Manual Técnico

Projecto Jogo do Galo 3D

Trabalho realizado por:

David Mealha – 130221082

Luís Serrano – 130221063

Docente:

Cedric Grueau

Índice

1. Introdução 3
2. Limitações da Aplicação 3
3. Requisitos não implementados 3
4. Justificação da Implementação 4
   4.1 Função alfa-beta 4
   4.2 Função avaliar-folha 5
   4.3 Função f-avaliacao 5
   4.4 Funções de Interação com o Utilizador 6
5. Desempenho 7
6. Testes 9
7. Bibliografia 25

1. Introdução

Com a realização deste projeto, pretende-se implementar o popular jogo do galo, mas em formato 3D, ou seja, em vez da existência de apenas um tabuleiro, o jogo contem 3 tabuleiros, com a possibilidade de jogar ao longo dos 3 tabuleiros de modo a ganhar o jogo. Por fim, este manual terá como objetivo explicar a implementação feita e a razão por detrás das opções tomadas.

2. Limitações da Aplicação

Após a implementação deste projeto, tendo em conta o pedido no enunciado, a implementação final encontra-se com certas limitações, o que é usual num projeto onde os conhecimentos da tecnologia sejam baixos.

Tendo isto em conta, algumas das limitações da aplicação são:

- Por vezes, dependendo de como a procura encontra solução num nó folha, a jogada feita pelo computador não é a mais indicada. Este problema foi recorrente quando fazia uma procura de acordo com a profundidade máxima, mas após a alteração para uma condição de paragem através do tempo as jogadas escolhidas são mais eficazes.

3. Requisitos não implementados

Dos requisitos funcionais do projeto, o único não implementado é o requisito em que se pretende que haja uma heurística de ordenação de nós, não foi implementado. Ou seja, quando alfabeta corre e casa cheguei à avaliação de um nó, a avaliação é feito, mas a ordenação dos nós sucessores não é feito.

4. Justificação da Implementação

4.1 Função alfa-beta

Esta é a função base desta fase, pois é através daqui que é feita a procura da melhor jogada para o PC.

Um dos parâmetros de momento não é utilizado (profMax), pois o algoritmo foi alterado de modo a encontrar a melhor jogada a partir do tempo, ou seja, a profundidade máxima não tem qualquer influencia no comportamento do alfabeta, no entanto caso se queira mudar para que haja uma paragem a um certo nível de profundidade é possível, pois basta descomentar a linha onde é feito a verificação entre a profundidade do nó recebido e a profundidade máxima.

Primeiramente na função principal, é feita um armazenamento de variáveis, através do uso do let, neste caso let*, pois de modo a calcular o "tempo-gasto" precisamos primeiro de ir buscar o "tempo-atual" através da função *get-universal-time*. Em seguida, verifica-se se o tempo de execução já ultrapassou o máximo permitido, se sim a função irá chamar a função de avaliação para esse nó, de modo a terminar a procura em profundidade, não percorrendo mais sucessores.

Se a condição anterior não for satisfeita, verifica se o no recebido trata-se de um nó solução, se sim, calcula-se o valor desse nó.

Neste caso especifico, devido à necessidade do primeiro nível de sucessores ter que gerar sucessores com a mesma peça de que o nó que se recebe inicialmente, tem-se a verificação "profundidade = 0", pois para o resto dos níveis abaixo, haverá a alternância de peças, para que sejam simuladas as jogadas possíveis.

Por fim, é verificado se o jogador é MAX ou MIN, trata-se de uma variável do let, onde é guardado se o nó é MAX ou MIN.

Se for MAX, avança para o alfa-value, o que equivale à função maximizer, caso contrário avança para o beta-value (Minimizer).

Dentro da função Maximizer, recebe a profundidade máxima, a lista de sucessores, o valor de alfa, de beta, o tempo inicial e o tempo máximo de execução. No caso da profundidade máxima, tempo inicial e tempo máximo estão apenas presentes de modo a passar as variáveis para a chamada da função alfabeta para cada um dos sucessores.

Primeiramente, na função Maximizer é verificado se a lista-de sucessores esta vazia, consiste na condição de paragem. Caso não seja verificada, invoca-se a função alfa-beta para o primeiro nó da lista de nós filhos. Após devolver o valor, encontra-se o máximo entre esse valor e o alfa.

A seguir, é feita a verificação se o beta for menor ou igual ao valor máximo anteriormente calculado, se sim, então trata-se de uma situação de corte beta. Caso contrário, chama de novo a função alfa-value, com o resto da lista de sucessores, e enviando o novo valor de alfa.

Para o Minimizer a maneira de funcionamento é equivalente ao alfa-value, mas em vez de encontrar o máximo entre o alfa e o valor do sucessor, faz o oposto, encontra o mínimo entre o beta e o nó filho. Nesta situação, o tipo de corte também é diferente, trata-se de um corte alfa, por fim, a função beta-value é chamada de novo com o resto dos sucessores.

4.2 Função avaliar-folha

Esta função comporta-se de modo a que haja uma procura eficiente, tendo a chamada de uma função de avaliação onde são verificadas várias possibilidades antes de devolver um resultado, de modo a haver uma escolha mais exata da jogada.

No caso do nó recebido ser um nó com solução, é adicionado 25 unidades ao valor da função de avaliação, e se tiver a própria peça na casa central do jogo, são somadas 15 unidades.

4.3 Função f-avaliacao

Tem como objetivo calcular uma fórmula fornecida nas aulas práticas de Inteligência Artificial, com uma alteração.

A fórmula consiste na diferença entre as peças alinhadas do jogador MAX, ou seja do PC, e o jogador MIN, que pode ser um PC ou um humano.

(2 x Número de 3 Peças Alinhadas) + (1,5 x Número de 2 Peças Alinhadas) + Número de 1 Peça

De notar, que quanto maior o valor de peças alinhadas, maior o valor pelo qual é multiplicado, pois tem um maior impacto escolher uma casa onde depois se possa ter mais alinhamentos possíveis.

4.4 Funções de Interação com o Utilizador

Para facilitar a experiência com a aplicação, foi feita uma interface através do uso de menus, onde são mostradas as opções possíveis que se podem tomar.

Tal como é mostrado no manual de utilizador, quando um utilizador inicia a aplicação, é-lhe apresentado o menu com opções. Após feitas as escolhas, o funcionamento da aplicação baseia-se em duas funções que vão passando de uma para a outra o novo estado. Tratam-se das funções “humano-joga” e “computador-joga”.

No caso da função “humano-joga”, tal como o nome diz, é a função que trata da interação com o utilizador. Primeiramente é guardado um novo tabuleiro, com a escolha de jogada por parte do mesmo. Caso ganhe ou empate, através da verificação se o tabuleiro está cheio ou é solução, é mostrada a mensagem com tal informação. Caso contrário passa para a função “computador-joga”, onde será invocado o algoritmo alfabeta de modo a procurar a melhor jogada para o PC, após a jogada do humano. Tal como na situação do humano, caso chegue à vitória ou empate, esta informação é mostrada no ecrã, e o jogo termina.

5. Desempenho

De modo a testar as funções auxiliares para o algoritmo alfabeta, utilizou-se uma variável global (defparameter), que servirá para testar sempre o mesmo conteúdo para que não haja desambiguidades. Esta variável global trata-se de um nó com os parâmetros necessários para realizar as operações necessárias para obter os resultados pretendidos.

Também foi necessária uma alteração da representação abstrata do nó, pois para esta fase, de modo a facilitar a escolha de peça para cada jogador foi necessário guardar qual a peça desse mesmo nó. E muitas das funções que eram usadas para a procura de estados, onde não importava quase era a peça, agora executadas de acordo com a peça recebida. Um exemplo, é a função "sucessores" que recebe um nó e uma peça, pois no alfabeta apenas se pretende gerar sucessores para uma das peças.

Em seguida será apresentado um tabuleiro, após a jogada de um humano e do PC respetivamente.

```
---------------------------------------------
Valor da Posição : 21.0 | Cortes Alfa: 3132 | Cortes Beta: 4152 | Nos Analisados: 30710 | Tempo Gasto: 3/1000

TABULEIRO 1:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

Figura 1 - Tabuleiro após alfabeta

Neste caso o humano tinha a peça X, e o PC a peça 0. Como pode ser visível o PC escolheu uma jogada bastante vantajosa para ele, no meio do tabuleiro.

Esta procura foi feita tendo em conta o tempo, na altura o tempo limite estava fixado em 2 segundos. Durante este período do tempo, foram feitos mais de 7000 cortes em conjuntos, e analisados 30000 nós.

Esta informação apresentada, está guardada em variáveis globais no ficheiro alfabeta.lisp, pois é a única forma de conseguir atualizar os valores e ter acesso aos mesmos.

O valor da posição, corresponde ao valor devolvido pelo alfabeta, ou seja o melhor valor encontrado pela função de avaliação, que corresponde à jogada feita pelo computador.

6. Testes

Primeiro Teste

Na primeira execução do programa, será escolhido o humano para ser o primeiro a jogar, com a peça X e com o computador com um máximo de 5 segundos para encontrar a melhor jogada possível.

A primeira jogada do humano será nas coordenadas 2, 2, 2 (x, y, y).

```
--------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
2
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
2
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
2

TABULEIRO 1:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


--------------------------------------------
```

Figura 2 – 1ª Jogada do Humano no 1º Teste

A contra jogada do computador foi:

```
--------------------------------------------
Valor da Posição : 20.5 | Cortes Alfa: 3865 | Cortes Beta: 2047 | Nos Analisados: 40020 | Tempo Gasto: 5

TABULEIRO 1:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  0     |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


--------------------------------------------
```

Figura 3 - 1ª Contra Jogada do PC no 1º Teste

Em seguida o utilizador jogou na casa 1, 1, 1 (x, y, z).

```
--------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
1
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
1
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
1

TABULEIRO 1:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  0     |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


--------------------------------------------
```

Figura 4 - 2ª Jogada do Humano no 1º Teste

Após a jogada do utilizador, segue-se a seguinte contra jogada do PC:

```
-------------------------------------------
Valor da Posição : 23.0 | Cortes Alfa: 3268 | Cortes Beta: 866 | Nos Analisados: 32964 | Tempo Gasto: 5

TABULEIRO 1:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  0     |  0     |  NIL


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


-------------------------------------------
```

Figura 5 - 2ª Contra Jogada do PC no 1º Teste

Por fim o humano joga na casa (3, 3, 3), e consegue ganhar.

```
-------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
3
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
3
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
3

TABULEIRO 1:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  0     |  0     |  X


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


-------------------------------------------
Ganhou!
```

Figura 6 - Jogada Final

Segundo Teste

Neste segundo exemplo, o computador será o primeiro a jogar, será o detentor da peça X e terá 5 segundos para executar cada jogada.

A primeira vez que o computador joga é na casa central do tabuleiro do meio, a casa com mais possibilidades de alinhamento.

```
 ----------------------------------------------------

Escolha:1
Que peça pretende utilizar? (X/O)
O
Deseja ser o primeiro a jogar? (s/n)
N
Tempo máximo para o computador encontrar uma solução(em segundos):
5

Valor da Posição : 28.0 | Cortes Alfa: 11670 | Cortes Beta: 590 | Nos Analisados: 43133 | Tempo Gasto: 5

TABULEIRO 1:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


--------------------------------------------
```

A seguir, o Humano joga na casa (1, 1, 2):

```
---------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
2
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
1
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
1

TABULEIRO 1:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

   0     |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  X     |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

Após tal jogada, o PC responde ao pôr a peça nas coordenadas (3, 3, 3).

```
---------------------------------------------
Valor da Posição : 30.5 | Cortes Alfa: 8801 | Cortes Beta: 0 | Nos Analisados: 41004 | Tempo Gasto: 5

TABULEIRO 1:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  X


TABULEIRO 2:

   0     |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  X     |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

A próxima jogada do humano, foi a tentativa de bloquear o alinhamento do computador, então jogou em (1, 1 ,1).

```
---------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
1
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
1
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
1

TABULEIRO 1:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  X


TABULEIRO 2:

   0     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   0     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

A resposta do PC foi:

```
---------------------------------------------
Valor da Posição : 30.0 | Cortes Alfa: 5913 | Cortes Beta: 4475 | Nos Analisados: 42710 | Tempo Gasto: 5

TABULEIRO 1:

   X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  X


TABULEIRO 2:

   0     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   0     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

De modo a impedir um dos alinhamentos possíveis o humano jogou na posição (2, 2, 3).

```
---------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
3
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
2
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
2

TABULEIRO 1:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  X


TABULEIRO 2:

  0     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  0     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

Mas como havia mais uma possibilidade de alinhamento o computador jogou no sitio certo e venceu o humano.

```
---------------------------------------------
Valor da Posição : 41.0 | Cortes Alfa: 7688 | Cortes Beta: 734 | Nos Analisados: 36553 | Tempo Gasto: 5

TABULEIRO 1:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  X


TABULEIRO 2:

  0     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  0     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  X


---------------------------------------------
Ganhei!
```

Terceiro Teste

Para o terceiro teste iremos dar um pouco menos de tempo ao computador para decidir, de modo a ver como se comporta quando não analisa tantos nós.

O Humano utilizará a peça X, começa primeiro e o PC terá 2 segundos para computar a escolha de jogada.

A primeira jogada do jogador humano é em (2, 2, 2):

```
---------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
2
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
2
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
2

TABULEIRO 1:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

Em seguida a jogada do computador, em (3, 1, 3)

```
---------------------------------------------
Valor da Posição : 20.5 | Cortes Alfa: 641 | Cortes Beta: 374 | Nos Analisados: 9158 | Tempo Gasto: 2

TABULEIRO 1:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  0     |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  X     |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

O Humano a seguir tenta fazer um alinhamento diagonal, então joga na casa (1, 1, 3).

```
---------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
3
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
1
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
1

TABULEIRO 1:

  X     |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  0     |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  X     |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 --------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

Como o PC tem uma estratégia bastante atacante, não tentou bloquear a diagonal do humano.

```
--------------------------------------------
Valor da Posição : 27.0 | Cortes Alfa: 1578 | Cortes Beta: 409 | Nos Analisados: 11667 | Tempo Gasto: 2

TABULEIRO 1:

   X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   0     |  0     |  NIL


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL

--------------------------------------------
```

Por fim, o Utilizador ganha o jogo ao completar a diagonal.

```
--------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
1
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
3
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
3

TABULEIRO 1:

   X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   0     |  0     |  NIL


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  X     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  X


--------------------------------------------
Ganhou!
```

Quarto Teste

Para esta quarto teste faremos uma junção dos últimos dois, onde o PC começa primeiro, mas apenas tem 2 segundos para a execução do alfabeta.

A peça do PC será 0.

A primeira jogada o PC, tal como esperado foi na casa central.

```
Quer jogar de novo? (s/n)s
Que peça pretende utilizar? (X/O)
X
Deseja ser o primeiro a jogar? (s/n)
N
Tempo máximo para o computador encontrar uma solução(em segundos):
2

Valor da Posição : 28.0 | Cortes Alfa: 5634 | Cortes Beta: 72 | Nos Analisados: 18339 | Tempo Gasto: 2

TABULEIRO 1:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

Aquando a vez do humano, a peça é colocada em (1, 1, 3):

```
--------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
3
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
1
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
1

TABULEIRO 1:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


--------------------------------------------
```

A resposta do PC é exatamente na diagonal onde o humano poderia alinhar três peças.

```
--------------------------------------------
Valor da Posição : 27.5 | Cortes Alfa: 2493 | Cortes Beta: 858 | Nos Analisados: 17067 | Tempo Gasto: 2

TABULEIRO 1:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  0


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


--------------------------------------------
```

Como o PC está perto de fazer uma diagonal, o Humano impede que seja feita.

```
-------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
1
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
1
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
1

TABULEIRO 1:

   X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  0


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


-------------------------------------------
```

Tal como referido anteriormente, como o computador faz usualmente movimentos atacantes, não impedia o alinhamento na coluna, e jogou noutro sítio.

```
-------------------------------------------
Valor da Posição : 27.0 | Cortes Alfa: 0 | Cortes Beta: 4707 | Nos Analisados: 13114 | Tempo Gasto: 2

TABULEIRO 1:

   X     |  NIL   |  0
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  0


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


-------------------------------------------
```

Por fim, o Humano vence.

```
--------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
2
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
1
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
1

TABULEIRO 1:

  X     |  NIL   |  0
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  0


TABULEIRO 2:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


--------------------------------------------
Ganhou!
```

Quinto Teste

Para este ultimo teste iremos encurtar ainda mais o tempo de decisão do computador, para apenas 1 segundo, sendo o primeiro a jogar, mas com um tabuleiro já com peças inseridas.

O Tabuleiro inicial será o seguinte:

```
TABULEIRO 1:

  X     |  X     |  0
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  X
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  0


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
```

A Primeira jogada da partida consistiu na inserção da peça do computador na casa central do tabuleiro central.

```
Valor da Posição : 26.0 | Cortes Alfa: 1 | Cortes Beta: 232 | Nos Analisados: 2099 | Tempo Gasto: 1

TABULEIRO 1:

   X     |  X     |  0
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  X
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  0


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

Em seguida o utilizador vai tentar bloquear uma diagonal, mas o PC tem duas diagonais possíveis, o que levará a sua vitória.

```
---------------------------------------------
Escolha a posição onde deseja efetuar a sua jogada:

Posição Z (Entre 1 e 3, onde 3 é tabuleiro mais acima):
1
Posição X (Entre 1 e 3, onde 1 é a linha mais acima)
1
Posição Y (Entre 1 e 3, onde 1 é a coluna mais a esquerda)
1

TABULEIRO 1:

   X     |  X     |  0
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  X
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  0


TABULEIRO 2:

   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

   X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
   NIL   |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
```

Como o user apenas conseguiu bloquear uma diagonal, o PC acabou por ganhar.

```
---------------------------------------------
Valor da Posição : 33.5 | Cortes Alfa: 1622 | Cortes Beta: 282 | Nos Analisados: 5651 | Tempo Gasto: 1

TABULEIRO 1:

  X     |  X     |  0
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  X
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  0


TABULEIRO 2:

  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  0     |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL


TABULEIRO 3:

  X     |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  NIL   |  NIL   |  NIL
 -------------------------
  0     |  NIL   |  NIL


---------------------------------------------
Ganhei!
```

Com base nos resultados conseguidos, pode-se concluir que apesar do jogador máquina conseguir ganhar a um jogador humano, está longe de realizar todas as vezes a melhor jogada. Pois no quarto teste quando deveria de impedir um alinhamento do oponente, simplesmente jogou da melhor maneira como fosse ganhar e não verificou uma possível derrota. Este problema deve-se à função de avaliação utilizada, que é muito virada para a procura de uma solução em vez de tentar defender. Pode-se dizer que a estratégia utilizada é bastante ofensiva.

Conclui-se ainda que a alteração de tempo não teve qualquer influência neste caso específico, pois o PC conseguiu ganhar o jogo onde teve menos tempo para decidir. No entanto, não se pode concluir que numa outra situação a alteração do tempo não tivesse impacto no resultado do jogo.

7. Bibliografia

https://en.wikipedia.org/wiki/Alpha%E2%80%93beta_pruning

https://www.youtube.com/watch?v=xBXHtz4Gbdo

Slides de Inteligência Artificial