



UNIVERSIDADE
DE ÉVORA

Controlador de Semáforos

Relatório

Sistemas Digitais

Miguel Pombeiro, 57829

Miguel Rocha, 58501

Docentes: Pedro Salgueiro
Nuno Lourenço

2023/2024

Índice

<i>Introdução</i>	3
<i>Controlador de Semáforos</i>	4
<i>Controlador do semáforo de veículos</i>	5
Modelo ASM	7
Tabela de transição de estados	8
Equações das entradas dos flip-flops e das saídas	8
<i>Controlador do semáforo de peões</i>	11
Modelo ASM	13
Tabela de transição de estados	14
Equações das entradas dos flip-flops e das saídas	15
<i>Display de sete segmentos</i>	18
Modelo ASM	20
Tabela de transição de estados	21
Equações de entradas dos flip-flops e das saídas.....	22
<i>Controlador de semáforos – Integração</i>	26
<i>Anexo 1</i>	27
<i>Anexo 2</i>	29

Introdução

Este relatório descreve a implementação de um circuito sequencial síncrono para controlar um sistema de dois semáforos que controlam o trânsito de veículos e peões numa passadeira.

O sistema é composto por dois semáforos, cada um com três cores diferentes - vermelho, amarelo, verde - respetivamente, um botão para os peões carregarem quando precisarem atravessar a passadeira e um sensor que verifica se os veículos estão em excesso de velocidade. Para a implementação deste sistema, foram considerados os comportamentos e normas disponibilizados pelos docentes da disciplina de Sistemas Digitais, descritos no enunciado deste Projeto.

Esta implementação foi feita com recurso ao *software* de simulação de circuitos digitais Logisim-Evolution.

Controlador de Semáforos

Tal como sugerido, de forma a controlar cada um dos semáforos do sistema, foram implementados dois módulos: um módulo que controla o semáforo dos veículos e um módulo que controla o semáforo dos peões. Posteriormente, de forma a implementar um *display* de sete segmentos que mostrasse aos peões o número de ciclos de relógio que faltavam até que o semáforo de peões mudasse de verde para amarelo, foram ponderadas duas soluções: Uma que iria implementar um descodificador para *display* de sete segmentos dentro do módulo controlador do semáforo de peões e outra que iria implementar um outro módulo extra, que iria contar os impulsos de relógio após o semáforo dos peões ficar verde. Ambas as abordagens serão discutidas mais adiante neste relatório.

Deste modo, o circuito principal deste controlador será constituído por:

- um relógio (**CLK**), que irá ser ligado a todos os módulos presentes neste circuito;
- duas entradas
 - sensor de velocidade dos veículos (**S**);
 - botão para os peões carregarem quando pretendem atravessar a passadeira (**B**);
- três módulos integrados
 - módulo controlador do semáforo de veículos;
 - módulo controlador do semáforo de peões;
 - módulo contador, que faz a contagem decrescente do número de impulsos de relógio que faltam para o semáforo de peões passar a amarelo e a exibe num *display* de sete segmentos.

Controlador do semáforo de veículos

O circuito controlador do semáforo de veículos, tal como o nome indica controla o comportamento do semáforo de veículos e, em condições normais encontra-se no estado verde. O estado deste circuito vai depender do sensor de excesso de velocidade (S), do botão dos peões (B) e, ainda, do estado em que se encontra o semáforo dos peões. O sensor e o botão determinam quando o semáforo de veículos deve passar de verde para amarelo e, posteriormente, para vermelho. Já o estado do semáforo de peões, determina quando é que o semáforo de veículos deve passar de vermelho para verde, uma vez que esta transição apenas pode ocorrer quando o semáforo de peões já estiver vermelho.

Desta forma, para além da entrada de relógio (**CLK**), é possível deduzir as entradas que influenciam o estado do controlador do semáforo de veículos:

- **S+B** (S_B , no Logisim), que representam o sensor e o botão, respetivamente. Estas entradas podem ser consideradas em conjunto (soma lógica) uma vez que ambas terão o mesmo tipo de influência no circuito.
- **RP1**, que representa quando o semáforo dos peões se encontra no estado “Vermelho 1”. Esta entrada é utilizada para fazer a integração dos dois módulos controladores e é a que irá dar indicação ao controlador do semáforo de veículos que o semáforo de peões já se encontra, de novo, vermelho.

Visto que o semáforo de veículos pode estar em três condições diferentes – verde, vermelho, amarelo – serão necessárias, pelo menos duas saídas de forma a poder codificá-las, sendo que a sua codificação se encontra representada no Quadro 1.

Quadro 1 - Codificação para as cores do semáforo de veículos.

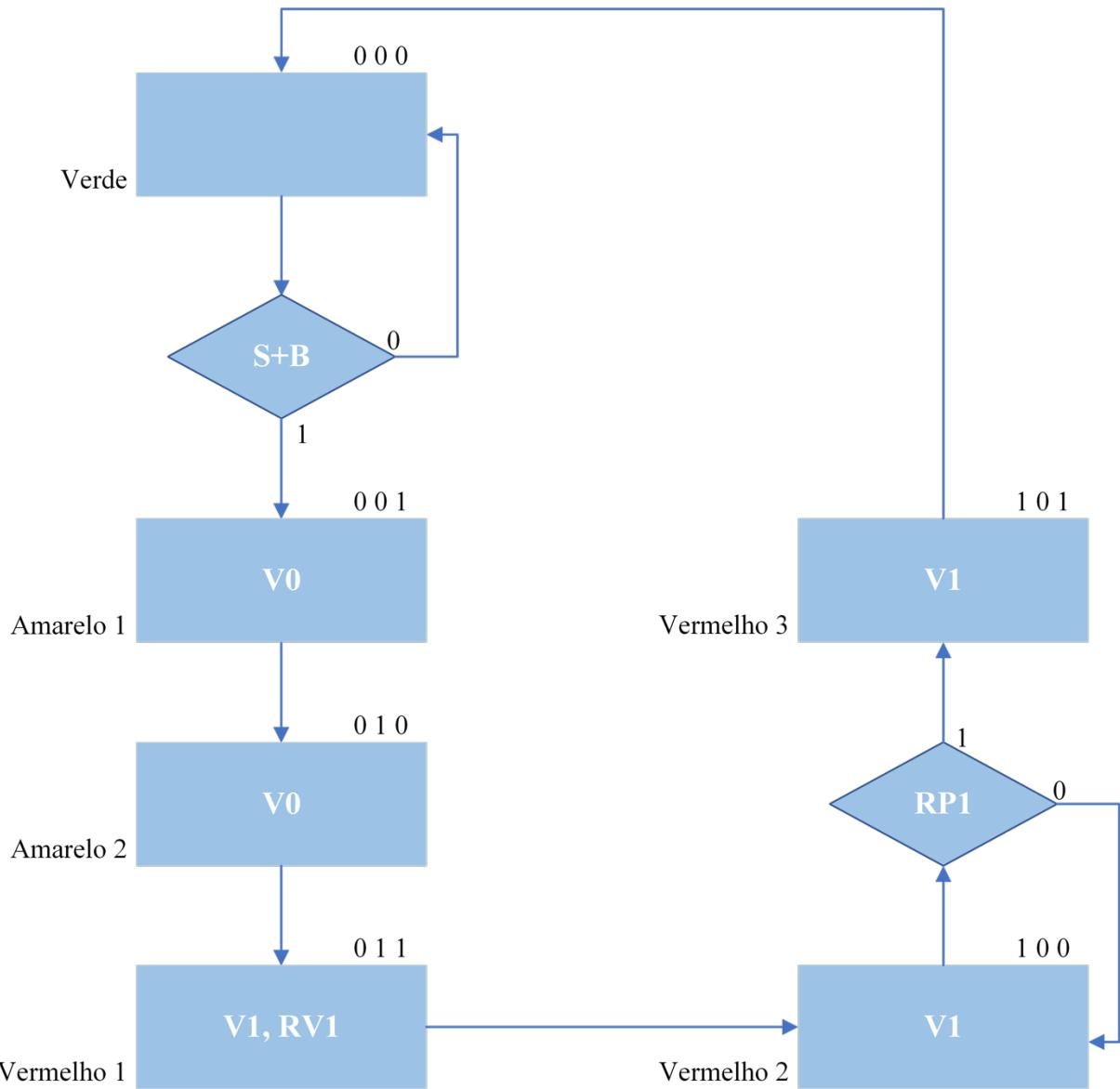
Cor/Variável	V1	V0
Verde	0	0
Amarelo	0	1
Vermelho	1	0
—	1	1

Considerando que será, ainda, necessária mais uma saída para fazer a integração com o modulo controlador do semáforo de peões, as saídas deste módulo são:

- **V1** e **V0**, que representam a codificação para a cor do semáforo de veículos.
- **RV1**, que representa quando o módulo controlador do semáforo de veículos se encontra no estado “Vermelho 1” e servirá como entrada no módulo controlador do semáforo dos peões.

Por fim, conhecendo as entradas e saídas deste módulo, é possível desenhar o Modelo ASM (*Algorithmic State Machine*) que representa as suas transições de estado.

Modelo ASM



Verifica-se, então, que este módulo tem seis estados diferentes que foram codificados usando três bits ($2^3 = 8$), sendo que foram necessários três flip-flops de forma a implementar este módulo.

Tabela de transição de estados

De modo a fazer a implementação deste circuito foram escolhidos os flip-flops do tipo T, que aparentam ter funcionado.

Quadro 2 - Transição de estados do módulo controlador do semáforo de veículos.

Entradas		X_n	X_{n+1}	X_n			X_{n+1}		
S+B	RP1			X_2	X_1	X_0	X_2	X_1	X_0
0	-	Verde	Verde	0	0	0	0	0	0
1	-	Verde	Amarelo 1	0	0	0	0	0	1
-	-	Amarelo 1	Amarelo 2	0	0	1	0	1	0
-	-	Amarelo 2	Vermelho 1	0	1	0	0	1	1
-	-	Vermelho 1	Vermelho 2	0	1	1	1	0	0
-	0	Vermelho 2	Vermelho 2	1	0	0	1	0	0
-	1	Vermelho 2	Vermelho 3	1	0	0	1	0	1
-	-	Vermelho 3	Verde	1	0	1	0	0	0

Quadro 3 - Transição de estados, flip flops T e saídas para o módulo controlador do semáforo de veículos.

Entradas		X_n			X_{n+1}			Flip-Flops			Saídas			
S+B	RP1	X_2	X_1	X_0	X_2	X_1	X_0	T_2	T_1	T_0	$V1$	$V0$	$RV1$	
0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
-	-	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
-	-	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0
-	-	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1
-	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
-	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
-	-	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0

Equações das entradas dos flip-flops e das saídas

Para a obtenção das equações das entradas dos flip-flops T e das saídas do circuito, foram desenhados mapas de Karnaugh, tendo sido considerada a tabela de excitação dos flip-flops T (Tabela 1).

Tabela 1 - Tabela de excitação dos flip-flops T.

Q^*	Q	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

S+B=0

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		0	0	1	-	0
01		0	1	-	-	-
11		0	1	-	-	-
10		0	0	1	-	0

S+B=1

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		0	0	1	-	0
01		0	1	-	-	-
11		0	1	-	-	-
10		0	0	1	-	0

$$T_2 = X_1 X_0 + X_2 X_0$$

S+B=0

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		0	1	1	-	0
01		0	0	-	-	-
11		0	0	-	-	-
10		0	1	1	-	0

S+B=1

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		0	1	1	-	0
01		0	0	-	-	-
11		0	0	-	-	-
10		0	1	1	-	0

$$T_1 = \overline{X}_2 X_0$$

S+B=0

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		0	1	1	1	-
01		0	1	-	-	-
11		1	1	-	-	-
10		0	1	1	-	1

S+B=1

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		1	1	1	1	-
01		0	1	-	-	-
11		1	1	-	-	-
10		1	1	1	1	-

$$T_0 = X_0 + (S + B)\overline{X}_2 + X_1 + (RP1)X_2$$

S+B=0

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		0	0	1	0	
01		1	1	-	-	
11		1	1	-	-	
10		0	0	1	0	

S+B=1

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		0	0	1	0	
01		1	1	-	-	
11		1	1	-	-	
10		0	0	1	0	

$$V_1 = X_1 X_0 + X_2$$

S+B=0

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		0	1	0	1	
01		0	0	-	-	
11		0	0	-	-	
10		0	1	0	1	

S+B=1

		X1 X0	00	01	11	10
		RP1 X2	00	01	11	10
00		0	1	0	1	
01		0	0	-	-	
11		0	0	-	-	
10		0	1	0	1	

$$V_0 = X_1 \overline{X}_0 + \overline{X}_2 \overline{X}_1 X_0$$

Não foi necessário desenhar o mapa de Karnaugh para encontrar a expressão de **RV1**, sendo que a sua expressão é:

$$RV1 = \overline{X}_2 X_1 X_0$$

Por fim, tendo obtido as expressões para as entradas dos três flip-flops (T_2 , T_1 e T_0), e para as três saídas (V_1 , V_0 e $RV1$), foi possível fazer a projeção deste módulo no Logisim. A projeção do circuito encontra-se na Figura 2, no Anexo 1 deste relatório.

Controlador do semáforo de peões

O circuito controlador do semáforo de peões controla o comportamento do semáforo de peões e, em condições normais encontra-se no estado vermelho. O estado deste circuito vai depender, em exclusivo, do estado em que se encontra o semáforo de veículos. Assim, o semáforo de veículos vai determinar quando é que o semáforo de peões deve passar de vermelho para verde, uma vez que esta transição apenas pode ocorrer quando o semáforo de veículos já estiver vermelho.

Sendo assim, para além da entrada de relógio (**CLK**), é necessário mais uma entrada que irá influenciar o estado do controlador do semáforo de peões:

- **RV1**, que representa quando o controlador do semáforo de veículos se encontra no estado “Vermelho 1”. Esta entrada é utilizada para fazer a integração dos dois módulos controladores e é a que dará indicação ao controlador do semáforo de peões que o semáforo de veículos já se encontra vermelho.

Visto que o semáforo de peões pode estar em três condições diferentes – verde, vermelho, amarelo – serão necessárias, pelo menos duas saídas de forma a poder codificá-las, sendo que a sua codificação se encontra representada no Quadro 4.

Quadro 4 - Codificação para as cores do semáforo de peões.

Cor/Variável	P1	P0
Verde	0	0
Amarelo	0	1
Vermelho	1	0
—	1	1

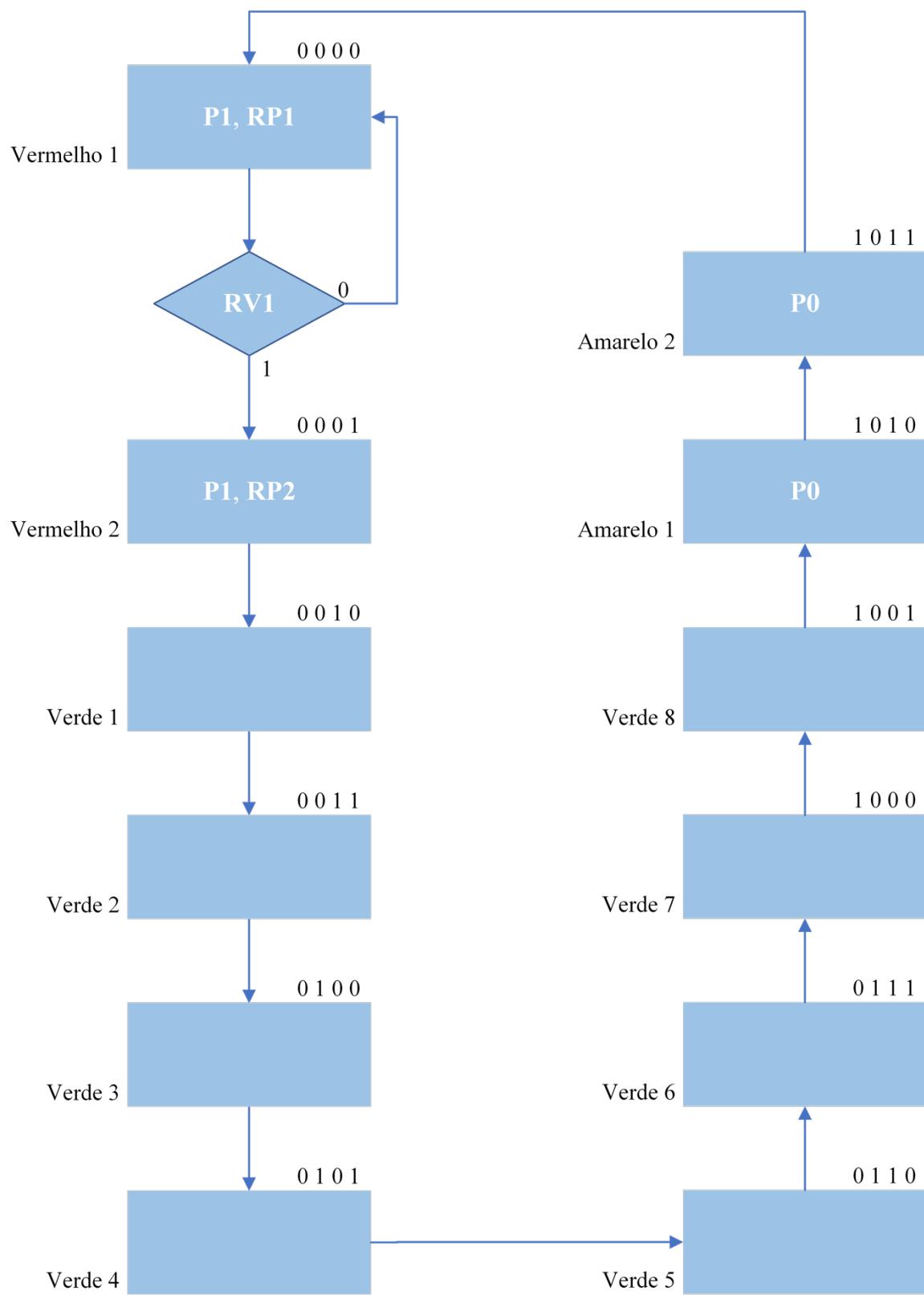
Serão ainda necessárias mais duas saídas, uma para fazer a integração com o modulo controlador do semáforo de veículos, e outra saída para integrar depois com o módulo contador para o *display* de sete segmentos. Assim, as saídas deste módulo são:

- **P1 e P0**, que representam a codificação para a cor do semáforo dos peões.
- **RP1**, que representa quando o módulo controlador do semáforo de peões se encontra no estado “Vermelho 1” e servirá como entrada no módulo controlador do semáforo dos veículos.

- **RP2**, que representa quando o módulo controlador do semáforo de peões se encontra no estado “Vermelho 2” e servirá como entrada do módulo contador para o *display* de sete segmentos.

Conhecendo as entradas e saídas deste módulo, é possível desenhar o Modelo ASM que representa as suas transições de estado.

Modelo ASM



Verifica-se, então que este módulo tem doze estados diferentes, que foram codificados usando 4 bits ($2^4 = 16$), sendo que foram necessários quatro flip-flops para fazer a sua implementação.

Tabela de transição de estados

De modo a fazer a implementação deste módulo, foram, também, escolhidos os flip-flops do tipo T, que parecem ter funcionado.

Quadro 5 - Transição de estados do módulo controlador do semáforo de peões.

Entrada	X_n	X_{n+1}	X_n				X_{n+1}			
			X_3	X_2	X_1	X_0	X_3	X_2	X_1	X_0
0	Vermelho 1	Vermelho 1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Vermelho 1	Vermelho 2	0	0	0	0	0	0	0	1
-	Vermelho 2	Verde 1	0	0	0	1	0	0	1	0
-	Verde 1	Verde 2	0	0	1	0	0	0	1	1
-	Verde 2	Verde 3	0	0	1	1	0	1	0	0
-	Verde 3	Verde 4	0	1	0	0	0	1	0	1
-	Verde 4	Verde 5	0	1	0	1	0	1	1	0
-	Verde 5	Verde 6	0	1	1	0	0	1	1	1
-	Verde 6	Verde 7	0	1	1	1	1	0	0	0
-	Verde 7	Verde 8	1	0	0	0	1	0	0	1
-	Verde 8	Amarelo 1	1	0	0	1	1	0	1	0
-	Amarelo 1	Amarelo 2	1	0	1	0	1	0	1	1
-	Amarelo 2	Vermelho 1	1	0	1	1	0	0	0	0

Quadro 6 - Transição de estados, flip-flops T e saídas para o módulo controlador do semáforo de peões.

Entrada	X_n				X_{n+1}				Flip-Flops				Saídas				
	RV1	X_3	X_2	X_1	X_0	X_3	X_2	X_1	X_0	T_3	T_2	T_1	T_0	$P1$	$P0$	$RP1$	$RP2$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
-	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
-	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
-	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
-	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
-	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
-	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
-	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
-	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
-	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
-	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
-	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0

Equações das entradas dos flip-flops e das saídas

Para a obtenção das equações das entradas dos flip-flops T e das saídas do circuito, foram desenhados mapas de Karnaugh, tendo sido considerada a tabela de excitação dos flip-flops T (Tabela 1).

		RV1=0				
		X1 X0	00	01	11	10
X3 X2		00	0	0	0	0
01		00	0	0	1	0
11		01	-	-	-	-
10		11	0	0	1	0

		RV1=1				
		X1 X0	00	01	11	10
X3 X2		00	0	0	0	0
01		00	0	0	1	0
11		01	-	-	-	-
10		11	0	0	1	0

$$T_3 = X_3 X_1 X_0 + X_2 X_1 X_0$$

		RV1=0				
		X1 X0	00	01	11	10
X3 X2		00	0	0	1	0
01		00	0	0	1	0
11		01	-	-	-	-
10		11	0	0	0	0

		RV1=1				
		X1 X0	00	01	11	10
X3 X2		00	0	0	1	0
01		00	0	0	1	0
11		01	-	-	-	-
10		11	0	0	0	0

$$T_2 = \overline{X}_3 X_1 X_0$$

RV1=0

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	0	1	1	0	
0 1	0	1	1	0	
1 1	-	-	-	-	
1 0	0	1	1	0	

RV1=1

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	0	1	1	0	
0 1	0	1	1	0	
1 1	-	-	-	-	
1 0	0	1	1	0	

$$T_1 = X_0$$

RV1=0

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	0	1	1	1	
0 1	1	1	1	1	
1 1	-	-	-	-	
1 0	1	1	1	1	

RV1=1

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	1	1	1	1	
0 1	1	1	1	1	
1 1	-	-	-	-	
1 0	1	1	1	1	

$$T_0 = \overline{\overline{X}_3} \overline{\overline{X}_2} \overline{\overline{X}_1} \overline{X_0} \overline{RV1}$$

RV1=0

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	1	1	0	0	
0 1	0	0	0	0	
1 1	-	-	-	-	
1 0	0	0	0	0	

RV1=1

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	1	1	0	0	
0 1	0	0	0	0	
1 1	-	-	-	-	
1 0	0	0	0	0	

$$P1 = \overline{X}_3 \overline{X}_2 \overline{X}_1$$

		RV1=0						RV1=1			
		X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
X3 X2		0 0	0	0	0	0	0 0	0	0	0	0
0 0							0 1	0	0	0	0
0 1							1 1	-	-	-	-
1 1							1 0	0	0	1	1
1 0											

$$P0 = X_3 X_1$$

Não foi necessário desenhar os mapas de Karnaugh para encontrar as expressões de **RP1** e **RP2**, sendo que as suas expressões são, respetivamente:

$$RP1 = \overline{X_3} \overline{X_2} \overline{X_1} \overline{X_0}$$

$$RP2 = \overline{X_3} \overline{X_2} \overline{X_1} X_0$$

Por fim, tendo obtido as expressões para as entradas dos quatro flip-flops (T_3, T_2, T_1 e T_0), e para as quatro saídas ($P1, P0, RP1$ e $RP2$), foi possível fazer a projeção deste módulo no Logisim. A projeção do circuito encontra-se na Figura 3, no Anexo 1 deste relatório.

Display de sete segmentos

De forma a implementar um *display* de sete segmentos para mostrar aos peões quantos ciclos de relógio faltam até o semáforo mudar de verde para amarelo, foram exploradas duas abordagens diferentes que serão expostas mais adiante.

Para implementar um *display* de sete segmentos no Logisim, é necessário conhecer a forma como este foi desenhado no *software*, de forma a saber quais as entradas que este necessita para o seu normal funcionamento. Estas entradas do *display*, corresponderão depois às saídas do sistema que irão ativar cada um dos segmentos de forma a exibir os dígitos que correspondem ao número de impulsos que faltam para o semáforo mudar de verde para amarelo. De forma a simplificar, foram atribuídas letras (a - h) às entradas do *display* de sete segmentos na configuração representada na Figura 1.

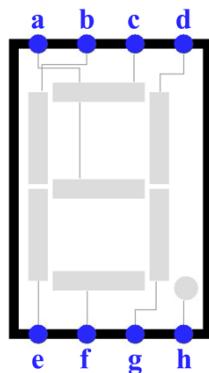


Figura 1 - Configuração das letras atribuídas às entradas do display de sete segmentos do Logisim.

A primeira abordagem considerada para fazer esta implementação, seria projetar um descodificador para *display* de sete segmentos dentro do módulo controlador do semáforo de peões, para tal, era necessário continuar a tabela de verdade o módulo controlador do semáforo de peões, adicionando mais 7 saídas (a-g) para cada ligação do *display* de sete segmentos. A contagem decrescente (de 8 para 1) começaria, então, no estado “Verde 1” e terminaria no estado “Verde 8”. Apesar de ter sido implementada com sucesso e funcionar corretamente, para além da necessidade de criar mais sete saídas no módulo controlador do semáforo de peões, esta abordagem acrescentaria mais uma funcionalidade a este módulo. Assim, e de forma a tornar este projeto mais modular e simplificado, esta forma, acabou por não ser utilizada no projeto final. A projeção de

um circuito no Logisim, que segue esta abordagem, pode ser encontrada na Figura 6 e na Figura 7, no Anexo 2 deste relatório.

A outra abordagem testada, e que acabou por figurar no projeto final, consiste em implementar mais um módulo que faz uma contagem decrescente de oito (8) até um (1), representando os vários estados verdes pelos quais o semáforo de peões passa até trocar para amarelo. Os dígitos desta contagem são depois exibidos num *display de sete segmentos* para que os peões possam saber quantos impulsos de relógio faltam até o semáforo de peões trocar para amarelo.

O estado deste circuito contador para *display de sete segmentos* depende inteiramente do estado em que o semáforo de peões se encontra, uma vez que a contagem só deve iniciar quando o semáforo de peões fica verde. Assim, para além da entrada de relógio (**CLK**), é necessária mais uma entrada que irá influenciar o estado do circuito contador:

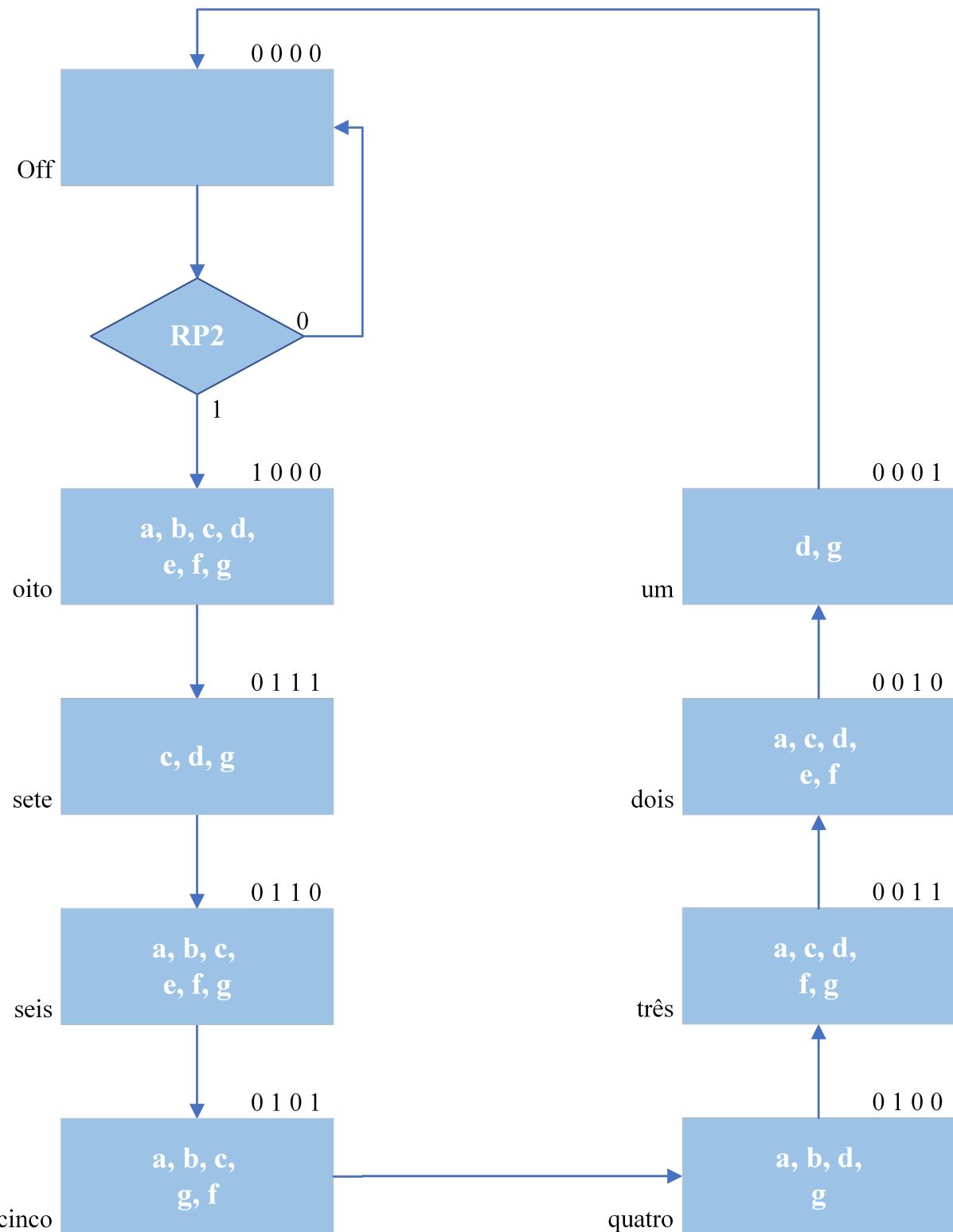
- **RP2**, que representa quando o semáforo dos peões está no estado “Vermelho 2”. Uma vez que a contagem decrescente de oito até um deve ser iniciada no mesmo impulso de relógio em que o semáforo de peões troca para verde, é necessário fornecer ao circuito contador um sinal no impulso imediatamente anterior para que a contagem possa ser iniciada de forma sincronizada.

Visto que é necessário representar os dígitos no *display de sete segmentos*, as saídas deste módulo deverão corresponder às entradas do *display*, de forma a ativar os segmentos pretendidos. Assim, as saídas deste módulo são:

- **a, b, c, d, e, f, g**, que correspondem, respetivamente, às entradas com o mesmo nome no *display de sete segmentos*, cuja configuração se encontra na Figura 1. Estas saídas irão indicar ao *display* quais os segmentos a ativar de modo a representar o dígito correspondente ao número de impulsos que faltam até que o semáforo de peões mude de verde para amarelo.

Conhecendo as entradas e saídas deste módulo, é possível desenhar o Modelo ASM que representa as suas transições de estado.

Modelo ASM



Este módulo tem nove estados diferentes, que foram codificados usando 4 bits ($2^4 = 16$), sendo que foram necessários quatro flip-flops para fazer a sua implementação.

Tabela de transição de estados

Para fazer a implementação deste módulo, foram, mais uma vez, escolhidos os flip-flops do tipo T, que parecem ter funcionado.

Quadro 7 - Transição de estados do módulo contador para display de sete segmentos.

Entrada	X _n	X _{n+1}	X _n				X _{n+1}			
			X ₃	X ₂	X ₁	X ₀	X ₃	X ₂	X ₁	X ₀
1	off	oito	0	0	0	0	1	0	0	0
0	off	off	0	0	0	0	0	0	0	0
-	oito	sete	1	0	0	0	0	1	1	1
-	sete	seis	0	1	1	1	0	1	1	0
-	seis	cinco	0	1	1	0	0	1	0	1
-	cinco	quatro	0	1	0	1	0	1	0	0
-	quatro	três	0	1	0	0	0	0	1	1
-	três	dois	0	0	1	1	0	0	1	0
-	dois	um	0	0	1	0	0	0	0	1
-	um	off	0	0	0	1	0	0	0	0

Quadro 8 - Transição de estados, flip-flops T e saídas para o módulo contador para display de sete segmentos.

Entrada	X _n				X _{n+1}				Flip-Flops				Saídas							
	RP2	X ₃	X ₂	X ₁	X ₀	X ₃	X ₂	X ₁	X ₀	T ₃	T ₂	T ₁	T ₀	a	b	c	d	e	f	g
1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
-	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
-	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
-	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
-	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
-	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
-	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0

Equações de entradas dos flip-flops e das saídas

Para a obtenção das equações das entradas dos flip-flops T e das saídas do circuito, foram desenhados mapas de Karnaugh, tendo sido considerada a tabela de excitação dos flip-flops T (Tabela 1).

Para a construção dos mapas de Karnaugh das saídas, não é necessário considerar a entrada RP2, uma vez que, após observação do Quadro 8, é possível verificar que esta não tem qualquer influencia nos valores que estas possam tomar.

		RP2=0				
		X1 X0	00	01	11	10
X3 X2		00	0	0	0	0
01	0	0	0	0	-	-
11	-	-	-	-	-	-
10	1	-	-	-	-	-

		RP2=1				
		X1 X0	00	01	11	10
X3 X2		00	1	0	0	0
01	0	0	0	0	-	-
11	-	-	-	-	-	-
10	1	-	-	-	-	-

$$T_3 = X_3 + (RP2)\overline{X}_2\overline{X}_1\overline{X}_0$$

		RP2=0				
		X1 X0	00	01	11	10
X3 X2		00	0	0	0	0
01	1	0	0	0	-	-
11	-	-	-	-	-	-
10	1	-	-	-	-	-

		RP2=1				
		X1 X0	00	01	11	10
X3 X2		00	0	0	0	0
01	1	0	0	0	-	-
11	-	-	-	-	-	-
10	1	-	-	-	-	-

$$T_2 = X_3 + X_2\overline{X}_1\overline{X}_0$$

RP2=0

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	0	0	0	1	
0 1	1	0	0	1	
1 1	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	

RP2=1

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	0	0	0	1	
0 1	1	0	0	1	
1 1	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	

$$T_1 = X_3 + X_1\bar{X}_0 + X_2\bar{X}_0$$

RP2=0

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	0	1	1	1	
0 1	1	1	1	1	
1 1	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	

RP2=1

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	0	1	1	1	
0 1	1	1	1	1	
1 1	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	

$$T_0 = \overline{X_3} \overline{X_2} \overline{X_1} \overline{X_0}$$

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	0	0	1	1	
0 1	1	1	0	1	
1 1	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	

X3 \ X2	X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0	0	0	0	0	
0 1	1	1	0	1	
1 1	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	

$$\mathbf{a} = X_3 + X_1\bar{X}_0 + X_2 \oplus X_1$$

$$\mathbf{b} = X_2\bar{X}_1 + X_3 + X_2\bar{X}_0$$

		X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
		X3 X2	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0		0	0	1	1	
0 1		0	1	1	1	
1 1	-	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	-	

$$c = X_2 X_0 + X_3 + X_1$$

		X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
		X3 X2	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0		0	1	1	1	
0 1		1	0	1	0	
1 1	-	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	-	

$$d = X_3 + X_1 X_0 + \overline{X}_2 X_0 + \\ X_2 \overline{X}_1 \overline{X}_0 + \overline{X}_2 X_1$$

		X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
		X3 X2	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0		0	0	0	1	
0 1		0	0	0	1	
1 1	-	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	-	

$$e = X_3 + X_1 \overline{X}_0$$

		X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
		X3 X2	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0		0	0	1	1	
0 1		0	1	0	1	
1 1	-	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	-	

$$f = X_3 + X_1 \overline{X}_0 + \overline{X}_2 X_1 + \\ X_2 \overline{X}_1 \overline{X}_0$$

		X1 X0	0 0	0 1	1 1	1 0
		X3 X2	0 0	0 1	1 1	1 0
0 0		0	1	1	0	
0 1		1	1	1	1	
1 1	-	-	-	-	-	
1 0	1	-	-	-	-	

$$g = X_3 + X_2 + X_0$$

Por fim, tendo obtido as expressões para as entradas dos quatro flip-flops (T_3 , T_2 , T_1 e T_0), e para as sete saídas (a, b, c, d, e, f, g), foi possível fazer a projeção deste módulo no Logisim. A projeção do circuito encontra-se na Figura 4, no Anexo 1 deste relatório.

Controlador de semáforos – Integração

Após projetar os três módulos essenciais ao circuito controlador de semáforos, resta apenas fazer a sua integração de forma que todos os módulos funcionem de forma sincronizada e de acordo com o comportamento desejado. Assim, e como já referido aquando da descrição da construção dos três módulos, foi necessário criar entradas e saídas em cada um que permitissem que estes comunicassem entre si.

No módulo controlador do semáforo de veículos, foi criada a saída **RV1**, que foi utilizada para comunicar ao controlador do semáforo de peões que o semáforo de veículos já se encontra vermelho (estado “Vermelho 1”). Desta forma, o semáforo de peões já pode iniciar a transição para verde.

No módulo controlador do semáforo de peões, foram criadas as saídas **RP1** e **RP2**. A saída RP1, é utilizada para indicar ao módulo controlador do semáforo de veículos que o semáforo de peões já se encontra novamente vermelho (estado “Vermelho 1”), após ter feito o seu normal ciclo de funcionamento. Desta forma, o semáforo de veículos já pode iniciar a sua transição para verde. A saída RP2 é utilizada para comunicar ao módulo contador para *display* de sete segmentos que o módulo controlador do semáforo de peões se encontra no estado imediatamente anterior ao primeiro estado verde (estado “Vermelho 2”). Desta forma, o contador vai iniciar a contagem decrescente para amarelo no impulso de relógio imediatamente a seguir, sincronizado com o semáforo de peões.

Por fim, resta apenas projetar a integração dos vários módulos no Logisim de modo a obter o circuito controlador de semáforos final. Esta projeção encontra-se na Figura 5, no Anexo 1 deste relatório.

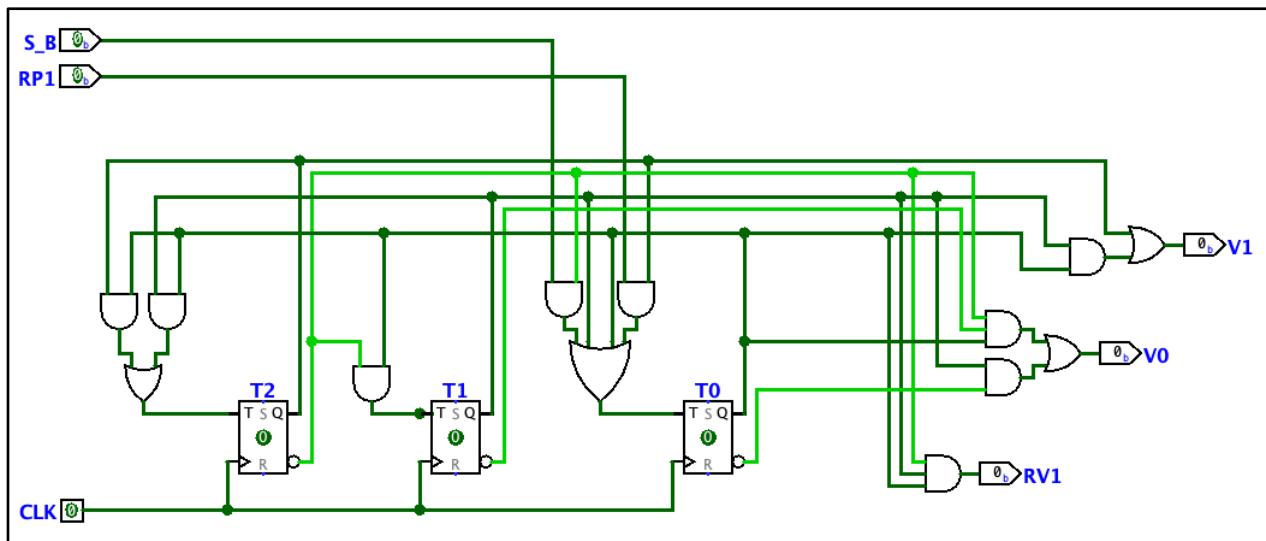
Anexo 1


Figura 2 - Projeção do módulo controlador do semáforo de veículos no Logisim.

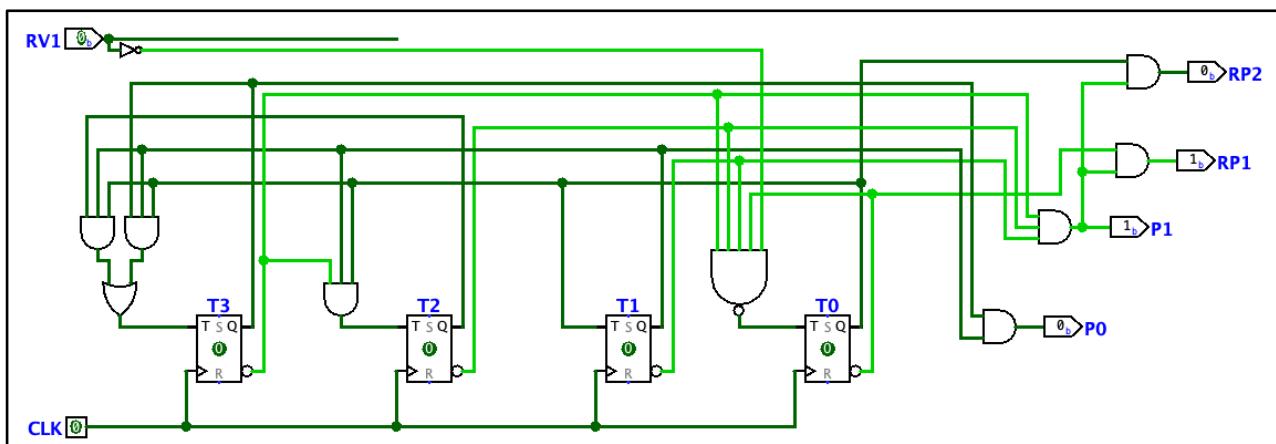


Figura 3 - Projeção do módulo controlador do semáforo de peões no Logisim.

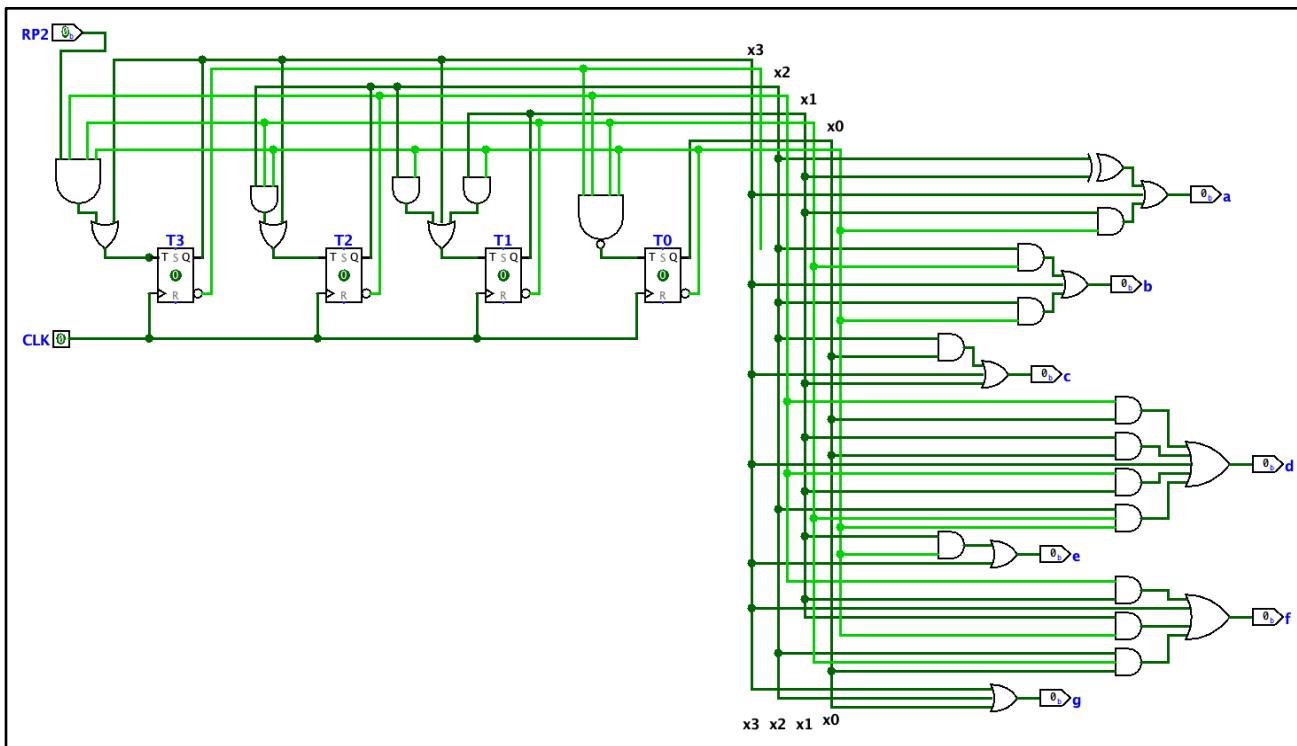


Figura 4 - Projeção do módulo contador para display de sete segmentos no Logisim.

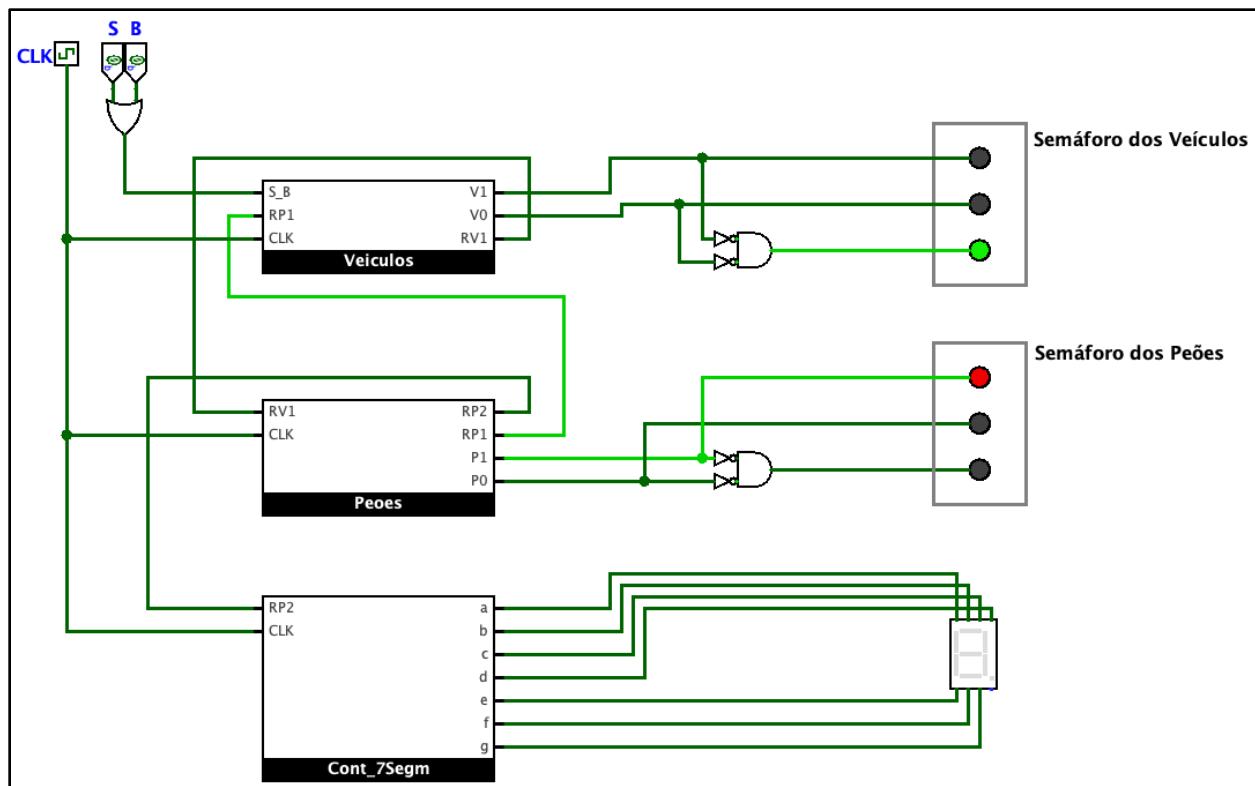


Figura 5 - Projeção da integração dos vários módulos para o controlador de semáforos no Logisim.

Anexo 2

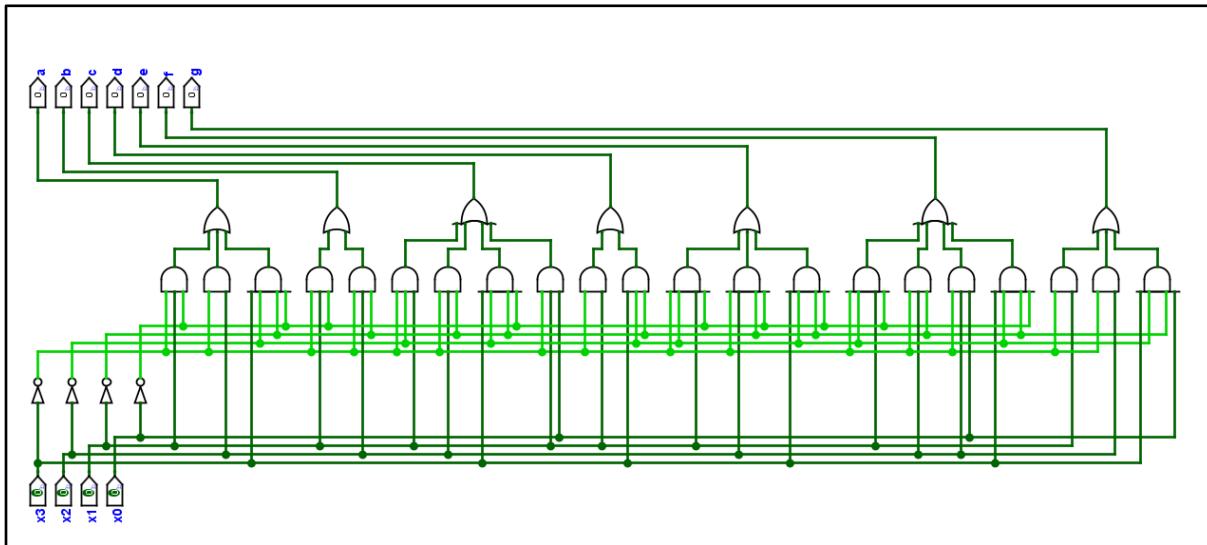


Figura 6 – Projeção das ligações para o display de sete segmentos, no Logisim, usada na primeira abordagem descrita. x_3 , x_2 , x_1 , x_0 , representam as saídas dos flip-flops do controlador de semáforos dos peões.

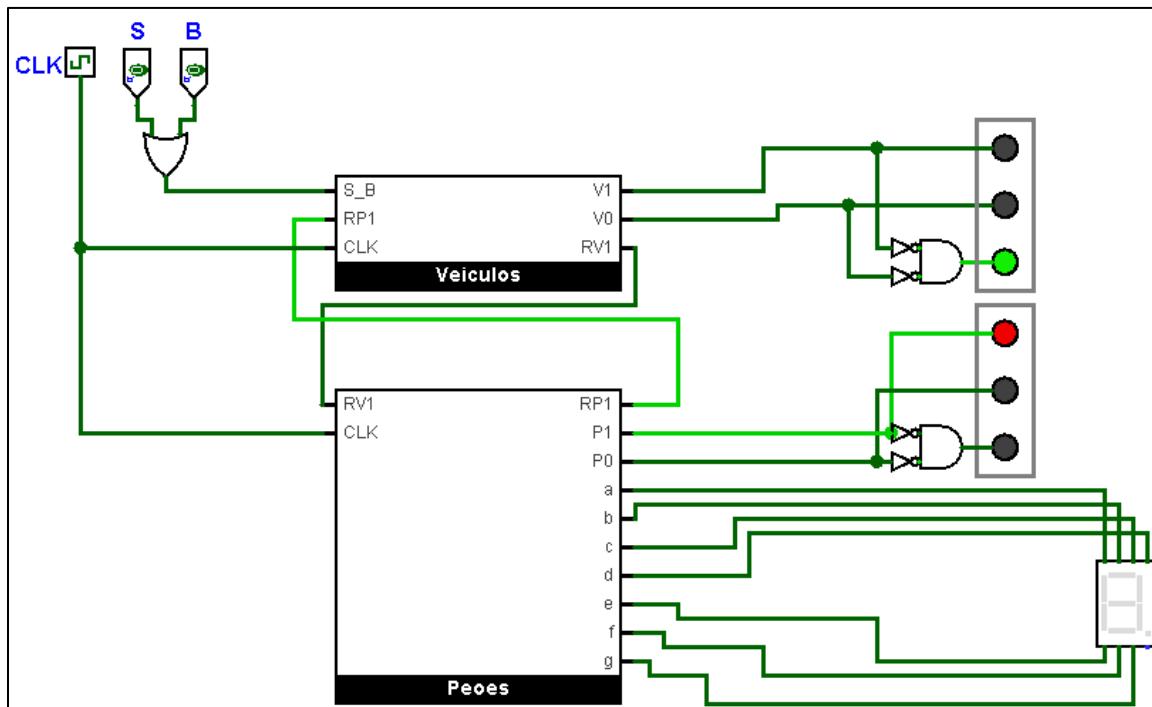


Figura 7 - Projeção da integração dos vários módulos para o controlador de semáforos no Logisim, usada na primeira abordagem descrita para implementação do display de sete segmentos.