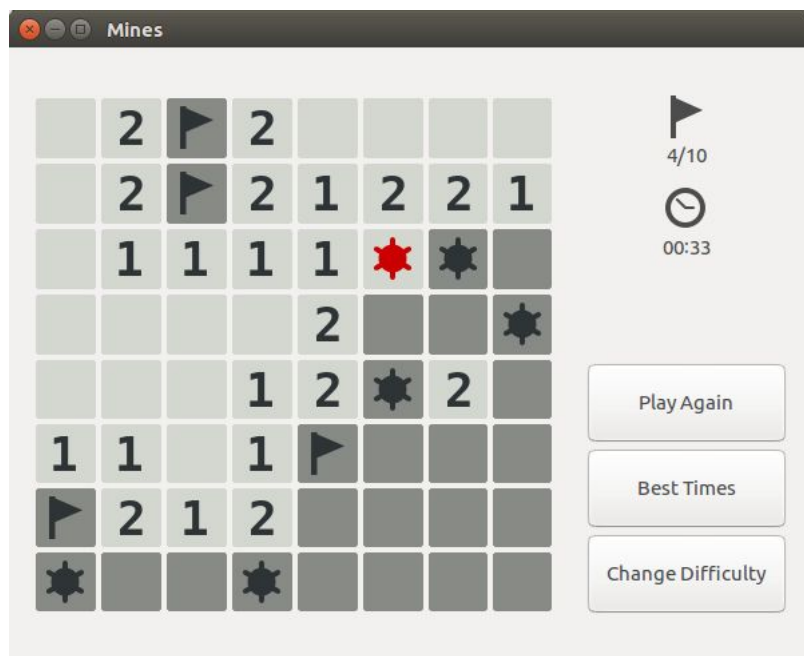


# Um agente lógico para Campo Minado

Trabalho final de MATA64  
Gabriel Dahia, Pedro Vidal

# Campo minado - Histórico

- Jogo *puzzle* de *single-player*;
- Está entre os primeiros jogos de computador.



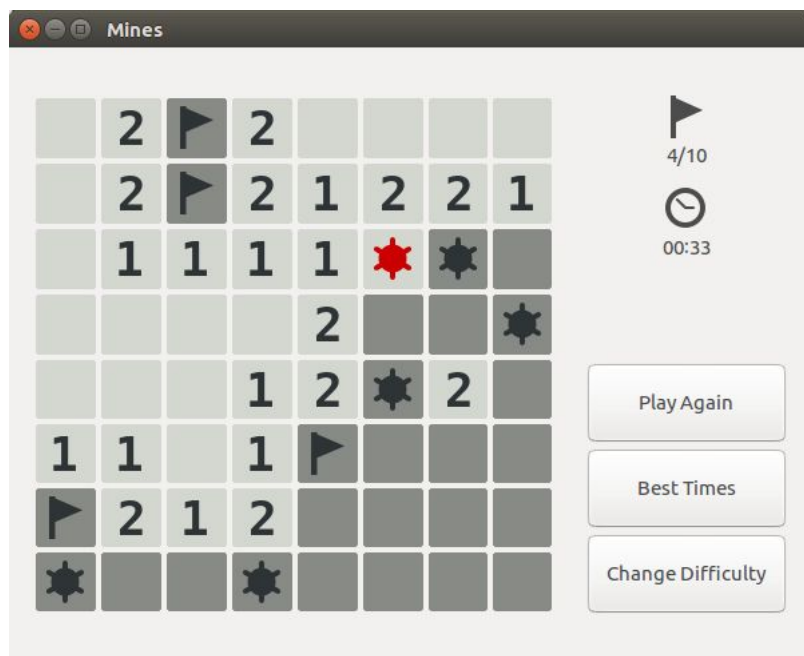
Campo minado para GNOME



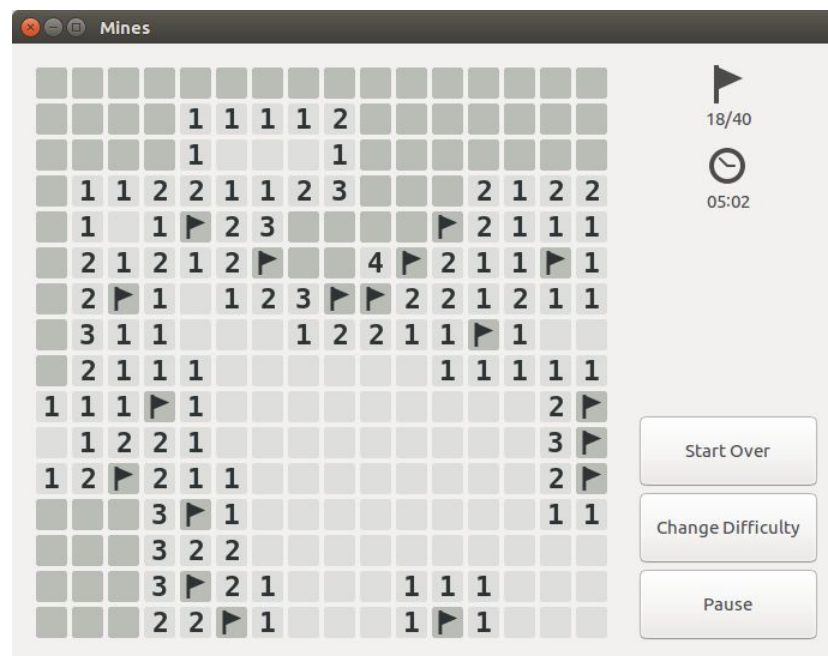
Campo minado para Windows

# Campo minado - Regras e objetivo

- Tabuleiros podem ter tamanhos e número de minas variados;
- Objetivo: descobrir posição de todas as minas.



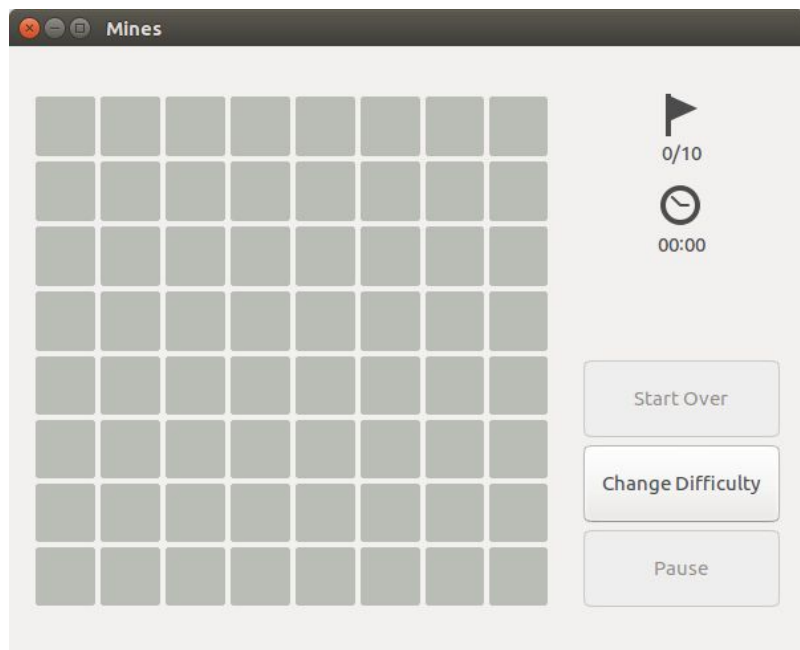
Campo de 8 colunas por 8 linhas com 10 bombas



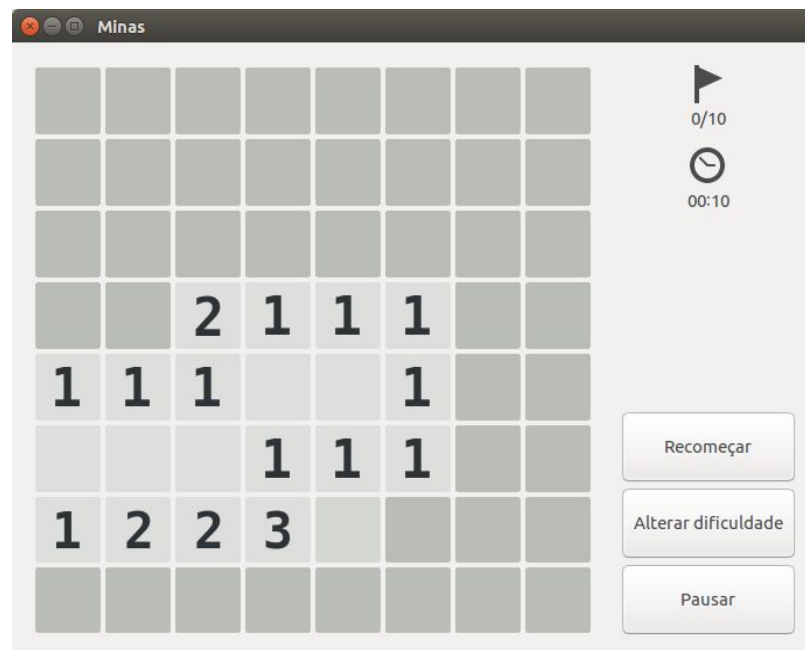
Campo de 16 colunas por 16 linhas com 40 bombas

# Campo minado - Regras e objetivo

- Inicialmente, tabuleiro está fechado:
  - Requer movimento aleatório.
- Clicar em uma célula vazia abre (e possivelmente) expande seus vizinhos.



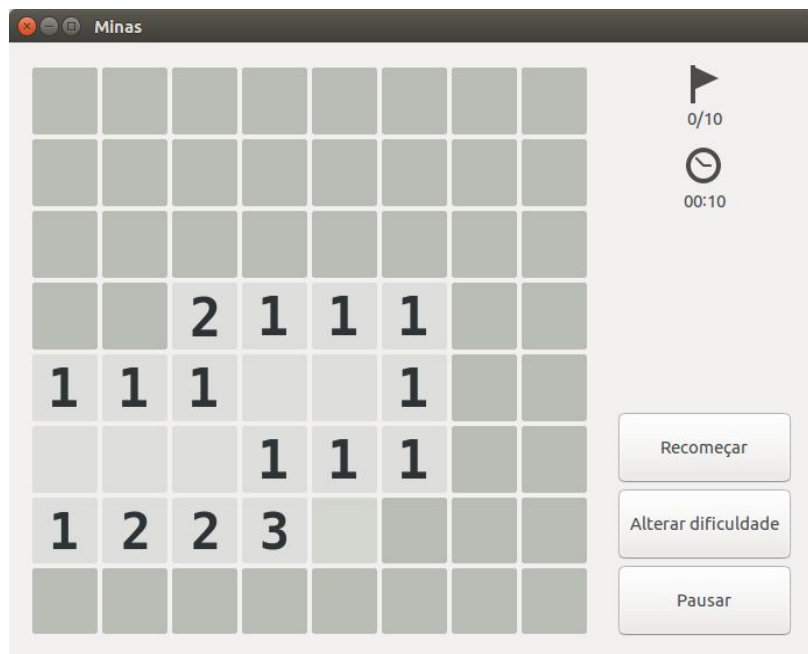
Campo inicial, com todas as células fechadas



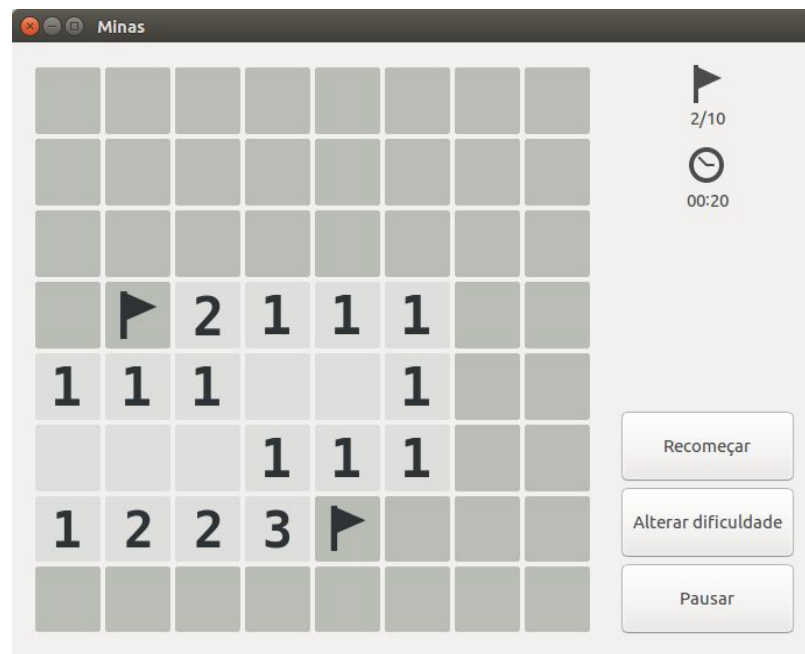
Campo após um movimento aleatório

# Campo minado - Regras e objetivo

- Determinando onde existem minas:



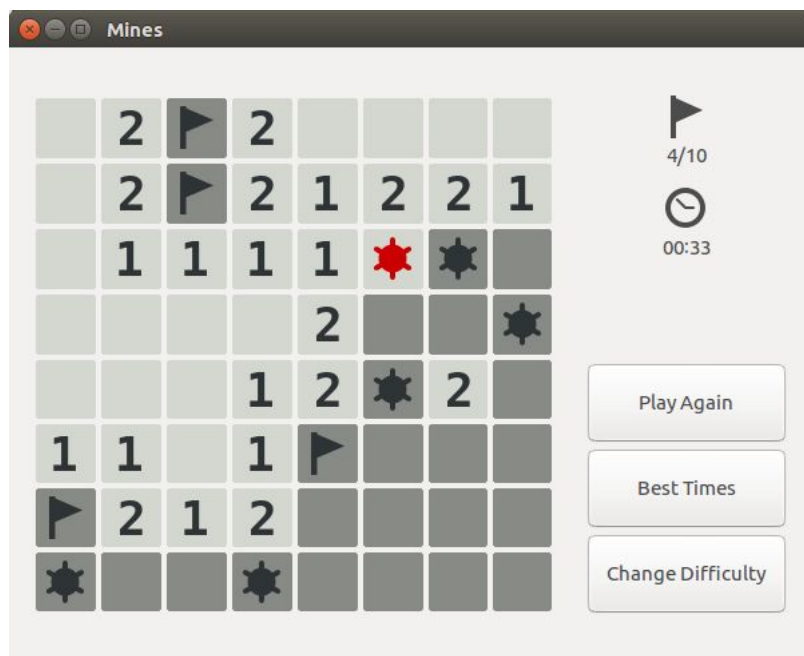
Campo após um movimento aleatório



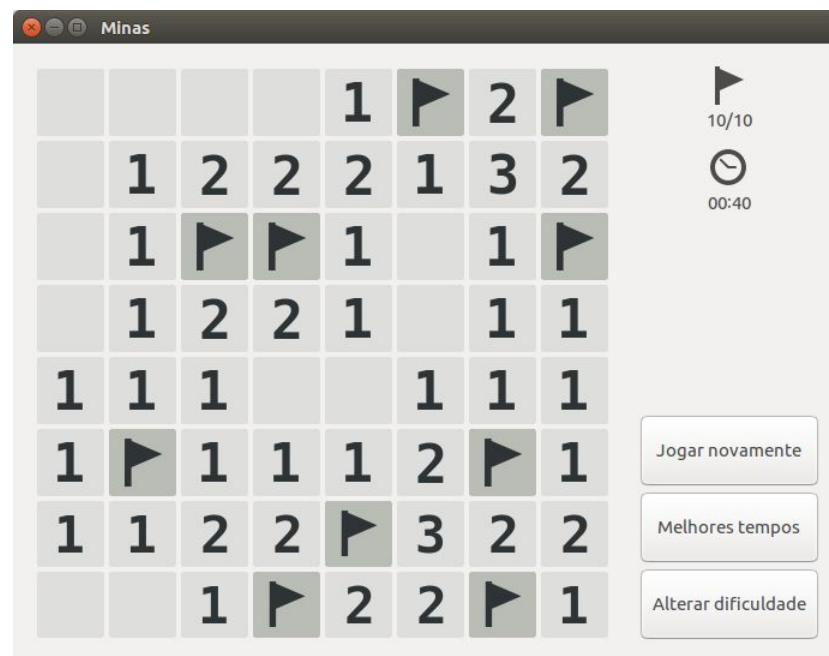
Posições que garantidamente são bombas

# Campo minado - Regras e objetivo

- Derrota e vitória:



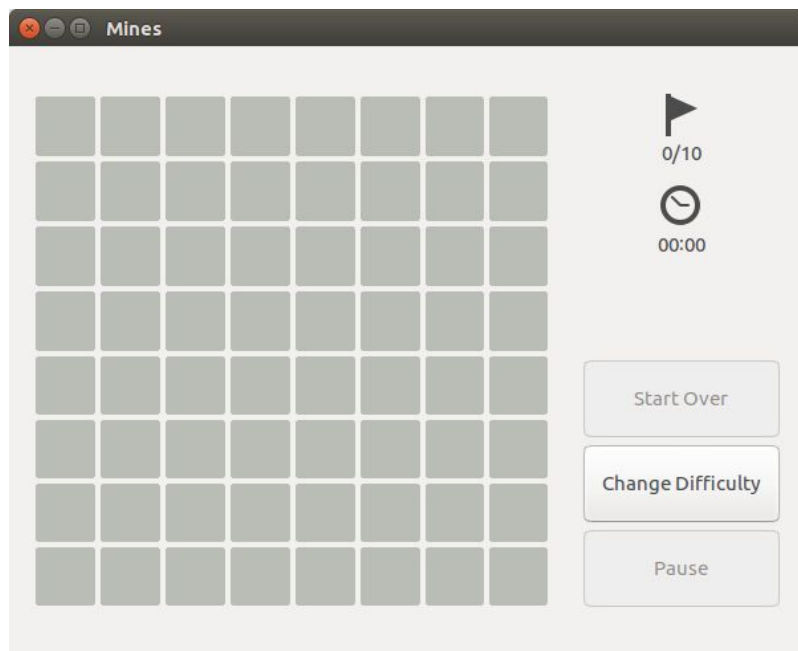
Derrota



Vitória

# Campo Minado - Tabuleiro ambíguo

- Jogada inicial força o jogador a adivinhar;
- Em outras jogadas também.



Campo inicial



Tabuleiro ambíguo

# Campo Minado - Complexidade

## Tarefa:

*Entrada:* Um tabuleiro possível de campo minado com algumas células abertas e número  $k$  de minas ocultas.

*Saída:* As coordenadas de uma célula e seu conteúdo (“*mina*” ou “*não-mina*”) se há uma célula fechada cujo conteúdo possa ser inferido da configuração atual do tabuleiro ou a mensagem “*O jogador é forçado a adivinhar*”.



# Campo Minado - Complexidade

## Tarefa:

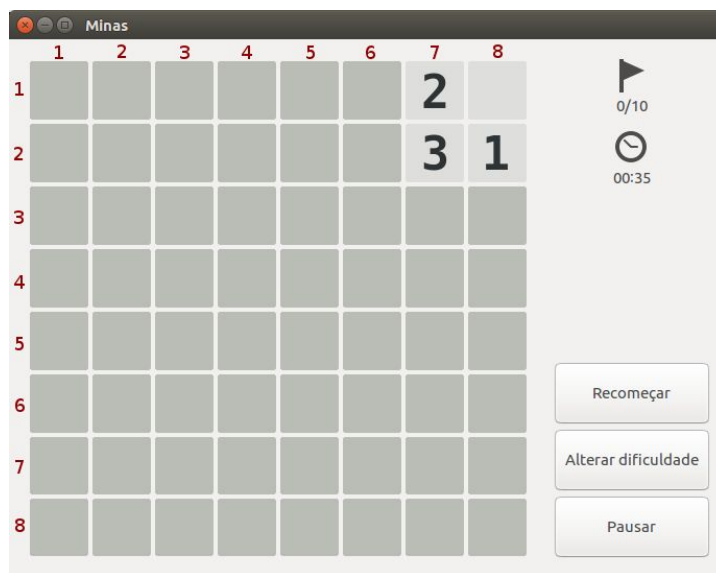
*Entrada:* Um tabuleiro possível de campo minado com algumas células abertas e número  $k$  de minas ocultas.

*Saída:* As coordenadas de uma célula e seu conteúdo (“*mina*” ou “*não-mina*”) se há uma célula fechada cujo conteúdo possa ser inferido da configuração atual do tabuleiro ou a mensagem “*O jogador é forçado a adivinhar*”.

**ESTE PROBLEMA É CO-NP  
COMPLETO!!!!!!!!!!!!**

# Abordagem - Agente lógico

- Fizemos um agente lógico:
  - Um símbolo proposicional por célula - célula  $(i, j)$  tem símbolo  $p_{ij}$ .

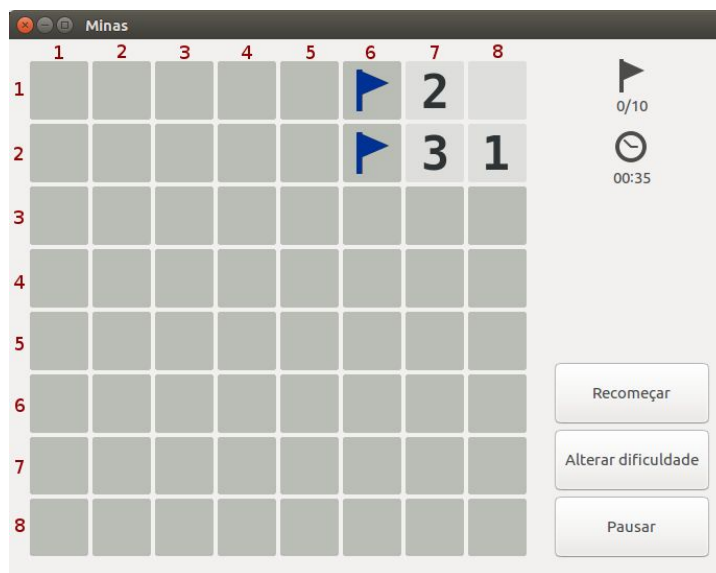


Fórmula correspondente:

$$\begin{aligned}
 & ((p_{16} \wedge p_{26})) \wedge ((p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \\
 & \neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \\
 & \neg p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee \\
 & (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38})) \wedge ((\neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{37} \wedge \neg p_{38}))
 \end{aligned}$$

# Abordagem - Agente lógico

- Fizemos um agente lógico:
  - Um símbolo proposicional por célula - célula  $(i, j)$  tem símbolo  $p_{ij}$ .

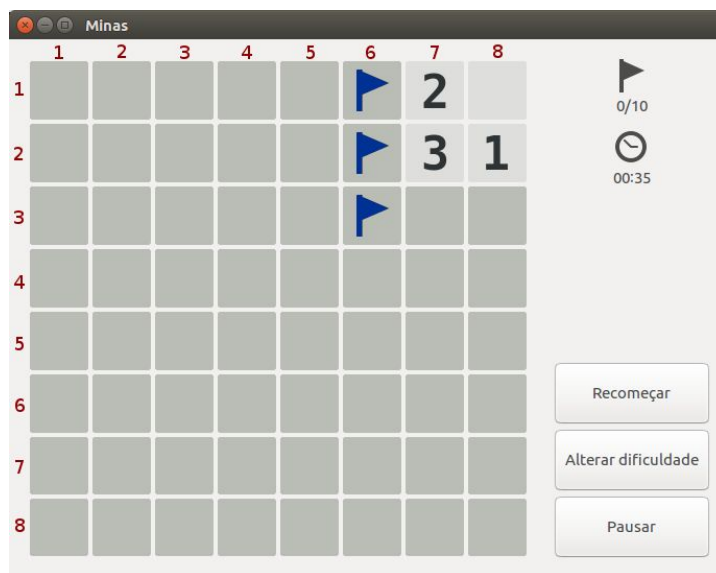


Fórmula correspondente:

$$\begin{aligned}
 & ((p_{16} \wedge p_{26})) \wedge ((p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \\
 & \neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \\
 & \neg p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee \\
 & (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38})) \wedge ((\neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{37} \wedge \neg p_{38}))
 \end{aligned}$$

# Abordagem - Agente lógico

- Fizemos um agente lógico:
  - Um símbolo proposicional por célula - célula  $(i, j)$  tem símbolo  $p_{ij}$ .

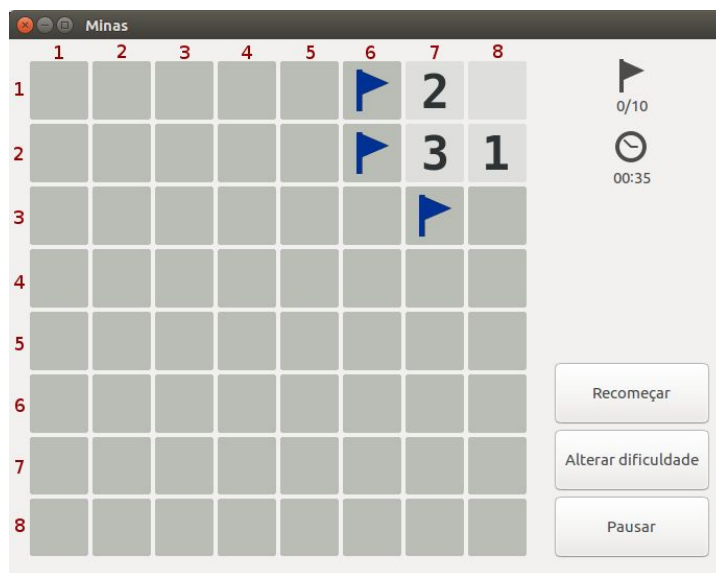


Fórmula correspondente:

$$((p_{16} \wedge p_{26})) \wedge ((p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38})) \wedge ((\neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{37} \wedge \neg p_{38}))$$

# Abordagem - Agente lógico

- Fizemos um agente lógico:
  - Um símbolo proposicional por célula - célula  $(i, j)$  tem símbolo  $p_{ij}$ .

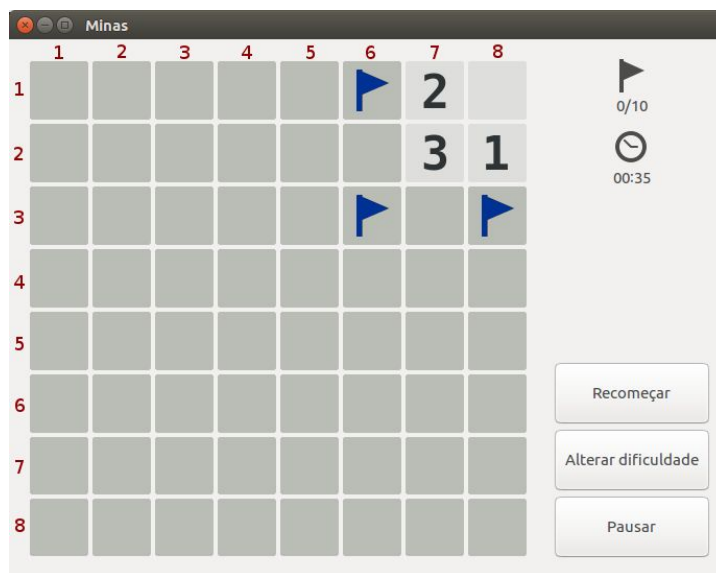


Fórmula correspondente:

$$((p_{16} \wedge p_{26})) \wedge ((p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge \neg p_{38})) \wedge ((\neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{37} \wedge \neg p_{38}))$$

# Abordagem - Agente lógico

- Fizemos um agente lógico:
  - Um símbolo proposicional por célula - célula  $(i, j)$  tem símbolo  $p_{ij}$ .

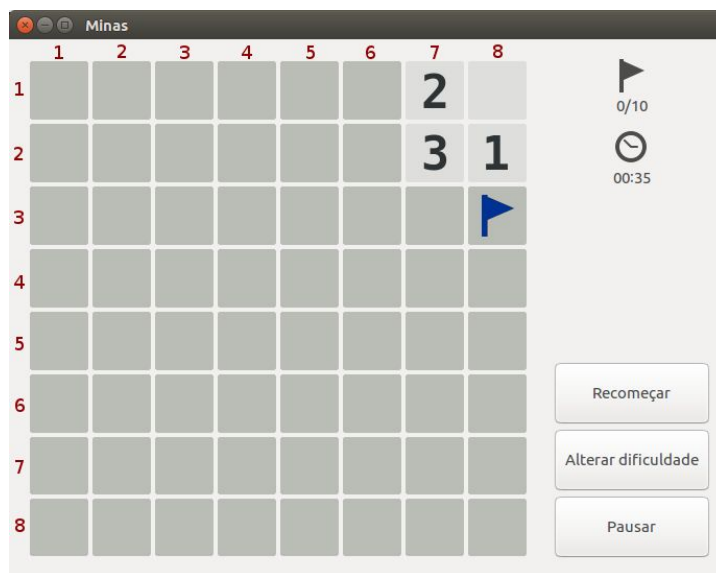


Fórmula correspondente:

$$((p_{16} \wedge p_{26})) \wedge ((p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge \neg p_{38})) \wedge ((\neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{37} \wedge \neg p_{38}))$$

# Abordagem - Agente lógico

- Fizemos um agente lógico:
  - Um símbolo proposicional por célula - célula  $(i, j)$  tem símbolo  $p_{ij}$ .

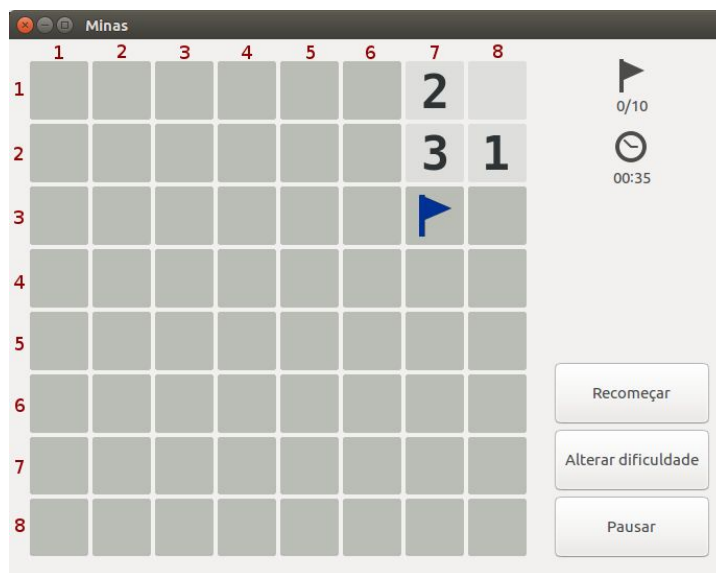


Fórmula correspondente:

$$\begin{aligned}
 &((p_{16} \wedge p_{26})) \wedge ((p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \\
 &\neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \\
 &\neg p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee \\
 &(\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38})) \wedge ((\neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{37} \wedge \neg p_{38}))
 \end{aligned}$$

# Abordagem - Agente lógico

- Fizemos um agente lógico:
  - Um símbolo proposicional por célula - célula  $(i, j)$  tem símbolo  $p_{ij}$ .



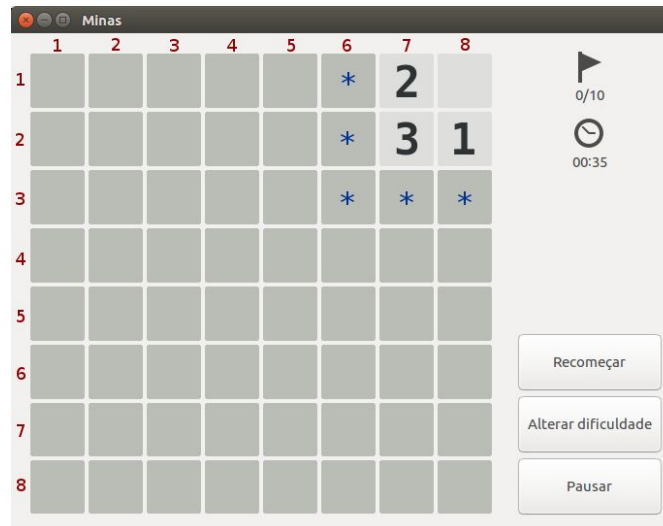
Fórmula correspondente:

$$\begin{aligned}
 & ((p_{16} \wedge p_{26})) \wedge ((p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge p_{26} \wedge \\
 & \neg p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{16} \wedge \\
 & \neg p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge \neg p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge p_{36} \wedge \neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee \\
 & (\neg p_{16} \wedge p_{26} \wedge \neg p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38}) \vee (\neg p_{16} \wedge \neg p_{26} \wedge p_{36} \wedge p_{37} \wedge p_{38})) \wedge ((\neg p_{37} \wedge p_{38}) \vee (p_{37} \wedge \neg p_{38}))
 \end{aligned}$$



# Abordagem - Complexidade

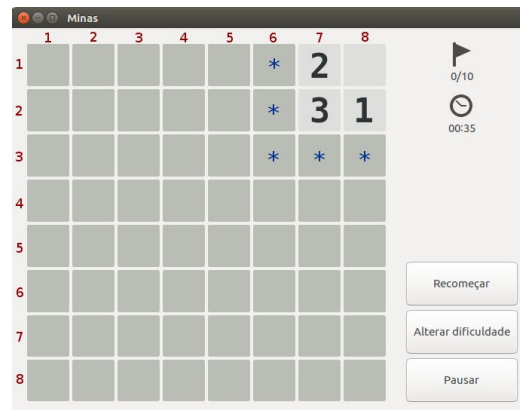
- Borda: células fechadas vizinhas à células abertas;
- Tamanho da borda,  $L$ ;
- Número de símbolos,  $P$ : no máximo,  $P = 9L = O(L)$ ;
- Tamanho da fórmula,  $T$ : no máximo,  $T = 2^9L = O(L)$ ;
- Complexidade para resolver problema: no pior caso,  $O(2^L)$ :
  - tabela verdade.



Borda destacada com asteriscos  
azuis

# Abordagem - Complexidade

- Borda: células fechadas vizinhas à células abertas;
- Tamanho da borda,  $L$ ;
- ~~Número de símbolos,  $P$ : no máximo,  $P = 8L = O(L)$ ;~~
- ~~Tamanho da fórmula,  $T$ : no máximo,  $T = 2^8 L = O(L)$ ;~~
- Agente procedural:
  - fórmula é representada implicitamente no tabuleiro;
  - economia de memória.
- Complexidade para resolver problema: no pior caso,  $O(2^L)$ :
  - tabela verdade.



Borda destacada com  
asteriscos azuis

# Abordagem - Análise

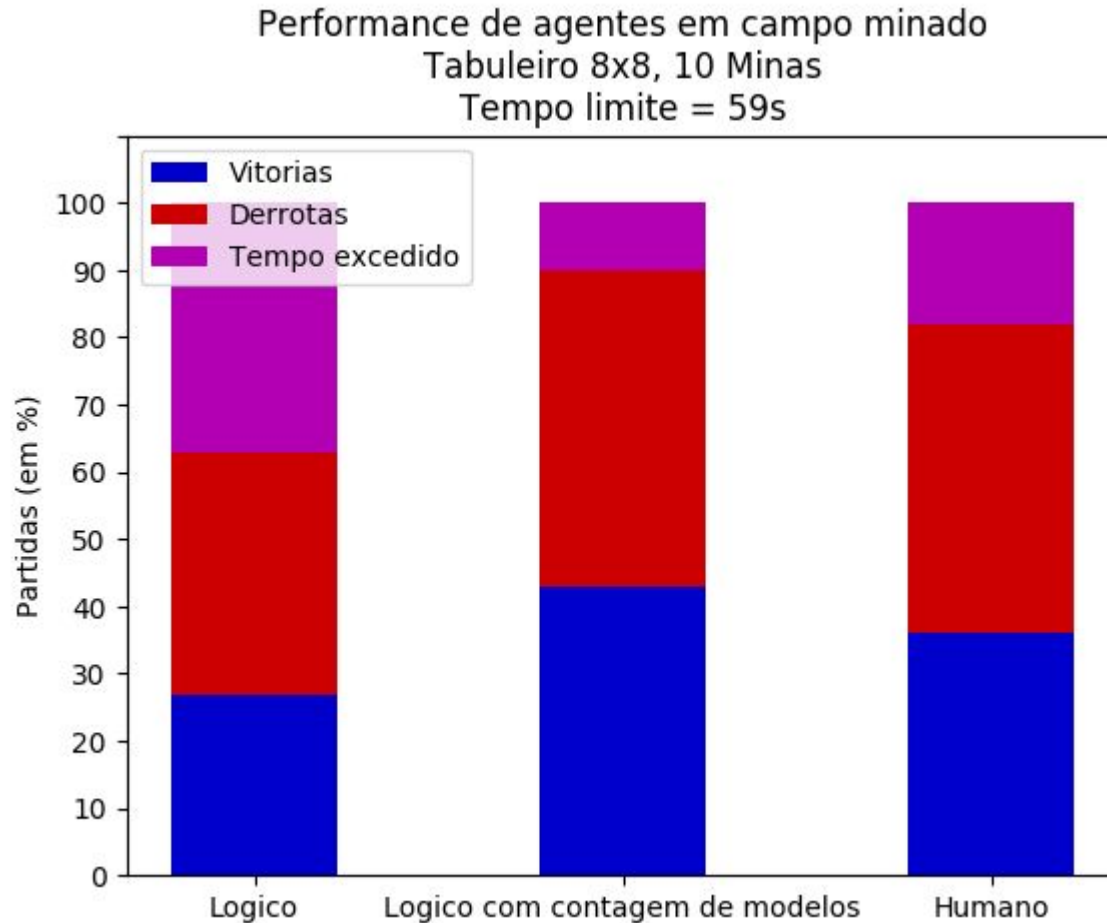
- Pontos positivos:
  - Se um tabuleiro não é ambíguo, uma jogada correta será encontrada (Completo);
  - Não faz jogadas erradas (Correto).
- Pontos negativos:
  - Alta complexidade - no pior caso, tempo de execução pode ser elevado;
  - Não determina estratégia quando tabuleiro é ambíguo.
- Solução: heurísticas.

# Abordagem - Variantes

## Contagem de Modelos:

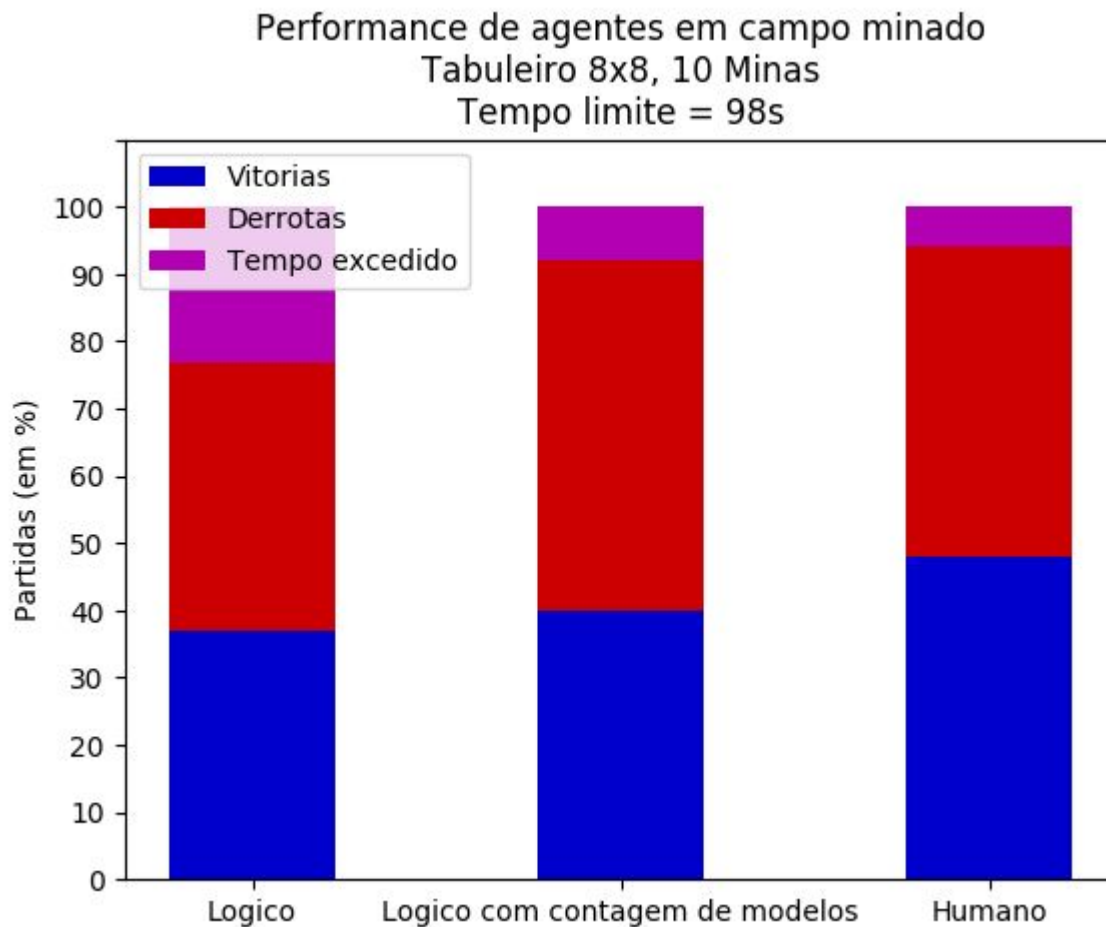
- Solução heurística para avaliar movimentos incertos;
- Utilizada apenas quando não existe nenhum movimento garantido;
- Dentre todas as células da borda, escolhe aquela que possui menor número de modelos em que é mina.

# Abordagem - Resultados



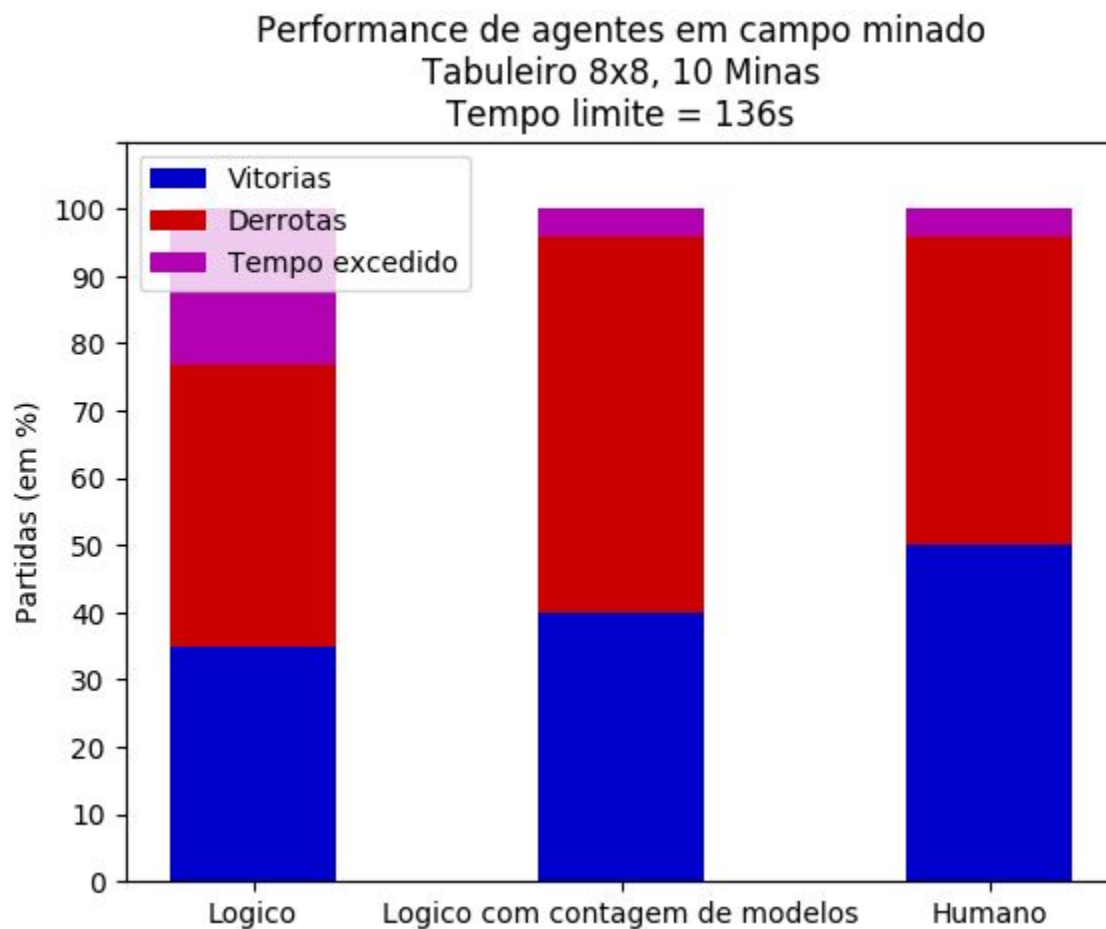
Resultados para 100 partidas do agente lógico e 50 partidas para humanos

# Abordagem - Resultados



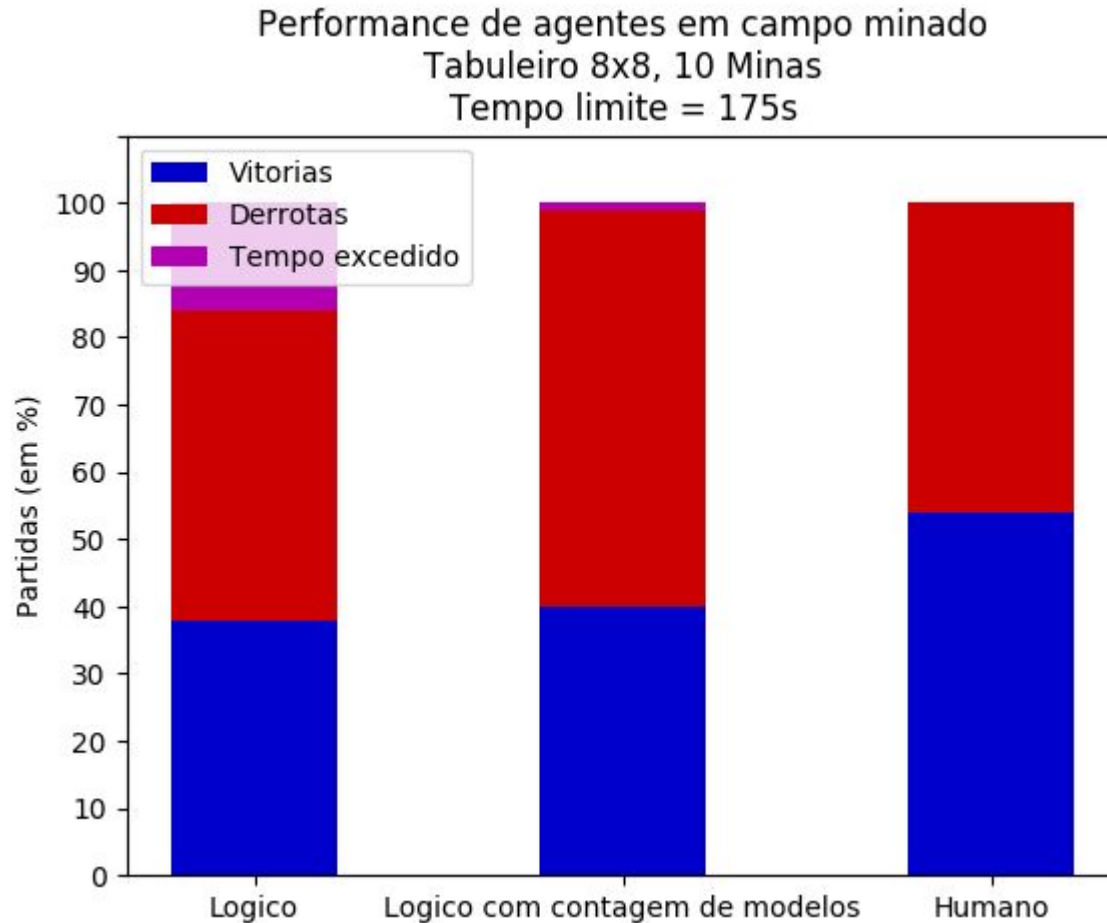
Resultados para 100 partidas do agente lógico e 50 partidas para humanos

# Abordagem - Resultados



Resultados para 100 partidas do agente lógico e 50 partidas para humanos

# Abordagem - Resultados




Resultados para 100 partidas do agente lógico e 50 partidas para humanos



# Contribuições

- Fizemos uma implementação de código aberto do jogo;
- Códigos do projeto inteiramente disponíveis em repositório aberto:
  - documentado;
  - comentado;
  - licença *MIT*;
  - adequado para extensão e modificação.

```
tk
pedrovidal@pedrovidal:~/faculdade/IA/ufba-ai-minesweeper$ python3 main.py --rows=8 --cols=8 --n_bombs=10 --player_type=user
Type C #row #col to click on the cell (#row, #col)
Type F #row #col to mark cell (#row, #col) as a bomb
C 1 5
C 3 2
F 3 3
F 1 1
C 2 1
C 2 2
C 2 3
C 3 1
C 4 4
C 4 5
C 8 8
F 5 3
C 4 3
F 4 6
F 4 7
F 5 7
C 5 8
C 4 8
C 3 7
C 3 8
C 2 7
C 2 8
F 1 7
C 1 8
C 5 2
F 5 1
C 6 1
C 6 2
C 7 1
F 7 2
F 8 2
C 8 1
VENCEU
```



F	1	0	0	0	1	F	1
1	2	1	1	0	1	1	1
0	1	F	1	1	2	2	1
1	3	2	2	1	F	F	2
F	2	F	1	1	3	F	2
2	3	2	1	0	1	1	1
2	F	2	0	0	0	0	0
2	F	2	0	0	0	0	0

Imagem do sistema sendo executado

# Referências

- [1] Scott, Allan, Ulrike Stege, and Iris Van Rooij. "Minesweeper may not be NP-complete but is hard nonetheless." *The Mathematical Intelligencer* 33.4 (2011): 5-17.
- [2] Russell, Stuart Jonathan, et al. *Artificial intelligence: a modern approach*. Vol. 2. No. 9. Upper Saddle River: Prentice hall, 2003.
- [3] Minesweeper (video game). (n.d.). In Wikipedia. Retrieved February 1, 2018, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Minesweeper\\_\(video\\_game\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Minesweeper_(video_game))