

DualClue Cross-a-Pix

Resolução de Problema de Decisão usando Programação em Lógica com Restrições

Flávio Couto and Pedro Afonso Castro

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Roberto Frias, sn, 4200-465 Porto, Portugal

Resumo Este projeto, realizado no âmbito da unidade curricular de Programação em Lógica, vem ajudar a consolidar os conhecimentos mais avançados de Prolog adquiridos deste o primeiro projeto, acerca de Programação em Lógica com restrições, consistindo em escrever um programa Prolog capaz de resolver qualquer puzzle do tipo "DualClue Cross-a-Pix". Este artigo tem então como objetivo complementar e descrever o projeto desenvolvido.

Keywords: dual clue cross a pix, sicstus, prolog, feup

1 Introdução

Este trabalho tem como objetivo adquirir competências ao nível da programação em lógica, servindo de continuação ao primeiro trabalho realizado na primeira metade do semestre. Neste projeto, foram-nos propostos vários puzzles e problemas de otimização, que deveriam ser resolvidos através de restrições. Para além disso, no caso de ser escolhido um puzzle (como é o caso do nosso grupo), o programa deve também ser capaz de gerar um puzzle aleatório. O nosso grupo resolveu escolher o puzzle DualClue Cross-a-Pix. O puzzle consiste numa matriz $M \times N$, constituída por várias regiões, em que cada secção deve estar pintada ou não, de acordo com indicações dadas para cada linha e coluna. Este artigo descreve então o puzzle DualClue Cross-a-pix, a abordagem utilizada para resolver qualquer puzzle, desde que o mesmo tenha uma solução, a visualização desta no momento em que esta é gerada, análise de exemplos de aplicação em instâncias do programa e, por último, as conclusões que retiramos deste projeto.

2 Descrição do Problema

O DualClue Cross-a-Pix é um puzzle que consiste numa matriz $M \times N$, dividida em várias regiões, com duas pistas em cada linha e coluna - a primeira representa o número de quadrados que estão pintados ao longo dessa linha/coluna, e a segunda representa o número de blocos (ou seja, o número de secções de quadrados pintados consecutivamente, como se pode ver na fig. 3) ao longo dessa linha/coluna. Todos os quadrados de uma secção devem estar ou pintados ou não pintados.

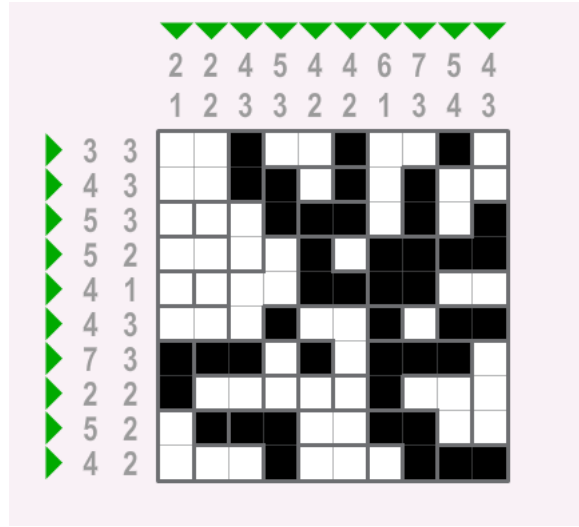


Figura 1. Puzzle DualClue Cross-a-Pix depois de resolvido

3 Abordagem

Na implementação do puzzle em Prolog, optámos por representar os dados em várias estruturas de dados:

- Uma lista de listas, de tamanho $M \times N-1$ em que cada elemento toma o valor 0 ou 1, significando 1 ter uma parede à sua direita e 0 a sua ausência (define-se uma parede como sendo a delimitação de uma região) (definida daqui para a frente como **HP**).
- Outra lista de listas com tamanho $N \times M-1$, que guarda a mesma informação, mas para a existência ou não de parede em baixo (definida daqui para a frente como **VP**).
- Uma lista de pares, em que cada par representa os números acima de cada coluna (definida daqui para a frente como **C**).
- Uma lista de pares, em que cada par representa os números acima de cada linha (definida daqui para a frente como **L**).

3.1 Variáveis de Decisão

A solução é dada numa lista de listas (daqui para a frente referida como **T**). Cada lista contém informação sobre cada linha, sendo o domínio de cada lista 0,1, sendo que 0 representa um quadrado não pintado, e 1 um quadrado pintado. O tamanho de **T** é, então $M \times N$.

Apresentamos de seguida o predicado que determina a solução:

`doubleCrossAPixSolver(−HP, −VP, +T, −V, −H) :−`

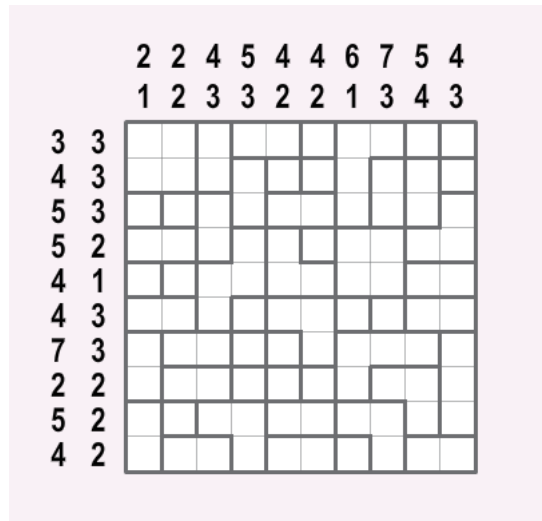


Figura 2. Estado do puzzle antes de ser começado. Podemos ver no topo e à esquerda as pistas dadas ao jogador

```

append(T, Vars),
domain(Vars, 0, 1),
groupsWithSameColour(HP,VP,T),
horizontalRule(T,H),
verticalRule(T,V),
labeling([ff,enum],Vars).

```

3.2 Restrições

O puzzle pode ser resolvido recorrendo a 5 restrições:

1. Para cada elemento pertencente ao mesmo bloco, a sua cor tem de ser igual;
2. O numero de quadrados pretos de uma coluna C tem de ser igual a $V[C][0]$;
3. O numero de blocos pretos de uma coluna C tem de ser igual a $V[C][1]$;
4. O numero de quadrados pretos de uma linha L tem de ser igual a $H[L][0]$;
5. O numero de blocos pretos de uma linha L tem de ser igual a $H[L][1]$.

Para cada elemento pertencente ao mesmo bloco, a sua cor tem de ser igual

Para cada elemento do puzzle, são testados todos os elementos na vertical e horizontal até encontrarmos uma parede - ou seja, fim do bloco. Verifica-se se têm todos a mesma cor. Esta restrição é testada no seguinte predicado:

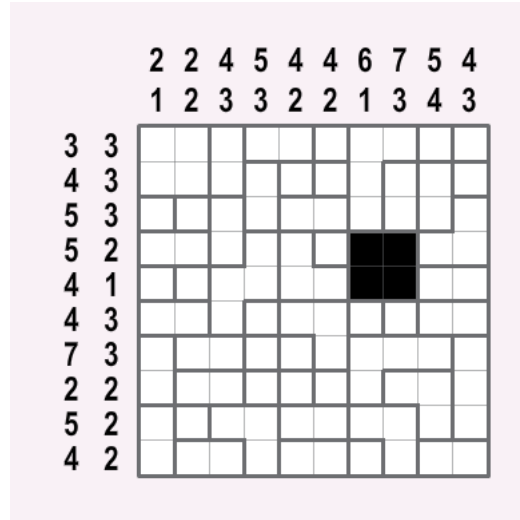


Figura 3. Uma secção

`groupsWithSameColour(-HP, -VP, +T).`

O numero de quadrados pretos de uma coluna C tem de ser igual a $V[C][0]$ e O numero de blocos pretos de uma coluna C tem de ser igual a $V[C][1]$

Percorre-se a coluna C e contam-se os quadrados pintados e as secções. Verifica-se se são iguais a $V[C][0]$ e $V[C][1]$, respetivamente. Estas duas restrições são testadas no mesmo predicado, sendo este o seguinte:

`verticalRule(-T,+V).`

O numero de quadrados pretos de uma linha L tem de ser igual a $H[L][0]$ e O numero de blocos pretos de uma linha L tem de ser igual a $H[L][1]$

Percorre-se a linha L e contam-se os quadrados pintados e as secções. Verifica-se se são iguais a $H[L][0]$ e $H[L][1]$, respetivamente. Estas duas restrições são testadas no mesmo predicado, sendo este o seguinte:

`horizontalRule(-T,+H).`

3.3 Estratégia de Pesquisa

No que toca ao *labeling*, usamos as seguintes estratégias:

- Escolha de variável: estratégia 'ffc', que consiste na escolha da variável de menor domínio com maior número de restrições.
- Ordenação de valores do domínio: estratégia 'up', que seleciona os valores do domínio por ordem ascendente.
- Branching : estratégia 'enum', atribuindo sequencialmente os valores do domínio à variável.

4 Visualização da Solução

A solução do puzzle é mostrada no ecrã de forma simples, mas de fácil percepção. A figura 4 mostra o resultado após o programa resolver um puzzle.

```
| ?- horizontalWall(HP), verticalWall(VP), verticalNumbers(V), horizontalNumbers
(H), var_table(10,10,T), doubleCrossAPix(HP,VP,T,V,H).
 2 2 4 5 4 4 6 7 5 4
- - - - -
 1 2 3 3 2 2 1 3 4 3
+--+--+--+--+--+
3|3|  |*|  |*|  |*| |
+ + + +--+--+--+--+
4|3|  |*|*| |*| |*| |
+--+--+--+--+--+
5|3| | | |*|* *| |*| |*|
+--+--+--+--+--+
5|2|  | | |*| |* *|* *|
+--+--+--+--+--+
4|1| | | |* *|* *| |
+--+--+--+--+--+
4|3|  | |*|  |*| |* *|
+--+--+--+--+--+
7|3|*|* *| |*| |* * *| |
+--+--+--+--+--+
2|2|*|  | | |*|  | |
+--+--+--+--+--+
5|2| |*|* *|  |* *| | |
+--+--+--+--+--+
4|2| |  |*|  | |*|* *|
+--+--+--+--+--+
```

Figura 4. Output produzido no terminal para o puzzle

Para imprimir a solução, recorreremos ao seguinte predicado:

```
print_puzzle(+HP, +VP, -T, +H, +V) .
```

Em que HP, VP, T, H e V têm os significados já descritos anteriormente.

5 Resultados

Foram realizados vários testes para avaliar a prestação do programa, sujeitando-o a várias condições, com complexidade diferente. Para avaliar a sua prestação, recorremos ao predicado `statistics/2` para determinar o tempo que decorreu entre o início e o fim da execução do teste. É importante referir que a precisão deste predicado vai até ao centésimo de segundo.

Foram feitos dois testes, um para testar o tempo necessário para gerar um puzzle e outro para testar o tempo necessário para gerar um puzzle e resolvê-lo. Implementámos dois predicados para correr estes testes, sendo eles os seguintes:

```
assess_time_generator(-Tries, -M, -N, +Average).
assess_time_generate_and_solve(-Tries, -M, -N, +Average).
```

Apresenta-se então os testes realizados e seus resultados.

Tamanho do Puzzle	Número de execuções	Tempo médio de execução
5x5	300	0.0011s
10x10	300	0.0022s
20x20	300	0.0063s
50x50	100	0.0385s
100x100	100	0.1724s

Tabela 1. Resultados do teste ao tempo necessário para gerar um puzzle

Tamanho do Puzzle	Número de execuções	Tempo médio de execução
5x5	100	0.0008s
10x10	100	0.0063s
50x50	100	0.0518s
100x100	100	0.2143s

Tabela 2. Resultados do teste ao tempo necessário para gerar um puzzle e resolvê-lo

Com isto, podemos tirar várias conclusões:

- O programa encontra soluções bastante rápido para puzzles com tamanho até 40x40. A partir daí, começa a demorar bastante tempo para conseguir resolver o puzzle. No entanto, tendo em conta que o número de células e regiões começa a entrar na ordem dos milhares, e as hipóteses a testar na ordem dos decalhões, tal resultado não é de estranhar.
- O tempo para resolver um puzzle é bastante superior ao tempo para gerar um puzzle aleatório.

- Tanto o tempo para gerar um puzzle, como o tempo para gerar um e resolvê-lo (de 2500 para 10000 células, houve um aumento de 4 vezes do tempo de execução em ambos os casos, e essa tendência é verificável também, por exemplo, de 100 para 400 células no caso da geração e resolução), aumenta de forma linear.

6 Conclusões

Contrariamente ao projeto anterior, não foi preciso tanto tempo para concluir este. No entanto, não é por isso que deixámos de cumprir o principal objetivo de consolidar os conhecimentos referentes à programação em lógica com restrições.

O uso de restrições não só vem facilitar bastante a resolução de problemas como o DualClue Cross-a-Pix, como o faz de forma extremamente rápida e eficiente. Depois de compreendido, o grupo considera este um conceito extremamente interessante de colocar em prática, e o facto de o puzzle ser bastante cativante tornou a realização deste projeto uma experiência bastante agradável.

Anexo

Código fonte

```
:- use_module(library(clpfd)).
:- use_module(library(lists)).
:- use_module(library(random)).

/* Predicados para testar e avaliar tempos de execucao */

assess_time_generator(Tries, M, N, Average) :-
    assess_time_generator_aux(Tries, M, N, Times),
    sumlist(Times, Sum),
    length(Times, Length),
    Average is Sum / Length.

assess_time_generator_aux(0, _, _, []).
assess_time_generator_aux(Tries, M, N, [Time|Times]) :-
    statistics(walltime, [Start|_]),
    test_generator(M, N),
    statistics(walltime, [End|_]),
    Time is End - Start,
    X is Tries - 1,
```

```

    assess_time_generator_aux(X, M, N, Times).

assess_time_generate_and_solve(Tries, M, N, Average) :-
    assess_time_generate_and_solve_aux(Tries, M, N,
    Times),
    sumlist(Times, Sum),
    length(Times, Length),
    Average is Sum / Length.

assess_time_generate_and_solve_aux(0, -, -, []).
assess_time_generate_and_solve_aux(Tries, M, N, [Time|
Times]) :-
    statistics(walltime, [Start|-]),
    test_generator(M, N),
    statistics(walltime, [End|-]),
    Time is End - Start,
    X is Tries - 1,
    assess_time_generator_aux(X, M, N, Times).

teste :-
    horizontalWall(HP),
    verticalWall(VP),
    verticalNumbers(V),
    horizontalNumbers(H),
    length(V, NRows),
    length(H, NCols),
    doubleCrossAPix(HP, VP, NRows, NCols, V, H).

teste_print :-
    horizontalWall(HP),
    verticalWall(VP),
    verticalNumbers(V),
    horizontalNumbers(H),
    print_white_puzzle(HP, VP, H, V).

test_generator(M, N) :-
    game_generator(M, N, HP, VP, H, V),
    print_white_puzzle(HP, VP, H, V).

test_generate_and_solve(M, N) :-
    game_generator(M, N, HP, VP, H, V),
    print_white_puzzle(HP, VP, H, V),
    doubleCrossAPix(HP, VP, M, N, V, H).

```



```
horizontalWall(Walls) :- Walls = [
[0,1,1,0,1,1,0,1,1],
[0,1,1,1,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,0,1,1,1,1],
[0,1,1,1,1,1,0,1,0],
[1,1,0,1,0,1,0,1,0],
[0,1,1,1,0,1,1,1,0],
[1,0,1,1,1,1,0,0,1],
[1,0,0,1,1,1,1,0,1],
[1,1,0,1,0,1,0,1,1],
[1,0,1,1,0,1,1,1,0]
].
```

```
verticalWall(Walls) :- Walls = [
[0,1,1,1,1,1,0,1,0],
[0,1,1,1,1,1,1,1,1],
[0,1,0,1,0,1,1,1,1],
[1,0,1,0,1,1,1,1,0],
[1,1,1,0,1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,1,0,1,1,1],
[0,0,1,0,1,1,0,1,1],
[1,0,1,0,1,1,1,1,0],
[1,0,1,1,1,1,1,0,1],
[1,1,0,1,1,1,0,0,1]
].
```

```
verticalNumbers(Numbers) :- Numbers = [
[2,1],
[2,2],
[4,3],
[5,3],
[4,2],
[4,2],
[6,1],
[7,3],
[5,4],
[4,3]
].
```

```
horizontalNumbers(Numbers) :- Numbers = [
[3,3],
[4,3],
[5,3],
[5,2],
[4,1],
].
```

```
[4,3],
[7,3],
[2,2],
[5,2],
[4,2]
].
```

```
var_table(0, -, []) :- !.
```

```
var_table(M, N, T) :-
    M > 0, !,
    length(Row, N),
    M1 is M - 1,
    var_table(M1, N, T1),
    append([Row], T1, T).
```

```
doubleCrossAPix(HP, VP, T, V, H) :-
    doubleCrossAPixSolver(HP, VP, T, V, H),
    print_puzzle(HP, VP, T, H, V).
```

```
doubleCrossAPix(HP, VP, NRows, NCols, V, H) :-
    var_table(NRows, NCols, T),
    doubleCrossAPix(HP, VP, T, V, H).
```

```
doubleCrossAPixSolver(HP, VP, T, V, H) :-
    append(T, Vars),
    domain(Vars, 0, 1),
    groupsWithSameColour(HP, VP, T),
    horizontalRule(T, H),
    verticalRule(T, V),
    labeling([ffd, enum], Vars).
```

```
/* Para cada elemento pertencente ao mesmo bloco, a sua
   cor tem de ser igual */
```

```
groupsWithSameColour(HP, VP, T) :-
    groupsWithSameColourHorizontal(HP, T),
    groupsWithSameColourVertical(VP, T).
```

```
groupsWithSameColourVertical(VP, T) :-
    transpose(T, TT),
    groupsWithSameColourHorizontal(VP, TT).
```

```
groupsWithSameColourHorizontal([], []).
```

```

groupsWithSameColourHorizontal ([HRowWalls|HRowsWalls],[
    Row|Rows]) :-
    checkWalls(HRowWalls, Row),
    groupsWithSameColourHorizontal(HRowsWalls, Rows).

checkWalls([], []). /* Last elem */
checkWalls([HWall|HWalls], [Elem1,Elem2|Elems]) :-
    checkWall(HWall, Elem1, Elem2),
    checkWalls(HWalls, [Elem2|Elems]).

checkWall(0, Elem1, Elem2) :-
    Elem1 #= Elem2.
checkWall(1, -, -).

/* O numero de quadrados pretos da coluna C tem de ser
   igual a V[C][0]
   O numero de blocos pretos da coluna C tem de ser
   igual a V[C][1] */

horizontalRule([], []).
horizontalRule([Row|Rows], [Rule|Rules]) :-
    validate_row(Row, Rule), horizontalRule(Rows,
        Rules).

validate_row(Row, [PaintedSquares, NumberSections]) :-
    check_row_painted_squares(Row, PaintedSquares),
    check_row_sections(Row, NumberSections).

check_row_painted_squares([], 0).
check_row_painted_squares([Elem|Row], PaintedSquares) :-
    Elem #= 0,
    check_row_painted_squares(Row, PaintedSquares).
check_row_painted_squares([Elem|Row], PaintedSquares) :-
    Elem #= 1,
    N is PaintedSquares - 1,
    check_row_painted_squares(Row, N).

check_row_sections([Elem|Row], NumberSections) :- Elem #=
    0,
    check_row_sections_aux(Row, 0, 0, NumberSections)
    .
check_row_sections([Elem|Row], NumberSections) :- Elem #=
    1,
    check_row_sections_aux(Row, 1, 1, NumberSections)
    .

```

```

check_row_sections_aux([], -, N, N).
check_row_sections_aux([Elem|Row], LastElem,
    CurrentNumberSections, NumberSections) :-
    Elem #= 1,
    LastElem #= 0,
    !,
    N is CurrentNumberSections + 1,
    check_row_sections_aux(Row, Elem, N,
        NumberSections).
check_row_sections_aux([Elem|Row], -,
    CurrentNumberSections, NumberSections) :-
    check_row_sections_aux(Row, Elem,
        CurrentNumberSections, NumberSections).

/*      O numero de quadrados pretos da linha L tem de
    ser igual a V[H][0]
    O numero de blocos pretos da linha L tem de ser
    igual a V[H][1] */

verticalRule(Rows, Rules) :-
    transpose(Rows, Cols), horizontalRule(Cols, Rules
    ).

/* Imprimir solucao em formato legivel */
print_white_puzzle(HP, VP, H, V) :-
    length(H, NumRows),
    length(V, NumCols),
    white_board(NumRows, NumCols, T),
    print_puzzle(HP, VP, T, H, V).

white_board(0, -, []).
white_board(NumRows, NumCols, [Row|Rows]) :-
    NumRows > 0,
    white_row(NumCols, Row),
    X is NumRows - 1,
    white_board(X, NumCols, Rows).

white_row(0, []).
white_row(NumCols, [0|Cols]) :-
    NumCols > 0,
    X is NumCols - 1,
    white_row(X, Cols).

print_puzzle(HP, VP, T, H, V) :-

```

```

    getSpacing(H, PaintedSpace, SectionsSpace),
    Spacing is PaintedSpace + 1 + SectionsSpace,
    length(V, NumCols),
    print_vertical_rules(V, Spacing),
    transpose(VP, VPT),
    print_horizontal_border(Spacing, NumCols),
    print_puzzle_aux(HP, VPT, T, H, PaintedSpace,
        SectionsSpace, Spacing).

print_vertical_rules(V, Spacing) :-
    getSpacing(V, PaintedSpace, SectionsSpace),
    transpose(V, [Painted, Sections]),
    print_vertical_numbers(Spacing, Painted,
        PaintedSpace),
    length(Painted, NumCols),
    print_division(Spacing, NumCols),
    print_vertical_numbers(Spacing, Sections,
        SectionsSpace).

print_vertical_numbers(_, _, 0).

print_vertical_numbers(Spacing, Numbers, NumbersSpace) :-
    print_spacing(Spacing),
    N is NumbersSpace - 1,
    print_vertical_numbers_aux(Numbers, N, Remainders
    ),
    print_vertical_numbers(Spacing, Remainders, N).

print_vertical_numbers_aux([], _, []) :-
    write('\\n').
print_vertical_numbers_aux([Number|Numbers], N, [
    Remainder|Remainders]) :-
    Digit is Number // 10 ^ N,
    Remainder is Number rem 10 ^ N,
    write('_'),
    write(Digit),
    print_vertical_numbers_aux(Numbers, N, Remainders
    ).

print_division(Spacing, NumCols) :-
    print_spacing(Spacing),
    print_division_aux(NumCols).

print_division_aux(0) :-
    write('\\n').

```

```

print_division_aux(NumCols) :-
    N is NumCols - 1,
    write('┌'),
    print_division_aux(N).

print_horizontal_border(Spacing, NumCols) :-
    print_spacing(Spacing),
    print_line(NumCols),
    write('\n').

getSpacing(H, PaintedSpace, SectionsSpace) :-
    transpose(H, [Painted, Sections]),
    max_member(MaxPainted, Painted),
    PaintedSpace is truncate(log(10,MaxPainted)) + 1,
    max_member(MaxSections, Sections),
    SectionsSpace is truncate(log(10,MaxSections)) +
        1.

print_spacing(0).
print_spacing(Spacing) :-
    X is Spacing - 1,
    write(' '),
    print_spacing(X).

print_line(0) :-
    write('+').
print_line(NumCols) :-
    X is NumCols - 1,
    write('─'),
    print_line(X).

print_puzzle_aux([HWall], [], [Row], [HRule],
    PaintedSpace, SectionsSpace, Spacing) :-
    print_horizontal_rule(HRule, PaintedSpace,
        SectionsSpace),
    print_row(HWall, Row),
    write('\n'),
    length(Row, NumCols),
    print_horizontal_border(Spacing, NumCols),
    write('\n').

print_puzzle_aux([HWall|HWalls], [VWall|VWalls], [Row|
    Rows], [HRule|HRules], PaintedSpace, SectionsSpace,
    Spacing) :-

```

```

    print_horizontal_rule(HRule, PaintedSpace,
        SectionsSpace),
    print_row(HWall, Row),
    write('\\n'),
    print_vertical_walls(VWall, Spacing),
    write('\\n'),
    print_puzzle_aux(HWalls, VWalls, Rows, HRules,
        PaintedSpace, SectionsSpace, Spacing).

print_horizontal_rule([Painted, Sections], PaintedSpace,
    SectionsSpace) :-
    print_number_horizontal(Painted, PaintedSpace),
    write('|'),
    print_number_horizontal(Sections, SectionsSpace).

print_number_horizontal(_, 0).
print_number_horizontal(Number, Space) :-
    N is Space - 1,
    Digit is Number // 10 ^ N,
    Remainder is Number rem 10 ^ N,
    write(Digit),
    print_number_horizontal(Remainder, N).

print_row(Walls, Elems) :-
    write('|'),
    print_row_aux(Walls, Elems).

print_row_aux([], [Elem]) :-
    print_elem(Elem),
    write('|').

print_row_aux([Wall|Walls], [Elem|Elems]) :-
    print_elem(Elem),
    print_horizontal_wall(Wall),
    print_row_aux(Walls, Elems).

print_elem(0) :-
    write('␣').
print_elem(1) :-
    write('*').

print_horizontal_wall(0) :-
    write('␣').
print_horizontal_wall(1) :-
    write('|').

```

```

print_vertical_walls(VWall, Spacing) :-
    print_spacing(Spacing),
    print_vertical_walls_aux(VWall).

print_vertical_walls_aux([]) :-
    write(' ').

print_vertical_walls_aux([VWall|VWalls]) :-
    write(' '),
    print_vertical_wall(VWall),
    print_vertical_walls_aux(VWalls).

print_vertical_wall(0) :-
    write('_').
print_vertical_wall(1) :-
    write('-').

/* Gerar um tabuleiro aleatorio */

/* Gerar uma matriz de informacoes referentes as paredes
   de tamanho M*N */
generate_walls(0,_,[]) :- !.
generate_walls(M,N,[Row|T]) :- M > 0, !,
    generate_line_walls(N,Row), M1 is M-1, generate_walls(
    M1,N,T).
generate_line_walls(0, []) :- !.
generate_line_walls(N,[Elem|Row]) :- N > 0, !, N1 is N-1,
    random(0,2,Elem), generate_line_walls(N1, Row).

/* Gerar as duas matrizes com informacao referente aos
   quadrados pintados / seccoes */
get_horizontal_numbers([], []).
get_horizontal_numbers([Row|Rows], [[PaintedSquares,
    NumberSections]|NumbersRows]) :-
    get_row_numbers(Row, PaintedSquares),
    get_row_sections(Row, NumberSections),
    get_horizontal_numbers(Rows, NumbersRows).

get_row_numbers(Row, PaintedSquares) :-
    sumlist(Row, PaintedSquares).

get_row_sections([Elem|Row], NumberSections) :-
    get_row_sections_aux(Row, Elem, Elem,
    NumberSections).

```



```

get_row_sections_aux([], _, N, N).
get_row_sections_aux([1|Row], 0, CurrentNumberSections,
    NumberSections) :-
    N is CurrentNumberSections + 1,
    get_row_sections_aux(Row, 1, N, NumberSections).
get_row_sections_aux([Elem|Row], _, CurrentNumberSections,
    NumberSections) :-
    get_row_sections_aux(Row, Elem,
        CurrentNumberSections, NumberSections).

get_vertical_numbers(Rows, Rules) :-
    transpose(Rows, Cols), get_horizontal_numbers(
        Cols, Rules).

/* Gerar um jogo M por N */
game_generator(M, N, HP, VP, H, V) :-
    generate_walls(M, N, HP, VP),
    var_table(M, N, T),
    paint_board(HP, VP, T),
    calculateRules(T, H, V).

generate_walls(M, N, HP, VP) :-
    M1 is M - 1,
    N1 is N - 1,
    generate_walls(M, N1, HP),
    generate_walls(N, M1, VP).

paint_board(HP, VP, T) :-
    append(T, Vars),
    domain(Vars, 0, 1),
    groupsWithSameColour(HP, VP, T),
    restrainRandomPositions(T),
    labeling([ff, enum], Vars).

calculateRules(T, H, V) :-
    get_horizontal_numbers(T, H),
    get_vertical_numbers(T, V).

restrainRandomPositions(T) :-
    getBoardSize(T, NumRows, NumCols),
    MinElems is truncate(sqrt(min(NumRows, NumCols))),
    ,
    MaxElems is truncate(sqrt(NumRows * NumCols)) +
    1,
    random(MinElems, MaxElems, NumElemsToPaint),

```

```

    getRandomPositions(NumElemsToPaint, NumRows,
        NumCols, Positions),
    restrainElems(Positions, T).

getBoardSize(T, NumRows, NumCols) :-
    length(T, NumRows),
    nth0(0, T, Row),
    length(Row, NumCols).

getRandomPositions(NumPositions, NumRows, NumCols,
    Positions) :-
    getRandomPositionsAux(NumPositions, NumRows,
        NumCols, PositionsList),
    remove_dups(PositionsList, Positions).
getRandomPositionsAux(0, -, -, []) :- !.
getRandomPositionsAux(NumPositions, NumRows, NumCols, [[
    Row, Col] | Positions]) :-
    NumPositions > 0, !,
    random(0, NumRows, Row),
    random(0, NumCols, Col),
    X is NumPositions - 1,
    getRandomPositions(X, NumRows, NumCols, Positions
    ).

restrainElems([], -).
restrainElems([[Row, Col] | Positions], T) :-
    nth0(Row, T, TRow),
    nth0(Col, TRow, Elem),
    Elem #= 1,
    restrainElems(Positions, T).

```