

Apêndice A

Estudo de Caso 1

Nesta seção será definido o jogo da velha de acordo com a definição de jogo proposta. Como, também, na linguagem de definição de jogos sem estratégias e com estratégias. Será utilizado a ferramenta desenvolvida para gerar os códigos das duas especificações. Será mostrado como analisar o comportamento dos jogadores a partir do código gerado com estratégias.

A.1 Jogo da Velha na Definição de Jogo Sem Estratégia

A seguir é mostrado como seria a definição do jogo da velha de acordo com a definição de jogo proposta. Tem-se dois jogadores 1 e 2, um tabuleiro que será representado como as variáveis $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, z_1, z_2, z_3$ que podem estar *branco* (b) ou serem marcadas com *jogador*₁ (x) ou *jogador*₂ (o). Lembre-se que o jogo é alternado, ou seja, cada jogador joga uma vez e depois o outro joga. No estado inicial o tabuleiro está vazio e o jogador 1 é quem começa jogando. O jogo termina quando um dos jogadores completar três x ou três o em linha, coluna ou diagonal, ou ainda quando não existir mais brancos. A tabela abaixo mostra a estrutura do tabuleiro.

x_1	x_2	x_3
y_1	y_2	y_3
z_1	z_2	z_3

Exemplo: Jogo da Velha $\mathcal{G} = (J, SE, e_o, \mathcal{CA})$.

- um único sorte $S = \{b, x, o\}$;
- $J = \{1, 2\}$;
- $SE = \{(\{1\}, b, b, b, b, b, b, b, b, b),$
 $(\{2\}, x, b, b, b, b, b, b, b, b), \dots, (\{2\}, b, b, b, b, b, b, b, b, x),$
 $(\{1\}, x, o, b, b, b, b, b, b, b), \dots, (\{1\}, x, b, b, b, b, b, b, o),$
 $\dots, (\{\}, x, o, b, x, o, b, x, b, b), \dots, (\{\}, x, o, x, x, o, x, o, x, o)\}$;

- $e_o = (\{1\}, b, b, b, b, b, b, b, b, b);$
- $CA = \{((\{1\}, b, b, b, b, b, b, b, b, b), (\{2\}, x, b, b, b, b, b, b, b, b)),$
 $\dots, ((\{1\}, b, b, b, b, b, b, b, b, b), (\{2\}, b, b, b, b, b, b, b, b, x)),$
 $\dots, ((\{2\}, x, b, b, b, b, b, b, b, b), (\{1\}, x, b, b, b, b, b, b, o)),$
 $\dots, ((\{1\}, x, o, x, x, o, o, x, b), (\{2\}, x, o, x, x, o, o, x, x))\}$

A.2 A Especificação do Jogo da Velha Sem Estratégias em RollGame

Nesta seção, será apresentada a especificação do jogo sem estratégias em RollGame. Pode-se observar que esta é a especificação do jogo em RollGame da definição do jogo da velha. A especificação é apresentada a seguir.

ESTADO

VARIAVEIS_ESTADO

x1 : {b,x,o};

x2 : {b,x,o};

x3 : {b,x,o};

y1 : {b,x,o};

y2 : {b,x,o};

y3 : {b,x,o};

z1 : {b,x,o};

z2 : {b,x,o};

z3 : {b,x,o};

JOGADORES

jg1: boolean;

jg2: boolean;

ESTADO_INICIAL

VARIAVEIS_ESTADO_INICIAIS

x1 := b;

x2 := b;

x3 := b;

y1 := b;

y2 := b;

y3 := b;

z1 := b;

z2 := b;

z3 := b;

JOGADORES_INICIAIS

jg1 := 1;

jg2 := 0;

ACOES

$(x1 = b) \& (jg1 = 1) \& (jg2 = 0) \& (fim = 0) \rightarrow \{x1 := x; jg1 := 0; jg2 := 1;\};$

$(x2 = b) \& (jg1 = 1) \& (jg2 = 0) \& (fim = 0) \rightarrow \{x2 := x; jg1 := 0; jg2 := 1;\};$

```

(x3 = b)&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(fim=0) -> {x3:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
(y1 = b)&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(fim=0) -> {y1:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
(y2 = b)&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(fim=0) -> {y2:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
(y3 = b)&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(fim=0) -> {y3:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
(z1 = b)&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(fim=0) -> {z1:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
(z2 = b)&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(fim=0) -> {z2:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
(z3 = b)&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(fim=0) -> {z3:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
(x1 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {x1:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(x2 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {x2:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(x3 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {x3:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(y1 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {y1:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(y2 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {y2:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(y3 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {y3:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(z1 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {z1:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(z2 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {z2:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(z3 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {z3:=o;jg1:=1;jg2:=0;};

```

DEFINICOES

```

fim := fim_jg1 | fim_jg2 | fim_sem_ganhador;
fim_jg1:=
( ((x1=x)&(x2=x)&(x3=x))
| ((y1=x)&(y2=x)&(y3=x))
| ((z1=x)&(z2=x)&(z3=x))
| ((x1=x)&(y1=x)&(z1=x))
| ((x2=x)&(y2=x)&(z2=x))
| ((x3=x)&(y3=x)&(z3=x))
| ((x1=x)&(y2=x)&(z3=x))
| ((x3=x)&(y2=x)&(z1=x)) );
fim_jg2 :=
( ((x1=o)&(x2=o)&(x3=o))
| ((y1=o)&(y2=o)&(y3=o))
| ((z1=o)&(z2=o)&(z3=o))
| ((x1=o)&(y1=o)&(z1=o))
| ((x2=o)&(y2=o)&(z2=o))
| ((x3=o)&(y3=o)&(z3=o))
| ((x1=o)&(y2=o)&(z3=o))
| ((x3=o)&(y2=o)&(z1=o)) );
fim_sem_ganhador :=
( (!(x1=b))&(!(x2=b))&(!(x3=b))&(!(y1=b))&(!(y2=b))&(!(y3=b))
&(!(z1=b))&(!(z2=b))&(!(z3=b))&(fim_jg1=0)&(fim_jg2=0));

```

A.3 A Especificação do Jogo da Velha Com Estratégias em RollGame

Será definido o jogo da velha com estratégias que garantam que o jogador 1 ganhe ou pelo menos empate em RollGame. As estratégias para o jogador 1

são as seguintes:

1. A primeira jogada deve ser em x1;
2. Se puder ganhar o jogo, deverá ganhar;
3. Se 2 não for verdade, evitar que o jogador 2 ganhe;
4. Se 3 não for verdade, jogar nas pontas se puder ganhar;
5. Se 4 não for verdade, jogar de forma aleatória.

A especificação é mostrada abaixo.

ESTADO

VARIAVEIS_ESTADO

x1 : {b,x,o};

x2 : {b,x,o};

x3 : {b,x,o};

y1 : {b,x,o};

y2 : {b,x,o};

y3 : {b,x,o};

z1 : {b,x,o};

z2 : {b,x,o};

z3 : {b,x,o};

JOGADORES

kg1: boolean;

kg2: boolean;

ESTADO_INICIAL

VARIAVEIS_ESTADO_INICIAIS

x1 := b;

x2 := b;

x3 := b;

y1 := b;

y2 := b;

y3 := b;

z1 := b;

z2 := b;

z3 := b;

JOGADORES_INICIAIS

kg1 := 1;

kg2 := 0;

ACOES

(x1 = b)&(kg1 = 1)&(kg2=0)&(fim=0) -> {x1:=x;kg1:=0;kg2:=1;};

(x2 = b)&(kg1 = 1)&(kg2=0)&(fim=0) -> {x2:=x;kg1:=0;kg2:=1;};

(x3 = b)&(kg1 = 1)&(kg2=0)&(fim=0) -> {x3:=x;kg1:=0;kg2:=1;};

(y1 = b)&(kg1 = 1)&(kg2=0)&(fim=0) -> {y1:=x;kg1:=0;kg2:=1;};

(y2 = b)&(kg1 = 1)&(kg2=0)&(fim=0) -> {y2:=x;kg1:=0;kg2:=1;};

$(y3 = b) \& (jg1 = 1) \& (jg2=0) \& (fim=0) \rightarrow \{y3:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $(z1 = b) \& (jg1 = 1) \& (jg2=0) \& (fim=0) \rightarrow \{z1:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $(z2 = b) \& (jg1 = 1) \& (jg2=0) \& (fim=0) \rightarrow \{z2:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $(z3 = b) \& (jg1 = 1) \& (jg2=0) \& (fim=0) \rightarrow \{z3:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $(x1 = b) \& (jg1 = 0) \& (jg2=1) \& (fim=0) \rightarrow \{x1:=o;jg1:=1;jg2:=0\};$
 $(x2 = b) \& (jg1 = 0) \& (jg2=1) \& (fim=0) \rightarrow \{x2:=o;jg1:=1;jg2:=0\};$
 $(x3 = b) \& (jg1 = 0) \& (jg2=1) \& (fim=0) \rightarrow \{x3:=o;jg1:=1;jg2:=0\};$
 $(y1 = b) \& (jg1 = 0) \& (jg2=1) \& (fim=0) \rightarrow \{y1:=o;jg1:=1;jg2:=0\};$
 $(y2 = b) \& (jg1 = 0) \& (jg2=1) \& (fim=0) \rightarrow \{y2:=o;jg1:=1;jg2:=0\};$
 $(y3 = b) \& (jg1 = 0) \& (jg2=1) \& (fim=0) \rightarrow \{y3:=o;jg1:=1;jg2:=0\};$
 $(z1 = b) \& (jg1 = 0) \& (jg2=1) \& (fim=0) \rightarrow \{z1:=o;jg1:=1;jg2:=0\};$
 $(z2 = b) \& (jg1 = 0) \& (jg2=1) \& (fim=0) \rightarrow \{z2:=o;jg1:=1;jg2:=0\};$
 $(z3 = b) \& (jg1 = 0) \& (jg2=1) \& (fim=0) \rightarrow \{z3:=o;jg1:=1;jg2:=0\};$

ESTRATEGIAS

$(x1=b \& x2=b \& x3=b \& y1=b \& y2=b \& y3=b \& z1=b \& z2=b \& z3=b)$
 $\& (jg1 = 1) \& (jg2=0)$
 $\rightarrow \{x1:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $((jogada_final_x2_jg1=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_x2_jg2=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_jg2=0 \& jogada_pontas=0))$
 $\& (jg1 = 1) \& (jg2=0) \& (x2=b) \& (x1=x) \& (fim=0)$
 $\rightarrow \{x2:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $((jogada_final_x3_jg1=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_x3_jg2=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_jg2=0 \& jogada_x3_jg1=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_jg2=0 \& jogada_pontas=0))$
 $\& (jg1 = 1) \& (jg2=0) \& (x3=b) \& (x1=x) \& (fim=0)$
 $\rightarrow \{x3:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $((jogada_final_y1_jg1=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_y1_jg2=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_jg2=0 \& jogada_pontas=0))$
 $\& (jg1 = 1) \& (jg2=0) \& (y1=b) \& (x1=x) \& (fim=0)$
 $\rightarrow \{y1:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $((jogada_final_y2_jg1=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_y2_jg2=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_jg2=0 \& jogada_pontas=0))$
 $\& (jg1 = 1) \& (jg2=0) \& (y2=b) \& (x1=x) \& (fim=0)$
 $\rightarrow \{y2:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $((jogada_final_y3_jg1=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_y3_jg2=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_jg2=0 \& jogada_pontas=0))$
 $\& (jg1 = 1) \& (jg2=0) \& (y3=b) \& (x1=x) \& (fim=0)$
 $\rightarrow \{y3:=x;jg1:=0;jg2:=1\};$
 $((jogada_final_z1_jg1=1)$
 $| (jogada_final_jg1=0 \& jogada_final_z1_jg2=1)$

```

|(jogada_final_jg1=0&jogada_final_jg2=0&jogada_z1_jg1=1)
|(jogada_final_jg1=0&jogada_final_jg2=0&jogada_pontas=0))
&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(z1=b)&(x1=x)&(fim=0)
  -> {z1:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
((jogada_final_z2_jg1=1)
|(jogada_final_jg1=0&jogada_final_z2_jg2=1)
|(jogada_final_jg1=0&jogada_final_jg2=0&jogada_pontas=0))
&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(z2=b)&(x1=x)&(fim=0)
  -> {z2:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
((jogada_final_z3_jg1=1)
|(jogada_final_jg1=0&jogada_final_z3_jg2=1)
|(jogada_final_jg1=0&jogada_final_jg2=0&jogada_z3_jg1=1)
|(jogada_final_jg1=0&jogada_final_jg2=0&jogada_pontas=0))
&(jg1 = 1)&(jg2=0)&(z3=b)&(x1=x)&(fim=0)
  -> {z3:=x;jg1:=0;jg2:=1;};
(x1 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {x1:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(x2 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {x2:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(x3 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {x3:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(y1 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {y1:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(y2 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {y2:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(y3 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {y3:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(z1 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {z1:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(z2 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {z2:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
(z3 = b)&(jg1 = 0)&(jg2=1)&(fim=0) -> {z3:=o;jg1:=1;jg2:=0;};
DEFINICOES
fim :=
    fim_jg1 | fim_jg2 | fim_sem_ganhador ;
fim_jg1:=
    ( ((x1=x)&(x2=x)&(x3=x)) | ((y1=x)&(y2=x)&(y3=x))
    | ((z1=x)&(z2=x)&(z3=x)) | ((x1=x)&(y1=x)&(z1=x))
    | ((x2=x)&(y2=x)&(z2=x)) | ((x3=x)&(y3=x)&(z3=x))
    | ((x1=x)&(y2=x)&(z3=x)) | ((x3=x)&(y2=x)&(z1=x)));
fim_jg2 :=
    ( ((x1=o)&(x2=o)&(x3=o)) | ((y1=o)&(y2=o)&(y3=o))
    | ((z1=o)&(z2=o)&(z3=o)) | ((x1=o)&(y1=o)&(z1=o))
    | ((x2=o)&(y2=o)&(z2=o)) | ((x3=o)&(y3=o)&(z3=o))
    | ((x1=o)&(y2=o)&(z3=o)) | ((x3=o)&(y2=o)&(z1=o)));
fim_sem_ganhador :=
    ((!(x1=b))&(!(x2=b))&(!(x3=b))&(!(y1=b))&(!(y2=b))&(!(y3=b))
    &(!(z1=b))&(!(z2=b))&(!(z3=b))&(fim_jg1=0)&(fim_jg2=0));
jogada_final_x1_jg1 :=
    ((x1=b&x2=x&x3=x)|(x1=b&y1=x&z1=x)|(x1=b&y2=x&z3=x));
jogada_final_x2_jg1 :=
    ((x2=b&x1=x&x3=x)|(x2=b&y2=x&z2=x));
jogada_final_x3_jg1 :=
    ((x3=b&x2=x&x1=x)|(x3=b&y3=x&z3=x)|(x3=b&y2=x&z1=x));

```

```

jogada_final_y1_jg1 :=
  ((y1=b&x1=x&z1=x)|(y1=b&y2=x&y3=x));
jogada_final_y2_jg1 :=
  ((y2=b&x1=x&z3=x)|(y2=b&z1=x&x3=x)
  |(y2=b&x2=x&z2=x)|(y2=b&y1=x&y3=x));
jogada_final_y3_jg1 :=
  ((y3=b&x3=x&z3=x)|(y3=b&y2=x&y1=x));
jogada_final_z1_jg1 :=
  ((z1=b&z2=x&z3=x)|(z1=b&y1=x&x1=x)|(z1=b&y2=x&x3=x));
jogada_final_z2_jg1 :=
  ((z2=b&x2=x&y2=x)|(z2=b&z1=x&z3=x));
jogada_final_z3_jg1 :=
  ((z3=b&z1=x&z2=x)|(z3=b&y3=x&x3=x)|(z3=b&y2=x&x1=x));
jogada_final_x1_jg2 :=
  ((x1=b&x2=o&x3=o)|(x1=b&y1=o&z1=o)|(x1=b&y2=o&z3=o));
jogada_final_x2_jg2 :=
  ((x2=b&x1=o&x3=o)|(x2=b&y2=o&z2=o));
jogada_final_x3_jg2 :=
  ((x3=b&x2=o&x1=o)|(x3=b&y3=o&z3=o)|(x3=b&y2=o&z1=o));
jogada_final_y1_jg2 :=
  ((y1=b&x1=o&z1=o)|(y1=b&y2=o&y3=o));
jogada_final_y2_jg2 :=
  ((y2=b&x1=o&z3=o)|(y2=b&z1=o&x3=o)
  |(y2=b&x2=o&z2=o)|(y2=b&y1=o&y3=o));
jogada_final_y3_jg2 :=
  ((y3=b&x3=o&z3=o)|(y3=b&y2=o&y1=o));
jogada_final_z1_jg2 :=
  ((z1=b&z2=o&z3=o)|(z1=b&y1=o&x1=o)|(z1=b&y2=o&x3=o));
jogada_final_z2_jg2 :=
  ((z2=b&x2=o&y2=o)|(z2=b&z1=o&z3=o));
jogada_final_z3_jg2 :=
  ((z3=b&z1=o&z2=o)|(z3=b&y3=o&x3=o)|(z3=b&y2=o&x1=o));
jogada_final_jg1 :=
  ((jogada_final_x1_jg1)|(jogada_final_x2_jg1)
  |(jogada_final_x3_jg1)|(jogada_final_y1_jg1)
  |(jogada_final_y2_jg1)|(jogada_final_y3_jg1)
  |(jogada_final_z1_jg1)|(jogada_final_z2_jg1)
  |(jogada_final_z3_jg1));
jogada_final_jg2 :=
  ((jogada_final_x1_jg2)|(jogada_final_x2_jg2)
  |(jogada_final_x3_jg2)|(jogada_final_y1_jg2)
  |(jogada_final_y2_jg2)|(jogada_final_y3_jg2)
  |(jogada_final_z1_jg2)|(jogada_final_z2_jg2)
  |(jogada_final_z3_jg2));
jogada_pontas := (jogada_z3_jg1 | jogada_z1_jg1 |jogada_x3_jg1);
jogada_x3_jg1 := (x3=b & ((!y3=o & !z3=o &!x2=o)|(z3=o&!y2=o&!z1=o));

```

```
jogada_z1_jg1 := (z1=b & ((!y1=o & !z2=o & !z3=o) |(z3=o&!y2=o&!x3=o)));
jogada_z3_jg1 := (z3=b & ((!y3=o & !x3=o & !z1=o & !z2=o)|(!y2=o)));
```

A.4 Código gerado a partir de jogo da velha sem estratégia

Código gerado a partir da aplicação da ferramenta StratAn-RollGame à especificação do jogo da Velha sem estratégias:

```
MODULE ESTADO
VAR
  x1 : {b, x, o};
  x2 : {b, x, o};
  x3 : {b, x, o};
  y1 : {b, x, o};
  y2 : {b, x, o};
  y3 : {b, x, o};
  z1 : {b, x, o};
  z2 : {b, x, o};
  z3 : {b, x, o};
  jg1 : boolean;
  jg2 : boolean;
ASSIGN
  init(x1) := b;
  init(x2) := b;
  init(x3) := b;
  init(y1) := b;
  init(y2) := b;
  init(y3) := b;
  init(z1) := b;
  init(z2) := b;
  init(z3) := b;
  init(jg1) := 1;
  init(jg2) := 0;
DEFINE
  fim := fim_jg1 | fim_jg2 | fim_sem_ganhador;
  fim_jg1 :=
    ( ((x1 = x) & (x2 = x) & (x3 = x)) | ((y1 = x) & (y2 = x) & (y3 = x))
    | ((z1 = x) & (z2 = x) & (z3 = x)) | ((x1 = x) & (y1 = x) & (z1 = x))
    | ((x2 = x) & (y2 = x) & (z2 = x)) | ((x3 = x) & (y3 = x) & (z3 = x))
    | ((x1 = x) & (y2 = x) & (z3 = x)) | ((x3 = x) & (y2 = x) & (z1 = x)));
  fim_jg2 :=
    (((x1 = o) & (x2 = o) & (x3 = o)) | ((y1 = o) & (y2 = o) & (y3 = o))
    | ((z1 = o) & (z2 = o) & (z3 = o)) | ((x1 = o) & (y1 = o) & (z1 = o))
    | ((x2 = o) & (y2 = o) & (z2 = o)) | ((x3 = o) & (y3 = o) & (z3 = o))
    | ((x1 = o) & (y2 = o) & (z3 = o)) | ((x3 = o) & (y2 = o) & (z1 = o)));
```



```

fim_sem_ganhador :=
  ((! (x1 = b)) & (! (x2 = b)) & (! (x3 = b)) & (! (y1 = b))
  &(! (y2 = b)) & (! (y3 = b)) & (! (z1 = b)) & (! (z2 = b))
  & (! (z3 = b)) & (fim_jg1 = 0) & (fim_jg2 = 0));
jogada_final_x1_jg1 :=
  ((x1 = b & x2 = x & x3 = x) | (x1 = b & y1 = x & z1 = x)
  | (x1 = b & y2 = x & z3 = x));
jogada_final_x2_jg1 :=
  ((x2 = b & x1 = x & x3 = x) | (x2 = b & y2 = x & z2 = x));
jogada_final_x3_jg1 :=
  ((x3 = b & x2 = x & x1 = x) | (x3 = b & y3 = x & z3 = x)
  | (x3 = b & y2 = x & z1 = x));
jogada_final_y1_jg1 :=
  ((y1 = b & x1 = x & z1 = x) | (y1 = b & y2 = x & y3 = x) );
jogada_final_y2_jg1 :=
  ((y2 = b & x1 = x & z3 = x) | (y2 = b & z1 = x & x3 = x)
  (y2 = b & x2 = x & z2 = x) | (y2 = b & y1 = x & y3 = x));
jogada_final_y3_jg1 :=
  ((y3 = b & x3 = x & z3 = x) | (y3 = b & y2 = x & y1 = x) );
jogada_final_z1_jg1 :=
  ((z1 = b & z2 = x & z3 = x) | (z1 = b & y1 = x & x1 = x)
  | (z1 = b & y2 = x & x3 = x));
jogada_final_z2_jg1 :=
  ((z2 = b & x2 = x & y2 = x) | (z2 = b & z1 = x & z3 = x) );
jogada_final_z3_jg1 :=
  ((z3 = b & z1 = x & z2 = x) | (z3 = b & y3 = x & x3 = x)
  | (z3 = b & y2 = x & x1 = x));
jogada_final_x1_jg2 :=
  ((x1 = b & x2 = o & x3 = o) | (x1 = b & y1 = o & z1 = o)
  | (x1 = b & y2 = o & z3 = o));
jogada_final_x2_jg2 :=
  ((x2 = b & x1 = o & x3 = o) | (x2 = b & y2 = o & z2 = o) );
jogada_final_x3_jg2 :=
  ((x3 = b & x2 = o & x1 = o) | (x3 = b & y3 = o & z3 = o)
  | (x3 = b & y2 = o & z1 = o));
jogada_final_y1_jg2 :=
  ((y1 = b & x1 = o & z1 = o) | (y1 = b & y2 = o & y3 = o) );
jogada_final_y2_jg2 :=
  ((y2 = b & x1 = o & z3 = o) | (y2 = b & z1 = o & x3 = o)
  | (y2 = b & x2 = o & z2 = o) | (y2 = b & y1 = o & y3 = o));
jogada_final_y3_jg2 :=
  ((y3 = b & x3 = o & z3 = o) | (y3 = b & y2 = o & y1 = o) );
jogada_final_z1_jg2 :=
  ((z1 = b & z2 = o & z3 = o) | (z1 = b & y1 = o & x1 = o)
  | (z1 = b & y2 = o & x3 = o));
jogada_final_z2_jg2 :=

```

```

    ((z2 = b & x2 = o & y2 = o) | (z2 = b & z1 = o & z3 = o) );
jogada_final_z3_jg2 :=
    ((z3 = b & z1 = o & z2 = o) | (z3 = b & y3 = o & x3 = o)
    | (z3 = b & y2 = o & x1 = o));
jogada_final_jg1 :=
    ((jogada_final_x1_jg1)
    | (jogada_final_x2_jg1) | (jogada_final_x3_jg1)
    | (jogada_final_y1_jg1) | (jogada_final_y2_jg1)
    | (jogada_final_y3_jg1) | (jogada_final_z1_jg1)
    | (jogada_final_z2_jg1) | (jogada_final_z3_jg1));
jogada_final_jg2 :=
    ( (jogada_final_x1_jg2)
    | (jogada_final_x2_jg2) | (jogada_final_x3_jg2)
    | (jogada_final_y1_jg2) | (jogada_final_y2_jg2)
    | (jogada_final_y3_jg2) | (jogada_final_z1_jg2)
    | (jogada_final_z2_jg2) | (jogada_final_z3_jg2));
jogada_pontas :=
    (jogada_z3_jg1 | jogada_z1_jg1 | jogada_x3_jg1);
jogada_x3_jg1 :=
    (x3 = b & (!y3 = o & !z3 = o & !x2 = o) | (z3 = o & !y2 = o & !z1 = o));
jogada_z1_jg1 :=
    (z1 = b & (!y1 = o & !z2 = o & !z3 = o) | (z3 = o & !y2 = o & !x3 = o));
jogada_z3_jg1 :=
    (z3 = b & (!y3 = o & !x3 = o & !z1 = o & !z2 = o) | (!y2 = o));
MODULE acao0(e)
ASSIGN
next(e.x1) :=
case
( e.x1 = b & e.x2 = b & e.x3 = b & e.y1 = b & e.y2 = b
& e.y3 = b & e.z1 = b & e.z2 = b & e.z3 = b)
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) : x;
1 : e.x1;
esac;
next(e.jg1) :=
case
( e.x1 = b & e.x2 = b & e.x3 = b & e.y1 = b & e.y2 = b
& e.y3 = b & e.z1 = b & e.z2 = b & e.z3 = b)
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) : 0;
1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
( e.x1 = b & e.x2 = b & e.x3 = b & e.y1 = b & e.y2 = b
& e.y3 = b & e.z1 = b & e.z2 = b & e.z3 = b)
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) : 1;
1 : e.jg2;

```

```

esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao1(e)
ASSIGN
next(e.x2) :=
case
((e.jogada_final_x2_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_x2_jg2=1)
|(e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_jg2=0 & e.jogada_pontas=0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.x2 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
1 : e.x2;
esac;
next(e.jg1) :=
case
((e.jogada_final_x2_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_x2_jg2 = 1)
|(e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_jg2=0 & e.jogada_pontas=0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.x2 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 0;
1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
((e.jogada_final_x2_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_x2_jg2 = 1)
|(e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas=0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.x2 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 1;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao2(e)
ASSIGN
next(e.x3) :=
case
((e.jogada_final_x3_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_x3_jg2 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_x3_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.x3 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
1 : e.x3;
esac;
next(e.jg1) :=
case
((e.jogada_final_x3_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_x3_jg2 = 1)

```

```

|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_x3_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.x3 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 0;
1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
((e.jogada_final_x3_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_x3_jg2 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_x3_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.x3 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 1;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao3(e)
ASSIGN
next(e.y1) :=
case
((e.jogada_final_y1_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_y1_jg2 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.y1 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
1 : e.y1;
esac;
next(e.jg1) :=
case
((e.jogada_final_y1_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_y1_jg2 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.y1 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 0;
1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
((e.jogada_final_y1_jg1 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_y1_jg2 = 1)
|(e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.y1 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 1;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao4(e)
ASSIGN

```

```

next(e.y2) :=
case
  ((e.jogada_final_y2_jg1=1) | (e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_y2_jg2=1)
  | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2=0 & e.jogada_pontas=0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.y2 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
  1 : e.y2;
esac;
next(e.jg1) :=
case
  ((e.jogada_final_y2_jg1=1) | (e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_y2_jg2=1)
  | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2=0 & e.jogada_pontas=0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.y2 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
  1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
  ((e.jogada_final_y2_jg1=1) | (e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_y2_jg2=1)
  | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2=0 & e.jogada_pontas=0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.y2 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
  1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao5(e)
ASSIGN
next(e.y3) :=
case
  ((e.jogada_final_y3_jg1=1) | (e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_y3_jg2=1)
  | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.y3 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
  1 : e.y3;
esac;
next(e.jg1) :=
case
  ((e.jogada_final_y3_jg1=1) | (e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_y3_jg2=1)
  | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.y3 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
  1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
  ((e.jogada_final_y3_jg1=1) | (e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_y3_jg2=1)
  | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.y3 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
  1 : e.jg2;
esac;

```

FAIRNESS

running

MODULE acao6(e)

ASSIGN

next(e.z1) :=

case

((e.jogada_final_z1_jg1=1) | (e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_z1_jg2=1)
| (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_z1_jg1 = 1)
| (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.z1 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
1 : e.z1;

esac;

next(e.jg1) :=

case

((e.jogada_final_z1_jg1=1) | (e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_z1_jg2=1)
| (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_z1_jg1 = 1)
| (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.z1 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
1 : e.jg1;

esac;

next(e.jg2) :=

case

((e.jogada_final_z1_jg1=1) | (e.jogada_final_jg1=0 & e.jogada_final_z1_jg2=1)
| (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_z1_jg1 = 1)
| (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2 = 0 & e.jogada_pontas = 0))
& (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.z1 = b) & (e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
1 : e.jg2;

esac;

FAIRNESS

running

MODULE acao7(e)

ASSIGN

next(e.z2) :=

case

((e.jogada_final_z2_jg1 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 &
e.jogada_final_z2_jg2 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2
= 0 & e.jogada_pontas = 0)) & (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.z2 = b) & (
e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
1 : e.z2;

esac;

next(e.jg1) :=

case

((e.jogada_final_z2_jg1 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 &
e.jogada_final_z2_jg2 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2
= 0 & e.jogada_pontas = 0)) & (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.z2 = b) & (
e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 0;

```

1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
((e.jogada_final_z2_jg1 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 &
e.jogada_final_z2_jg2 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2
= 0 & e.jogada_pontas = 0)) & (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.z2 = b) & (
e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 1;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao8(e)
ASSIGN
next(e.z3) :=
case
((e.jogada_final_z3_jg1 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 &
e.jogada_final_z3_jg2 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2
= 0 & e.jogada_z3_jg1 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2
= 0 & e.jogada_pontas = 0)) & (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.z3 = b) & (
e.x1 = x) & (e.fim = 0) : x;
1 : e.z3;
esac;
next(e.jg1) :=
case
((e.jogada_final_z3_jg1 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 &
e.jogada_final_z3_jg2 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2
= 0 & e.jogada_z3_jg1 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2
= 0 & e.jogada_pontas = 0)) & (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.z3 = b) & (
e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 0;
1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
((e.jogada_final_z3_jg1 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 &
e.jogada_final_z3_jg2 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2
= 0 & e.jogada_z3_jg1 = 1) | (e.jogada_final_jg1 = 0 & e.jogada_final_jg2
= 0 & e.jogada_pontas = 0)) & (e.jg1 = 1) & (e.jg2 = 0) & (e.z3 = b) & (
e.x1 = x) & (e.fim = 0) : 1;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao9(e)
ASSIGN
next(e.x1) :=

```

```

case
  (e.x1 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : o;
  1 : e.x1;
esac;
next(e.jg1) :=
case
  (e.x1 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 1;
  1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
  (e.x1 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
  1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao10(e)
ASSIGN
next(e.x2) :=
case
  (e.x2 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : o;
  1 : e.x2;
esac;
next(e.jg1) :=
case
  (e.x2 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 1;
  1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
  (e.x2 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
  1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao11(e)
ASSIGN
next(e.x3) :=
case
  (e.x3 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : o;
  1 : e.x3;
esac;
next(e.jg1) :=
case
  (e.x3 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 1;
  1 : e.jg1;

```



```

esac;
next(e.jg2) :=
case
(e.x3 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao12(e)
ASSIGN
next(e.y1) :=
case
(e.y1 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : o;
1 : e.y1;
esac;
next(e.jg1) :=
case
(e.y1 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 1;
1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
(e.y1 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao13(e)
ASSIGN
next(e.y2) :=
case
(e.y2 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : o;
1 : e.y2;
esac;
next(e.jg1) :=
case
(e.y2 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 1;
1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
(e.y2 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running

```

```
MODULE acao14(e)
ASSIGN
next(e.y3) :=
case
(e.y3 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : o;
1 : e.y3;
esac;
next(e.jg1) :=
case
(e.y3 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 1;
1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
(e.y3 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao15(e)
ASSIGN
next(e.z1) :=
case
(e.z1 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : o;
1 : e.z1;
esac;
next(e.jg1) :=
case
(e.z1 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 1;
1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
(e.z1 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao16(e)
ASSIGN
next(e.z2) :=
case
(e.z2 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : o;
1 : e.z2;
esac;
next(e.jg1) :=
```

```

case
  (e.z2 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 1;
  1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
  (e.z2 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
  1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE acao17(e)
ASSIGN
next(e.z3) :=
case
  (e.z3 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
  1 : e.z3;
esac;
next(e.jg1) :=
case
  (e.z3 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 1;
  1 : e.jg1;
esac;
next(e.jg2) :=
case
  (e.z3 = b) & (e.jg1 = 0) & (e.jg2 = 1) & (e.fim = 0) : 0;
  1 : e.jg2;
esac;
FAIRNESS
running
MODULE main
VAR
e : ESTADO;
acao0 : process acao0(e);
acao1 : process acao1(e);
acao2 : process acao2(e);
acao3 : process acao3(e);
acao4 : process acao4(e);
acao5 : process acao5(e);
acao6 : process acao6(e);
acao7 : process acao7(e);
acao8 : process acao8(e);
acao9 : process acao9(e);
acao10 : process acao10(e);
acao11 : process acao11(e);
acao12 : process acao12(e);

```

acao13 : process acao13(e);
 acao14 : process acao14(e);
 acao15 : process acao15(e);
 acao16 : process acao16(e);
 acao17 : process acao17(e);

A.5 Análise de Estratégia do jogo da velha com estratégia

Como dito anteriormente, pode-se analisar estratégias utilizando consultas em CTL. Esta seção apresentará as seguintes análises no jogo:

1. Garantir que a estratégia definida para o jogador 1 sempre vence ou pelo menos empata;
2. Verificar que o jogador 2 nunca vence;
3. Mostrar um caminho de como o jogador 1 vence;
4. Mostrar um caminho onde não há vencedor.

Análise 1:

– specification $AF (e.fim_jg1 \mid e.fim_sem_ganhador)$ is true

resources used:

processor time: 227.087 s,

BDD nodes allocated: 86104

Bytes allocated: 2547016

BDD nodes representing transition relation: 7367 + 1

Análise 2:

– specification $!EF e.fim_jg2$ is true

resources used:

processor time: 3.275 s,

BDD nodes allocated: 57672

Bytes allocated: 2088264

BDD nodes representing transition relation: 7367 + 1

Análise 3:

– specification $!EF e.fim_jg1$ is false

– as demonstrated by the following execution sequence

state 1.1:

$e.jogada_z3_jg1 = 1$

$e.jogada_z1_jg1 = 1$

$e.jogada_x3_jg1 = 1$

$e.jogada_pontas = 1$

$e.jogada_final_jg2 = 0$

$e.jogada_final_jg1 = 0$

e.jogada_final_z3_jg2 = 0
e.jogada_final_z2_jg2 = 0
e.jogada_final_z1_jg2 = 0
e.jogada_final_y3_jg2 = 0
e.jogada_final_y2_jg2 = 0
e.jogada_final_y1_jg2 = 0
e.jogada_final_x3_jg2 = 0
e.jogada_final_x2_jg2 = 0
e.jogada_final_x1_jg2 = 0
e.jogada_final_z3_jg1 = 0
e.jogada_final_z2_jg1 = 0
e.jogada_final_z1_jg1 = 0
e.jogada_final_y3_jg1 = 0
e.jogada_final_y2_jg1 = 0
e.jogada_final_y1_jg1 = 0
e.jogada_final_x3_jg1 = 0
e.jogada_final_x2_jg1 = 0
e.jogada_final_x1_jg1 = 0
e.fim_sem_ganhador = 0
e.fim_jg2 = 0
e.fim_jg1 = 0
e.fim = 0
e.x1 = b
e.x2 = b
e.x3 = b
e.y1 = b
e.y2 = b
e.y3 = b
e.z1 = b
e.z2 = b
e.z3 = b
e.jg1 = 1
e.jg2 = 0
state 1.2:
[executing process estrategia0]
state 1.3:
[executing process estrategia11]
e.x1 = x
e.jg1 = 0
e.jg2 = 1
state 1.4:
[executing process estrategia8]
e.jogada_x3_jg1 = 0
e.x3 = o
e.jg1 = 1
e.jg2 = 0

```

state 1.5:
[executing process estrategia10]
e.jogada_z3_jg1 = 0
e.jogada_final_jg1 = 1
e.jogada_final_y2_jg1 = 1
e.z3 = x
e.jg1 = 0
e.jg2 = 1
state 1.6:
[executing process estrategia4]
e.x2 = o
e.jg1 = 1
e.jg2 = 0
state 1.7:
e.jogada_final_jg1 = 0
e.jogada_final_y2_jg1 = 0
e.fim_jg1 = 1
e.fim = 1
e.y2 = x
e.jg1 = 0
e.jg2 = 1
resources used:
processor time: 3.685 s,
BDD nodes allocated: 53487
Bytes allocated: 2022728
BDD nodes representing transition relation: 7367 + 1
Análise 4:
– specification !EF e.fim_sem_ganhador is false
– as demonstrated by the following execution sequence
state 1.1:
e.jogada_z3_jg1 = 1
e.jogada_z1_jg1 = 1
e.jogada_x3_jg1 = 1
e.jogada_pontas = 1
e.jogada_final_jg2 = 0
e.jogada_final_jg1 = 0
e.jogada_final_z3_jg2 = 0
e.jogada_final_z2_jg2 = 0
e.jogada_final_z1_jg2 = 0
e.jogada_final_y3_jg2 = 0
e.jogada_final_y2_jg2 = 0
e.jogada_final_y1_jg2 = 0
e.jogada_final_x3_jg2 = 0
e.jogada_final_x2_jg2 = 0
e.jogada_final_x1_jg2 = 0
e.jogada_final_z3_jg1 = 0

```

e.jogada_final_z2_jg1 = 0
e.jogada_final_z1_jg1 = 0
e.jogada_final_y3_jg1 = 0
e.jogada_final_y2_jg1 = 0
e.jogada_final_y1_jg1 = 0
e.jogada_final_x3_jg1 = 0
e.jogada_final_x2_jg1 = 0
e.jogada_final_x1_jg1 = 0
e.fim_sem_ganhador = 0
e.fim_jg2 = 0
e.fim_jg1 = 0
e.fim = 0
e.x1 = b
e.x2 = b
e.x3 = b
e.y1 = b
e.y2 = b
e.y3 = b
e.z1 = b
e.z2 = b
e.z3 = b
e.jg1 = 1
e.jg2 = 0
state 1.2:
[executing process estrategia0]
state 1.3:
[executing process estrategia13]
e.x1 = x
e.jg1 = 0
e.jg2 = 1
state 1.4:
[executing process estrategia6]
e.y2 = o
e.jg1 = 1
e.jg2 = 0
state 1.5:
[executing process estrategia12]
e.jogada_z1_jg1 = 0
e.jogada_final_jg1 = 1
e.jogada_final_y1_jg1 = 1
e.z1 = x
e.jg1 = 0
e.jg2 = 1
state 1.6:
[executing process estrategia5]
e.jogada_final_jg2 = 1

```
e.jogada_final_jg1 = 0
e.jogada_final_y3_jg2 = 1
e.jogada_final_y1_jg1 = 0
e.y1 = o
e.jg1 = 1
e.jg2 = 0
state 1.7:
[executing process estrategia17]
e.jogada_final_jg2 = 0
e.jogada_final_y3_jg2 = 0
e.y3 = x
e.jg1 = 0
e.jg2 = 1
state 1.8:
[executing process estrategia7]
e.jogada_z3_jg1 = 0
e.jogada_x3_jg1 = 0
e.jogada_pontas = 0
e.z3 = o
e.jg1 = 1
e.jg2 = 0
state 1.9:
[executing process estrategia10]
e.z2 = x
e.jg1 = 0
e.jg2 = 1
state 1.10:
[executing process estrategia2]
e.x2 = o
e.jg1 = 1
e.jg2 = 0
state 1.11:
e.fim_sem_ganhador = 1
e.fim = 1
e.x3 = x
e.jg1 = 0
e.jg2 = 1
resources used:
processor time: 4.526 s,
BDD nodes allocated: 55543
Bytes allocated: 2022728
BDD nodes representing transition relation: 7367 + 1
```


Apêndice B

Estudo de Caso 2

O mundo se encontra na iminência de uma guerra com o Iraque. O conselho da ONU está para decidir se entrará em guerra ou não com o Iraque. Porém, os EUA decidiram que independente da resolução da ONU entrarão em conflito com o Iraque. Caso isto ocorra, os EUA poderão sofrer sanções de alguns países e deixarão de exportar alguns produtos. Desta forma, alguns países poderão se beneficiar se tornando exportadores destes produtos. Como os EUA estarão em guerra, eles precisarão importar alguns produtos a mais do que importam dependendo da duração da guerra. Assim, os outros países também concorrerão para exportar estes produtos para os EUA.

Será utilizada a abordagem deste trabalho para analisar este contexto. Para tanto, serão realizadas algumas suposições, que são apresentadas a seguir:

1. A guerra terá duração máxima de 18 meses.
2. Os produtos que os EUA importarão são: produto1, produto 2, produto 3, produto 4 e produto 5.
3. Os produtos que os EUA deixarão de exportar são: produto 6, produto 7, produto 8, produto 9, produto 10.
4. Somente três países, Brasil, China e Rússia, concorrerão às exportações dos produtos para os EUA. Caso os EUA entrem em guerra sem o consentimento da ONU, estes mesmos três países concorrerão para substituírem as exportações que os EUA perderão no mercado internacional devido as sanções. Contudo, para exportar estes produtos os países precisam de algum tempo para modernizar suas fábricas.
5. As alocações de produtos para as exportações são feitas a cada três meses e as possíveis alocações de cada país só valem para aquele mês determinado. Depois que um país conseguir alocar determinado produto nenhum outro poderá concorrer com ele.
6. Supondo que o Brasil tenha a seguinte estratégia (figura 8.3.1):
 - (a) O Brasil só conseguirá exportar ou o produto 1 ou o produto 3 nos primeiros 3 meses.

- (b) No mês 6 se o produto 1 for exportado então ele poderá exportar o produto 2 e o produto 4.
- (c) No mês 6 se o produto 3 for exportado então ele poderá exportar o produto 2 e o produto 5.
- (d) No mês 9 se ele exportar o produto 5 poderá exportar o produto 4.
- (e) No mês 12 se ele exportar o produto 4 exportar o produto 4.
- (f) No mês 12 se ele exportar os produtos 4 e 5 exportará os produto 6 e 7.
- (g) No mês 15 se ele exportar os produtos 4 e 5 exportará os produto 6 e 7.
- (h) No mês 18 se ele exportar o produto 7 exportará o produto 10.
- (i) Sabe-se que o produto 8 e 9 o Brasil não terá condições de exportar.

Mês	Produtos que poderão ser exportados
3	Ou 1 ou 3
6	Se 1, então 2,4. Se 3, então 2,5
9	Se 5, então 4.
12	Se 4 e 5, então 6,7. Se 4 e não 5, então 5
15	Se 4 e 5, então 6,7.
18	Se 7, então 10.
	Não produz o 8,9.

Figura 8.3.1 - Estratégias do Brasil

7. Sabe-se que a China tem algumas possibilidades para realizar as suas exportações, são elas (figura 8.3.2):
- (a) A China só conseguirá exportar o produto 1 nos primeiros três meses.
 - (b) No mês 6 ela consegue produzir ou o produto 5 ou o produto 6.
 - (c) No mês 9 se ele exportar o produto 5, então ele poderá exportar o produto 7 e o produto 8.
 - (d) No mês 12 se ele exportar o produto 6, então ele poderá exportar o produto 3 e o produto 4.
 - (e) No mês 9 se ele exportar o produto 5, então ele poderá exportar o produto 7 e o produto 8.
 - (f) No mês 15 ele poderá produzir o produto 9.
 - (g) No mês 18 ele poderá produzir o produto 8.
 - (h) Sabe-se que o produto 10 a China não terá condições de exportar.

Mês	Produtos que poderão ser exportados
3	1
6	ou 5 ou 6
9	Se 5, então 7,8.
12	Se 6, então 3,4
15	9
18	8
	Não produz o 10.

Figura 8.3.2 - Estratégias da China

8. Sabe-se que a Rússia tem algumas possibilidades para realizar as suas exportações, são elas (figura 8.3.3):

- (a) Só conseguirá exportar ou o produto 2 ou o 4 nos primeiros três meses.
- (b) No mês 6 se o produto 2 for exportado, então ela poderá exportar o produto 1 e produto 3.
- (c) No mês 9 se o produto 4 for exportado, então ela poderá exportar o produto 3 e produto 5.
- (d) No mês 12 ela poderá produzir o produto 8 e o produto 9.
- (e) No mês 15 ela poderá exportar o produto 10.
- (f) No mês 18 ela poderá exportar o produto 6.
- (g) Sabe-se que o produto 7 a Rússia não terá condições de exportar.

Mês	Produtos que poderão ser exportados
3	Ou 2 ou 4
6	Se 2, então 1 e 3.
9	Se 4, então 3,5.
12	8,9
15	10
18	6
	Não produz o 7.

Figura 8.3.3 - Estratégias da Rússia

B.1 Especificação do Jogo sobre a Guerra do Iraque em RollGame

A seguir será mostrado a descrição do jogo com estratégias na linguagem Roll-Game.

ESTADO

VARIAVEIS_ESTADO

```

import1 : boolean; import2 : boolean; import3 : boolean; import4 : boolean;
import5 : boolean; export6 : boolean; export7 : boolean; export8 : boolean;
export9 : boolean; export10 : boolean;
export1B : boolean; export2B : boolean; export3B : boolean; export4B : boolean;
export5B : boolean; export6B : boolean; export7B : boolean; export8B : boolean;
export9B : boolean; export10B : boolean;
export1R : boolean; export2R : boolean; export3R : boolean; export4R : boolean;
export5R : boolean; export6R : boolean; export7R : boolean; export8R : boolean;
export9R : boolean; export10R : boolean;
export1C : boolean; export2C : boolean; export3C : boolean; export4C : boolean;
export5C : boolean; export6C : boolean; export7C : boolean; export8C : boolean;
export9C : boolean; export10C : boolean;
tempo : {0,3,6,9,12,15,18};

```

JOGADORES

```

onu : boolean;
brasil: boolean;
russia:boolean;
china:boolean;

```

ESTADO_INICIAL

VARIAVEIS_ESTADO_INICIAIS

```

import1 := 1; import2 := 1; import3 := 1; import4 := 1; import5 := 1;
export6 := 0; export7 := 0; export8 := 0; export9 := 0; export10 := 0;
export1B := 0; export2B := 0; export3B := 0; export4B := 0; export5B := 0;
export6B := 0; export7B := 0; export8B := 0; export9B := 0; export10B := 0;
export1R := 0; export2R := 0; export3R := 0; export4R := 0; export5R := 0;
export6R := 0; export7R := 0; export8R := 0; export9R := 0; export10R := 0;
export1C := 0; export2C := 0; export3C := 0; export4C := 0; export5C := 0;
export6C := 0; export7C := 0; export8C := 0; export9C := 0; export10C := 0;
tempo :=0;

```

JOGADORES_INICIAIS

```

onu := 0;
brasil:=0;
russia:=0;
china:=0;

```

ACOEES

ESTRATEGIAS

```

(onu=0)&(tempo=0)    -> {onu:= {0,1}};
(tempo=0)&(onu=0)
    -> {tempo:=3; brasil:=1; russia:=1; china:=1; export6:=1;
        export7:=1;export8:=1; export9:=1; export10:=1;};
(tempo=0)&(onu=1)-> {tempo:=3; brasil:=1; russia:=1; china:=1;};
(todos=0)&(tempo=3)-> {tempo:=6; brasil:=1; russia:=1; china:=1;};
(todos=0)&(tempo=6)-> {tempo:=9; brasil:=1; russia:=1; china:=1;};
(todos=0)&(tempo=9)-> {tempo:=12; brasil:=1; russia:=1; china:=1;};
(todos=0)&(tempo=12)-> {tempo:=15; brasil:=1; russia:=1; china:=1;};

```

```

(todos=0)&(tempo=15)-> {tempo:=18; brasil:=1; russia:=1; china:=1;};
(brasil=1)&(tempo=3)&(export1D=0)
    -> {export1B:=1; brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=3)&(export3D=0)
    -> {export3B:=1; brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=3)&!((export1D=0)&(export3D=0))
    -> {brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=6)&(export1B=1)&(export2D=0) &(export4D=0)
    -> {export2B:=1; export4B:=1; brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=6)&(export3B=1)&(export2D=0) &(export5D=0)
    -> {export2B:=1; export5B:=1; brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=6)&!((export1B=1)&(export2D=0) &(export4D=0)
    &(export3B=1)&(export2D=0)&(export5D=0)))
    -> {brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=9)&(export4D=0)&(export5B=1)
    -> {export4B:=1; brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=9)&!((export4D=0)&(export5B=1)))
    -> { brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=12)&(export4B=1)&(export5B=1)
    &(export6D=0)&(export7D=0)&(onu=0)
    -> {export6B:=1; export7B:=1; brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=12)&(export4B=1)&(export5D=0)
    -> {export5B:=0; brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=12)&!((export4B=1)&(export5D=0) &(export4B=1)
    &(export5B=1)&(export6D=0)&(export7D=0)&(onu=0)))
    -> { brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=15)&(export4B=1)&(export5B=1)
    &(export6D=1)&(export7D=1)&(onu=0)
    -> {export6B:=0; export7B:=0;brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=15)&!((export4B=1)&(export5B=1)
    &(export6D=1)&(export7D=1)&(onu=0)))
    -> { brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=18)&(export7B=1)&(export10D=0) &(onu=0)
    -> { export10B:=1; brasil:=0;};
(brasil=1)&(tempo=18)&!((export7B=1)&(export10D=0) &(onu=0)))
    -> { brasil:=0;};
(china=1)&(tempo=3)&(export1D=0)
    -> {export1C:=1; china:=0;};
(china=1)&(tempo=3)&(export1D=1)
    -> { china:=0;};
(china=1)&(tempo=6)&(export5D=0)
    -> { export5C:=1; china:=0;};
(china=1)&(tempo=6)&(export6D=0)&(onu=0)
    -> { export6C:=1; china:=0;};
(china=1)&(tempo=6)&!((export6D=0)&(onu=0) &(export5D=0)))
    -> { china:=0;};

```

```

(china=1)&(tempo=9)&(export5C=1)&(export7D=0) &(export8D=0)&(onu=0)
-> { export7C:=1; export8C:=1; china:=0;};
(china=1)&(tempo=9)&!((export5C=1)&(export7D=0) &(export8D=0)&(onu=0)))
-> { china:=0;};
(china=1)&(tempo=12)&(export6C=1)&(export3D=0) &(export4D=0)
-> { export3C:=1; export4C:=1; china:=0;};
(china=1)&(tempo=12)&!((export6C=1)&(export3D=0) &(export4D=0)))
-> { china:=0;};
(china=1)&(tempo=15)&(export9D=0)&(onu=0)
-> { export9C:=1; china:=0;};
(china=1)&(tempo=15)&!((export9D=0)&(onu=0)))
-> { china:=0;};
(china=1)&(tempo=18)&(export8D=0)&(onu=0)
-> { export8C:=1; china:=0;};
(china=1)&(tempo=18)&!((export8D=0)&(onu=0)))
-> { china:=0;};
(russia=1)&(tempo=3)&(export2D=0)
-> { export2R:=1; russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=3)&(export4D=0)
-> { export4R:=1; russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=3)&!((export2D=0)&(export4D=0)))
-> { russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=6)&(export2R=1)&(export1D=0)&(export3D=0)
-> { export1R:=1; export3R:=1; russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=6)&!((export2R=1)&(export1D=0)&(export3D=0)))
-> { russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=9)&(export4R=1)&(export3D=0)&(export5D=0)
-> { export3R:=1; export5R:=1; russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=9)&!((export4R=1)&(export3D=0)&(export5D=0)))
-> { russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=12)&(export8D=0)&(export9D=0)
-> { export8R:=1; export9R:=1; russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=12)&!((export8D=0)&(export9D=0)))
-> { russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=15)&(export10D=0)
-> { export10R:=1; russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=15)&!((export10D=0)))
-> { russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=18)&(export6D=0)
-> { export6R:=1; russia:=0;};
(russia=1)&(tempo=18)&!((export6D=0)))
-> { russia:=0;};
(export8B=0) -> {export8B:=0;};
(export9B=0) -> {export9B:=0;};
(export7R=0) -> {export7R:=0;};
(export10C=0) -> {export10C:=0;};

```

```

(export2C=0) -> {export2C:=0;};
(import1=0) -> {import1:=0;};
(import2=0) -> {import2:=0;};
(import3=0) -> {import3:=0;};
(import4=0) -> {import4:=0;};
(import5=0) -> {import5:=0;};
DEFINICOES
export1D := (export1B | export1C | export1R);
export2D := (export2B | export2C | export2R);
export3D := (export3B | export3C | export3R);
export4D := (export4B | export4C | export4R);
export5D := (export5B | export5C | export5R);
export6D := (export6B | export6C | export6R | !export6);
export7D := (export7B | export7C | export7R | !export7);
export8D := (export8B | export8C | export8R | !export8);
export9D := (export9B | export9C | export9R | !export9);
export10D := (export10B | export10C | export10R | !export10);
todos:=brasil | china | russia;
ESPECIFICACOES

```

B.2 Análises de Estratégias no Jogo sobre a Guerra

Exemplo 17 *Análises sobre os possíveis produtos exportados por cada país. Como pode-se ver abaixo, o Brasil conseguirá exportar os produtos: 1,2,3 e 5; a China conseguirá exportar os produtos: 1,3,4,5,6,7,8,9; a Rússia conseguirá exportar os produtos: 2,3,4,5,6,8,9,10;*

- specification EF export1B = 1 (in module e) is true
- specification EF export2B = 1 (in module e) is true
- specification EF export3B = 1 (in module e) is true
- specification EF export4B = 1 (in module e) is false
- as demonstrated by the following execution sequence state 1.1:

```

e.todos = 0
e.export10D = 0
e.export9D = 0
e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0

```

e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0

- specification EF export5B = 1 (in module e) is true
- specification EF export6B = 1 (in module e) is false
- as demonstrated by the following execution sequence

state 2.1:

```
e.todos = 0
e.export10D = 0
e.export9D = 0
e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
```

e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0
– specification EF export7B = 1 (in module e) is false
– as demonstrated by the following execution sequence
state 3.1:
e.todos = 0
e.export10D = 0
e.export9D = 0
e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0

e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0

– specification EF export8B = 1 (in module e) is false
– as demonstrated by the following execution sequence
state 4.1:

e.todos = 0
e.export10D = 0
e.export9D = 0
e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1

e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0
– specification EF export9B = 1 (in module e) is false
– as demonstrated by the following execution sequence
state 5.1:
e.todos = 0
e.export10D = 0
e.export9D = 0

e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0

e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0
– specification EF export10B = 1 (in module e) is false
– as demonstrated by the following execution sequence
state 6.1:
e.todos = 0
e.export10D = 0
e.export9D = 0
e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0

e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0
– specification EF export1C = 1 (in module e) is true
– specification EF export2C = 1 (in module e) is false
– as demonstrated by the following execution sequence
state 7.1:
e.todos = 0
e.export10D = 0
e.export9D = 0
e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0

e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0
– specification EF export3C = 1 (in module e) is true
– specification EF export4C = 1 (in module e) is true
– specification EF export5C = 1 (in module e) is true
– specification EF export6C = 1 (in module e) is true
– specification EF export7C = 1 (in module e) is true
– specification EF export8C = 1 (in module e) is true
– specification EF export9C = 1 (in module e) is true
– specification EF export10C = 1 (in module e) is false
– as demonstrated by the following execution sequence
state 8.1:
e.todos = 0
e.export10D = 0

e.export9D = 0
e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0

e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0
– specification EF export1R = 1 (in module e) is false
– as demonstrated by the following execution sequence
state 9.1:
e.todos = 0
e.export10D = 0
e.export9D = 0
e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0

e.export5R = 0
 e.export6R = 0
 e.export7R = 0
 e.export8R = 0
 e.export9R = 0
 e.export10R = 0
 e.export1C = 0
 e.export2C = 0
 e.export3C = 0
 e.export4C = 0
 e.export5C = 0
 e.export6C = 0
 e.export7C = 0
 e.export8C = 0
 e.export9C = 0
 e.export10C = 0
 e.tempo = 0
 e.onu = 0
 e.brasil = 0
 e.russia = 0
 e.china = 0
 – specification EF export2R = 1 (in module e) is true
 – specification EF export3R = 1 (in module e) is true
 – specification EF export4R = 1 (in module e) is true
 – specification EF export5R = 1 (in module e) is true
 – specification EF export6R = 1 (in module e) is true
 – specification EF export7R = 1 (in module e) is false
 – as demonstrated by the following execution sequence
 state 10.1:
 e.todos = 0
 e.export10D = 0
 e.export9D = 0
 e.export8D = 0
 e.export7D = 0
 e.export6D = 0
 e.export5D = 0
 e.export4D = 0
 e.export3D = 0
 e.export2D = 0
 e.export1D = 0
 e.import1 = 1
 e.import2 = 1
 e.import3 = 1
 e.import4 = 1
 e.import5 = 1
 e.export6 = 0

e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0
– specification EF export8R = 1 (in module e) is true
– specification EF export9R = 1 (in module e) is true
– specification EF export10R = 1 (in module e) is true
resources used:
processor time: 11.657 s,
BDD nodes allocated: 58257
Bytes allocated: 2153176

BDD nodes representing transition relation: 8353 + 1

Exemplo 18 *Deseja-se saber se os países ao interagirem, não conseguirão exportar os produtos da seguinte forma: O Brasil exporta os produtos 3,2 e 5; a Rússia exporta os produtos 4,8, 9 e 10; e a China exporta os produtos 1 e 6. Como pode-se ver abaixo está análise é falsa e o caminho abaixo justifica a sua falsidade.*

– specification !EF(export3B&export2B&export5B&export4R&export8R
&export9R&export1C&export6C&tempo=18); (in module e) is false

– as demonstrated by the following execution sequence

state 1.1:

```
e.todos = 0
e.export10D = 1
e.export9D = 1
e.export8D = 1
e.export7D = 1
e.export6D = 1
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0
e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
```

e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0
state 1.2:
[executing process estrategia1]
state 1.3:
[executing process estrategia37]
e.todos = 1
e.export10D = 0
e.export9D = 0
e.export8D = 0
e.export7D = 0
e.export6D = 0
e.export6 = 1
e.export7 = 1
e.export8 = 1
e.export9 = 1
e.export10 = 1
e.tempo = 3
e.brasil = 1
e.russia = 1
e.china = 1
state 1.4:
[executing process estrategia9]
e.export4D = 1
e.export4R = 1
e.russia = 0

state 1.5:
[executing process estrategia23]
e.export3D = 1
e.export3B = 1
e.brasil = 0
state 1.6:
[executing process estrategia3]
e.todos = 0
e.export1D = 1
e.export1C = 1
e.china = 0
state 1.7:
[executing process estrategia12]
e.todos = 1
e.tempo = 6
e.brasil = 1
e.russia = 1
e.china = 1
state 1.8:
[executing process estrategia40]
e.export5D = 1
e.export2D = 1
e.export2B = 1
e.export5B = 1
e.brasil = 0
state 1.9:
[executing process estrategia26]
e.russia = 0
state 1.10:
[executing process estrategia4]
e.todos = 0
e.export6D = 1
e.export6C = 1
e.china = 0
state 1.11:
[executing process estrategia42]
e.todos = 1
e.tempo = 9
e.brasil = 1
e.russia = 1
e.china = 1
state 1.12:
[executing process estrategia29]
e.russia = 0
state 1.13:
[executing process estrategia15]

e.china = 0
state 1.14:
[executing process estrategia5]
e.todos = 0
e.brasil = 0
state 1.15:
[executing process estrategia18]
e.todos = 1
e.tempo = 12
e.brasil = 1
e.russia = 1
e.china = 1
state 1.16:
[executing process estrategia31]
e.brasil = 0
state 1.17:
[executing process estrategia43]
e.china = 0
state 1.18:
[executing process estrategia6]
e.todos = 0
e.export9D = 1
e.export8D = 1
e.export8R = 1
e.export9R = 1
e.russia = 0
state 1.19:
[executing process estrategia20]
e.todos = 1
e.tempo = 15
e.brasil = 1
e.russia = 1
e.china = 1
state 1.20:
[executing process estrategia45]
e.brasil = 0
state 1.21:
[executing process estrategia33]
e.export10D = 1
e.export10R = 1
e.russia = 0
state 1.22:
[executing process estrategia7]
e.todos = 0
e.china = 0
state 1.23:


```

e.todos = 1
e.tempo = 18
e.brasil = 1
e.russia = 1
e.china = 1
resources used:
processor time: 1.328 s,
BDD nodes allocated: 44020
Bytes allocated: 1890952
BDD nodes representing transition relation: 9512 + 1

```

Exemplo 19 *Deseja-se saber se os países ao interagirem, conseguirão exportar os produtos da seguinte forma: O Brasil exporta os produtos 1,2 e 4; a Rússia exporta os produtos 8, 9 e 10; e a China exporta o produto 3. Como pode-se ver abaixo está análise é falsa e o caminho abaixo justifica a sua falsidade.*

– specification $EF(\text{export1B}\&\text{export2B}\&\text{export4B}\&\text{export8R}\&\text{export9R}\&\text{export10R}\&\text{export3C})$ (in module e) is false

– as demonstrated by the following execution sequence

state 1.1:

```

e.todos = 0
e.export10D = 1
e.export9D = 1
e.export8D = 1
e.export7D = 1
e.export6D = 1
e.export5D = 0
e.export4D = 0
e.export3D = 0
e.export2D = 0
e.export1D = 0
e.import1 = 1
e.import2 = 1
e.import3 = 1
e.import4 = 1
e.import5 = 1
e.export6 = 0
e.export7 = 0
e.export8 = 0
e.export9 = 0
e.export10 = 0
e.export1B = 0
e.export2B = 0
e.export3B = 0
e.export4B = 0

```

```

e.export5B = 0
e.export6B = 0
e.export7B = 0
e.export8B = 0
e.export9B = 0
e.export10B = 0
e.export1R = 0
e.export2R = 0
e.export3R = 0
e.export4R = 0
e.export5R = 0
e.export6R = 0
e.export7R = 0
e.export8R = 0
e.export9R = 0
e.export10R = 0
e.export1C = 0
e.export2C = 0
e.export3C = 0
e.export4C = 0
e.export5C = 0
e.export6C = 0
e.export7C = 0
e.export8C = 0
e.export9C = 0
e.export10C = 0
e.tempo = 0
e.onu = 0
e.brasil = 0
e.russia = 0
e.china = 0
resources used:
processor time: 0.968 s,
BDD nodes allocated: 50036
Bytes allocated: 2022024
BDD nodes representing transition relation: 9512 + 1

```

Exemplo 20 *Deseja-se saber se os países ao interagirem, conseguirão exportar os produtos da seguinte forma: O Brasil exporta os produto 1; a Rússia exporta os produtos 3,4,5,9 e 10; e a China exporta o produto 6. Como pode-se ver abaixo está análise é verdadeira.*

```

– specification EF(export1B&export3R&export4R&export5R&export9R
&export10R&export6C) (in module e) is true
resources used:
processor time: 0.812 s,

```

BDD nodes allocated: 41857

Bytes allocated: 1890952

BDD nodes representing transition relation: $9512 + 1$

Apêndice C

Correção da Tradução de *GAL*

Teorema 1 *Sejam um jogo $\mathcal{G} = (J, SE, e_o, \mathcal{CA})$ e um estado $e \in SE$, tem-se que:*

Se $\mu\mathcal{G} \models_e \alpha$ então $\Theta(\alpha, e) = true$

Prova:

A prova será dada por indução no tamanho da fórmula:

1. Se $\mu\mathcal{G} \models_e jog$, então $\Theta(jog, e) = true$

Pela hipótese $\mu\mathcal{G} \models_e jog \iff \varsigma(e, jog) = true$

$\implies ((e = e) \rightarrow \varsigma(e, jog)) = true$

$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE} (e = e' \rightarrow (\varsigma(e', jog))) = true$

$\iff \Theta(jog, e) = true.$

2. Se $\mu\mathcal{G} \models_e P(t_1, \dots, t_n)$, então $\Theta(P(t_1, \dots, t_n), e) = true$

Pela hipótese $\mu\mathcal{G} \models_e P(t_1, \dots, t_n)$

$\iff \langle \bar{\sigma}_{\mathcal{D}}(e, t_1^{\mathcal{D}}), \dots, \bar{\sigma}_{\mathcal{D}}(e, t_n^{\mathcal{D}}) \rangle \in P_{\mu\mathcal{G}}$

$\iff \gamma = true \implies ((e = e) \rightarrow \gamma) = true$

$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE} (e = e' \rightarrow \gamma) = true$

$\iff \Theta(P(t_1, \dots, t_n), e) = true.$

3. Se $\mu\mathcal{G} \models_e (\alpha \approx \beta)$, então $\Theta(\alpha \approx \beta, e) = true$

Pela hipótese $\mu\mathcal{G} \models_e (\alpha^{\mathcal{D}} \approx \beta^{\mathcal{D}}) \iff \bar{\sigma}_{\mathcal{D}}(\alpha^{\mathcal{D}}) = \bar{\sigma}_{\mathcal{D}}(\beta^{\mathcal{D}}) \iff \gamma = true$

$\implies ((e = e) \rightarrow \gamma) = true \implies \bigwedge_{\forall e' \in SE} (e = e' \rightarrow \gamma) = true$

$\iff \Theta(\alpha \approx \beta, e) = true.$

4. Se $\mu\mathcal{G} \models_e (\neg\alpha)$, então $\Theta((\neg\alpha), e) = true$

Pela hipótese $\mu\mathcal{G} \models_e (\neg\alpha) \iff \text{NÃO } \mu\mathcal{G} \models_e \alpha$

$\implies \text{NÃO } (\Theta(\alpha, e) = true) \iff (\neg\Theta(\alpha, e)) = true.$

5. Se $\mu G \models_e (\alpha \wedge \beta)$, então $\Theta((\alpha \wedge \beta), e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e (\alpha \wedge \beta) \iff \mu G \models_e \alpha \implies \Theta(\alpha, e) = true(1)$

e $\mu G \models_e (\alpha \wedge \beta) \iff \mu G \models_e \beta \implies \Theta(\beta, e) = true(2)$.

De (1) e (2), tem-se $(\Theta(\alpha, e) \wedge \Theta(\beta, e)) = true$

$\iff \Theta((\alpha \wedge \beta), e) = true$.

6. Se $\mu G \models_e (\alpha \vee \beta)$, então $\Theta((\alpha \vee \beta), e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e (\alpha \vee \beta) \iff \mu G \models_e \alpha(1)$ OU $\mu G \models_e \beta(2)$.

Se (1), então $\mu G \models_e \alpha \implies \Theta(\alpha, e) = true \iff (\Theta(\alpha, e) \vee \Theta(\beta, e)) = true$

e se (2), então $\mu G \models_e \beta \implies \Theta(\beta, e) = true \iff (\Theta(\alpha, e) \vee \Theta(\beta, e)) = true$.

Logo, $(\Theta(\alpha, e) \vee \Theta(\beta, e)) = true \iff \Theta((\alpha \vee \beta), e) = true$.

7. Se $\mu G \models_e (\alpha \rightarrow \beta)$, então $\Theta((\alpha \rightarrow \beta), e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e (\alpha \rightarrow \beta)$

\iff SE $\mu G \models_e \alpha$ ENTÃO $\mu G \models_e \beta$ (1).

Como $\mu G \models_e \alpha \implies \Theta((\alpha), e) = true$ e como $\mu G \models_e \beta \implies \Theta((\beta), e) = true$ (2).

De (1) e (2) tem-se: $(\Theta(\alpha, e) \rightarrow \Theta(\beta, e)) = true \iff \Theta((\alpha \rightarrow \beta), e) = true$

8. Se $\mu G \models_e [\exists \circ] \alpha$, então $\Theta((\alpha \rightarrow \beta), e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e [\exists \circ] \alpha$

$\iff \exists e' \in SE$ tal que $eAe' \in CA$, $\mu G \models_{e'} \alpha$

$\implies \Theta(\alpha, e') = true \iff \left(\bigvee_{\forall A \in CA, \forall e' \in SE \mid eAe'} \Theta(\alpha, e') \right) = true$

$\iff (e = e \rightarrow \left(\bigvee_{\forall A \in CA, \forall e' \in SE \mid eAe'} \Theta(\alpha, e') \right)) = true$

$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE [\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigvee_{\forall A \in CA, \forall e'' \in SE \mid e'Ae''} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) = true$

$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE [\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigvee_{\forall A \in CA, \forall e'' \in SE \mid e'Ae''} \Theta(\alpha, e'') \right) \right)$

$\bigwedge_{\forall e' \in SE [\neg \exists s \in SE, e'As]} (e = e' \rightarrow false) = true \iff \Theta([\exists \circ] \alpha, e) = true$

9. Se $\mu G \models_e [\forall \square] \alpha$, então $\Theta([\forall \square] \alpha, e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e [\forall \square] \alpha$

$\iff \forall e' \in SE$ tal que $eAe' \in CA$, $\mu G \models_{e'} \alpha$

$\implies \bigwedge_{\forall A \in CA, \forall e' \in SE \mid eAe'} \Theta(\alpha, e') = true$

$\iff (e = e \rightarrow \bigwedge_{\forall A \in CA, \forall e' \in SE \mid eAe'} \Theta(\alpha, e') = true)$

$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE [\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall A \in CA, \forall e'' \in SE \mid e'Ae''} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) = true$

$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE [\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall A \in CA, \forall e'' \in SE \mid e'Ae''} \Theta(\alpha, e'') \right) \right)$

$\bigwedge_{\forall e' \in SE [\neg \exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow false \right) = true$

$\iff \Theta([\forall \square] \alpha, e) = true$

10. Se $\mu G \models_e [\exists \square] \alpha$, então $\Theta([\exists \square] \alpha, e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e [\exists \square] \alpha$

$\iff \exists \pi(e) = (e_0 e_1 e_2 \dots e_i)$, $i \in I$ e $I \subseteq \mathbb{N}$ tal que $\forall k [0 \leq k \leq i, G \models_{e_k} \alpha]$

$\implies \exists C \in e\pi(e)$ tal que $\left(\bigwedge_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) = true$

$\implies \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigwedge_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) \right) = true$

$\implies \left(e = e \rightarrow \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigwedge_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) \right) \right) = true$

$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE [\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigwedge_{\forall e'' \in C} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) \right) = true$

$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE [\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigwedge_{\forall e'' \in C} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) \right)$

$\bigwedge_{\forall e' \in SE [\neg \exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow false \right) = true$

$\iff \Theta([\exists \square] \alpha, e) = true$

11. Se $\mu G \models_e [\forall\Box]\alpha$, então $\Theta([\forall\Box]\alpha, e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e [\forall\Box]\alpha \iff$

$\forall\pi(e) = (e_0e_1e_2\dots e_i)$, $i \in I$ e $I \subseteq \mathbb{N}$ tal que $\forall k[0 \leq k \leq i, G \models_{e_k} \alpha]$

$$\implies \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigwedge_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) \right) = true$$

$$\implies \left(e = e \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigwedge_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) \right) \right) = true$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigwedge_{\forall e'' \in C} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) \right) = true$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigwedge_{\forall e'' \in C} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) \right)$$

$$\bigwedge_{\forall e' \in SE[\neg \exists s \in SE, e'As]} (e = e' \rightarrow false) = true$$

$$\iff \Theta([\forall\Box]\alpha, e) = true$$

12. Se $\mu G \models_e [\exists\Diamond]\alpha$, então $\Theta([\exists\Diamond]\alpha, e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e [\exists\Diamond]\alpha \iff$

$\exists\pi(e) = (e_0e_1e_2\dots e_i)$, $i \in I$ e $I \subseteq \mathbb{N}$ tal que $\exists k[0 \leq k \leq i, G \models_{e_k} \alpha]$;

$$\implies \exists C \in e\pi(e) \text{ tal que } \left(\bigvee_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) = true$$

$$\implies \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigvee_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) \right) = true$$

$$\implies \left(e = e \rightarrow \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigvee_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) \right) \right) = true$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigvee_{\forall e'' \in C} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) \right) = true$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e'As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigvee_{\forall e'' \in C} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) \right)$$

$$\bigwedge_{\forall e' \in SE[\neg \exists s \in SE, e'As]} (e = e' \rightarrow false) = true$$

$$\iff \Theta([\exists\Diamond]\alpha, e) = true$$

13. Se $\mu G \models_e [\forall\Diamond]\alpha$, então $\Theta([\forall\Diamond]\alpha, e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e [\forall\Diamond]\alpha$

$$\iff \forall \pi(e) = (e_0 e_1 e_2 \dots e_i), i \in I \text{ e } I \subseteq \mathbb{N} \text{ tal que } \exists k [0 \leq k \leq i, G \models_{e_k} \alpha]$$

$$\implies \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigvee_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) \right) = true$$

$$\implies \left(e = e \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigvee_{\forall e_k \in C} \Theta(\alpha, e_k) \right) \right) \right) = true$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e' As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigvee_{\forall e'' \in C} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) \right) = true$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e' As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigvee_{\forall e'' \in C} \Theta(\alpha, e'') \right) \right) \right)$$

$$\bigwedge_{\forall e' \in SE[\neg \exists s \in SE, e' As]} (e = e' \rightarrow false) = true$$

$$\iff \Theta([\forall\Diamond]\alpha, e) = true$$

14. Se $\mu G \models_e \exists(\alpha U \beta)$, então $\Theta(\exists(\alpha U \beta), e) = true$

Pela hipótese $\exists \pi(e) = (e_0 e_1 e_2 \dots e_i), i \in I \text{ e } I \subseteq \mathbb{N} \text{ tal que } \exists k [k \geq 0, \mu G \models_{e_k} \beta, \forall j [0 \leq j < k, \mu G \models_{e_j} \alpha]]$

$$\implies \exists K \text{ e } \exists C \in e\pi(e) \text{ tal que } \left(\bigvee_{\forall e_k \in C} \left(\Theta(\beta, e_k) \bigwedge_{\forall e' \in e\Phi(e, C, e_k)} \Theta(\alpha, e') \right) \right) = true$$

$$\implies \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigvee_{\forall e_k \in C} \left(\Theta(\beta, e_k) \bigwedge_{\forall e' \in e\Phi(e, C, e_k)} \Theta(\alpha, e') \right) \right) \right) = true$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e' As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigvee_{\forall e'' \in C} \left(\Theta(\beta, e'') \bigwedge_{\forall e''' \in e\Phi(e', C, e'')} \Theta(\alpha, e''') \right) \right) \right) \right) = true$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e' As]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigvee_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigvee_{\forall e'' \in C} \left(\Theta(\beta, e'') \bigwedge_{\forall e''' \in e\Phi(e', C, e'')} \Theta(\alpha, e''') \right) \right) \right) \right)$$

$$\bigwedge_{\forall e' \in SE[\neg \exists s \in SE, e' As]} (e = e' \rightarrow false) = true$$

$$\iff \Theta(\exists(\alpha U \beta), e) = true$$

15. Se $\mu G \models_e \forall(\alpha U \beta)$, então $\Theta(\forall(\alpha U \beta), e) = true$

Pela hipótese $\mu G \models_e \forall(\alpha U \beta) \iff \forall \pi(e) = (e_0 e_1 e_2 \dots e_i), i \in I$ e $I \subseteq \mathbb{N}$ tal que $\exists k[k \geq 0, \mu G \models_{e_k} \beta, \forall j[0 \leq j < k, \mu G \models_{e_j} \alpha]]$

$$\implies \exists K \text{ tal que } \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e)} \left(\bigvee_{\forall e_k \in C} \left(\Theta(\beta, e_k) \bigwedge_{\forall e' \in e\Phi(e, C, e_k)} \Theta(\alpha, e') \right) \right) \right) = \text{true}$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e' \mathcal{A}s]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigvee_{\forall e'' \in C} \left(\Theta(\beta, e'') \bigwedge_{\forall e''' \in e\Phi(e', C, e'')} \Theta(\alpha, e''') \right) \right) \right) \right) = \text{true}$$

$$\implies \bigwedge_{\forall e' \in SE[\exists s \in SE, e' \mathcal{A}s]} \left(e = e' \rightarrow \left(\bigwedge_{\forall C \in e\pi(e')} \left(\bigvee_{\forall e'' \in C} \left(\Theta(\beta, e'') \bigwedge_{\forall e''' \in e\Phi(e', C, e'')} \Theta(\alpha, e''') \right) \right) \right) \right)$$

$$\bigwedge_{\forall e' \in SE[\neg \exists s \in SE, e' \mathcal{A}s]} \left(e = e' \rightarrow \text{false} \right) = \text{true}$$

$$\iff \Theta(\forall(\alpha U \beta), e) = \text{true}$$

Referências Bibliográficas

- [1] CLARKE, E. M.; EMERSON, E. A. ; SISTLA, A.. **Automatic verification of finite-state concurrent systems using temporal logic specifications**. ACM Transactions on programming Languages and Systems, p. 8(2):244–26.
- [2] NEUMANN, J. V.. **Zur theorie der gesellschaftsspiele**. Matematische Annalen 100, p. 295–320, 1928.
- [3] NEUMANN, J. V.; MORGENSTERN, O.. **Theory of Games and Economic Behavior**. John Wiley and Sons, 1944.
- [4] NASH, J. F.. **The bargaining problem**. Econometrica 18, p. 155–162, 1950.
- [5] NASH, J. F.. **Equilibrium points in n-person games**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of American 36, p. 48–49, 1950.
- [6] CHELLES, B. F.. **Modal Logic: An Introduction**. Cambridge University Press, 1980.
- [7] CLARKE, E. M.; EMERSON, E. A.. **Design and synthesis of synchronization skeletons using branching-time logic**. In: WORKSHOP ON LOGIC OF PROGRAMS, p. 52–71. Springer, may 1981.
- [8] PEPPER, P.; REMUS, H.. **Program transformation and programming environments**. Springer-Verlag, Heidelberg, 1984.
- [9] FEATHER, S. M.. **A survey and classification of some program transformation approaches and techniques**. Program Specification and Transformation, 1987.
- [10] MCMILLAN, K.. **Symbolic Model Checking**. PhD thesis, Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [11] MCMILLAN, K.. **Symbolic Model Checkin: An Approach to the State Explosion Problem**. PhD thesis, Kluwer Academic, 1993.
- [12] BURCK, J. R.; CLARKE, E. M. ; LONG, D. E.. **Symbolic model checking for sequential circuit verification**. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits13, 4:401–424, 1993.

- [13] OSBORNE, M. J.; RUBINSTEIN, A.. **A Course in Game Theory**. MIT Press, 1994.
- [14] PINDYDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L.. **Microeconomia**. Makron Books, 1994.
- [15] CORDY, J. R.; CARMICHAEL, I. ; HALIDAY, R.. **TXL programming language, verision 8.0**. 1995.
- [16] GROUP, T. V.. **VIS: A system for verification and synthesis**. In: Alus, R.; Henziger, T., editors, POC. OF THE 8TH INT. CONF. ON COMPUTER AIDED VERIFICATION, p. 428–432. Springer-Verlag, 1996.
- [17] FILKORN, T.. **SVE Users' Guide**. Siemens SG, 1996.
- [18] HARDIN, R.; HAR'EL, Z. ; KURSHAN., R. P.. **COSPAN**. Proc.of the Int. Conf. On Computer Aided Verification, volume 1102 of LNCS:423–427, 1996.
- [19] CORELLA, F.; ZHOU, Z.; SONG, X.; LANGEVIN, M. ; CERNY, E.. **Multiway decision graphs for automated hardware verification**. Formal Methods in System Design, p. 10(1), 1997.
- [20] CLARKE, E. M.; GRUMBERG, O. ; PELED, D. A.. **Model Checking**. MIT Press, 1999.
- [21] RUSSELL, S.; NORVIG, P.. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Prentice Hall, 2nd edition edition, 2002.
- [22] BURCK, J. R.; CLARKE, E. M. ; LONG, D. E.. **Symbolic model checking with partitioned transition relations**. In A. Halaas and P. B. Denyer, eds., proceedings of the 1991 International Conference on VLSI, p. 49–58, August 1991.
- [23] Formal Systems (Europe) Ltd. **Failure Divergence Refinement, FDR 2.0, User Manual**, August 1996.
- [24] PARKER, D.. **Implementation of Symbolic Model Checking for Probabilistic Systems**. PhD thesis, University of Birmingham, August 2002.
- [25] HOLZMANN, G. J.. **The SPIN model checker**. IEEE Transaction on Software Engineering, 23(5):279–295, May 1997.