Guia˜o Teo´rico-Pr´atico

To´picos de Inteligˆencia Artificial

Ano Lectivo de 2021/2022

c Lu´ıs Seabra Lopes

Departamento de Electr´onica, Telecomunica¸co˜es e Informa´tica Universidade de Aveiro

Ultima actualiza¸ca˜o: 2022-01-20´

# Objectivos

O presente gui˜ao centra-se em exerc´ıcios que atrav´es dos quais o aluno pode testar a sua compreens˜ao das mat´erias te´oricas (conceitos, algoritmos). A maior parte destes exerc´ıcios podem ser realizados sem recurso ao computador.

Este gui˜ao ´e usado na disciplina de *Inteligˆencia Artificial* (*Licenciatura em Engenharia Inform´atica* e *Licenciatura em Engenharia de Computadores e Inform´atica*).

# Agentes Reactivos

1. Est´a a ser desenvolvido um robˆo para pesca submarina, o Nautilus, pedindo-se a sua colaborac¸˜ao no desenvolvimento do m´odulo de controlo. Este robˆo transporta um m´aximo de 10 arp˜oes e um dep´osito com capacidade para 20 peixes. Quando sente um peixe em frente lan¸ca imediatamente um arp˜ao (acc¸˜ao *Disparar*). Se o arp˜ao atingir um peixe, o robˆo guarda o peixe no dep´osito (ac¸c˜ao *Agarrar*), podendo neste caso recuperar o arp˜ao. Caso contr´ario, o arp˜ao perde-se. Quando perder todos os arp˜oes, o Nautilus pode reabastecer-se (ac¸c˜ao *Reabastecer*), ficando novamente com 10 arp˜oes. Quando o dep´osito de peixes estiver cheio, estes devem ser descarregados (ac¸c˜ao *Descarregar*), ficando o dep´osito novamente vazio. Quando n˜ao tem mais nada para fazer, limita-se a vaguear (acc¸˜ao *Vaguear*).
   1. Identifique as vari´aveis de estado, se necess´arias.
   2. Identifique e caracterize um conjunto de predicados que possam ser usados para descrever situac¸˜oes em que se encontre o Nautilus.
   3. Especifique o conjunto de regras situac¸˜ao-acc¸˜ao que regem o comportamento do Nautilus. Pode fazˆe-lo na forma de uma tabela com as serguintes colunas:
      * Situac¸˜ao - uma conjun¸c˜ao de condic¸˜oes em l´ogica de primeira ordem • Actualiza¸c˜ao - actualiza¸c˜ao das vari´aveis de estado, caso existam

1

* + - Ac¸c˜ao - ac¸c˜ao a executar pelo agente na situa¸c˜ao indicada

1. Considere o comportamento das formigas na sua tarefa de arrumar provis˜oes no formigueiro. A formiga procura provis˜oes (acc¸˜ao *Procurar provis˜ao*). Quando encontra uma provis˜ao, agarra-a (acc¸˜ao *Agarrar provis˜ao*) e vai procurar o local (ac¸c˜ao *Procurar local*) de arruma¸c˜ao das provis˜oes. A formiga tem sempre uma noc¸˜ao da distˆancia percorrida desde que come¸cou a procurar a arrumac¸˜ao. Se a formiga acha que j´a percorreu mais de 5 metros sem ter encontrado a arrumac¸˜ao, e vˆe outra formiga, vai atr´as dela (acc¸˜ao *Seguir formiga*). Quando encontra o local onde est˜ao as outras provis˜oes, liberta a provis˜ao que tr´as consigo (ac¸c˜ao *Libertar provis˜ao*). Cabe-lhe a si implementar um conjunto de regras situa¸c˜ao-acc¸˜ao com base nas quais a formiga simulada se ir´a comportar. Com vista ao desenvolvimento de um programa de simulac¸˜ao do comportamento das formigas, realize os seguintes passos de an´alise e especifica¸c˜ao:
   1. Identifique as vari´aveis de estado, se necess´arias.
   2. Identifique e caracterize um conjunto de predicados que possam ser usados para descrever as situa¸c˜oes em que uma formiga se pode encontrar.
   3. Especifique o conjunto de regras situac¸˜ao-ac¸c˜ao que regem o comportamento de uma formiga. Pode fazˆe-lo na forma de uma tabela como no exerc´ıcio anterior.

# Representa¸c˜ao do Conhecimento

1. Represente as seguintes frases em l´ogica de primeira ordem:
   1. Todos em Oxford s˜ao espertos.
   2. Algu´em em Oxford ´e esperto.
   3. Existe uma pessoa que gosta de toda a gente.
   4. S´o um aluno chumbou a Hist´oria.
   5. Nem todos os estudantes se inscreveram simultaneamente a Introduc¸˜ao `a Inteligˆencia Artificial e Sistemas de Opera¸c˜ao.
   6. S´o um aluno chumbou a Hist´oria e a Biologia.
   7. A melhor nota a Hist´oria foi mais elevada do que a melhor nota a Biologia.
   8. Todos os Portistas gostam do Pinto da Costa.
   9. Existe um Sportinguista que gosta de todos os Benfiquistas que n˜ao s˜ao espertos (j) Existe um Barbeiro que barbeia toda a gente menos ele pr´oprio.
2. Considere o mundo dos blocos com *n* blocos representados pelas constantes (*B*1*,B*2*,...,Bn*), predicado *On*(*x,y*) que indica que o bloco *x* est´a em cima do objecto *y* e o predicado *Clear*(*x*) que indica que o bloco *x* n˜ao tem nenhum bloco em cima. Indique qual o nu´mero m´ınimo de blocos para que cada uma das f´ormulas seguintes seja verdadeira:
   1. ¬*Clear*(*B*1) ∧ ¬*Clear*(*B*2) ∧ ∃*x*(*On*(*B*3*,x*) ∧ *x* 6= *Floor*)
   2. *Clear*(*B*1) ⇒ *Clear*(*B*2)
3. Considere o seguinte mundo composto por uma torneira, dois tanques (*T*1 e *T*2) e um recipiente (*R*). A torneira pode estar aberta para um dos dois tanques mas nunca para os dois ao mesmo tempo. O recipiente pode ser colocado dentro de um tanque, desde que este esteja sem ´agua. Se a torneira estiver aberta, ent˜ao o tanque respectivo ou o recipiente (se estiver dentro do tanque) ficam com ´agua. Se o recipiente estiver dentro de um tanque, e a torneira estiver aberta para esse tanque, ent˜ao o recipiente fica com ´agua, mas o tanque n˜ao. Tanto os tanques como o recipiente podem ter ´agua mesmo que a torneira n˜ao esteja aberta para eles.

Considere os seguintes predicados:

* + *Water*(*x*) indica que *x* (recipiente ou tanque) tem ´agua;
  + *Open*(*x*) que indica que a torneira est´a aberta para o tanque *x*;
  + *Over*(*x,y*) que indica que o recipiente *x* est´a colocado sobre o tanque *y*.

1. Para cada uma das observa¸c˜oes seguintes, apresente os valores l´ogicos poss´ıveis para *Water*(*T*1), *Water*(*T*2) e *Water*(*R*).
   1. *Open*(*T*2) ∧ *Over*(*R,T*2) ii. *Open*(*T*2) ∧ *Over*(*R,T*1)

iii. ¬*Open*(*T*2) ∧ *Over*(*R,T*1) iv. ¬*Open*(*T*1) ∧ ¬*Open*(*T*2) ∧ *Over*(*R,T*1)

1. Diga se cada uma das seguintes f´ormulas ´e satisfat´ıvel, e caso seja, se ´e uma tautologia:
   1. ∀*x* (¬(¬*Open*(*x*) ⇒ *Water*(*x*))) iii. ∀*x* (*Open*(*x*) ⇒ ∃*y Water*(*y*))
   2. ∀*x* (¬(*Open*(*x*) ⇒ *Water*(*x*))) iv. ∃*x* ∃*y* (*Open*(*x*) ∧ *Open*(*y*) ∧ *x* 6= *y*)
2. Considere o mapa apresentado na figura 1. Neste mapa est˜ao representados algumas ruas, edif´ıcios e o estado de algumas ruas. A rua *descanso* tem um comprimento de 6. Do mesmo modo a rua *sul* encontra-se com a rua *descanso* a 2 unidades do edif´ıcio *casa*. Tanto a rua *norte* como a *sul* tˆem um comprimento de 8. A rua *artes* intersecta as duas anteriores no ponto m´edio. A rua *norte* est´a fechada nos ponto 5, 6 e 7.
   1. Proponha um conjunto de predicados que permita representar conhecimento deste tipo.
   2. Usando os predicados que propˆos, represente o conhecimento acima descrito.

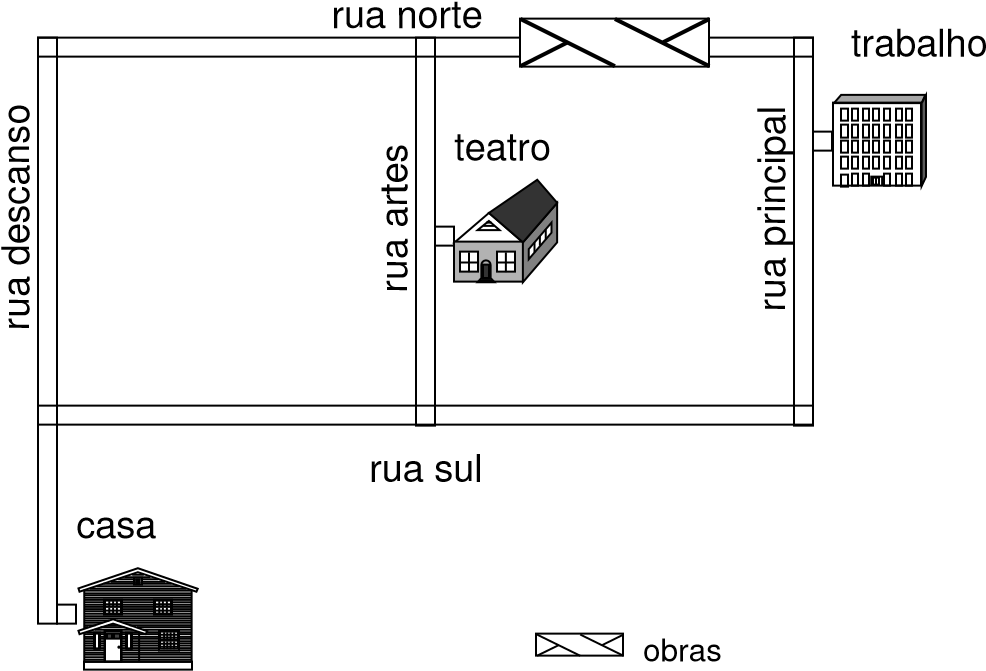


Figura 1: Mapa de uma cidade.

1. Enquadre a linguagem KIF no contexto da engenharia do conhecimento, comparando-a com outros formalismos seus conhecidos e comentando a sua relevˆancia para a constru¸c˜ao de agentes.
2. Represente o seguinte conhecimento atrav´es de uma rede semˆantica:

“Os robˆos s˜ao m´aquinas. H´a robˆos com pernas, que podem ou n˜ao ser human´oides, e robˆos que se movem sobre rodas ou at´e usando lagartas. O Nautilus ´e um robˆo com 3 rodas que obt´em energia de 4 baterias de 12V / 7Ah. Os robˆos human´oides tˆem 2 pernas e 2 bra¸cos.”

1. Considere o circuito electr´onico apresentado na Figura 2, no qual pode encontrar uma porta AND (a1), uma porta OR (o1) e uma porta XOR (x1). O circuito tem trˆes entradas (e1, e2, e3) e uma sa´ıda (s1). Para se poder calcular a sa´ıda em func¸˜ao das entradas, ´e necess´ario levar em conta o seguinte conhecimento geral sobre circuitos electr´onicos:
   * + O sinal em cada terminal ´e On ou Off
     + Dois terminais que estejam ligados um ao outro tˆem o mesmo sinal
     + A rela¸c˜ao de ligac¸˜ao entre terminais ´e comutativa
     + A sa´ıda de uma porta OR ´e On se pelo menos uma das entradas for On
     + A sa´ıda de uma porta AND ´e On se todas as entradas forem On
     + A sa´ıda de uma porta XOR ´e On se as suas entradas forem diferentes
     + A sa´ıda de uma porta NOT ´e diferente da sua entrada
   1. Identifique os tipos de objectos presentes no dom´ınio dos circuitos electr´onicos, bem como as func¸˜oes e rela¸c˜oes relevantes
   2. Represente em l´ogica de primeira ordem o conhecimento geral do dom´ınio (c) Represente em l´ogica de primeira ordem o circuito da Figura 2.
2. Considere a rede de Bayes identificada pela seguinte atribuic¸˜ao de probabilidades: *p*(*a*) = 0*.*2, *p*(*b*|*a*) = 0*.*3, *p*(*b*|¬*a*) = 0*.*2, *p*(*c*|*b*) = 0*.*2, *p*(*c*|¬*b*) = 0*.*9, *p*(*d*|*b*) = 0*.*1, *p*(*d*|¬*b*) = 0*.*2.

Calcule a probabilidade conjunta *p*(*a* ∧ *b* ∧ ¬*c* ∧ ¬*d*).

a1

x1

o1

e1

s1

e2

e3

Figura 2: Exemplo de circuito electr´onico.

1. Considere o cen´ario em que um alarme de uma casa pode disparar por causa de um assalto, mas tamb´em por ocorrˆencia de um terramoto. Se o alarme dispara, os vizinhos, John e Mary, podem efectuar uma chamada de telefone para avisar o propriet´ario. Este cen´ario ´e representado pela seguinte Rede Bayesiana:

Burglary

John Calls

Earthquake

Alarm

Mary Calls

Os eventos *Burglary* e *Earthquake* n˜ao dependem de nenhum outro evento: s˜ao independentes de todos os outros. Assim, s´o ´e necess´ario especificar as suas probabilidades:

*P*(*Burglary*) = 0*.*001

*P*(*Earthquake*) = 0*.*02

O evento *Alarm* depende da ocorrˆencia dos eventos *Burglary* e *Earthquake*: os eventos *Alarm* e *Burglary* n˜ao s˜ao independentes (tal como os eventos *Alarm* e *Earthquake*). E´ necess´ario especificar a probabilidade condicional de *Alarm* dado as v´arias combinac¸˜oes de *Burglary* e *Earthquake*:

*P*(*Alarm*|(*Burglary* ∧ *Earthquake*)) = 0*.*9

*P*(*Alarm*|(*Burglary* ∧ ¬*Earthquake*)) = 0*.*9

*P*(*Alarm*|(¬*Burglary* ∧ *Earthquake*)) = 0*.*1

*P*(*Alarm*|(¬*Burglary* ∧ ¬*Earthquake*)) = 0*.*001

Quanto aos eventos *MaryCalls* e *JohnCalls* s˜ao ambos dependentes do evento *Alarm*. As suas probabilidades condicionais s˜ao:

*P*(*MaryCalls*|*Alarm*) = 0*.*95

*P*(*MaryCalls*|¬*Alarm*) = 0*.*001

e

*P*(*JohnCalls*|*Alarm*) = 0*.*9

*P*(*JohnCalls*|¬*Alarm*) = 0*.*0

Calcule as seguintes probabilidades:

1. *P*(*A*)
2. *P*(*M*)
3. *P*(*J*)
4. Considere um dom´ınio composto por animais, esp´ecies e intervalos de tempo, no qual o conhecimento pode ser descrito atrav´es dos seguintes predicados:
   * *Animal*(*a*): *a* ´e um animal
   * *Esp´ecie*(*a*,*e*): o animal *a* ´e da esp´ecie *e*
   * *Vivo*(*a*,*t*): o animal *a* est´a vivo no intervalo *t*
   * *Extinta*(*e*,*t*): a exp´ecie *e* est´a extinta no intervalo *t*
   * *Progenitor*(*p*,*a*): o animal *p* ´e progenitor do animal *a*
   1. Represente as seguintes frases em l´ogica de primeira ordem:
      * Qualquer animal tem um progenitor
      * Qualquer animal pertence a uma esp´ecie
      * Apenas os animais pertencem a esp´ecies
      * Se *p* ´e o progenitor de *a* e *a* pertence a uma esp´ecie *e*, ent˜ao *p* tamb´em pertence a *e*
      * Uma esp´ecie *e* est´a extinta no intervalo *t* se nenhum animal dessa esp´ecie est´a vivo nesse intervalo
      * N˜ao existiam mamutes vivos no ano de 1918
   2. Demonstre que os mamutes estavam extintos em 1918 a partir das f´ormulas que escreveu.
5. A nova empresa “SOF – Sistemas Operativos do Futuro”, sedeada na Costa Nova, comercializa actualmente o sistema operativo SOF2022h, mas este sistema ainda tem alguns problemas. A empresa pretende desenvolver um assistente que determina automaticamente se o utilizador precisa de ajuda, e, quando tal acontece, toma a iniciativa de fazer alguns sugest˜oes ao utilizador. Ap´os an´alise exaustiva dos problemas sentidos pelos utilizadores, verificou-se que h´a essencialmente dois sintomas da necessidade de ajuda. Um deles ´e o utilizador fazer uma “cara preocupada”, o que pode ser detectado por um sistema de reconhecimento de express˜oes faciais previamente desenvolvido. O outro sintoma ´e o utilizador aumentar a frequˆencia de utiliza¸c˜ao do rato, por estar a navegar atrav´es de diferentes menus `a procura da soluc¸˜ao para algum problema.

Entretanto, ap´os an´alise, sabe-se que 60% dos utilizadores tˆem sobrecarga de trabalho, o que pode tamb´em causar uma cara preocupada. Cerca de 1% dos utilizadores sobrecarregados mostram cara preocupada, caso n˜ao precisem de ajuda. J´a no caso de precisarem de ajuda, essa percentagem sobe para 2%. Os utilizadores n˜ao sobrecarregados, que n˜ao precisam de ajuda, apenas em 0.1% dos casos mostram cara preocupada. Este valor sobe para 1.1% caso precisem de ajuda.

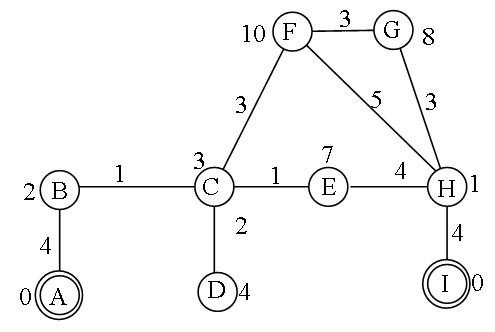
Sabe-se tamb´em que utilizadores com sobrecarga de trabalho tendem a acumular correio electr´onico n˜ao lido. Apenas 0.1% dos utilizadores sem sobrecarga de trabalho acumulam correio n˜ao lido. Pelo contr´ario, 90% dos utilizadores com sobrecarga de trabalho acumulam correio electr´onico n˜ao lido.

H´a uma aplica¸c˜ao no SOF2018h especialmente causadora de problemas, o processador de texto SOF2022h Pal, no qual os utilizadores passam 5% do seu tempo de utiliza¸c˜ao do SOF2022h. Na verdade, quando o utilizador est´a a usar esta aplica¸c˜ao, tender´a a precisar de mais ajuda, o que acontece em 25% dos casos. J´a quando n˜ao usa o processador de texto, a probabilidade de precisar de ajuda ´e 0.4%. Se o utilizador n˜ao est´a a usar o SOF2022h Pal, a existir´a uma frequˆencia exagerada de utiliza¸c˜ao do rato em 10% dos casos em que o utilizador precisa de ajuda e em 1% dos restantes casos. Quando o utilizador est´a a usar o SOF2022h Pal, ele far´a uma utiliza¸c˜ao exagerada do rato em 90% dos casos, independentemente de precisar de ajuda ou n˜ao.

Com vista ao desenvolvimento do assistente de ajuda, pretende-se representar este conhecimento atrav´es uma rede de Bayes, tarefa que acaba de lhe cair em cima!... Identifique as vari´aveis da rede, desenhe a rede e apresente a tabela de probabilidades condicionadas.

# T´ecnicas de resolu¸c˜ao autom´atica de problemas

1. Considere o espa¸co de estados apresentado na Figura 4, em que os valores nas ligac¸˜oes correspondem ao respectivo custo e os valores nos n´os s˜ao os da fun¸c˜ao heur´ıstica. Nos exerc´ıcios, considere os n´os *A* e *I* como solu¸c˜oes poss´ıveis.



* 1. A heur´ıstica apresentada ´e admiss´ıvel? Justifique a sua resposta e, em caso negativo, fa¸ca as altera¸c˜oes necess´arias por forma a que passe a sˆe-lo.
  2. Desenhe a ´arvore de pesquisa gerada pela estrat´egia A\* tomando com estado inicial o estado *F*. Indique o valor da fun¸c˜ao de avaliac¸˜ao em cada n´o e numere os n´os pela ordem em que s˜ao criados. Considere que a pesquisa em ´arvore se faz sem repeti¸c˜ao de estados. Em caso de empate no valor da func¸˜ao de avalia¸c˜ao, o n´o escolhido para expans˜ao ser´a o que vem antes na ordem alfab´etica dos estados. Use os valores originais da heur´ıstica.
  3. Calcule o factor de ramifica¸c˜ao m´edio da ´arvore gerada.
  4. Calcule o factor de ramifica¸c˜ao efectivo da ´arvore gerada.

1. Considere uma ´arvore de pesquisa com factor de ramificac¸˜ao *r*. Suponha que a solu¸c˜ao mais pr´oxima da raiz se encontra a uma profundidade *g*. Qual o nu´mero m´ınimo e m´aximo de n´os visitados numa pesquisa em profundidade, com limite *d*?
2. Que heur´ıstica admiss´ıvel sugere que seja usada com a pesquisa A\* para planeamento de caminhos ´optimos em redes vi´arias? Justifique.
3. Pretende-se colorir os seguintes mapas de forma a que regi˜oes adjacentes fiquem com cores diferentes. Apresente o grafo de restri¸c˜oes para cada um dos mapas e indique o nu´mero m´ınimo de cores necess´ario para cada um deles.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| A  B  C  D  E |  | A  B  D  E  C  F |  | B  C  A  D  E  F  G |

* 1. (b) (c)

1. Considere o seguinte problema:

Andr´e, Bernardo e Cl´audio d˜ao um passeio de bicicleta. Cada um anda na bicicleta de um dos amigos e leva o chap´eu de um dos outros. O que leva o chap´eu de Cl´audio anda na bicicleta de Bernardo. Que bicicleta e que chap´eu levam cada um dos amigos? (Retirado de Pierre Berloquin. *100 Jogos Lo´gicos*. Gradiva, 1990.)

1. Represente o problema atrav´es de um grafo de restri¸c˜oes.
2. Utilize o m´odulo constraintsearch para resolver o problema.
3. Considere o seguinte puzzle Su Doku em que cada linha, coluna e quadrado de 3 por 3 deve ser preenchido com os nu´meros de 1 a 9 e sem repeti¸c˜oes. Apresente uma abordagem `a resolu¸c˜ao deste puzzle utilizando Pesquisa por Propagac¸˜ao de Restri¸c˜oes. Indique quais as vari´aveis, o seu dom´ınio e as restri¸c˜oes a considerar.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | 5 |  | 7 |  |  | 3 |
|  |  | 5 |  |  |  | 8 |  | 2 |
|  | 4 |  |  | 6 |  |  |  |  |
|  | 7 | 6 | 3 |  | 2 | 5 |  |  |
|  | 8 |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 3 | 9 | 1 |  | 8 | 2 |  |  |
|  | 6 |  |  | 3 |  |  |  |  |
|  |  | 1 |  |  |  | 6 |  | 7 |
|  |  |  | 8 |  | 6 |  |  | 9 |

Retirado de Yukio Suzuki. *Su Doku para especialistas e outros puzzles japoneses*. Editorial Estampa, 2005.

1. O caso particular da pesquisa por recozimento simulado (*simulated annealing*) com temperatura *T* = 0 tem semelhanc¸as significativas com alguma outra t´ecnica de pesquisa sua conhecida? Nesse caso, identifique as principais semelhan¸cas e diferenc¸as.
2. Com vista `a sua resolu¸c˜ao atrav´es de pesquisa com propaga¸c˜ao de restric¸˜oes, formule o problema de escalonar quatro tarefas (*A*, *B*, *C* e *D*) tendo em conta as seguintes informa¸c˜oes:
   * As tarefas comec¸am `as horas certas, a partir das 8h de um dia, terminam o mais tardar `as 19h desse mesmo dia.
   * A dura¸c˜ao das tarefas ´e a seguinte: *A* - 1h, *B* - 2h, *C* - 3h, *D* - 4h.
   * A tarefa *A* dever´a terminar antes das tarefas *B* e *C* come¸carem.
   * A tarefa *D* dever´a comec¸ar depois de terminarem as tarefas *B* e *C*.
   * As tarefas n˜ao podem ser realizadas simultˆaneamente.
3. Um macaco est´a numa sala. Na mesma sala, pendurado num cabide e fora do alcance do macaco, est´a tamb´em um cacho de bananas. Se o macaco subir para cima de uma caixa, conseguir´a alcanc¸ar as bananas. Inicialmente, o macaco est´a na posi¸c˜ao A, as bananas na posic¸˜ao B e a caixa na posic¸˜ao C. As ac¸c˜oes que o macaco pode executar s˜ao: deslocar-se de uma posi¸c˜ao para outra; empurrar um dado objecto de uma posi¸c˜ao para outra; subir para cima de um dado objecto; agarrar o cacho de bananas.
   1. Identifique um conjunto de condi¸c˜oes com as quais seja poss´ıvel descrever os v´arios estados do mundo neste problema.
   2. Descreva o estado inicial do problema usando as condi¸c˜oes que propˆos.
   3. Identifique e descreva as ac¸c˜oes poss´ıveis de acordo com o formato STRIPS.
   4. Que sequˆencia de ac¸c˜oes dever´a o macaco executar?
   5. Apresente uma estimativa para o tamanho aproximado que a ´arvore de pesquisa poder´a atingir. Justifique.
4. O robˆo VG-10 deixado recentemente em Marte pela Agˆencia Espacial Portuguesa (AEP) precisa de planear as suas expedi¸c˜oes entre v´arias esta¸c˜oes anteriormente constru´ıdas pela AEP nesse planeta do sistema solar. Para cada estac¸˜ao, o VG-10 sabe quais as esta¸c˜oes adjacentes, ou seja, aquelas para as quais se pode deslocar com o equivalente a um dep´osito de combust´ıvel. Al´em de encher o dep´osito, o VG-10 pode transportar dois bid˜oes de combust´ıvel para recarga.

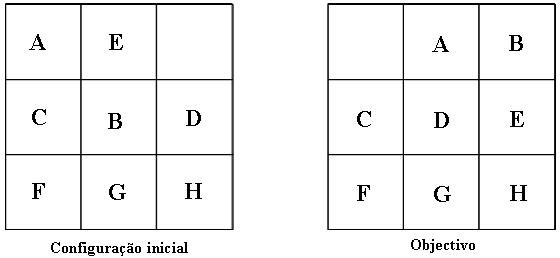
Os tipos de acc¸˜oes que o VG-10 pode executar s˜ao:

* + *Ir*(*e*1*,e*2) - ir da esta¸c˜ao *e*1 para a esta¸c˜ao adjacente *e*2.
  + *Carregar*(*e,b,p*) - carregar o bid˜ao *b* da esta¸c˜ao *e* para o espac¸o *p* no robˆo.
  + *Encher*(*B,X*) - encher o dep´osito com o combust´ıvel do bid˜ao *b* que est´a carregado no robˆo na posic¸˜ao *X*.
  + *Descarregar*(*e,b,p*) - descarregar o bid˜ao *b* do espa¸co *p* para a estac¸˜ao *e*.

Realize os seguintes exerc´ıcios:

* 1. Proponha um conjunto de condic¸˜oes que permitam descrever os estados de planeamento das expedic¸˜oes do VG-10. Explique o seu significado.
  2. Especifique os operadores de planeamento necess´arios para representar as ac¸c˜oes do VG-10.
  3. Se pretender que um planeador das miss˜oes do VG-10, baseado na estrat´egia A∗, encontre uma soluc¸˜ao ´optima quando ela existe, que func¸˜ao de avalia¸c˜ao/estima¸c˜ao de custos sugere que seja utilizada? Assuma que o robˆo pode andar em linha recta e que as coordenadas das estac˜oes s˜ao conhecidas. Justifique.
  4. Considere agora que uma *esta¸c˜ao adjacente* ´e uma estac¸˜ao para a qual existe uma liga¸c˜ao (trilho ou caminho) que o robˆo pode seguir. As distˆancias entre todos os pares de estac¸˜oes adjacentes s˜ao conhecidas. Al´em disso, sabe-se que distˆancia o VG-10 pode percorrer com o combust´ıvel de um dep´osito. Que adapac¸˜oes `a representa¸c˜ao das ac¸c˜oes seria necess´ario introduzir para levar em considerac¸˜ao estas restric¸˜oes. Ilustre para o caso do operador *ir*(*E*1*,E*2). Assuma que o combust´ıvel do dep´osito d´a para chegar a qualquer esta¸c˜ao adjacente, embora possa sobrar.

1. No contexto da resolu¸c˜ao autom´atica de problemas usando t´ecnicas de pesquisa, defina os seguintes termos por palavras suas: *estado*, *espa¸co de estados*, *ac¸c˜ao*, *´arvore de pesquisa*, *restri¸c˜ao*.
2. Considere o problema do Caixeiro Viajante, que consiste em descobrir um caminho ´optimo que passe por determinadas cidades *A*1*,..,An*, partindo, por exemplo, de *A*1, passando por todas as outras apenas uma vez, e regressando a *A*1. Considere que s˜ao conhecidas as distˆancias entre todos os pares de cidades. Como formularia este problema para o resolver atrav´es de pesquisa A\*? Indique em particular em que consistiriam os estados, qual seria o estado inicial, qual o m´etodo para gerar as transi¸c˜oes de estados, qual a fun¸c˜ao de avalia¸c˜ao dos custos das transi¸c˜oes e qual a fun¸c˜ao heur´ıstica.
3. Considere um jogo em que as 8 primeiras letras do alfabeto (A a H) s˜ao colocadas de forma aleat´oria numa matriz de 3x3, ficando portanto uma posi¸c˜ao por preencher. Uma letra (verticalmente ou horizontalmente) adjacente `a posi¸c˜ao livre pode ser deslocada para essa posic¸˜ao. O objectivo ´e determinar uma sequˆencia de movimentos para gerar uma outra configura¸c˜ao da matriz. No exemplo da figura incluida abaixo, s˜ao necess´arios 6 movimentos, mas em m´edia s˜ao precisos muitos mais.



* 1. No caso de ser utilizada pesquisa em ´arvore, indique uma estimativa para o factor de ramifica¸c˜ao m´edio das ´arvores de pesquisa neste dom´ınio.
  2. Tendo em vista a poss´ıvel resolu¸c˜ao de problemas deste tipo atrav´es de A\*, considere as seguintes heur´ısticas:
     + (*h*1) Nu´mero de letras fora da sua posi¸c˜ao final. ( 4 no exemplo acima)
     + (*h*2) Soma das distˆancias horizontais e verticais das v´arias letras `as respectivas posic¸˜oes finais. (6 no exemplo acima)

Estas heur´ısticas s˜ao admiss´ıveis? Qual delas espera que funcione melhor?

1. Considere o problema de construir automaticamente passatempos de ”palavras cruzadas”. Como entrada, o processo recebe uma lista de palavras que podem ser utilizadas, e uma matriz, com informac¸ao de quais as posic¸˜oes a preencher (brancas) e quais as posi¸c˜oes a n˜ao preencher (pretas). Qualquer sequˆencia n˜ao interrompida de letras, seja na horizontal, seja na vertical, deve corresponder a uma palavra v´alida. O resultado ´e uma selec¸c˜ao das palavras a incluir na matriz e respectivas posi¸c˜oes na matriz. Note que o problema aqui colocado ´e o da gera¸c˜ao de uma matriz de palavras cruzadas, e n˜ao o da resolu¸c˜ao do passatempo com base em sin´onimos fornecidos como pistas.
   1. No pressuposto de utilizar pesquisa em ´arvore, como representaria os estados e o que seriam as transi¸c˜oes de estados? Indique uma estrat´egia de pesquisa em ´arvore adequada ao problema bem como, se necess´ario, uma heur´ıstica.
   2. No pressuposto de utilizar pesquisa com propagac¸˜ao de restric¸˜oes, que vari´aveis utilizaria, e quais os seus valores?
   3. Qual das duas aproxima¸c˜oes, pesquisa em ´arvore ou pesquisa com propagac¸˜ao de restri¸c˜oes, seria mais adequada?

# Aprendizagem autom´atica

1. Sabe-se que a doenc¸a *D* ocorre em 1/4 de todos os casos. Sabe-se tamb´em que o sintoma *S* ´e observado em 3/4 dos pacientes que sofrem da doen¸ca *D* e em 1/8 da restante popula¸c˜ao. Suponha que se est´a a iniciar a construc¸˜ao de uma ´arvore de decis˜ao com o objectivo de diagnosticar a referida doen¸ca. Temos portanto duas classes, *D* e ¬*D*, e *S* ´e um dos atributos.

Nas al´ıneas seguintes, pode apresentar c´alculos aproximados, desde que indique as simplifica¸c˜oes que efectuou.

* 1. Qual o ganho de informa¸c˜ao associado ao atributo *S*?
  2. Qual a raz˜ao do ganho associada ao atributo *S*?

1. Normalmente, n˜ao se testa um atributo mais do que uma vez ao longo de um caminho numa ´arvore de decis˜ao. Porquˆe?
2. Considere o seguinte conjunto de dados, com trˆes atributos bin´arios (*A*1, *A*2 e *A*3) e uma sa´ıda tamb´em bin´aria (duas classes).

## Tabela 1: Dados de treino

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| A1 | A2 | A3 | Classe |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |

Use o algoritmo TDIDT para gerar uma ´arvore de decis˜ao com base nestes dados. A escolha do atributo para cada n´o deve basear-se no crit´erio do ganho de informac¸˜ao.

4. Suponha que um conjunto de exemplos, *E*, ´e dividido em subconjuntos *Ei* de acordo com os valores de um atributo. Em cada *Ei* existem *pi* exemplos positivos e *ni* exemplos negativos. Mostre que o ganho de informac¸˜ao ser´a positivo, excepto se *pi/*(*pi*+*ni*) for igual para todos os atributos.