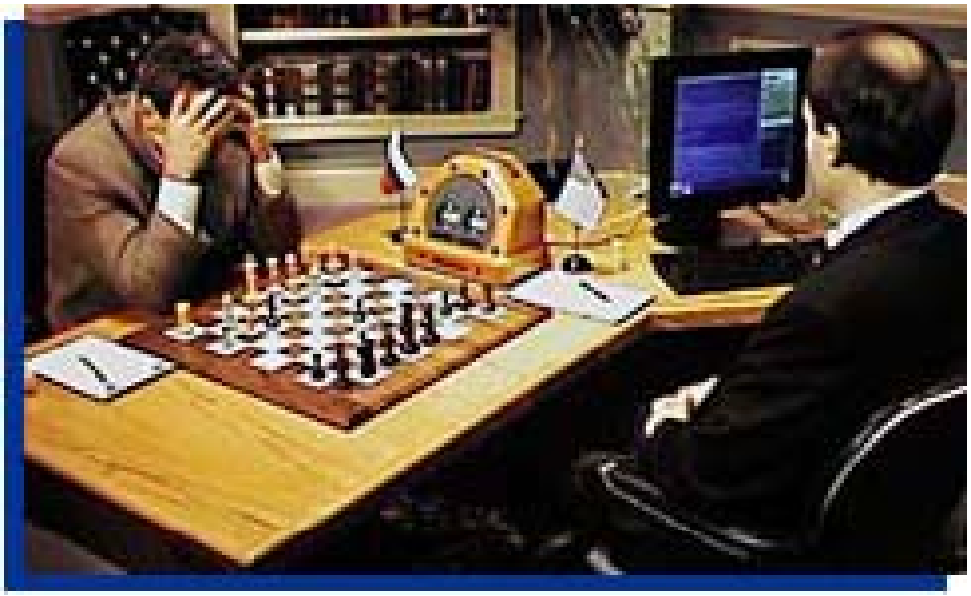
Busca com Adversários: Jogos

Thiago A. S. Pardo
Maria Carolina Monard

Busca com Adversários

- Diferentemente da busca tradicional vista até agora, na qual a situação não troca durante a busca, a busca com adversários considera que há oponentes hostis em sua trajetória
  - Jogos são o exemplo clássico



Garry Kasparov and Deep Blue. © 1997, GM Gabriel Schwartzman's Chess Camera, courtesy IBM.

Árvore de Busca "Tradicional" de Xadres

- Tamanho do espaço de estados (10^{120} – considerando uma média de 40 movimentos)
  - **10^{120} > No. de átomos no universo!!!**
- Considerando que são computadas 200 milhões de posições/seg então seriam necessários 10^{100} anos para avaliar todos os jogos de xadrés
  - **Edade do universo = 10^{10}**

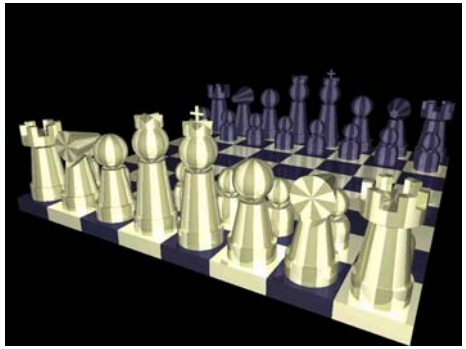
  Assim, outras técnicas de busca são utilizadas em jogos

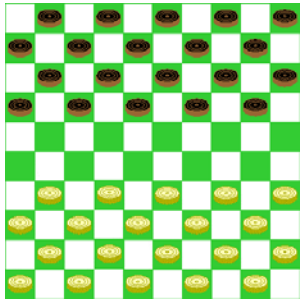
Tipos de Jogos

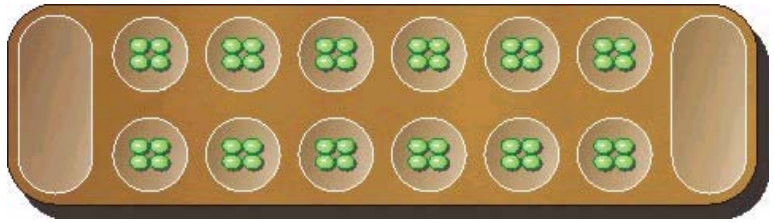
	Determinístico	*Sorte*
Informação perfeita	Xadrez, Damas, Go...	Gamão, Banco Imobiliário
Informação imperfeita		Bridge, Poker, War...

Problemas Clássicos

- Xadrez
- Bridge
- Gamão
- Go
- Mancala
- Damas
- ...







Considerações Gerais

- Jogos são atrativos para IA
  - Formulação simples do problema (ações bem definidas)
  - Ambiente acessível
  - Abstração (representação simplificada de problemas reais)
  - Sinônimo de inteligência

Considerações gerais

- Problema desafiador
  - Tamanho (espaço de busca) + limitação de tempo
  - Restrições sobre recursos → difícil encontrar a meta
  - Adversário "imprevisível" → solução é ter um plano de contingência

Considerações gerais

- Jogos: dois tipos básicos de situações
  - Espaço de estados suficientemente pequeno
  - Espaço de estados muito grande

Considerações gerais

- Problema pode ser formulado como:
  - **Estado inicial**: posições do tabuleiro e indicação do jogador (*de quem é a vez)*
  - **Estado final**: posições em que o jogo acaba
  - **Operadores**: jogadas legais
  - **Função de utilidade**: valor numérico (pontuação) de uma posição

Caso Simples

- Jogo de 2 pessoas
- Movimentos alternados
- **Zero-soma**: a perda para um jogador representa o ganho do outro
- **Informação perfeita**: ambos jogadores tem acesso a toda a informação relacionada ao estado corrente do jogo. Não há ocultamento de informação para os jogadores.
- Não há “sorte” no jogo (ex., uso de dados)
- Exemplos: Tic-Tac-Toe, Damas, Xadres, Go, Nim… Mas não Bridge, Poker, Backgammon, ...

Como Jogar?

- **Uma maneira de jogar consite em:**
  - Considerar todos os movimentos legais que podem ser realizados
  - Computar a nova posição resultante de cada movimento legal
  - Avaliar cada posição resultante, decidir e executar o melhor movimento
  - Esperar pelo movimento do oponente e repetir o processo

  Problemas a ser solucionados:
  - Representar todas as “posições” legais (estados)
  - Gerar essas “posições”
  - Avaliar a “posição”

Função de Utilidade

- A **função de utilidade** é usada para avaliar a qualidade de uma posição no jogo
  - Observar que é diferente da função de avaliação utilizada na busca informada (heurística) na qual a função de avaliação é uma estimativa não-negativa do que "acreditamos" (futuro) que ainda falta fazer para chegar do Ei ao Ef passando por esse nó.
- Jogo **Zero-soma** permite usar uma única função de utilidade para avaliar a qualidade de uma posição com relação a ambos jogadores
  - **f(n) >> 0**: posição **n** boa para mim e ruim para oponente
  - **f(n) << 0**: posição **n** ruim para mim e boa para oponente
  - **f(n) perto de 0**: posição **n** neutra
  - **f(n) = +infinito**: eu ganho
  - **f(n) = -infinito**: meu oponente ganha

Função de Utilidade

- Da a utilidade de um estado
  - utilidade(Estado)
- Exemplos da função utility
  - -1, 0, e +1, para Jogador 1 perde, empata e ganha, respectivamente.
  - Diferença entre o total de pontos dos dois jogadores.
  - Somas ponderadas de fatores (ex. Xadres)
    - $utility(S) = w_1 f_1(S) + w_2 f_2(S) + ... + w_n f_n(S)$
      - $f_1(S)$ = (No de rainhas Br) – (No de rainhas Pr), $w_1 = 9$
      - $f_2(S)$ = (No de torres Br) – (No de torres Pr), $w_2 = 5$
      - ...

Minimax

- 1944 - John von Neumann propõe um método de busca (Minimax) para jogos de soma zero que maximiza a sua posição enquanto minimiza a de seu oponente.
- Para implementar esse método necessitamos de medir, de alguma maneira, o quanto é boa a nossa posição.
- Usamos para isso a função de utilidade (utility function).
- Inicialmente, será um valor que descreve exatamente a nossa posição.

Dois Agentes

MAX

- Tem como objetivo maximizar o resultado da avaliação da função de utilidade.
- Estrategia para ganhar se, quando MIN joga, MAX ganha para todos os movimentos que MIN pode realizar.

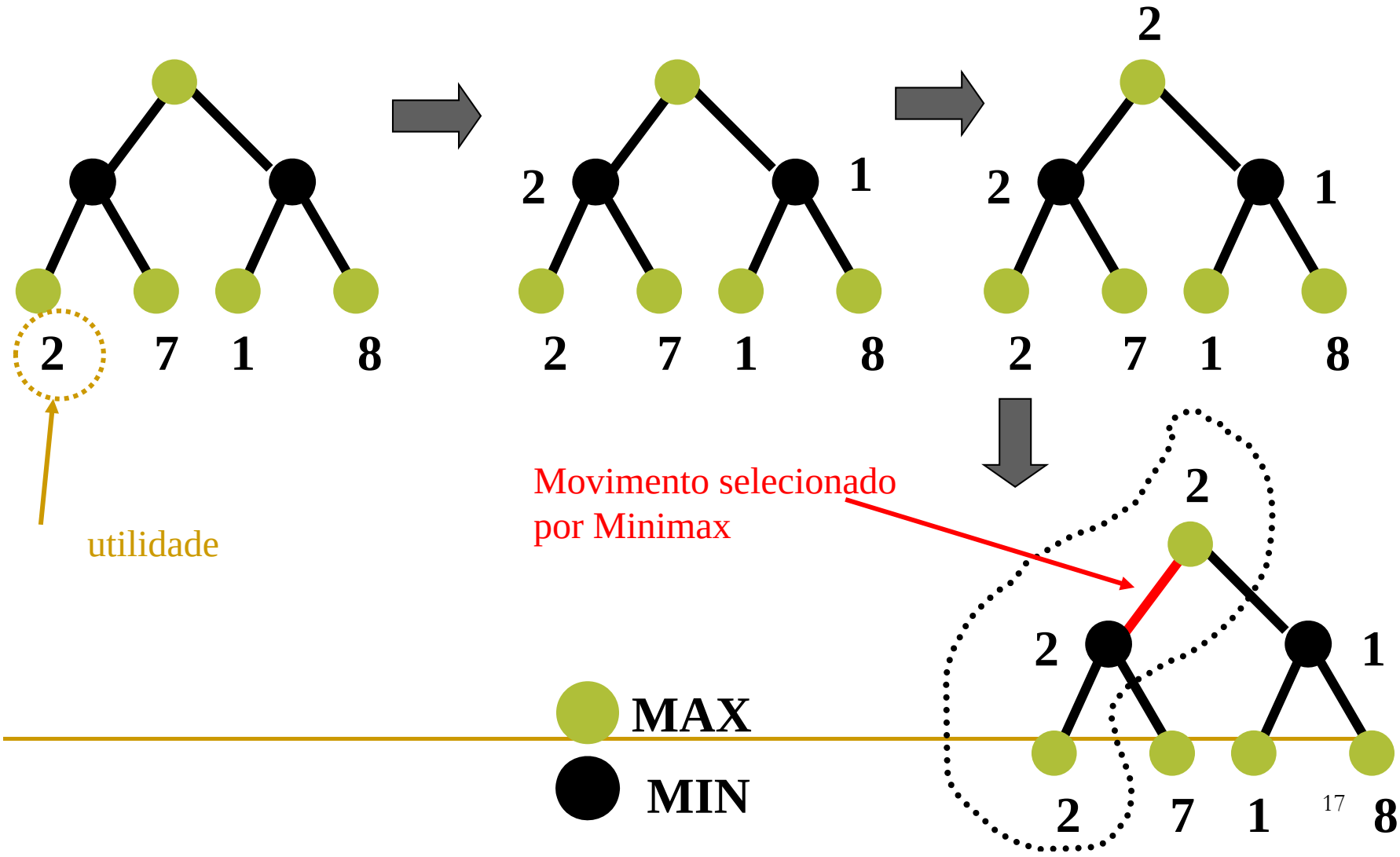
MIN

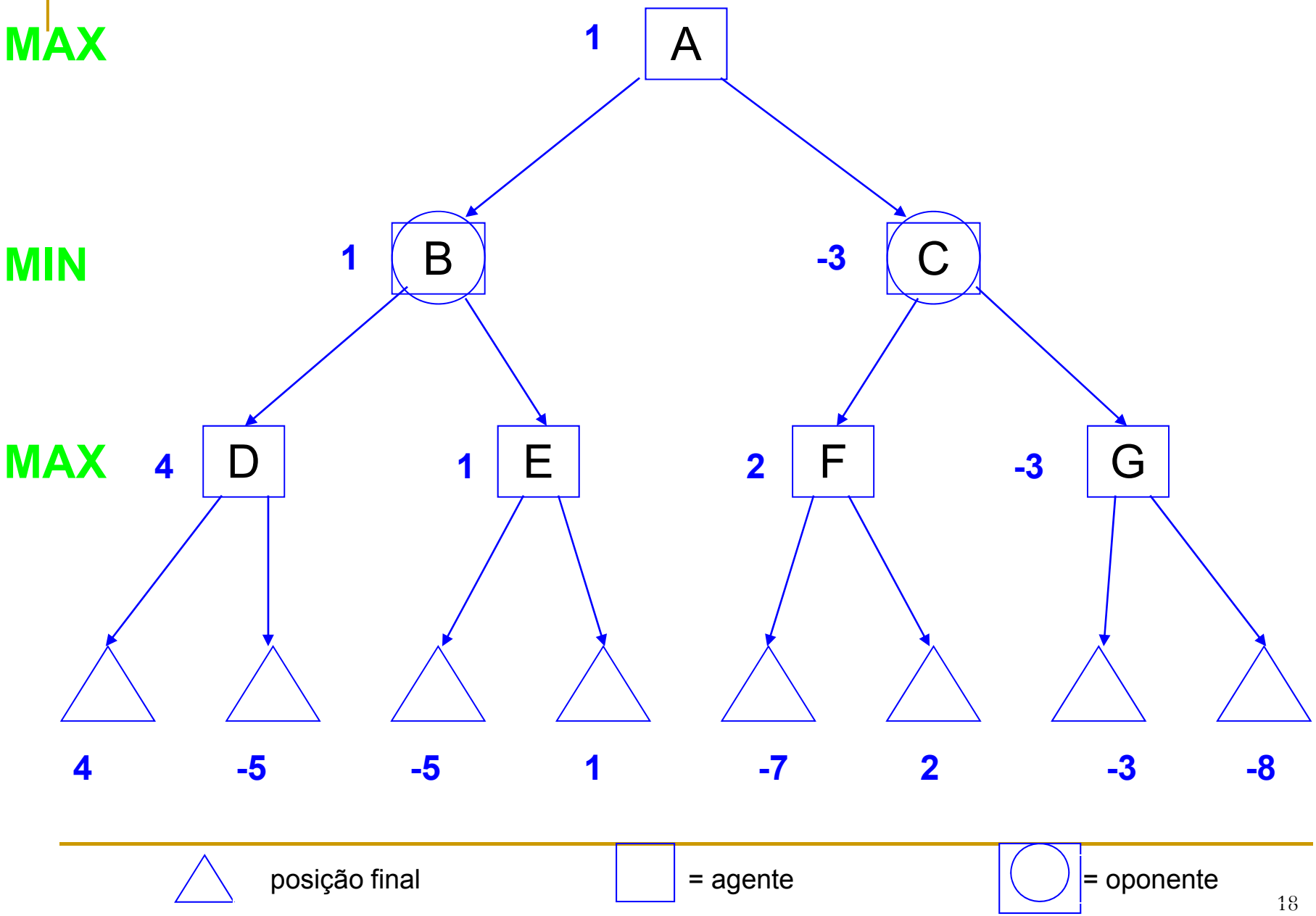
- Tem como objetivo minimizar o resultado da avaliação da função de utilidade.
- Estrategia para ganhar se, quando MAX joga, MIN ganha para todos os movimentos que MAX pode realizar.

Algoritmo Minimax (informal)

1. Gerar a árvore do jogo
2. Calcular a função de utilidade de cada estado terminal
3. Propagar a utilidade dos nós terminais para niveis superiores:
   – se no nível superior é a vez de MIN jogar, escolher o
      menor valor
   – se no nível superior é a vez de MAX jogar, escolher o
      maior valor
4. No nodo raiz, MAX escolhe o movimento que leva ao maior valor (decisão Minimax)

Algoritmo Minimax



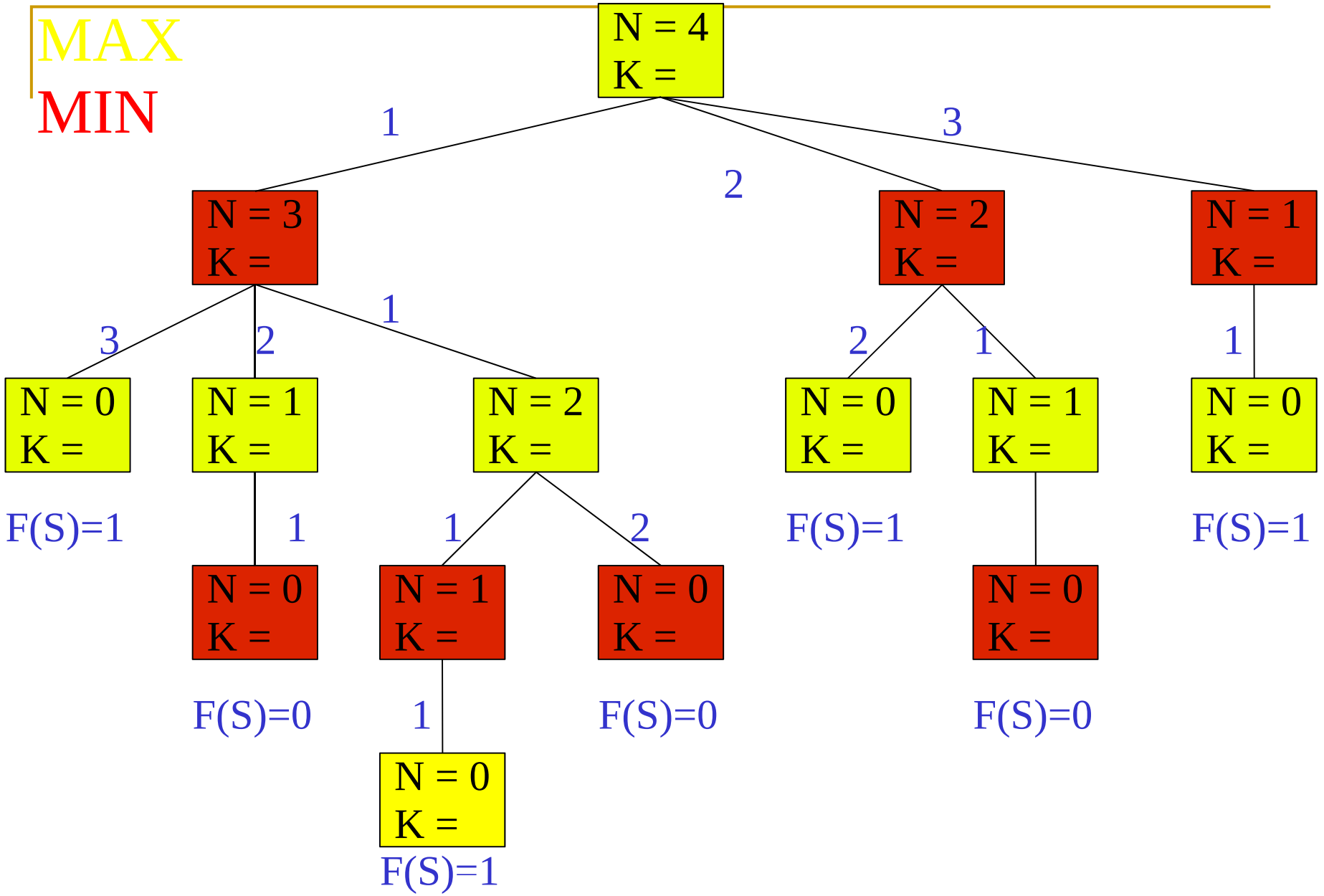

MAX
MIN
MAX
1
A
1
B
-3
C
4
D
1
E
2
F
-3
G
4
-5
-5
1
-7
2
-3
-8
posição final
= agente
= oponente

Exemplo

- Jogo das moedas
  - Há uma pilha de N moedas
  - Um por vez, cada jogador retira 1, 2, ou 3 moedas da pilha
  - O jogador que retira a última moeda perde

Jogo das Moedas: Def. Formal

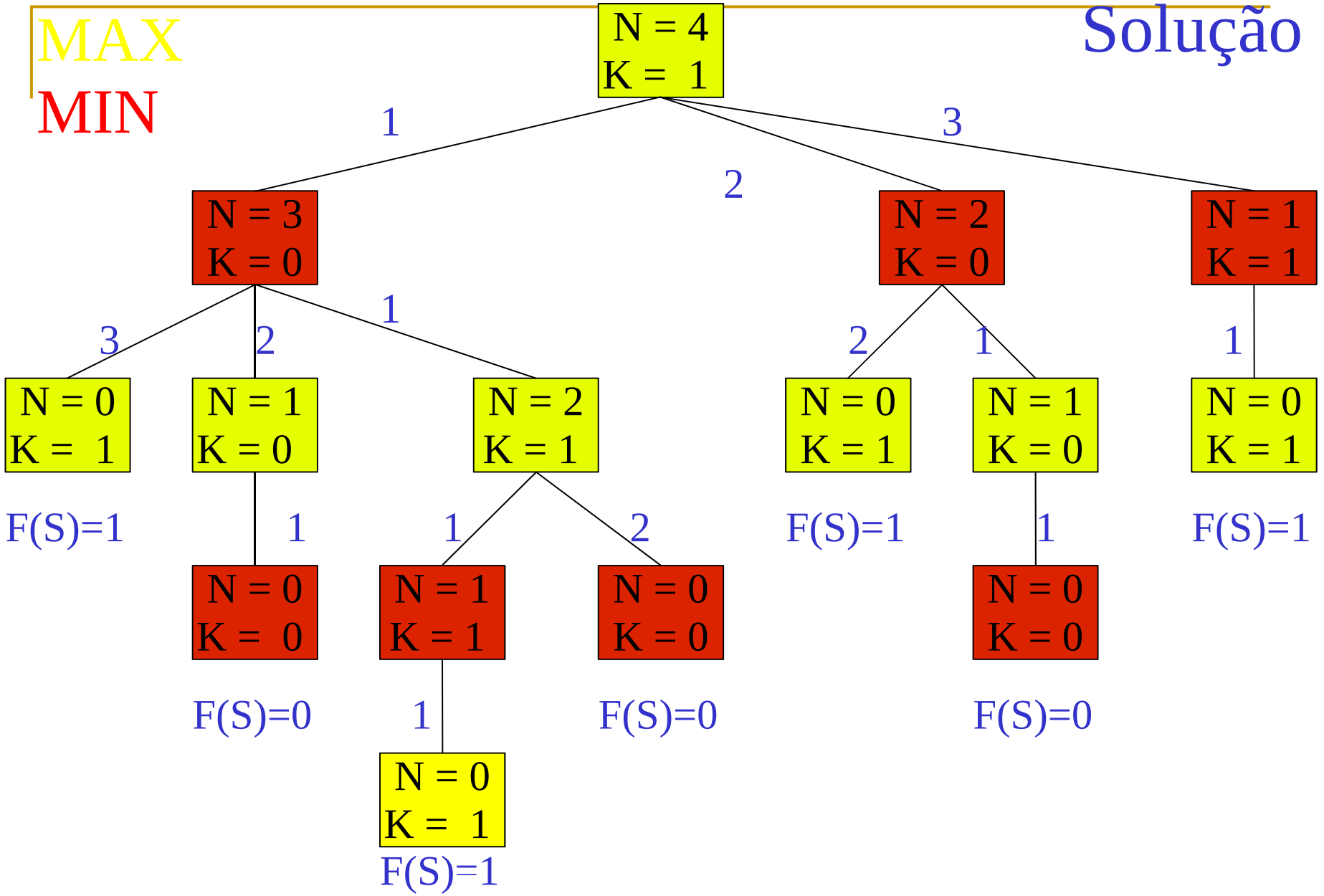
- Estado Inicial: Número de moedas na pilha
- Operadores:
  1. Remove uma moeda
  2. Remove duas moedas
  3. Remove três moedas
- Fim do jogo: pilha vazia
- Função de utilidade: F(S)
  - F(S) = 1 se MAX ganha, 0 se MIN ganha


MAX
MIN
N = 4
K =
1
2
3
N = 3
K =
N = 2
K =
N = 1
K =
3
2
1
2
1
1
N = 0
K =
N = 1
K =
N = 2
K =
N = 0
K =
N = 1
K =
N = 0
K =
F(S)=1
1
1
2
F(S)=1
F(S)=1
N = 0
K =
N = 1
K =
N = 0
K =
N = 0
K =
F(S)=0
1
F(S)=0
F(S)=0
N = 0
K =
F(S)=1

MAX

MIN

Solução

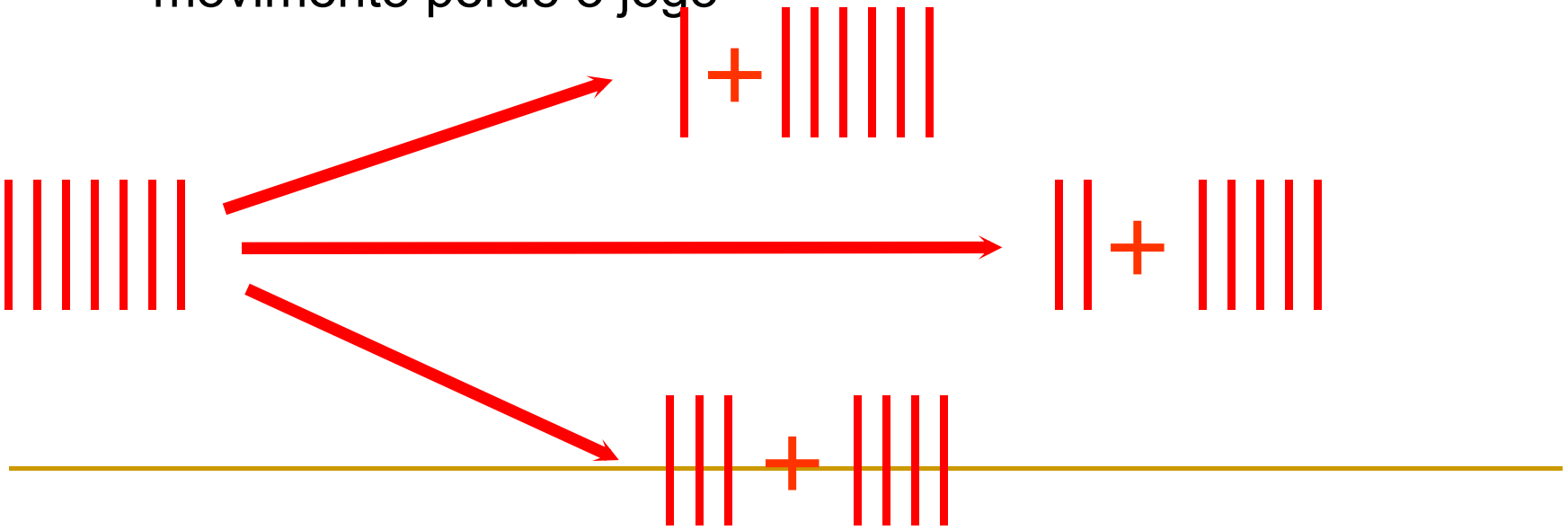


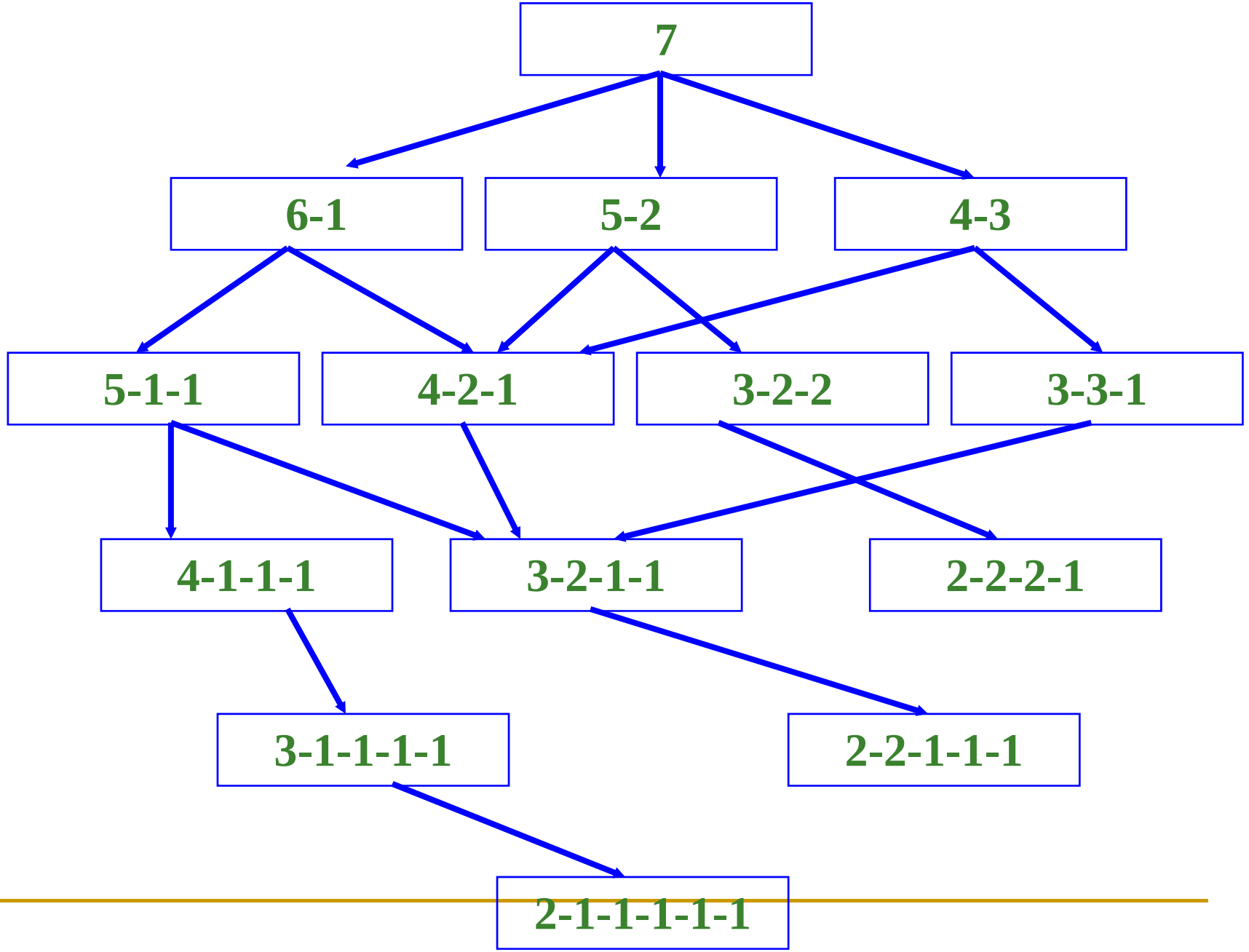
Analisis

- Max profundidade: 5
- Grau da árvore: 3
- Número de nós: 15
- Ainda neste exemplo trivial é possível observar que essa árvore pode ser muito grande.
  - Geralmente, a busca envolve $O(b^d)$ nós
    - Grau b: maximo número de movimentos para cada nó
    - Profundidade d: altura da árvore
  - Tempo exponencial para executar o algoritmo !
  - Como podemos melhorar esse tempo?

Jogo Nim

- Uma pilha de fichas é colocada sobre uma mesa entre dois oponentes
- A cada movimento, um jogador deve dividir a pilha de fichas em duas pilhas não vazias de tamanhos diferentes
- O primeiro jogador que não puder mais realizar um movimento perde o jogo




7
6-1
5-2
4-3
5-1-1
4-2-1
3-2-2
3-3-1
4-1-1-1
3-2-1-1
2-2-2-1
3-1-1-1-1
2-2-1-1-1
2-1-1-1-1-1

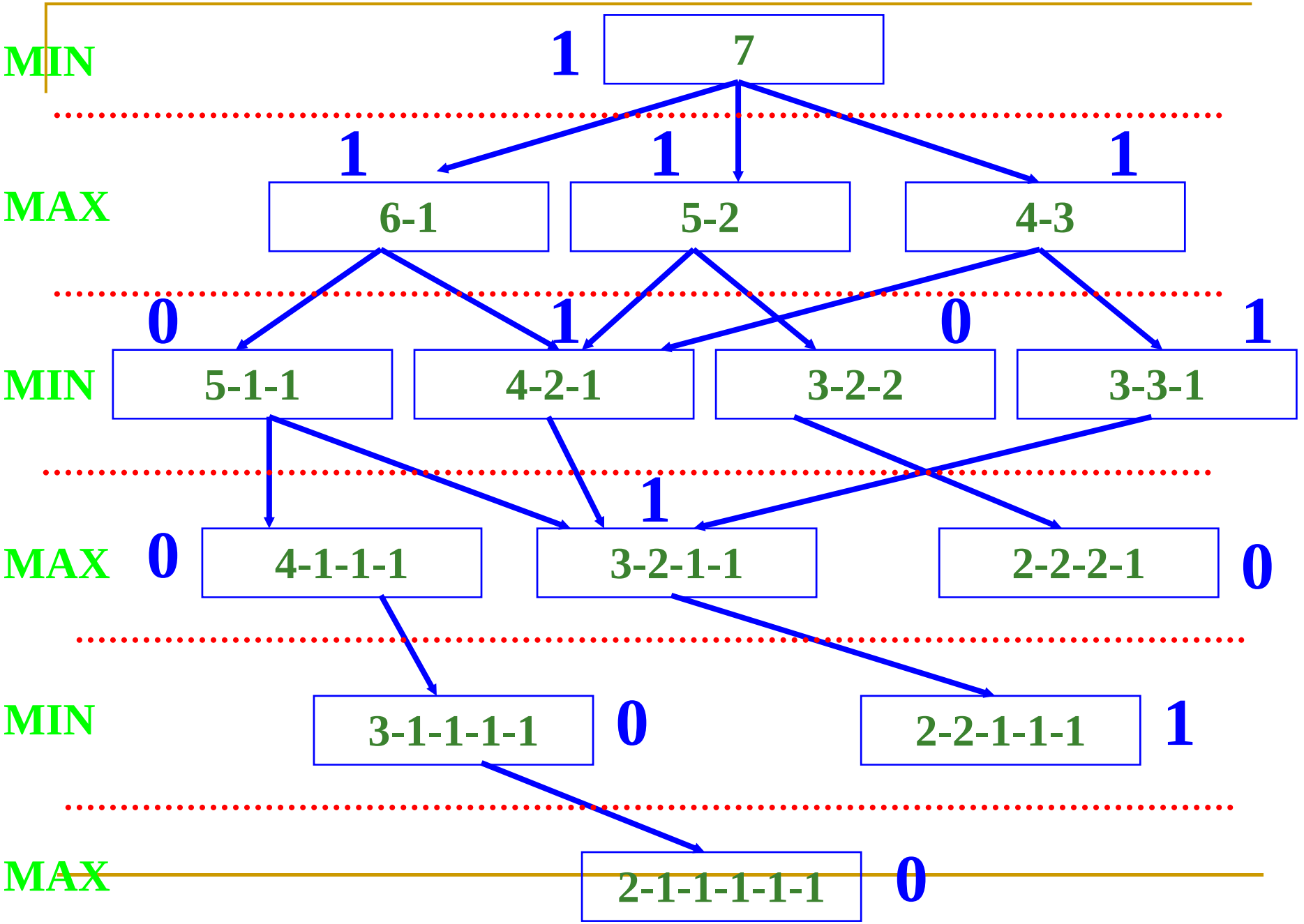
Jogo Nim

- Considerando que MIN joga primeiro, completar a árvore Minimax. Lembrar que

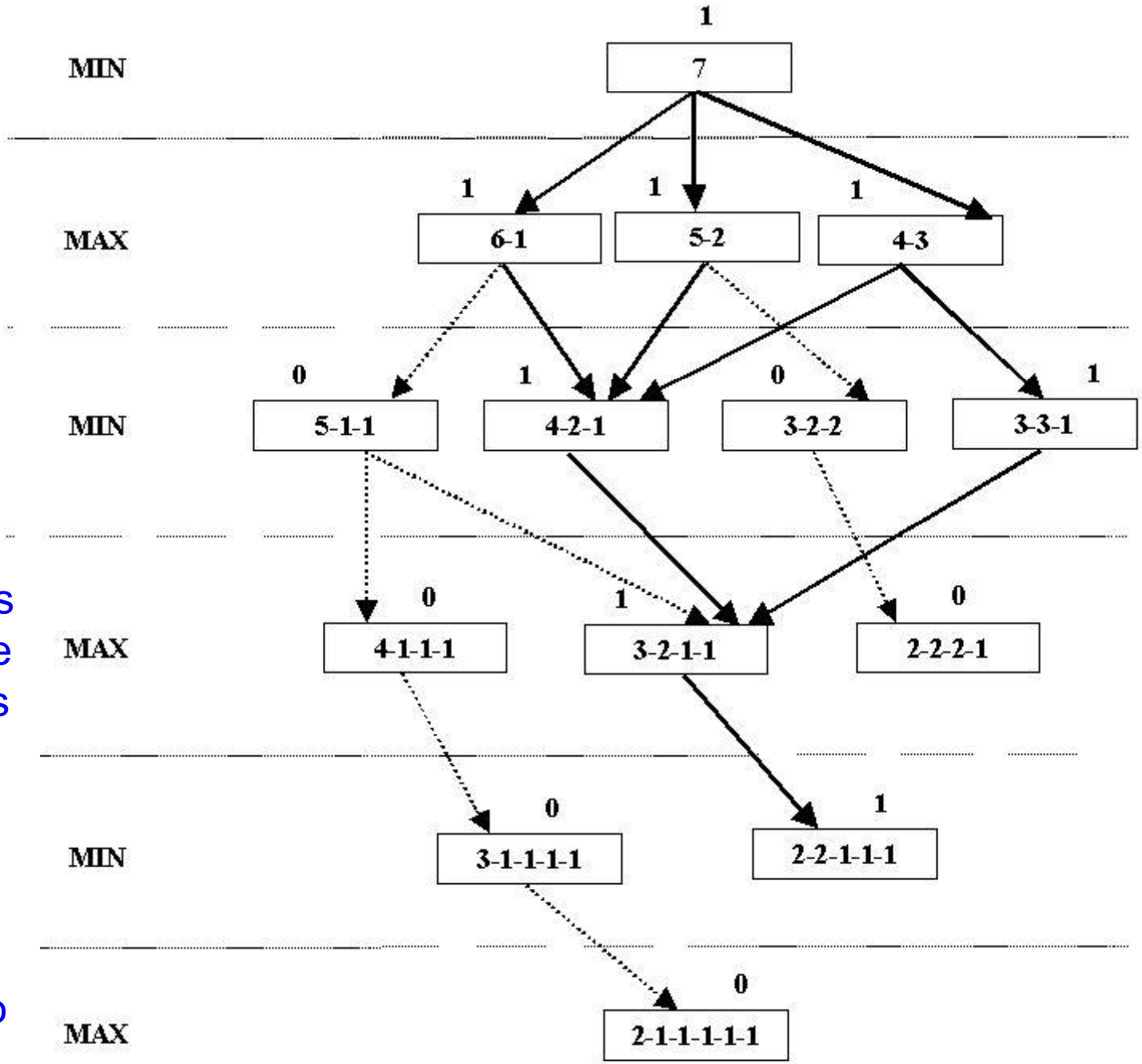
  -jogador MIN quer minimizar a chance de vitória do oponente

  -jogador MAX quer maximizar sua chance de vitória

- Considerar a seguinte função de utilidade
  - 0 = ganha MIN
  - 1 = ganha MAX


MIN
1
7
MAX
1
6-1
1
5-2
1
4-3
MIN
0
5-1-1
1
4-2-1
0
3-2-2
1
3-3-1
MAX
0
4-1-1-1
1
3-2-1-1
2-2-2-1
0
MIN
3-1-1-1-1
0
2-2-1-1-1
1
MAX
2-1-1-1-1-1
0

Nim



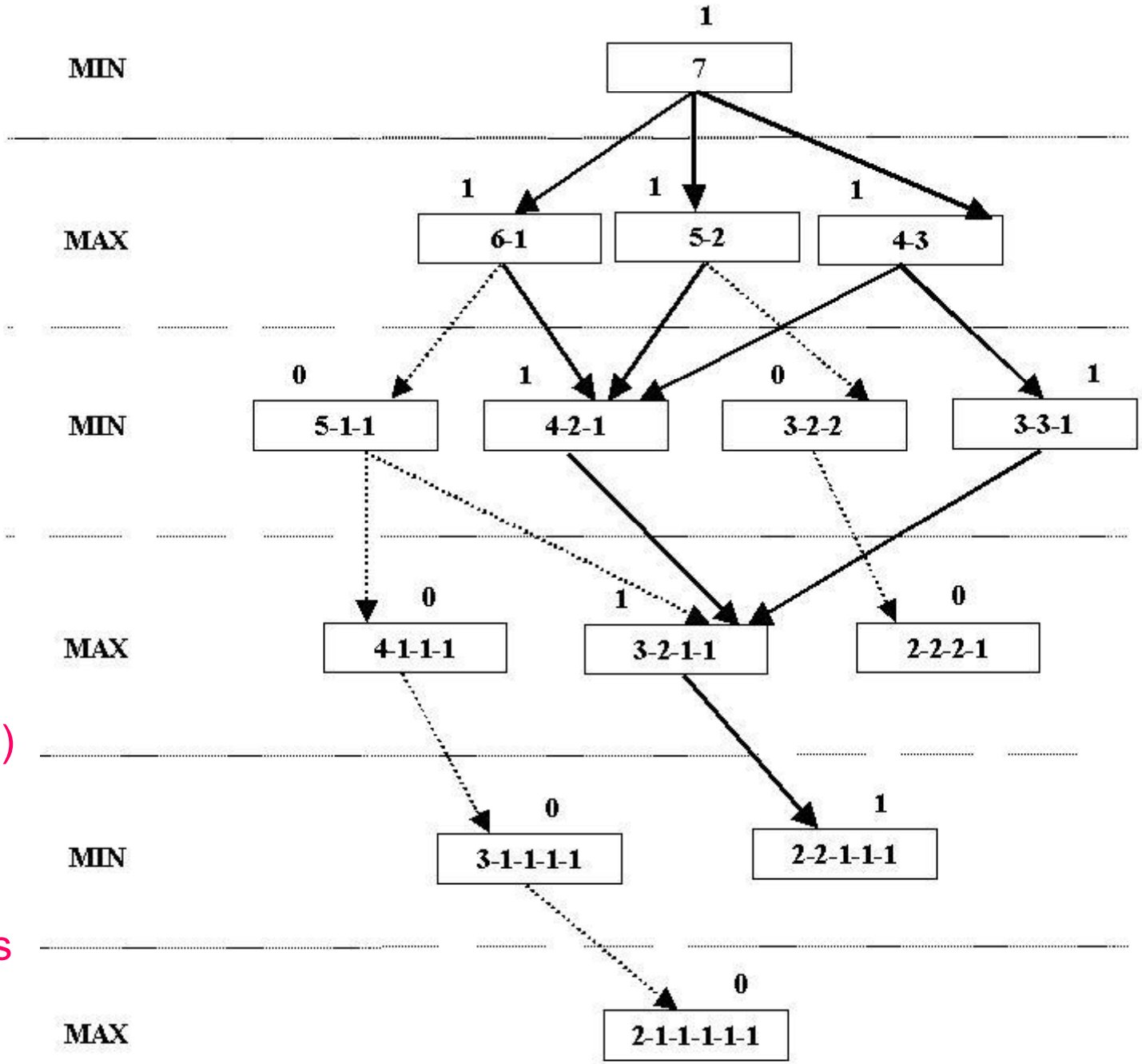
Se repassarmos adequadamente as decisões dos estados finais aos seus ancestrais, a cada jogada se sabe qual o melhor caminho a se seguir

Raciocínio dos Jogadores

- O jogador MIN sempre vai seguir o caminho que dê menos vantagem para o MAX... no caso, escolherá os estados marcados com 0, se houver algum

- O MAX sempre vai seguir o caminho que lhe dê mais vantagem... no caso, escolherá os estados marcados com 1, se houver algum

Nim



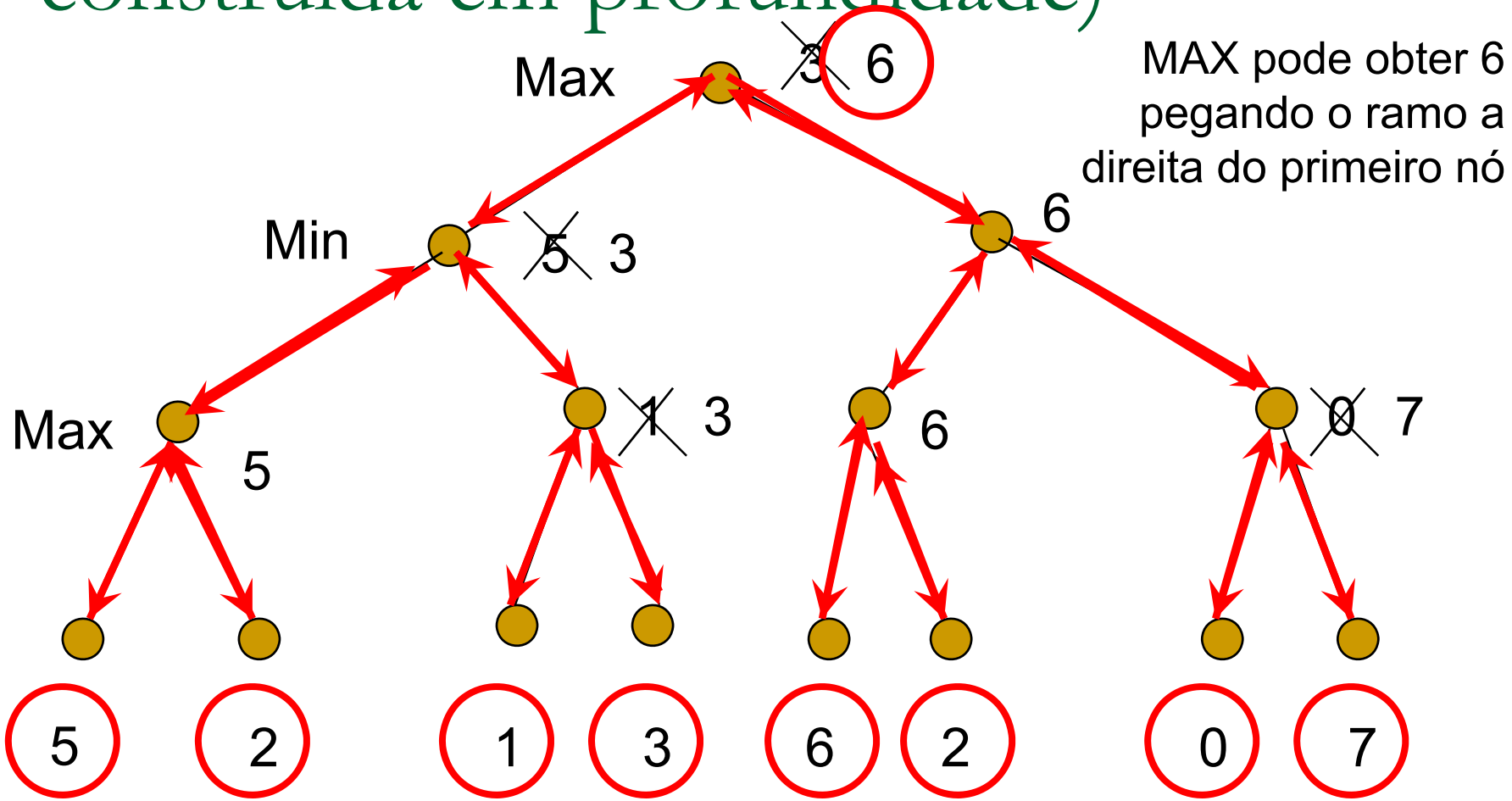
Note que o jogador 2 (MAX) sempre ganha, supondo-se boas decisões (indicadas pelas setas mais escuras)

Minimax (novamente...)

Passos

- Gera a árvore inteira até os estados terminais
- Aplica a função de utilidade nas folhas
- Propaga os valores subindo a árvore através do minimax
- Determinar qual o valor que será escolhido por MAX

Minimax – (veja que árvore de busca é construída em profundidade)



Busca para Jogos

- Em espaços de estados suficientemente pequenos, a estratégia anterior é muito boa

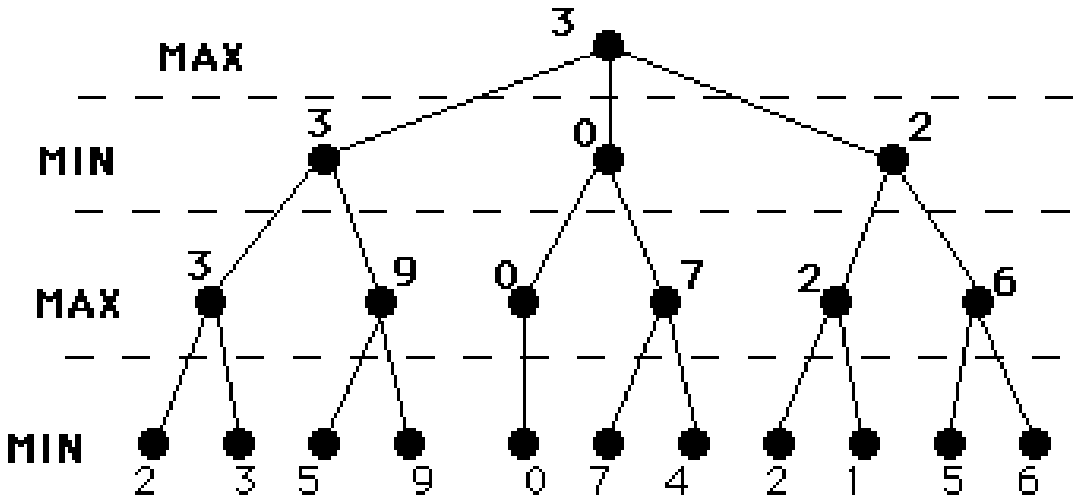
- Para espaços grandes e/ou em que há recursos limitados, temos que limitar a exploração realizada no espaço
  - *Antecipação de **n** níveis*

Minimax para Níveis Antecipados

- Algoritmo
  - Determina-se o número n de níveis (Ply) a serem investigados
  - Para cada jogada
    - Geram-se os n níveis
    - Como não se garante que há estados finais e, portanto, não há certeza de vitória ou derrota, usa-se uma função de avaliação, que retorna um valor heurístico para cada estado
    - Repassam-se os valores do último nível aos seus ancestrais
    - Decide-se que jogada fazer com base nos valores heurísticos

Minimax para Níveis Antecipados

- Exemplo de um espaço de estados hipotético, com antecipação de 4 níveis/camadas



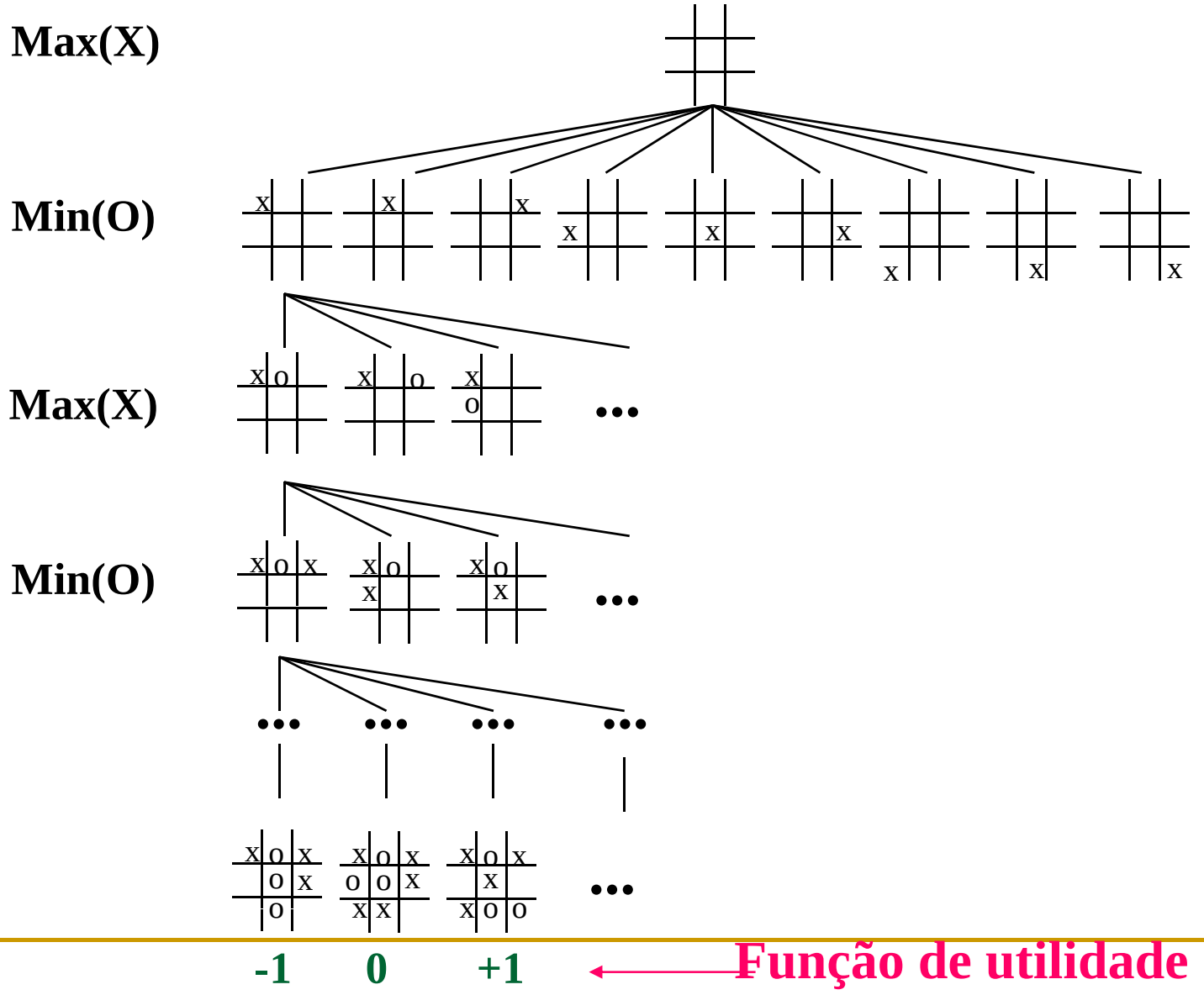
Minimax para Níveis Antecipados

- Como definir a heurística?
  - Muitas possibilidades
  - Em geral, medem a vantagem de um jogador sobre o outro
  - Em damas e xadrez, a vantagem de peças é importante: heurística que calcula a diferença do número de peças no tabuleiro
  - Em alguns casos, como xadrez, as peças têm importâncias diferentes e poderiam ser ponderadas de forma diferente na heurística (por exemplo, rainha>peão)

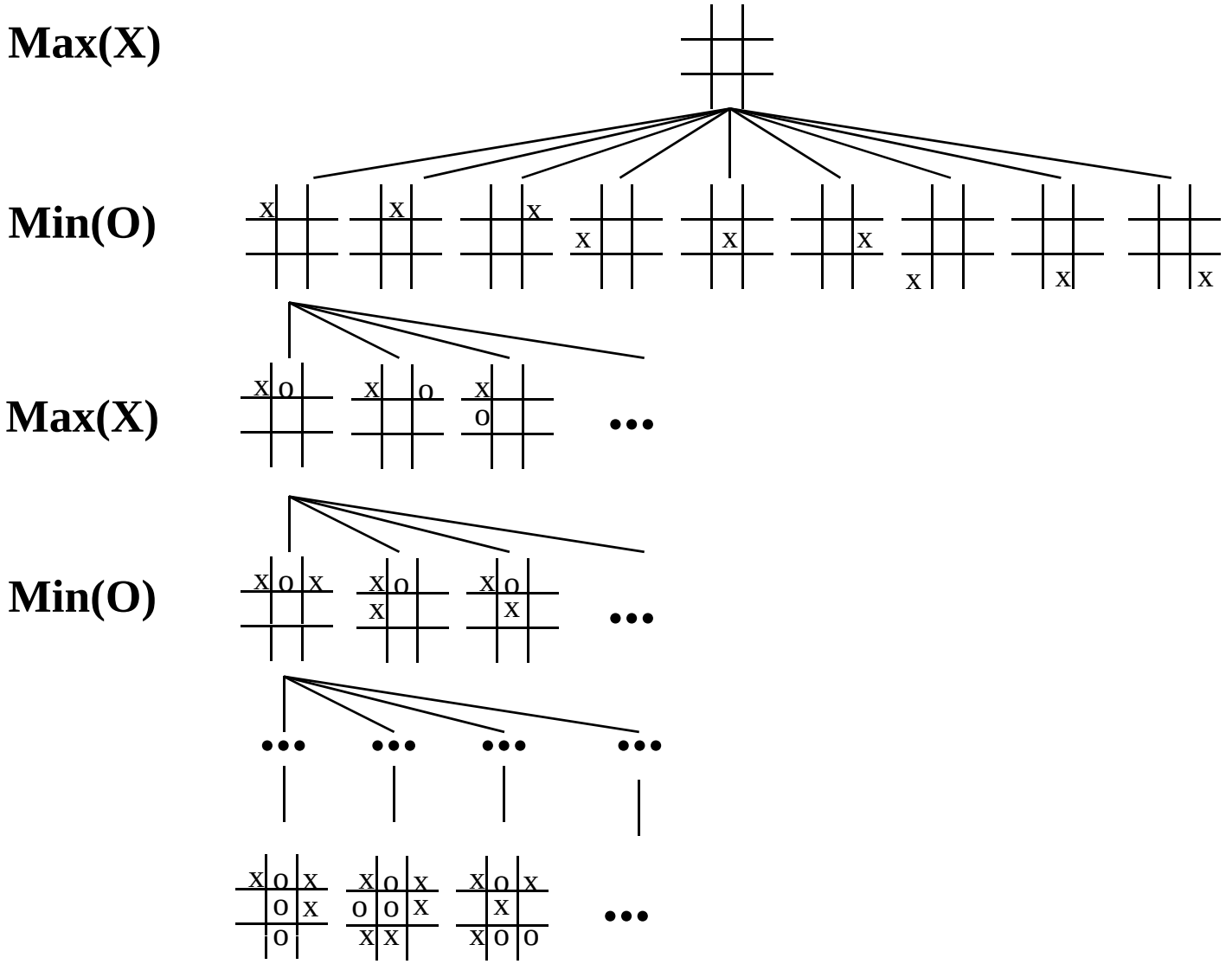
Minimax para Níveis Antecipados

- Qual seria uma boa heurística para o jogo da velha?

Jogo da Velha (minmax)

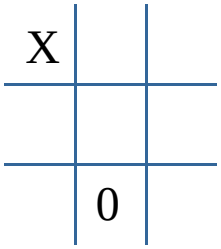


Jogo da Velha

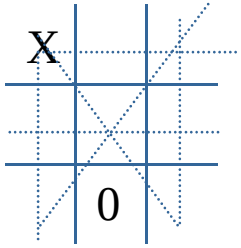


Precisa ser resolvido com antecipação de níveis?

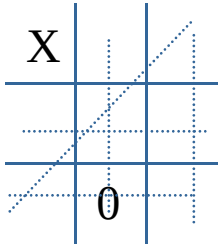
Jogo da Velha



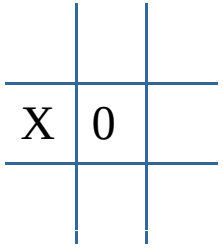
h = 6 - 5 = 1



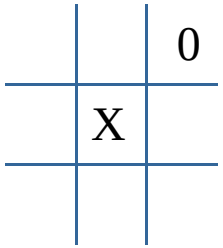
X tem 6 possibilidades



0 tem 5 possibilidades

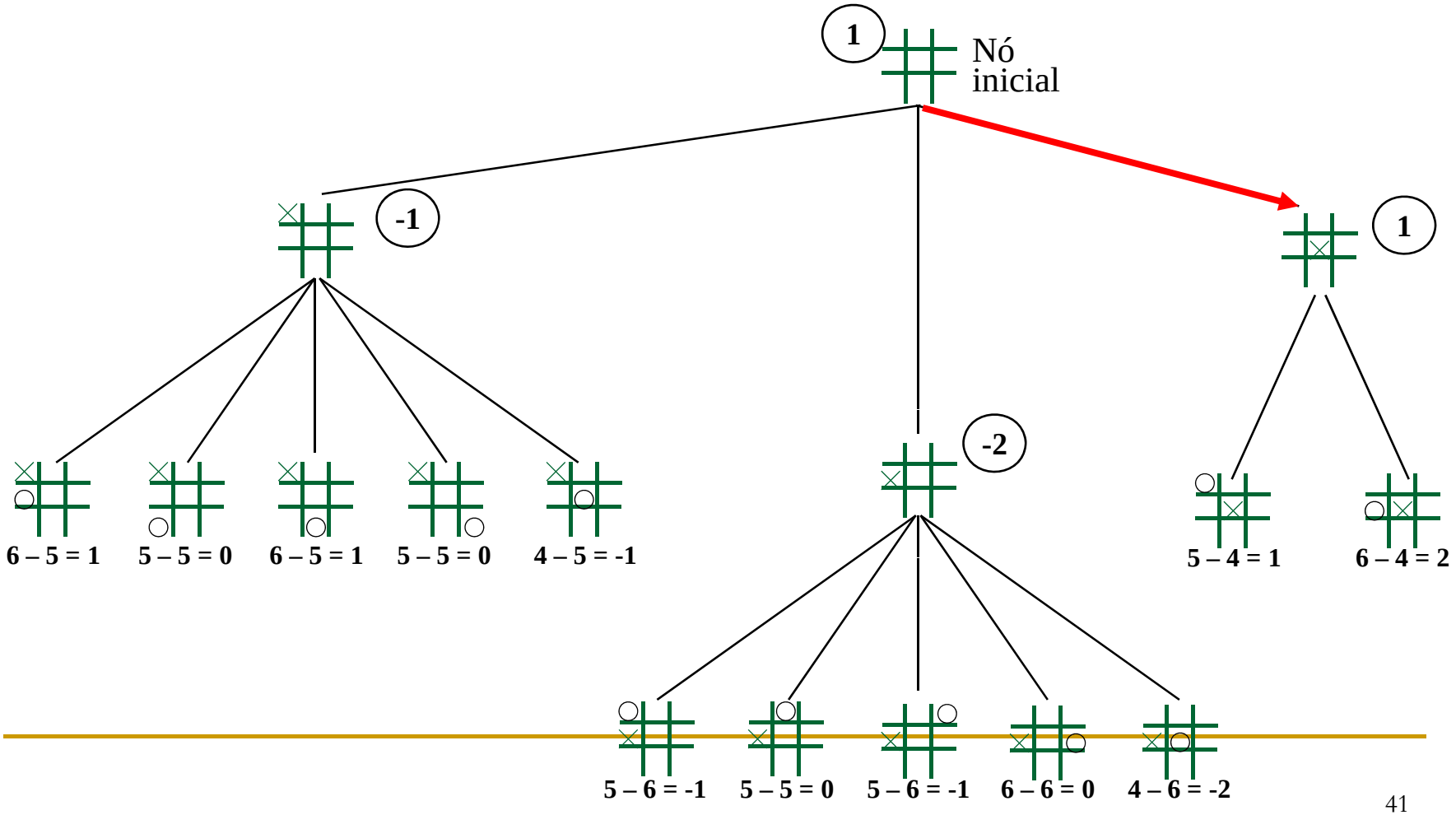


h = 4 - 6 = = -2



h = 5 - 4 = 1

Jogo da Velha



Minimax para Níveis Antecipados

- Problema dessa técnica?

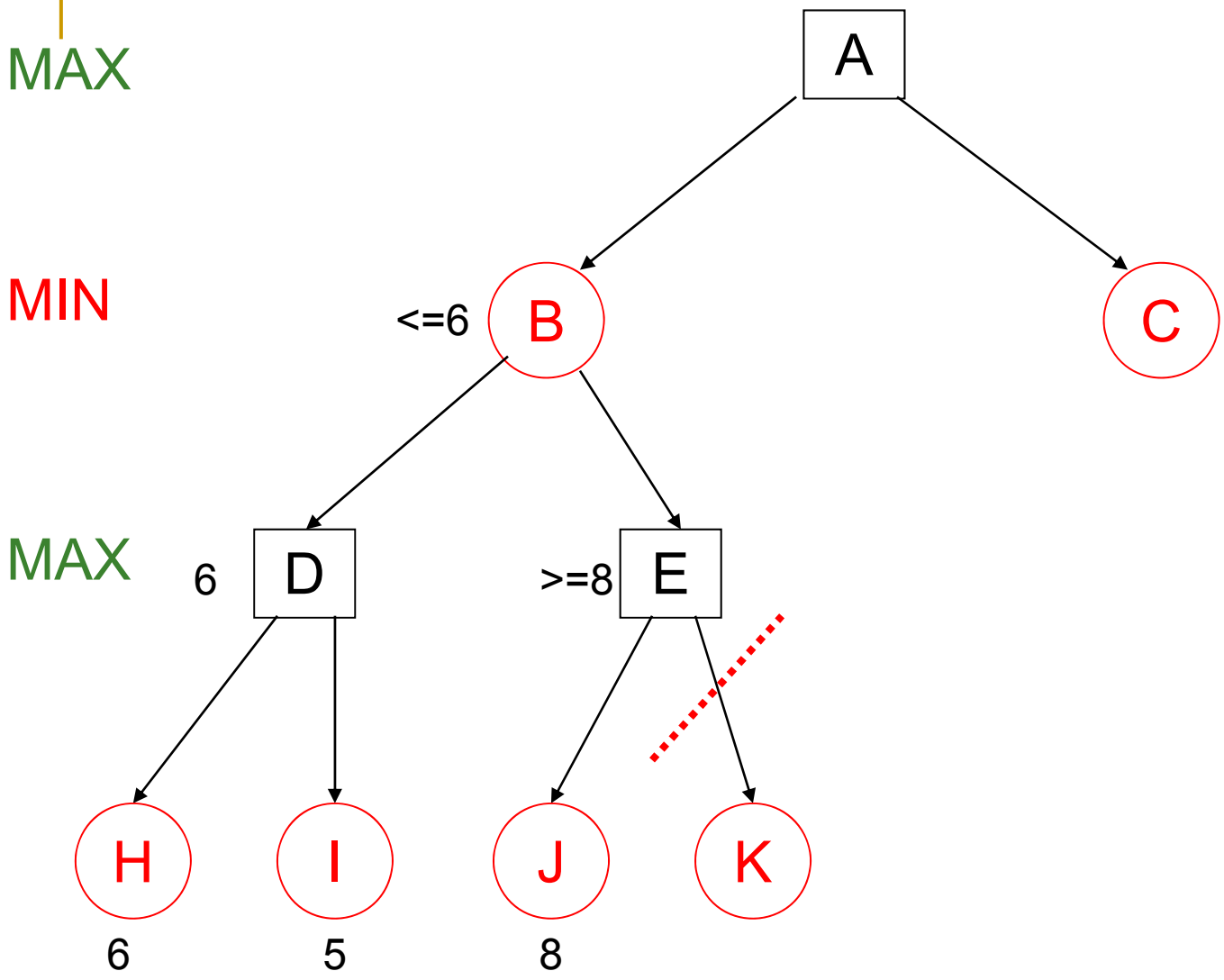
Minimax para Níveis Antecipados

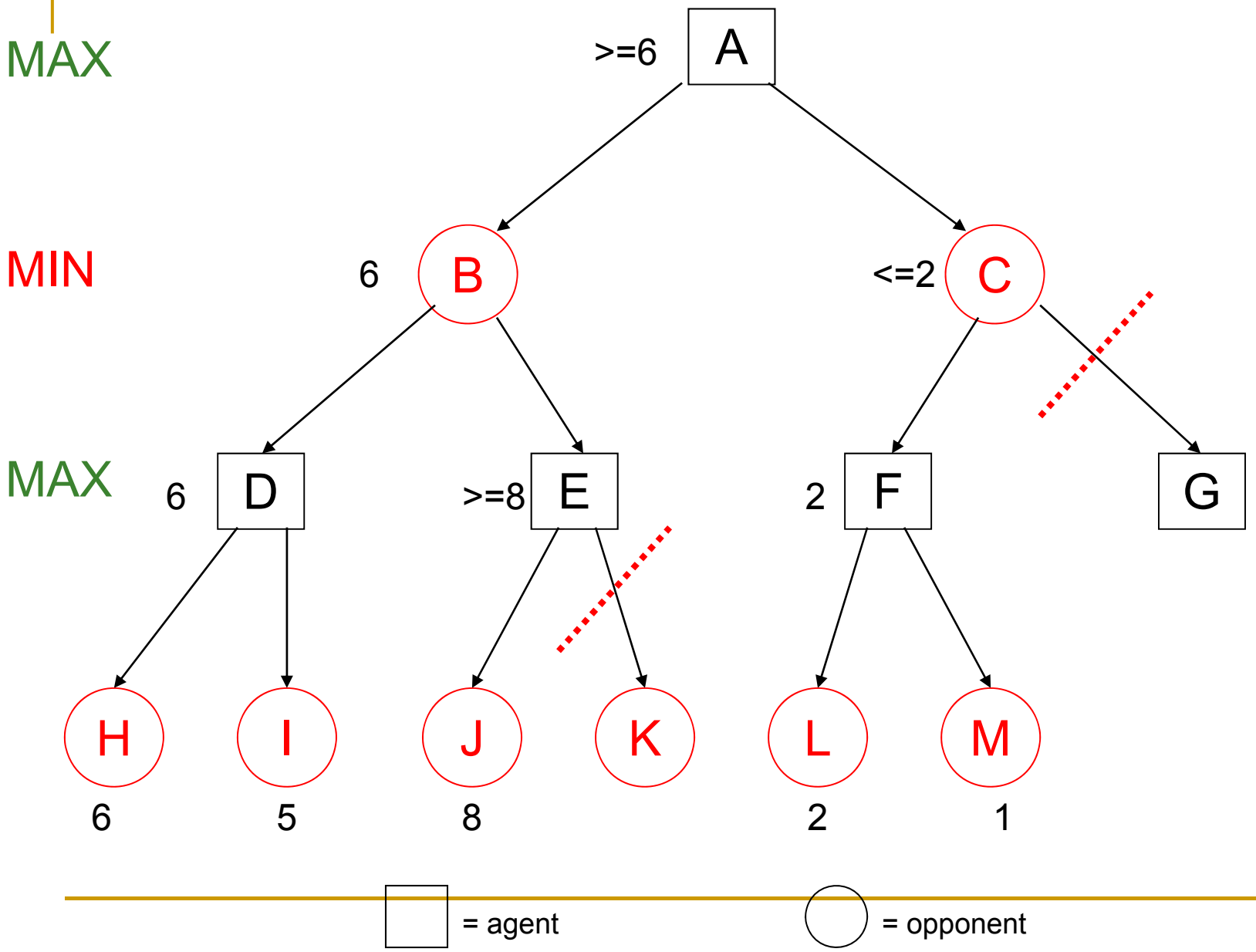
- Problema dessa técnica?
  - Os níveis antecipados podem enganar, pois um caminho aparentemente promissor pode levar a derrota mais tarde
    - Bons jogadores de xadrez sabem usar isso a seu favor
  - *Efeito de horizonte*

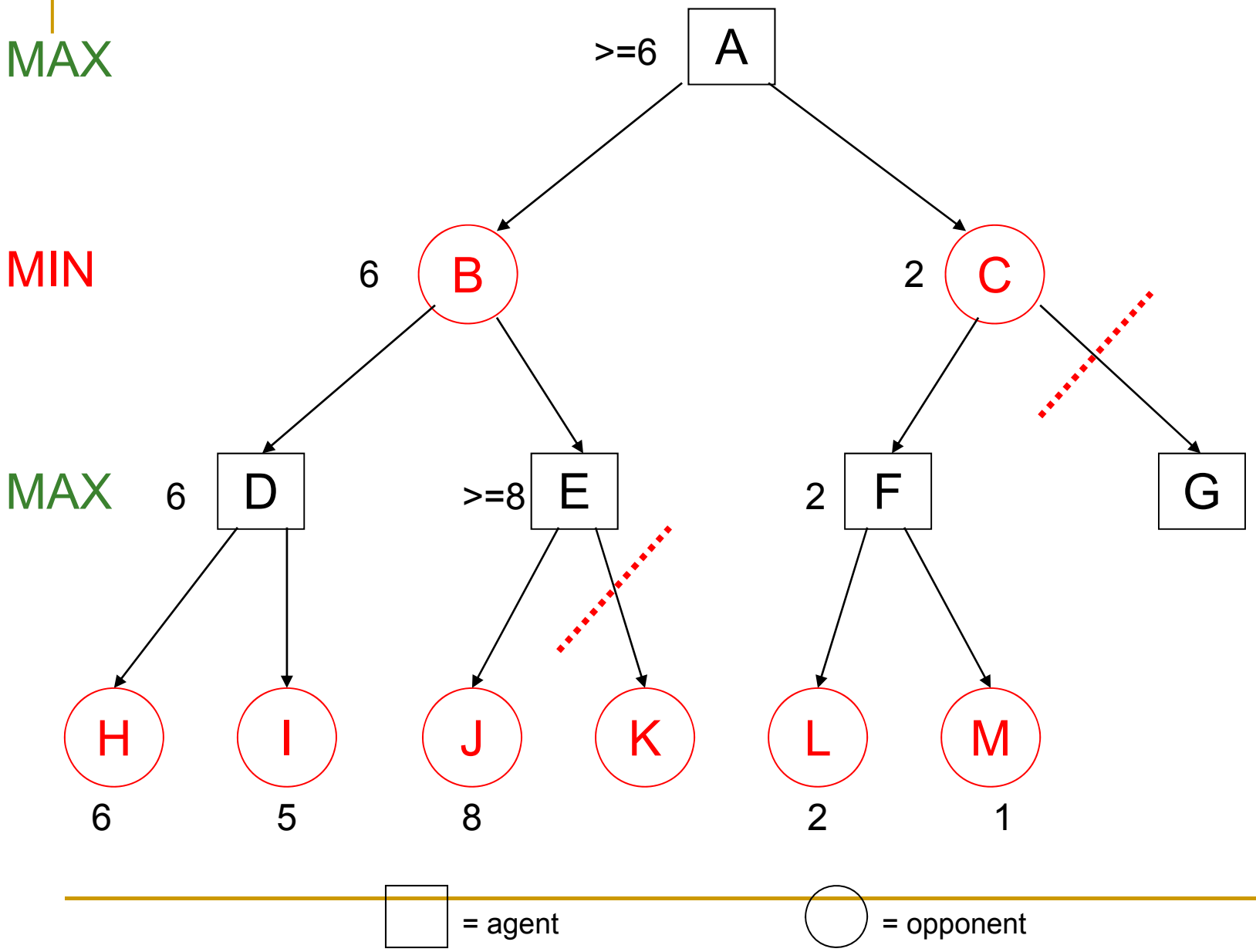
Poda da Árvore de Busca

- O minimax é feito em 2 passos
  - Descida em profundidade e aplicação da heurística
  - Retropropagação dos valores

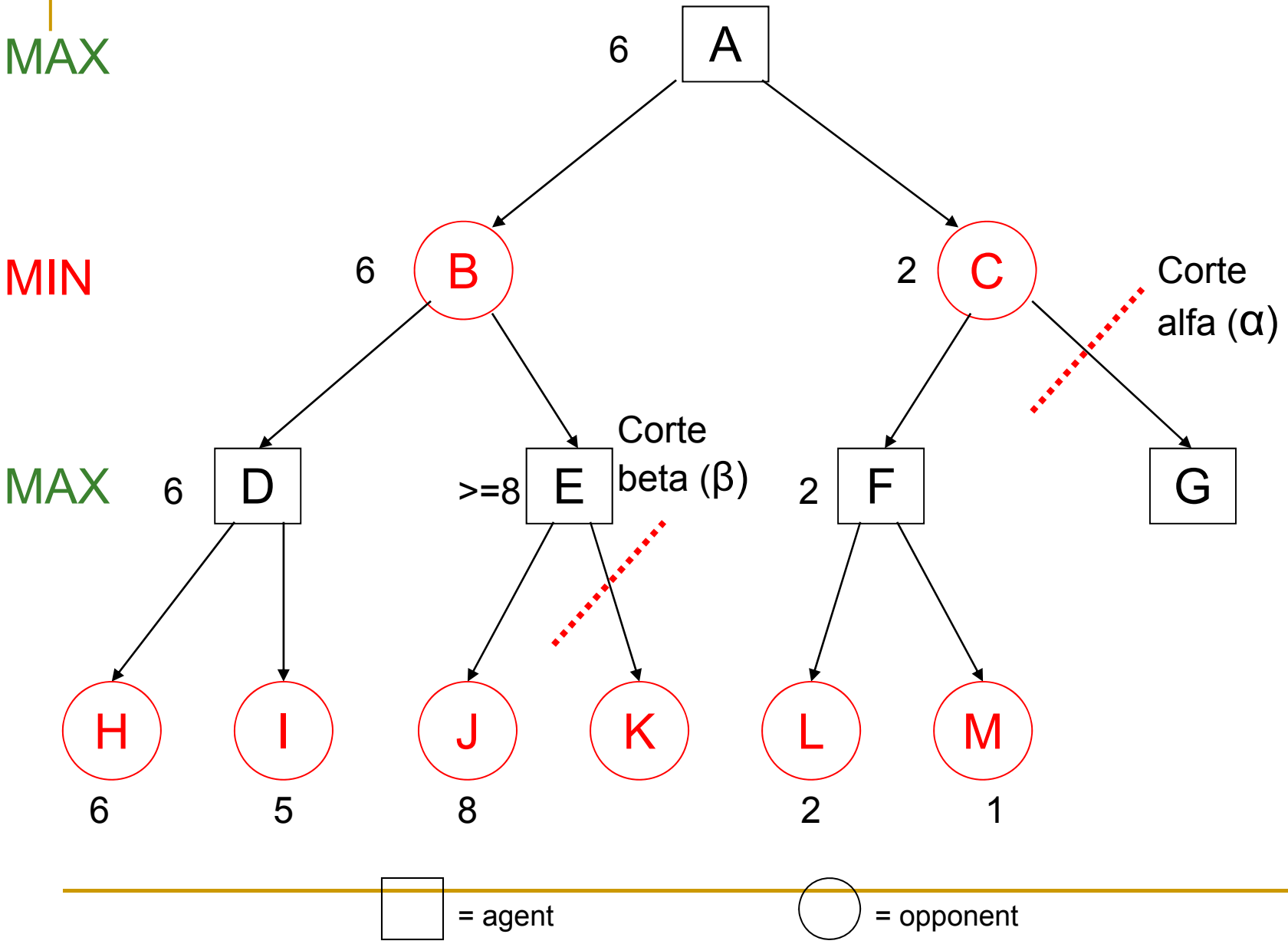
- Alguns ramos não precisam ser analisados, podendo ser podados


MAX
MIN
MAX
A
<=6
B
C
6
D
>=8
E
H
I
J
K
6
5
8
= agent
= opponent


MAX
MIN
MAX
>=6
A
6
B
<=2
C
6
D
>=8
E
2
F
G
H
I
J
K
L
M
6
5
8
2
1
= agent
= opponent


MAX
MIN
MAX
>=6
A
6
B
2
C
6
D
>=8
E
2
F
G
H
I
J
K
L
M
6
5
8
2
1
= agent
= opponent

Poda alfa-beta



Poda alfa-beta

- A esse tipo de poda se deu o nome de *poda alfa-beta*
  - O valor *alfa* está associado aos nós *MAX* e não pode decrescer
  - O valor *beta* está associado aos nós *MIN* e não pode aumentar

Poda Alpha-Beta

- Idéia principal: não processar sub-árvores que não afetam o resultado.
- Dois novos parametros
  - α: o melhor valor de MAX encontrado até agora
  - β: o melhor valor de MIN encontrado até agora
- α é usado nos nós MIN e é atribuído nos nós MAX
- β é usado nos nós MAX e é atribuído nos nós MIN

Poda Alpha-Beta

MAX (Não no nível 0)

- Se for encontrada uma sub-árvore com um valor $k > \beta$, então não é necessário continuar a busca nessa sub-árvore

  MAX pode ir tao bem quanto k nesse nó, portanto MIN nunca vai escolher para chegar ai!

MIN

- Se for encontrada uma sub-árvore com um valor $k < \alpha$, então não é necessário continuar a busca nessa sub-árvore

  MIN pode ir tao bem quanto k nesse nó, portanto MAX nunca vai escolher para chegar ai!

Poda alfa-beta

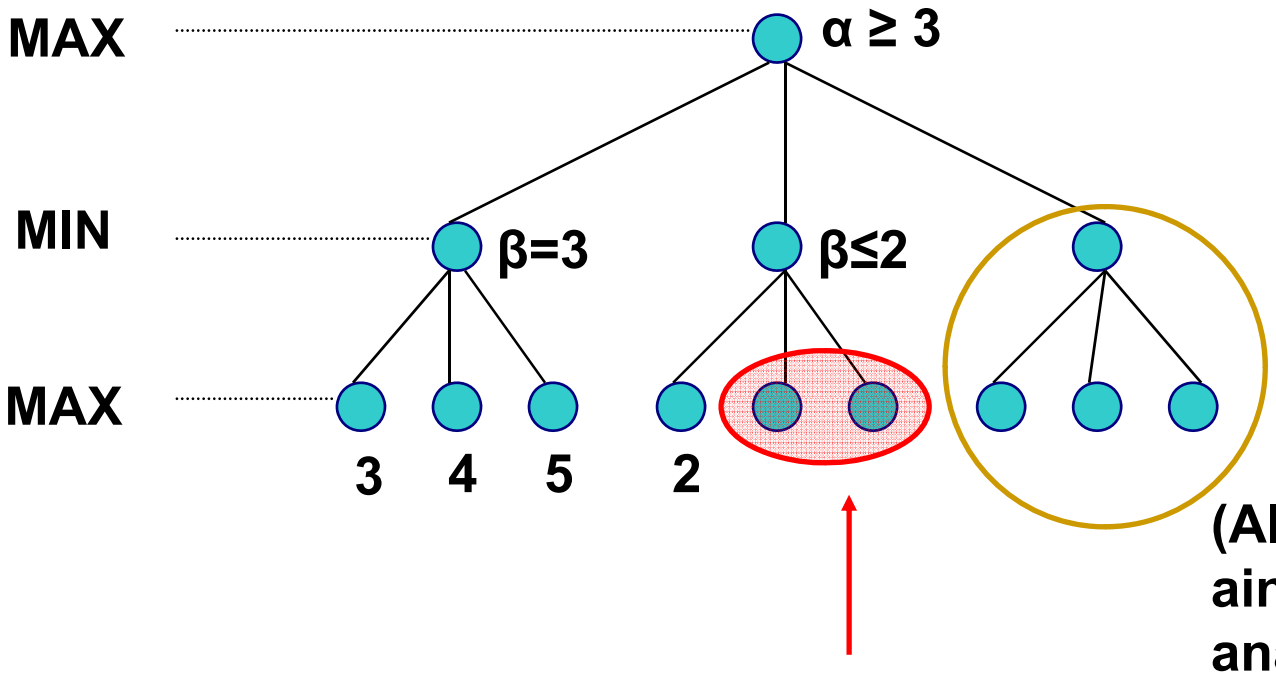
- Visite a árvore de busca em profundidade
- Para cada nó **n MAX**, **alfa(n)** = máximo valor até agora
- Para cada nó **n MIN**, **beta(n)** = minimo valor até agora
  - Obs: o valor de alfa começa em –infinito e somente incrementa, enquanto que o valor de beta começa em +infinito e somente decrece
- **Corte beta**: dado um nó **n**, corte a busca após **n** (*i.e.*, não gere ou examine os filhos de **n** se alfa(**n**) >= beta(**i**) para algum nó **i** MIN ancestral de **n**.
- **Corte alfa:** corte a busca abaixo de um nó **n** MIN se beta(**n**) <= alfa(**i**) para algum nó **i** MAX ancestral de **n**.

Poda alfa-beta

- Regras para interromper a busca
  - A busca pode ser interrompida abaixo de qualquer nó MIN que tenha um valor β menor ou igual ao valor α de qualquer um de seus ancestrais MAX
  - A busca pode ser interrompida abaixo de qualquer nó MAX que tenha um valor α maior ou igual ao valor β de qualquer um de seus ancestrais MIN

Atenção: a poda alfa-beta expressa uma relação entre nós no nível n e n+2, sob o qual podem ser eliminadas subárvores inteiras com raízes no nível n+1

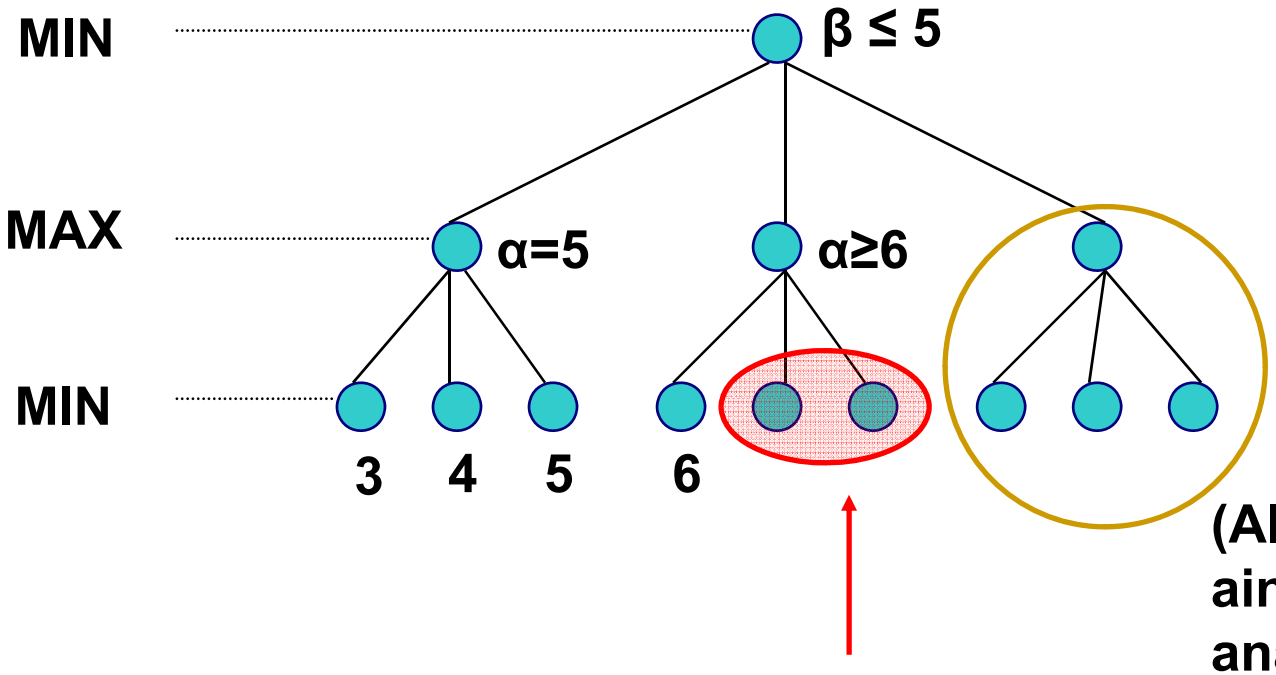
Exemplo com MAX



(Alguns) destes ainda devem ser analisados

No instante que o valor 2 é gerado, sabemos que o valor de β será < 3. Assim, não há necessidade de gerar esses nós (e as subárvores correspondentes)

Exemplo com MIN



(Alguns) destes ainda devem ser analisados

No instante que o valor 6 é gerado, sabemos que o valor α≥6. Assim, não há necessidade de gerar esses nós (e as subárvores correspondentes)

Jogos Modernos

- Jogos podem ser bem mais complicados
  - Pode haver n>2 jogadores
  - Pode haver sorte envolvida (por exemplo, jogo com dados)
  - Pode envolver comportamento e inteligência distribuída
  - Pode se adaptar ao usuário

IA Acadêmica *versus* Game IA

- O termo Game IA surgiu para diferenciar os estudos em IA para jogos eletrônicos dos elaborados pelo meio acadêmico
- A principal diferença entre a IA acadêmica e a Game IA é que a primeira tem por objetivo a solução de problemas difíceis, como reconhecimento de padrões, enquanto a segunda tem por objetivo a diversão dos jogadores, seja pelo aumento do grau de verossimilhança dos jogos, ou pelo nível de desafio apresentado. Para isso, são utilizadas algumas das soluções pesquisadas e encontradas no meio acadêmico.

Histórico

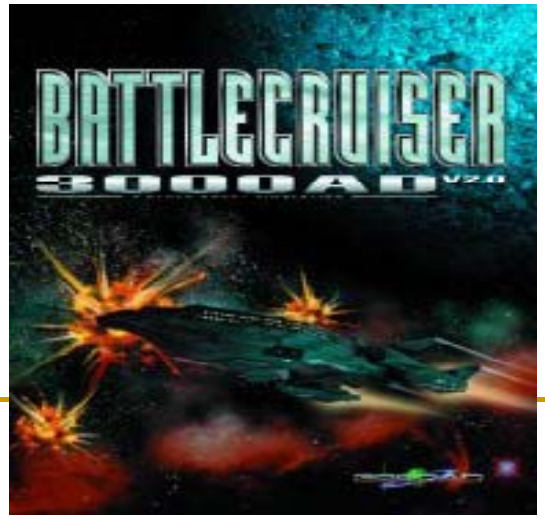
- Até as décadas de 1960 e 1970, os jogos eletrônicos não utilizavam técnicas de IA
- A indústria percebeu que a inclusão dessas técnicas poderia atrair um público maior, aumentando, assim, os lucros
- Havia também a necessidade da inclusão de elementos virtuais que imitassem o comportamento humano, para que os jogadores pudessem jogar sozinhos
- No meio acadêmico, já havia muitas técnicas capazes de oferecer a entidades virtuais características de autonomia e raciocínio, potencialmente úteis aos jogos

Histórico

- Em 1974, com os jogos *Pursuit* e *Qwak*, os jogadores tinham que atirar em alvos móveis
- Em 1978, o jogo *Space Invaders* implantou as primeiras entidades inteligentes em jogos.
- Em 1980, *Pac-man* conta com movimentos padronizados dos inimigos, porém cada fantasma tem um modo diferente de caçar o jogador

Histórico

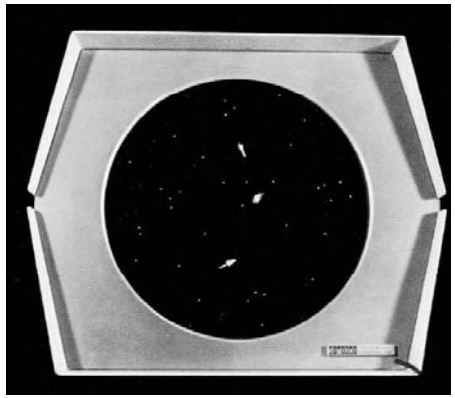
- Em 1990, O primeiro jogo de estratégia em tempo real, *Herzog Wei*, é lançado. A busca de caminho apresentada nesse jogo era de baixa qualidade
- Em 1993, *Doom* é lançado como primeiro jogo de tiro em primeira pessoa
- Em 1996, *BattleCruiser: 3000AD* é publicado como o primeiro jogo a utilizar redes neurais comercialmente



Histórico

- Em 1998, *Half-Life* é lançado como a melhor Game IA até o momento
- Em 2001, o jogo *Black & White* é alvo da mídia a respeito de como as criaturas aprendem com as decisões do jogador

Muita coisa mudou...



Spacewar - 1962

Black & White - 2001

- ... E ainda vai mudar!

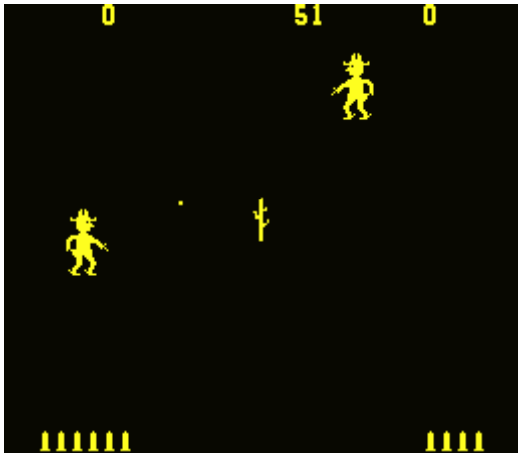
Star wars: The Force Unleashed

Técnicas de Game IA

- Algoritmos determinísticos e padrões de movimentos
- Máquinas de estados
- Sistemas baseados em regras
- Algoritmos Genéticos
- Algoritmos de busca

Algoritmos Determinísticos e Padrões de Movimentos

- Os algoritmos determinísticos e padrões de movimento foram utilizados nos primeiros jogos eletrônicos da história
- Movimentos aleatórios
- Algoritmos de perseguição e evasão



Gun Fight (1975) – personagens com movimentos aleatórios

Máquinas de Estados

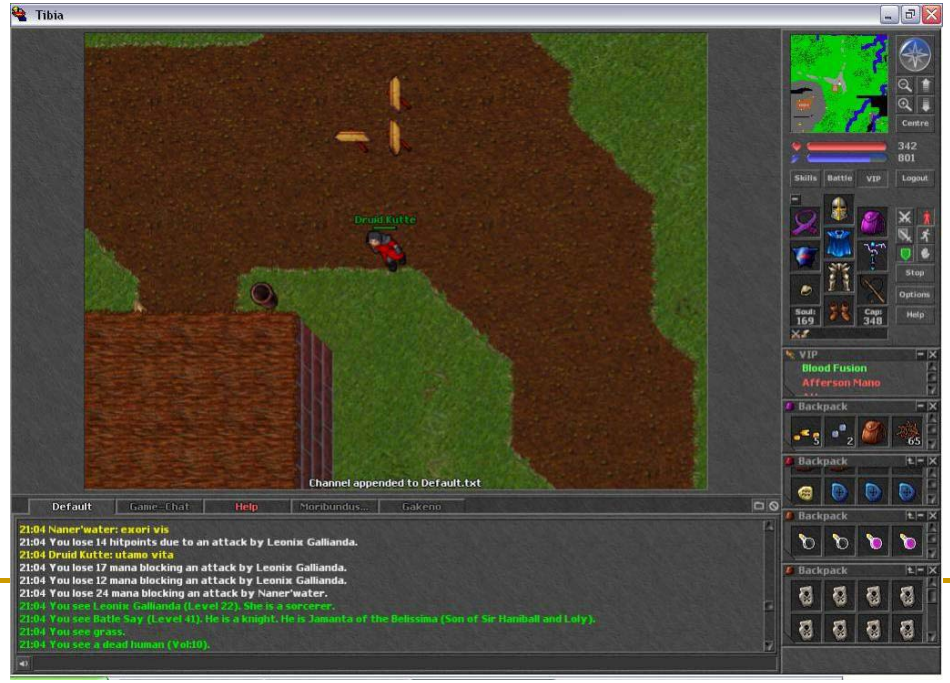
- São utilizadas para determinar os estados de um personagem e suas mudanças
- Recurso de fácil entendimento, implementação e depuração
- Utilização de lógica fuzzy para resultados de ações menos previsíveis
- Exemplo: no pac-man, uma máquina de estados é utilizada para cada fantasma, sendo os estados possíveis: procurando o jogador, perseguindo o jogador e fugindo do jogador

Sistemas Baseados em Regras

- Alguns fenômenos não são fáceis de serem modelados em termos de estados e transições
- Para a modelagem de comportamento global, a utilização de um sistema de regras se faz mais útil que um sistema baseado apenas em máquinas de estados

Algoritmos de Busca

- Um dos problemas básicos de Game IA
- *A*, Dijkstra*, *waypoints*, ...
- Utilização de caminhos pré-calculados para a redução dos custos da busca



Pahtfinding no jogo Tibia

Algoritmos Genéticos

- Técnicas de algoritmos genéticos são utilizadas para que agentes “evoluam” baseados em seus desempenhos
- Os agentes podem aprender elementos como a estratégia do usuário, assim como mapear perfis de usuários
- Técnicas bastante custosas

Considerações Finais

- Jogos ilustram vários pontos importantes da IA

Segundo S. Russell, os jogos estão para a IA assim como as corridas estão para os projetos de automóveis.