Exemplos

- Jogo dos oito :-)
- Mundo dos blocos (ex: torre de Hanoi)
- Poblema das rainhas
- Criptoaritmética
- Missionários e Canibais
- Resta-um
- e muitos outros...

Rainhas

- 2 formas de se resolver o problema: incremental e completo
- Possíveis estados e jogadas:
  - a) qq arranjo de 0 a 8 rainhas no tabuleiro
  - b) adicionar 1 rainha a qq posição do tabuleiro
  - a) arranjos de 0 a 8 rainhas com nenhuma em posição de ataque
  - b) colocar 1 rainha na próxima coluna vazia mais à esquerda de forma que não seja atacada por outra rainha
  - a) arranjos de 8 rainhas, 1 em cada coluna
  - b) mover qq rainha atacada para outra posição na mesma coluna

Criptoaritmética

```
                 SOLUCAO
  FORTY          29786    com: F = 2
+   TEN            850         O = 9
+   TEN            850         R = 7 etc
--------         ------
  FIFTY          31486
```

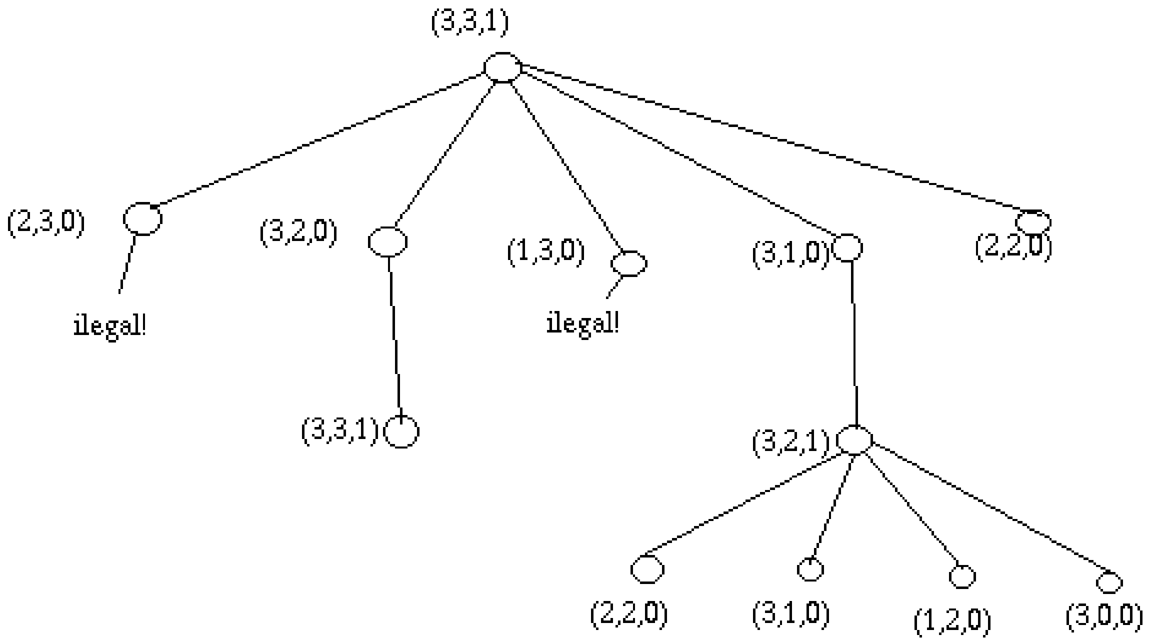
Criptoaritmética

- estados: conjunto de letras que são substituídas por dígitos
- operadores: substituir todas as ocorrências de uma letra por um dígito que ainda não tenha aparecido
- possíveis regras de seleção dos dígitos: ordem alafbética para evitar repetições, seleção mais restrita respeitando as operações aritméticas
- estado final: jogo contém somente dígitos e representa uma soma correta
- custo da solução: zero

Missionários e Canibais

- 3 missionários e 3 canibais estão às margens de um rio com um bote que cabe no máximo 2 pessoas.
- Problema: encontrar uma forma de passar todos para a outra margem sem nunca deixar um grupo de missionários em uma margem com um número maior de canibais.
- estados: qq seqüência ordenada de 3 números representando o no. de missionários, canibais e botes na margem do rio.
- estado inicial: (3,3,1)
- estado final: (0,0,0)
- custo: número de travessias no rio.
- regras: tirar 1 missionário, tirar 1 canibal, tirar 2 canibais etc...

Missionários e Canibais



Sistemas de Produção

- Elementos principais de um sistema de produção em IA:
  - bancos de dados global
  - regras de produção ou restrições
  - sistema de controle

Estratégias de controle

- irrevogáveis: nunca retornam por um caminho já explorado
- tentativa: “backtracking” (métodos não informados e informados).

Algoritmos de Melhoramento Iterativo

- Utilizados para problemas para os quais a descrição já contém toda a informação para encontrar a solução (ex: n-rainhas e layout de circuitos VLSI)
- parte-se de uma config inicial conhecida e tenta-se melhorar a a solução.

Algoritmos de Melhoramento Iterativo

- Exemplos:
  - Método Irrevogável: Hill-Climbing (busca de máximo/mínimo local)
  - Métodos de tentativa: (busca de máximo/mínimo global) podem temporariamente tornar estados piores.
    - random restart-hill-climbing
    - simulated annealing
    - busca tabu
    - busca paralela

Hill Climbing (ou gradiente descendente)

- tenta fazer modificações que melhorem o estado corrente
- 2 desvantagens:
  - máximos locais
  - platôs: percorre estados aleatoriamente porque a função de avaliação não muda muito
- Exemplo: Jogo dos oito :-)

Hill Climbing: exemplo

```
2 8 3    2 8 3    2   3      2 3    1 2 3    1 2 3
1 6 4    1   4    1 8 4    1 8 4      8 4    8   4
7   5    7 6 5    7 6 5    7 6 5    7 6 5    7 6 5

f=-4     f=-3     f=-3     f=-2     f=-1     f=0
```

- No caso de não se poder aplicar a regra, o processo termina.
- Solução = máximo local, hill-climbing não encontra máximo global.

Hill Climbing: exemplo

- não funciona para:

```
1 2 5         1 2 3
  7 4   =>      7 4
8 6 3         8 6 5


f=-2
```

- Qq movimento diminui o valor da função de avaliação.

Random Restart Hill Climbing

- executa uma série de buscas hill-climbing a partir de estados iniciais aleatórios
- cada um roda até terminar ou até não ter nenhum progresso
- salva o melhor resultado obtido até então
- pode ter no. finito de iterações ou continuar até não conseguir melhorar o melhor valor encontrado
- se superfície de busca contém muitos máximos locais, busca exponencial
- geralmente, solução boa pode ser encontrada em um número pequeno de iterações.

Simulated Annealing

- Invés de começar novamente aleatoriamente quando passa num máximo local, permite que a busca escape do máximo local "descendo a montanha".

Simulated Annealing

```
function SA(problem,schedule) return a solution state
   current <- MAKE_NODE(INITIAL_STATE[problem])
   for t <- 1 to infinito do
       T <- schedule(t)
       if T = 0 then return current
       next <- sucessor de current selecionado
               aleatoriamente
       deltaE <- value[next] - value[current]
       if deltaE > 0 then current <- next
       else current <- next with prob e^(deltaE/T)
       endif
   endfor
```

Simulated Annealing

```
P = e^(deltaE/T)
n = sorteio de um no. de 0 a 1
if n < P then current <- next
```

- ou seja: quanto maior a prob mais chance de aceitar mover para passos de custo pior.

Outros Algoritmos

- Algoritmos Genéticos
  - Operações: "crossover", mutação e reprodução
  - começa de uma população inicial
  - aplica as operações
  - calcula uma função de "fitness" para cada indivíduo da população
  - pode eliminar indivíduos menos "fit"

Outros Algoritmos

- Satisfação de Restrições
  - tipo especial de problema que satisfaz propriedades estruturais além dos requisitos básicos para problemas gerais de busca
  - estados: conjunto de variáveis
  - domínio: conjunto possível de valores que uma variável pode assumir (discreto/contínuo, finito/infinito)
  - estado inicial: todas as variáveis com valores possíveis iniciais
  - estado final: valores finais para as variáveis que respeitem as restrições do problema
  - profundidade máxima da árvore: número de variáveis

Satisfação de Restrições: Exemplo

- n-rainhas
  - variáveis: posições no tabuleiro
  - restrições: nenhuma rainha pode atacar outra na mesma linha, diagonal ou coluna
  - valores iniciais das variáveis: V_1 *in* $1..n$, V_2 *in* $1..n$ etc, com n largura do tabuleiro

Satisfação de Restrições: Possíveis algoritmos

- aloca uma nova rainha para uma nova coluna a cada nível (solução incremental)
- complexidade: $n^n = \approx \pi D_i = D_1 \times D_2 \times ... \times D_n$
- fator de ramificação: n
- fator máximo de ramificação: $n \times n = \sum D_i = D_1 + D_2 + ... + D_n$
- se todas as variáveis fossem instanciadas com todos os valores possíveis no primeiro nível da árvore

Satisfação de Restrições: Possíveis algoritmos

```
n = 8
                   (0,0,0,0,0,0,0,0)

N  (1,0,0,0,0,0,0,0)  (0,1,0,0,0,0,0,0)  (0,0,1,0,0,0,0,0) ....
i  (2,0,0,0,0,0,0,0)  (0,2,0,0,0,0,0,0)  (0,0,2,0,0,0,0,0) ....
v   ..........
1  (8,0,0,0,0,0,0,0)  (0,8,0,0,0,0,0,0)  (0,0,8,0,0,0,0,0) ....

N  (1,1,0,0,0,0,0,0)  (0,1,1,0,0,0,0,0)  (1,0,1,0,0,0,0,0) ....
i  (2,2,0,0,0,0,0,0)  (0,2,2,0,0,0,0,0)  (2,0,2,0,0,0,0,0) ....
v   ..........
2  (8,8,0,0,0,0,0,0)  (0,8,8,0,0,0,0,0)  (8,0,8,0,0,0,0,0) ....
```

Satisfação de Restrições: Possíveis algoritmos

- utilizando BP a sub-árvore que contém

  `(0,0,0,0,0,0,0,0) -> (1,0,0,0,0,0,0,0) ->`

  `(1,1,0,0,0,0,0,0) ->`

  `(1,1,1,0,0,0,0,0) -> (1,1,1,1,0,0,0,0) -> ...`

- será explorada mesmo sabendo que (1,1,1,1,1,1,1,1) não é solução

Satisfação de Restrições: Possíveis algoritmos

- solução: colocar o teste de restrição a cada rainha colocada no tabuleiro
- tb não é a melhor solução!
- Suponha que já conseguimos alocar 6 rainhas, mas esta alocação ataca a oitava rainha.
- BP testa todas as possibilidades de colocação da sétima rainha!

Satisfação de Restrições: Possíveis algoritmos

- solução: algoritmos *Forward Checking* e *Lookahead* ou simplesmente "consistência de arcos"
- Forward Checking: retira dos domínios de outras variáveis todos os valores impossíveis que violam as restrições
- Lookahead: além de executar forward checking, verifica se o domínio modificado de cada variável conflita com os outros.

Forward Checking: Exemplo

```
n = 8
(1) V1 = 1  ==> V2 = {3,4,5,6,7,8}
                V3 = {2,4,5,6,7,8}
                V4 = {2,3,5,6,7,8}
                V5 = {2,3,4,6,7,8}
                V6 = {2,3,4,5,7,8}
                V7 = {2,3,4,5,6,8}
                V8 = {2,3,4,5,6,7}

(2) V2 = 3  ==> V3 = {5,6,7,8}
                V4 = {2,6,7,8}
                V5 = {2,4,7,8}
                V6 = {2,4,5,8}
                V7 = {2,4,5,6}
                V8 = {2,4,5,6,7}
```

```
                +---+---+---+---+---+---+---+
                | X |   |   |   |   |   |   |
                +---+---+---+---+---+---+---+
                |   |   |   |   |   |   |   |
n-rainhas       +---+---+---+---+---+---+---+
n=8             |   | X |   |   |   |   |   |
                +---+---+---+---+---+---+---+
                |   |   |   |   |   |   |   |
apos V1=1       +---+---+---+---+---+---+---+
     V2=3       |   |   |   |   |   |   |   |
                +---+---+---+---+---+---+---+
                |   |   |   |   |   |   |   |
                +---+---+---+---+---+---+---+
                |   |   |   |   |   |   |   |
                +---+---+---+---+---+---+---+
                |   |   |   |   |   |   |   |
                +---+---+---+---+---+---+---+
```

Satisfação de Restrições: Possíveis algoritmos

- para domínios infinitos: programação linear, simplex, revised simplex, convex hull, eliminação de Gauss.
- para domínios finitos: forward checking, lookahead, consistência de arcos em geral.
- Para domínios finitos, dois problemas:
  - escolha da *variável*:
    - *most-constrained*: menor domínio
    - *most constraining*: restringe ao máximo os domínios das outras variáveis
  - escolha do *valor* da variável:
    - princípio *first-fail*.
    - *least constraining*: valor que afeta menos o conjunto de valores das outras variáveis

```
Coloracao de Mapas: 3 cores  +------------+
azul                         |B           |
verde              +---------+            |
vermelho           |A        |            |
                   |         |            |
          +--------+--+      |            |
          |C          +------+------+     |
          |           |             |     |
          +-+----+----+             |     |
            |    |                  +---+-+
            |    |E                 |   |
            |    +------------------+   +---------+
            |                           |         |
            |                           |         |
            |                           |         |
            |F                          |D        |
            +---------------------------+---------+
```

Satisfação de Restrições

- variável most-constrained: permite resolver n-rainhas com n igual a 100.
- forward checking puro: só consegue resolver até 30.
- valor least-constraining: permite resolver n-rainhas com n igual a 1000.