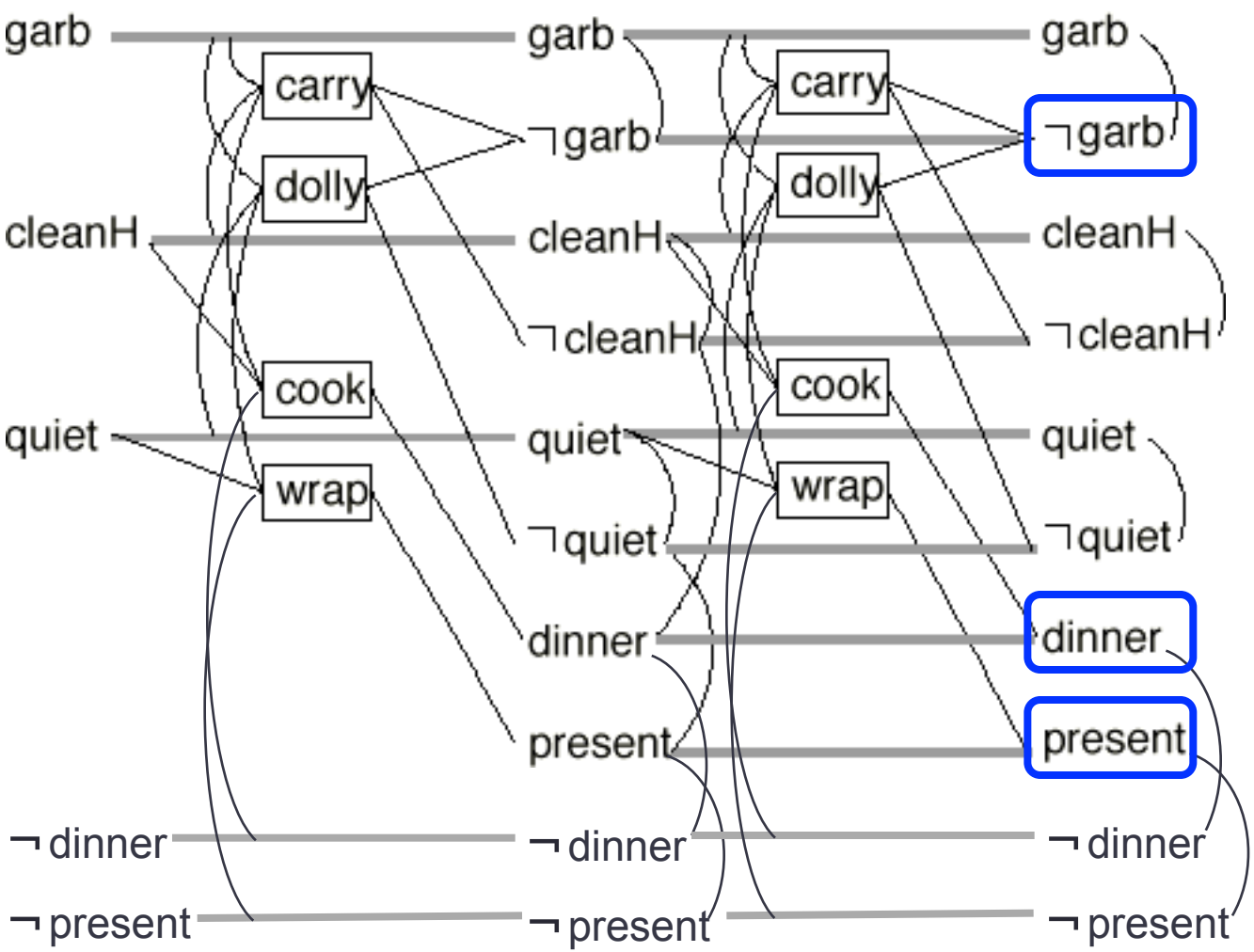
Exemplo

- Iterar e efectuar uma expansão do grafo adicional
- Gerar outro nível acção e outro nível estado



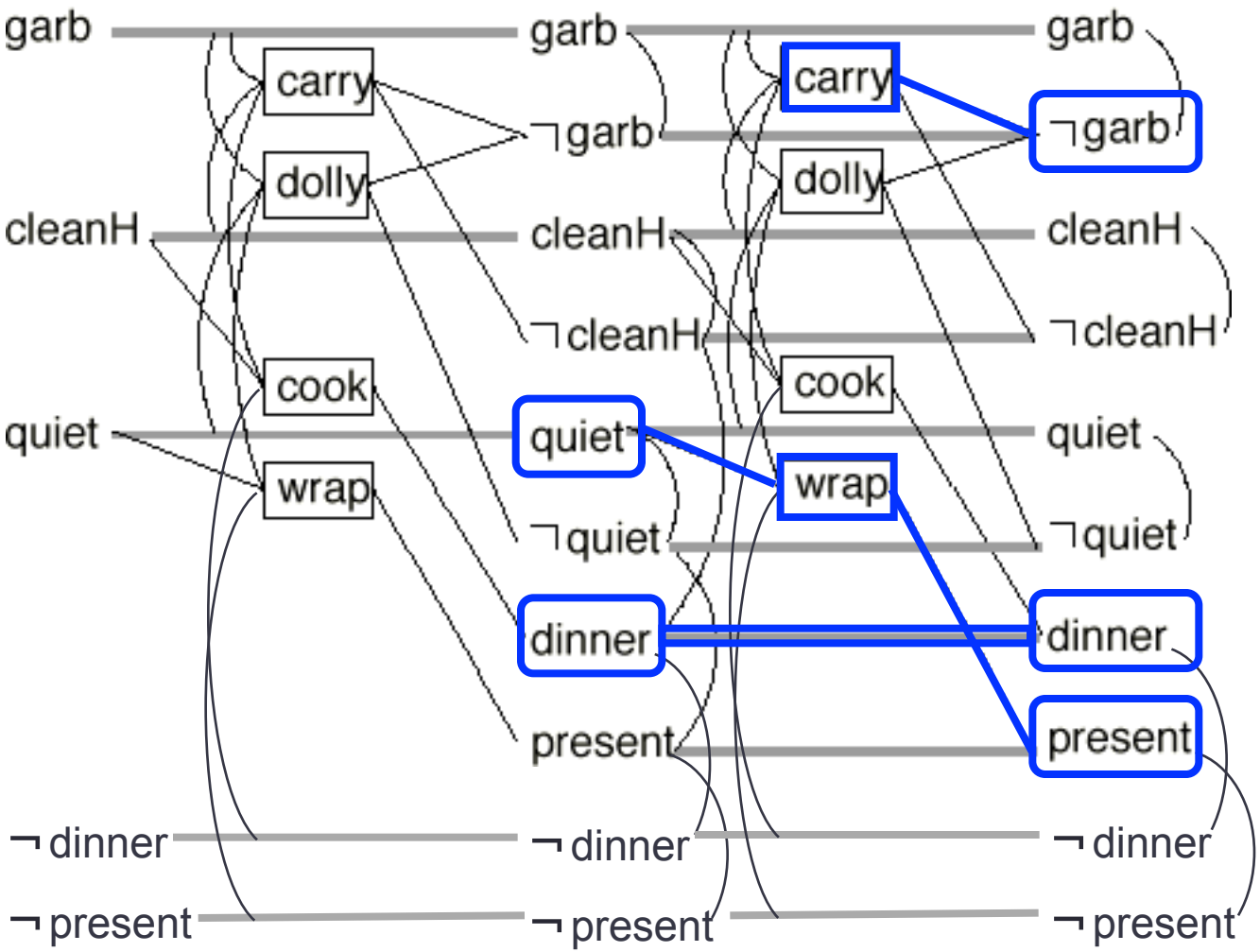
Exemplo

- Extracção da solução
- 12 combinações
  - Três maneiras para ¬*garb*
  - Duas maneiras para *dinner*
  - Duas maneiras para *present*



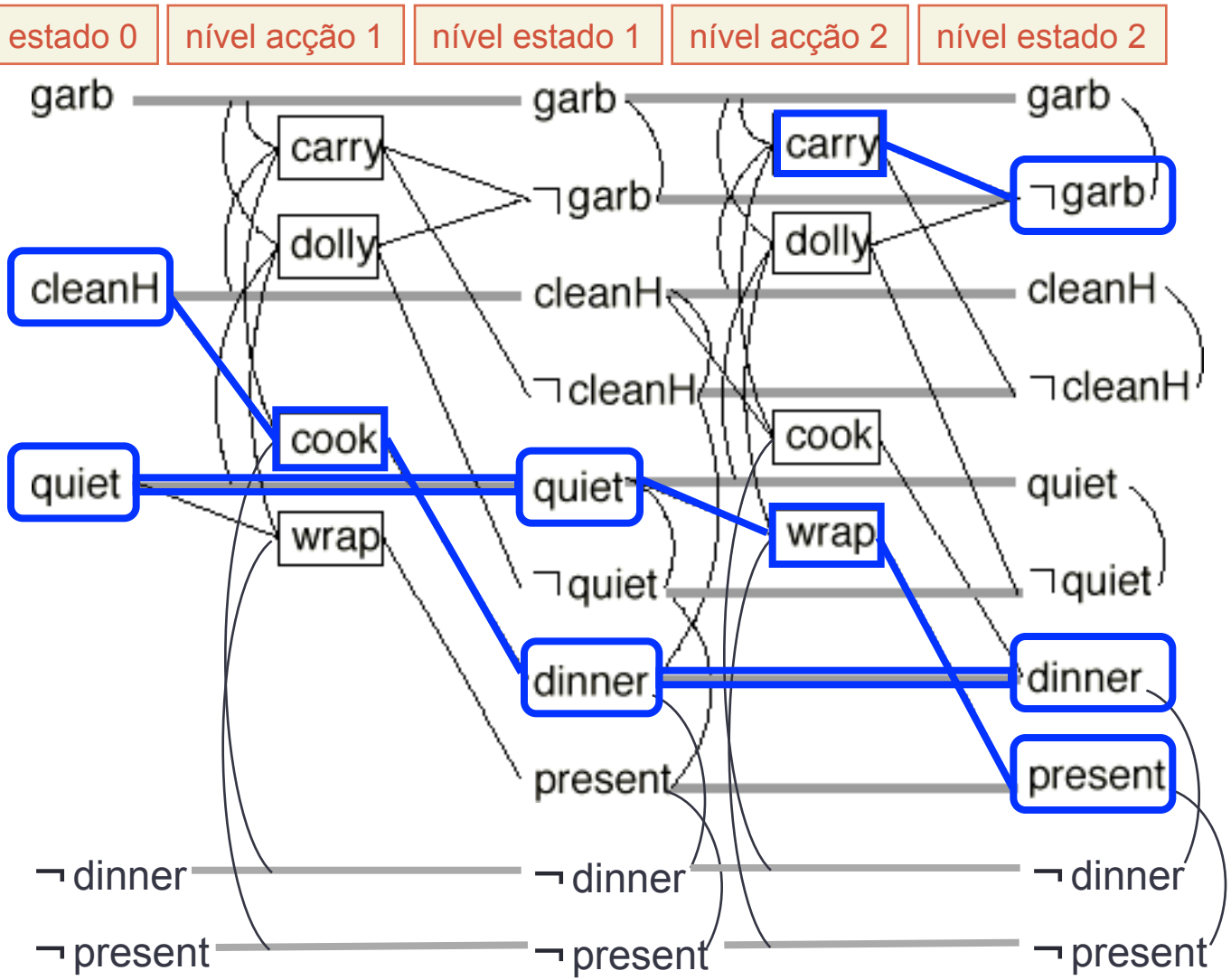
Exemplo

- Algumas combinações parecem bem no nível 2
- Assinala-se uma delas



Exemplo

- Chamar Solution-Extraction recursivamente no nível 2
- Tem sucesso
- Solução cujo *comprimento paralelo* é 2



POP – EXEMPLOS

Exemplo: Casa e Descasa

- A agência de matrimónios Casa&Descasa decidiu investir num sistema de Inteligência Artificial para melhorar o atendimento aos seus clientes. O sistema mantem informação sobre os homens e mulheres registados no sistema, os casais (heterossexuais) e indivíduos solteiros. O objectivo do sistema é aconselhar casamentos e divórcios sugerindo ainda "falecimentos" de pessoas. A poligamia não é permitida.
- As acções são: casar, divorciar, matar homem casado e matar mulher casada.
- Por exemplo, o sistema devera ser capaz de indicar os passos que levam o individuo
- Aníbal, homem e solteiro, a ficar casado com Belarmina que inicialmente está casada com César
- Existe um número infinito de planos?
- Porque e que não é possível poligamia ?

Exemplo: Casa e Descasa

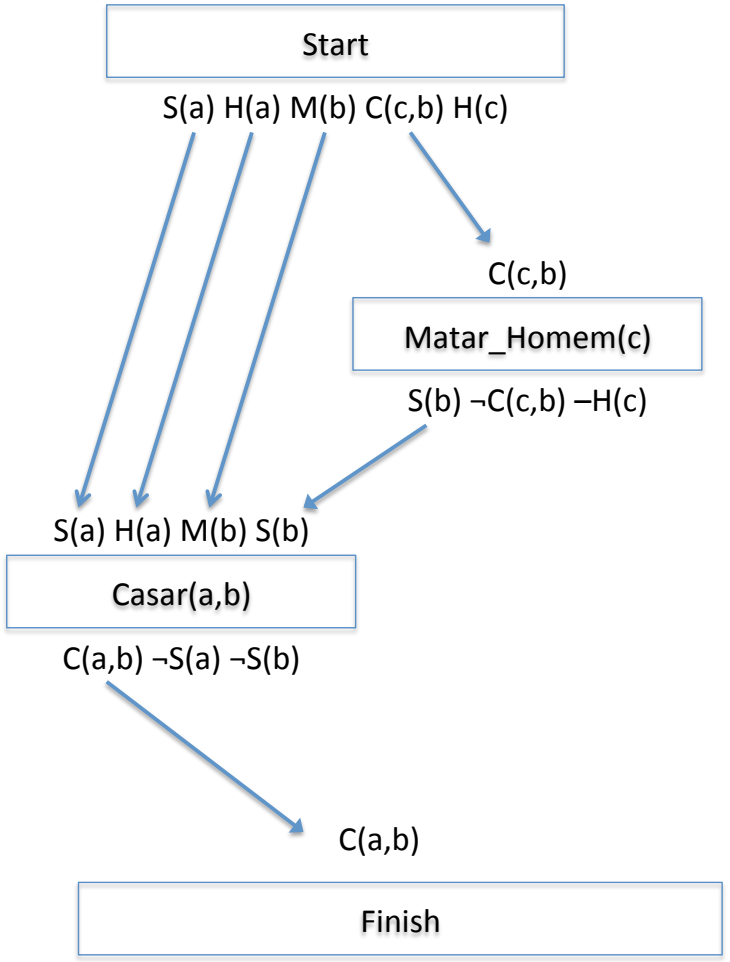
Acção: Casar(H,M)
Precondição: solteiro(H), homem(H), solteiro(M), mulher(M)
Efeito: casados(H,M),¬solteiro(H) ¬solteiro(M)

Acção: Divorciar(H,M)
Precondição: casados(H,M)
Efeito: solteiro(H), solteiro(M) ¬casados(H,M)

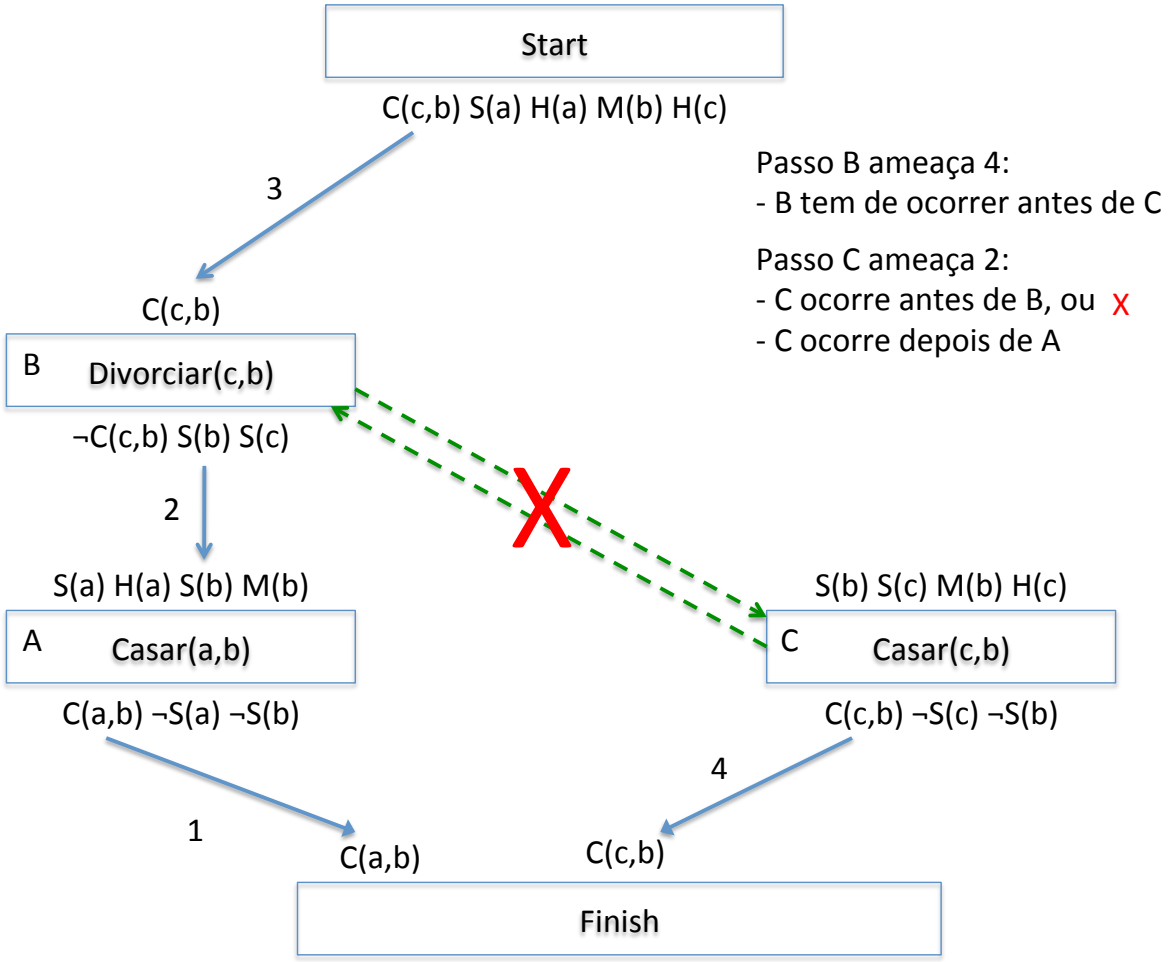
Acção: Matar_Homem_Casado(H)
Precondição: casados(H,M)
Efeito: solteiro(M),¬casados(H,M),¬homem(H)

Acção: Matar_Mulher_Casada(M)
Precondição: casados(H,M)
Efeito: solteiro(H),¬casados(H,M),¬mulher(M)

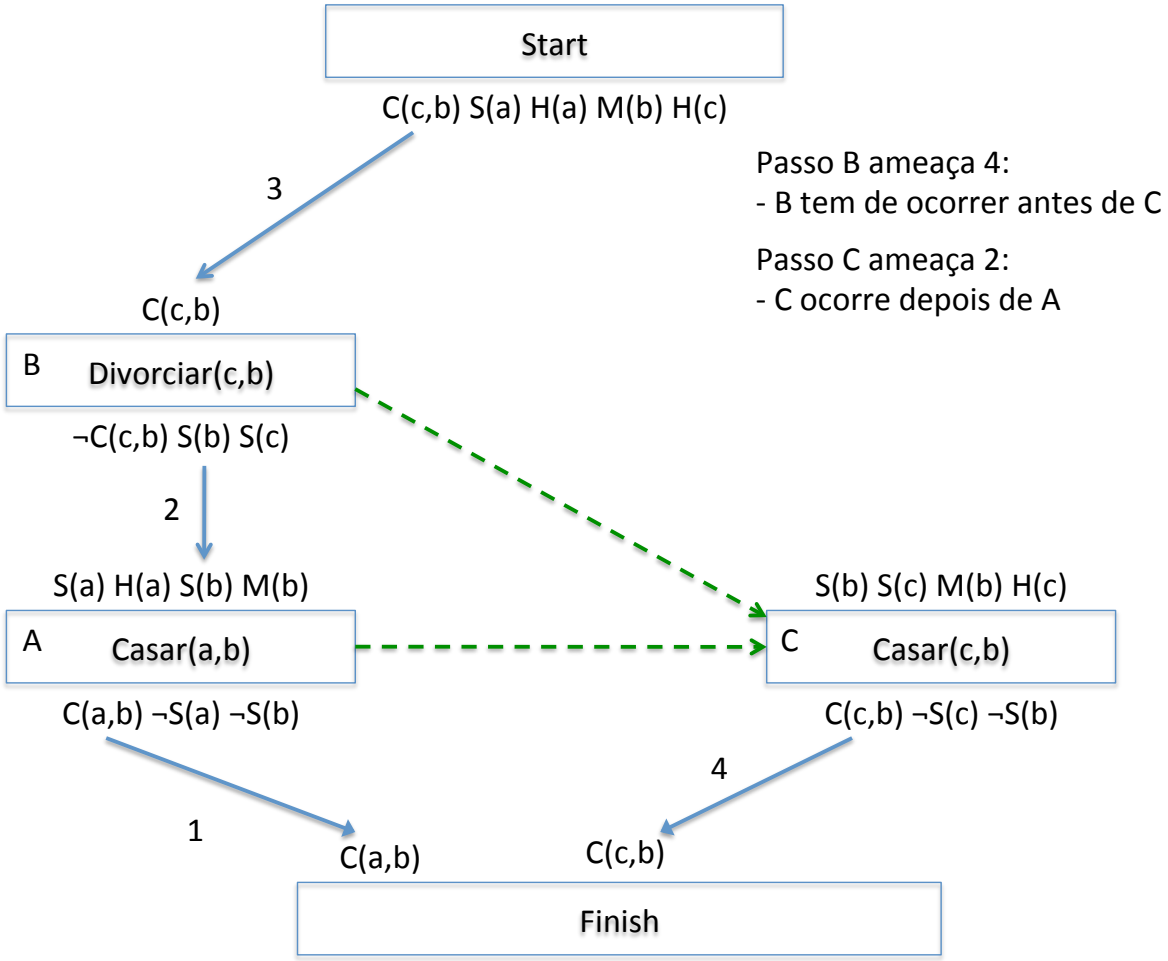
Exemplo: Casa e Descasa



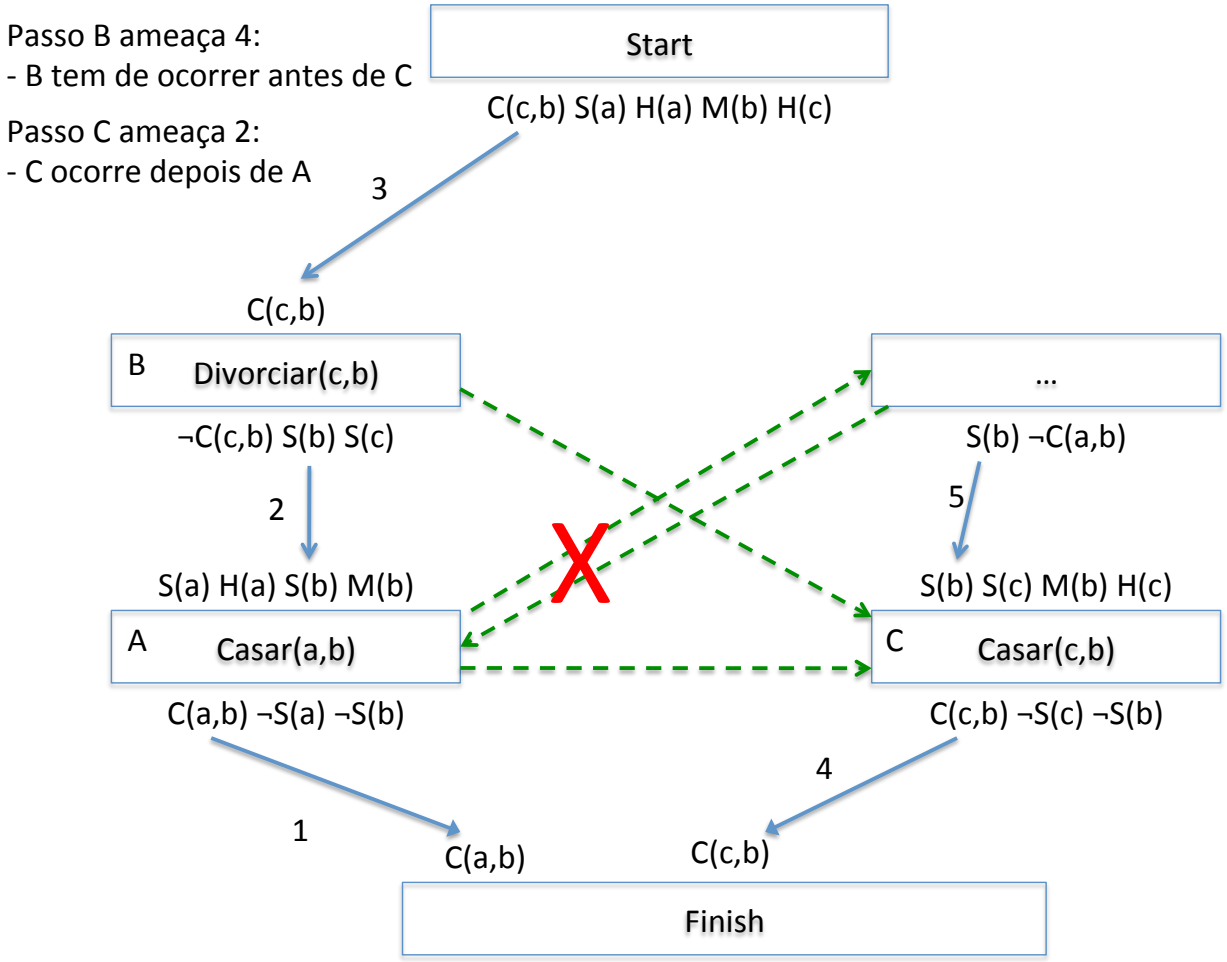
Exemplo: Casa e Descasa



Exemplo: Casa e Descasa



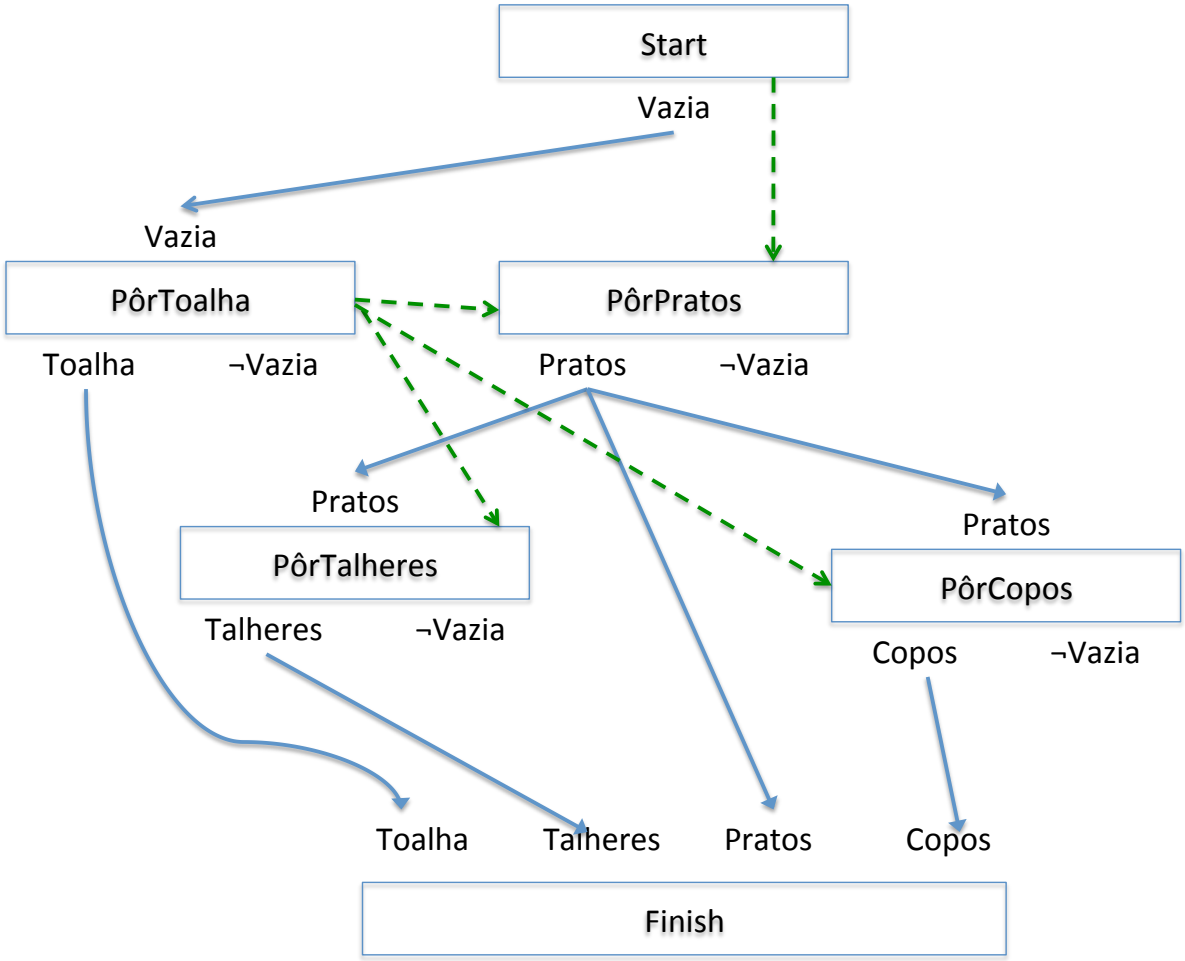
Exemplo: Casa e Descasa



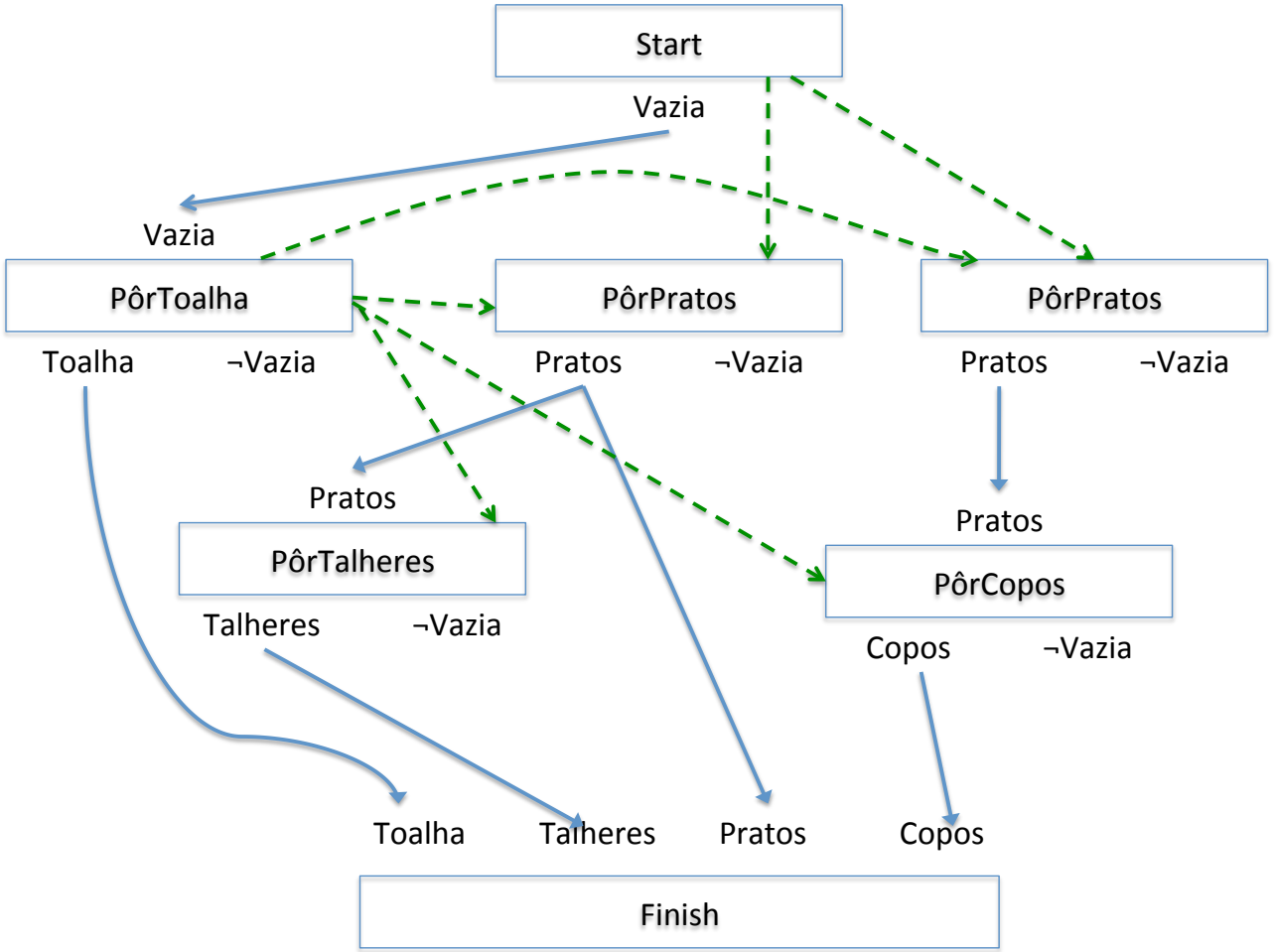
Exemplo: pôr a mesa

- O Pedro decidiu ajudar a mãe a pôr a mesa, tendo-lhe perguntado como é que o devia fazer, e recebido as seguintes dicas:
  - Podes pôr uma toalha de mesa, que é opcional, mas só o podes fazer se não estiver nada em cima da mesa.
  - Para a mesa ficar arranjadinha só deves colocar os talheres e os copos depois dos pratos.
  - A ordem de colocação dos talheres e dos copos é indiferente, mas só depois dos pratos!
- Temos que ajudar o Pedro a encontrar um plano.
  - Podem existir planos com acções repetidas?

Exemplo: pôr a mesa



Exemplo: pôr a mesa



Exemplo: supermercado

Estado inicial: At(Home), Sells(HWS, Drill), Sells(SM,Milk), Sells(SM,Ban)

Acções:

Acção: Buy(x)

Precondicão: At(p), Sells(p, x)

Efeito: Have(x)

Acção: Go(x)

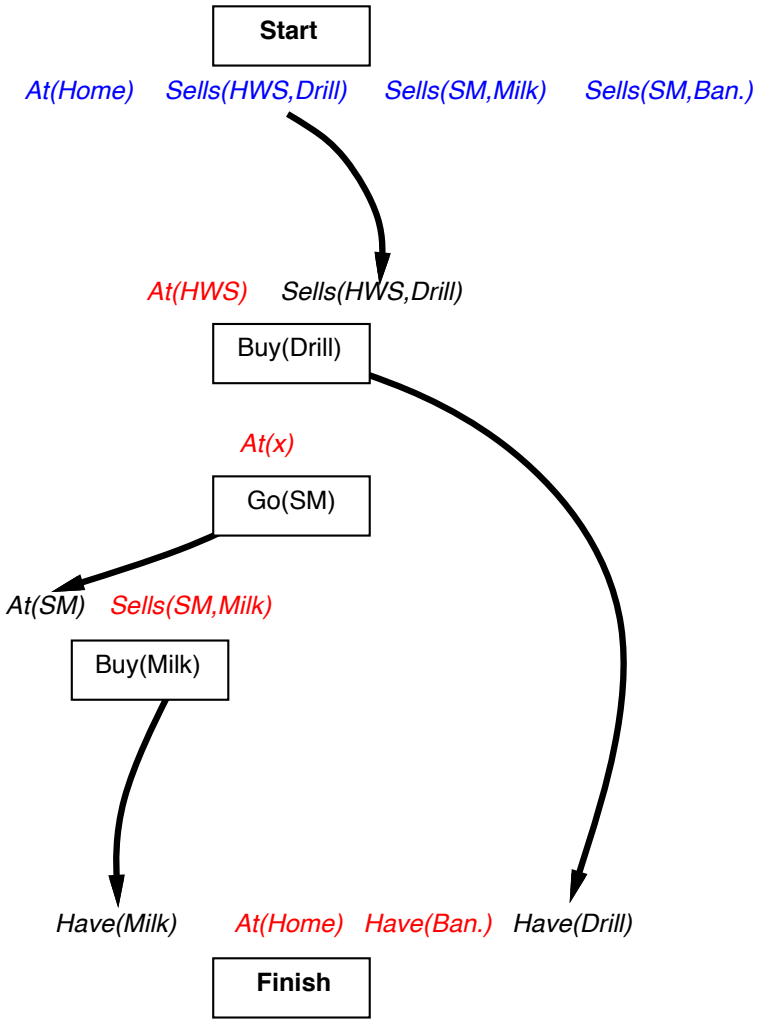
Precondição: At(y)

Efeito: Have(x)

Objectivo: Have(Milk), At(Home), Have(Ban.), Have(Drill)

Exemplo: supermercado

Exemplo: supermercado



Exemplo: supermercado