Busca Complexa - Jogo da Velha

1. Descrição

O projeto aplica o algoritmo de busca adversária **Minimax** para criar uma Inteligência Artificial que joga **Jogo da Velha (Tic-Tac-Toe)** de maneira ótima. O objetivo é desenvolver um agente que não pode ser derrotado, ou seja, que sempre irá vencer ou forçar um empate, assumindo que o oponente também joga da melhor forma possível.

---

2. Modelagem

- **Estado:** Uma lista de 9 elementos representando o tabuleiro, onde `'X'` é a IA, `'O'` é o humano e `' '` é um espaço vazio.
- **Jogador Inicial:** A IA (`'X'`) ou o humano (`'O'`).
- **Teste de Terminal:** O jogo termina se um jogador vence (três marcas em linha, coluna ou diagonal) ou se o tabuleiro está cheio (empate).
- **Ações:** Colocar a marca do jogador atual em uma das posições vazias do tabuleiro.
- **Função de Utilidade:** Atribui um valor a um estado terminal do jogo:
  - `+1`: Se a IA (MAX) vence.
  - `-1`: Se o Humano (MIN) vence.
  - `0`: Em caso de empate.

---

3. Algoritmo

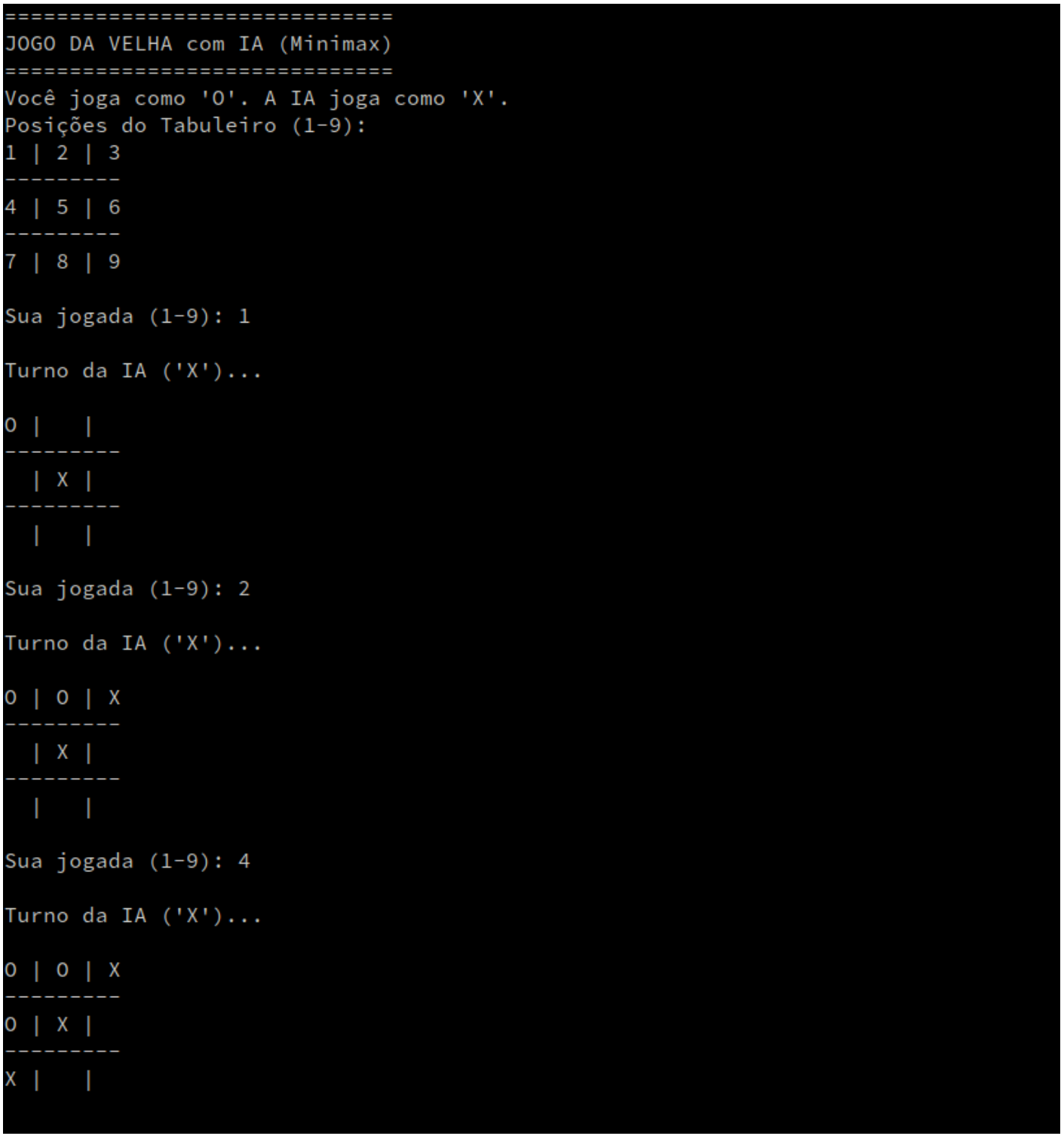
- **Minimax:** Um algoritmo recursivo que explora a árvore de todos os movimentos possíveis do jogo.
  - O jogador **MAX (IA)** tenta escolher jogadas que levem a um estado com a máxima pontuação de utilidade.
  - O jogador **MIN (Oponente)** tenta escolher jogadas que levem a um estado com a mínima pontuação de utilidade.
  - O algoritmo "propaga" os valores de utilidade dos estados terminais de volta pela árvore, permitindo que o MAX escolha a jogada inicial que garante o melhor resultado possível contra um oponente perfeito.

---

4. Resultados

Diferente dos projetos de busca de caminho, o resultado aqui é o comportamento do agente, que é determinístico e ótimo.

- **Invencibilidade:** A IA que utiliza o Minimax **não pode ser derrotada**.
- **Jogo Ótimo:** O melhor resultado que um jogador humano pode alcançar contra a IA é um **empate**.
- **Capitalização de Erros:** Se o jogador humano cometer qualquer erro (uma jogada não ótima), a IA irá capitalizar sobre esse erro para garantir sua vitória.
- **Desempenho:** Para o Jogo da Velha, o Minimax é extremamente rápido, pois a árvore de jogo é relativamente pequena e pode ser explorada completamente em uma fração de segundo.


==============================
JOGO DA VELHA com IA (Minimax)
==============================
Você joga como 'O'. A IA joga como 'X'.
Posições do Tabuleiro (1-9):
1 | 2 | 3
----
4 | 5 | 6
----
7 | 8 | 9
Sua jogada (1-9): 1
Turno da IA ('X')...
O | |

  | X |

  | |
Sua jogada (1-9): 2
Turno da IA ('X')...
O | O | X

  | X |

  | |
Sua jogada (1-9): 4
Turno da IA ('X')...
O | O | X

O | X |

X | |


--- FIM DE JOGO ---
O | O | X

O | X |

X | |
O jogador 'X' venceu!

5. Conclusão

O algoritmo **Minimax** se mostrou perfeitamente eficaz para criar um agente invencível em um jogo determinístico de informação perfeita como o Jogo da Velha. O projeto demonstra com sucesso como um agente pode tomar decisões ótimas em um ambiente competitivo ao simular recursivamente as jogadas futuras e assumir que o oponente também jogará de forma otimizada. A implementação evidencia a base da IA para jogos e a lógica por trás da tomada de decisão estratégica.