

FUNDAÇÃO EURÍPIDES SOARES DA ROCHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FABIO LUIZ EGIDIO

**MICRO-CONTROLADOR PARA UM SISTEMA DINÂMICO
DE CONTROLE DE TRÁFEGO URBANO**

MARÍLIA
2011

FABIO LUIZ EGIDIO

MICRO-CONTROLADOR PARA UM SISTEMA DINÂMICO DE
CONTROLE DE TRÁFEGO URBANO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, mantido pela Fundação de Ensino Eurípides Soares da Rocha, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador:

Prof. Ms. Ildeberto de Genova Bugatti

MARÍLIA
2011

Egidio, Fabio Luiz

Micro-controlador para um sistema dinâmico de controle de tráfego urbano/ Fabio Luiz Egidio; orientador: Ildeberto de Genova Bugatti. Marília, SP [s.n], 2011.

93f.

Trabalho de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Curso de Ciência da Computação, Fundação de Ensino “Eurípedes Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípedes de Marília – UNIVEM. Marília. 2011.

1. Semáforo
2. Arquitetura de micro-controladores
3. Engenharia de tráfego.



CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – AVALIAÇÃO FINAL

Fábio Luiz Egidio

MICRO-CONTROLADOR PARA UM SISTEMA DINÂMICO DE CONTROLE DE TRÁFEGO URBANO

Banca examinadora da monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação do UNIVEM/F.E.E.S.R., para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação.

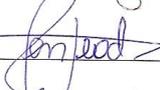
Nota: 9,5 (nove e meio)

Orientador: Ildeberto de Gênova Bugatti

1º. Examinador: César Giacomini Pentead

2º. Examinador: Rodolfo Barros Chiamonte







Marília, 28 de novembro de 2011.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me fazer o que sou hoje.

Agradeço a minha família, por me incentivar em todos os momentos no curso.

Agradeço a todos os professores do curso.

Agradeço em especial ao meu professor orientador, por acreditar no meu potencial, desde o início do desenvolvimento do projeto.

Agradeço a todos meus amigos com que compartilhei alegrias e tristezas durante o curso.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois sem Ele, nada seria possível e não estaríamos aqui reunidos, desfrutando, juntos, destes momentos que nos são tão importantes.

A minha mãe Leonilde e meu irmão Fernando; pelo esforço, dedicação e compreensão, em todos os momentos desta e de outras caminhadas.

Ao meu orientador, professor Bugatti, pelo incentivo, compreensão, dedicação em todos os momentos deste trabalho.

*"Você pode encarar um erro como uma besteira a ser esquecida,
ou como um resultado que aponta uma nova direção".*

Steve Jobs

EGIDIO, Fabio Luiz. Micro-controlador para um Sistema Dinâmico de Controle de tráfego Urbano. 2011. 80f. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípedes de Marília, Fundação de Ensino “Eurípedes Soares da Rocha”, Marília, 2011.

RESUMO

A área de desenvolvimento de circuitos integrados digitais possui como uma das características a rápida evolução da tecnologia de microeletrônica e no desenvolvimento de pesquisas de novas matérias e processos para a integração de componentes eletrônicos, o que possibilita a construção de componentes cada vez mais velozes. No entanto, não é somente a tecnologia de microeletrônica que viabiliza a construção de processadores com grande capacidade e velocidade de processamento de informações, a área de arquitetura de computadores também exerce papel relevante nesse desenvolvimento. Além disso, a existência de componentes eletrônicos programáveis do tipo FPGA (Field Programmable Gate Arrays), permite a prototipação de subsistemas digitais eletrônicos de alta integração, que embasados em técnicas de síntese, projeto, implementação e validação de subsistemas digitais, possibilita ao Bacharel em Ciência da Computação atuar na área de desenvolvimento de hardware com desenvoltura e eficiência, satisfazendo a necessidade do mercado na área em questão. O objetivo geral deste projeto é dominar as técnicas de síntese, projeto, implementação e validação de subsistemas digitais de média e alta integração para gerar um micro-controlador de uso específico para o controle de trânsito realizado de forma dinâmica, adaptativa e em tempo real utilizando componentes programáveis do tipo FPGA.

Palavras-chave: Semáforo, Arquitetura de micro-controladores, engenharia de tráfego.

EGIDIO, Fabio Luiz. Micro-controlador para um Sistema Dinâmico de Controle de tráfego Urbano. 2011. 80f. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) – Centro Universitário Eurípedes de Marília, Fundação de Ensino “Eurípedes Soares da Rocha”, Marília, 2011.

ABSTRACT

The sector of the development of digital circuit integrated have one of features, the speed in development and search, what allows the implementation the components allows very faster. However, is not only the technology of micro electronic that's enable the construct of processors with big capacity and speed of processing the information, the area of organization and architecture of computers also has relevant paper in development In addition, the existence of electronic components programmable the type FPGA (Field Programmable Gate Arrays), allows the construct of eletronic components the high integration that grounded of techniques of synthesis, project, implementation and validations of digital subsystems, allows of Bacharel in Computer Science act in development of hardware that satisfies the necessities of work in area in question. The objective of project is domination techniques of synthesis, project, implementation and validation of digital subsystems of medium and high integration for generate on micro-controller of specific use for dynamic traffic controll with suport of tools of graphic description.

Keywords: Semaphore. Architecture of micro-controllers, Traffic engineering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Exemplo de malha viária	16
Figura 2- Semáforos convencionais	21
Figura 3- Semáforos sequenciais	22
Figura 4- Semáforos com display auxiliar	23
Figura 5- Controlador eletromecânico de tráfego	24
Figura 6- Controlador eletroeletrônico de tráfego	25
Figura 7- Controlador eletrônico microprocessado de tráfego	26
Figura 8- Detector por botão	27
Figura 9- Detector por radar	28
Figura 10- Detector por imagem	29
Figura 11- Exemplo de cruzamentos.....	30
Figura 12- Cruzamento com duas vias simples	30
Figura 13- Diagrama de cruzamento com duas vias simples	31
Figura 14- Cruzamento com duas vias duplas sem conversão à esquerda	31
Figura 15- Diagrama de cruzamento com duas vias sem conversão à esquerda	32
Figura 16- Cruzamento de uma via com sentido único e outra com sentido duplo	32
Figura 17- Diagrama de cruzamento via com sentido único e outra com sentido duplo	33
Figura 18- Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo uma via com conversão à esquerda	33
Figura 19- Diagrama de cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo uma via com conversão à esquerda	34
Figura 20- Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo duas vias com conversão à esquerda	34
Figura 21- Diagrama de cruzamento com duas vias de sentido duplo sendo duas vias com conversão a esquerda	35
Figura 22- Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo três vias com conversão à esquerda	35
Figura 23- Diagrama de cruzamento com duas vias de sentido duplo sendo três vias com conversão à esquerda	36
Figura 24- Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo todas vias com conversão à esquerda	36

Figura 25- Diagrama de cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo todas as vias com conversão à esquerda	37
Figura 26- Simulador com cruzamento de duas vias simples	43
Figura 27- Simulador com cruzamento de uma via simples e uma via dupla	43
Figura 28- Simulador com cruzamento de duas vias duplas	44
Figura 29- Exemplo de tempo de segurança	44
Figura 30- Arquitetura do micro-controlador	46
Figura 31- Diagrama do módulo de relação	47
Figura 32- Diagrama do módulo de cálculos	48
Figura 33- Diagrama do módulo de sequencia	49
Figura 34 – Constant	50
Figura 35- Exemplo de malha viária	51
Figura 36- CB4CLEd	52
Figura 37- Simulação CB4CLEd	52
Figura 38– CC16CLEd	53
Figura 39– Simulação CC16CLEd	54
Figura 40- CB2CLEdsemTCCEO	54
Figura 41- Estrutura interna CB2CLEdsemTCCEO	55
Figura 42– Simulação CB2CLEdsemTCCEO	55
Figura 43- CB3CLEdsemTCCEO	56
Figura 44- Simulação CB3CLEdsemTCCEO	56
Figura 45- Estrutura interna CB3CLEdsemTCCEO	57
Figura 46- ContadorSequencial4b	58
Figura 47- Estrutura interna ContadorSequencial4b	58
Figura 48- ContadorSequencial4b	58
Figura 49- Divisor16_2	59
Figura 50- Estrutura interna do Divisor16_2	59
Figura 51– Simulação Divisor16_2	60
Figura 52- ADD16	60
Figura 53- Simulação ADD16	61
Figura 54- ADSU16	61
Figura 55- Simulação ADSU16	62
Figura 56- COMPM4	62
Figura 57- Simulação COMPM4	63

Figura 58- COMPM16	63
Figura 59- Simulação COMPM16	64
Figura 60- COMP16	64
Figura 61- Simulação COMP16	65
Figura 62- Multiplex	65
Figura 63- Simulação Multiplex 32x16	66
Figura 64- Simulação Multiplex 64x16	66
Figura 65- Simulação Multiplex 128x16	67
Figura 66- Tempos	67
Figura 67- Estrutura interna tempos	68
Figura 68- Simulação Tempos	68
Figura 69- Detector8	69
Figura 70- Estrutura interna Detector8	70
Figura 71- Simulação Detector8	71
Figura 72- Semáforo	71
Figura 73- Estrutura interna semáforo	71
Figura 74- Simulação Semáforo	72
Figura 75- Relações	73
Figura 76- Controle de mudança de ciclo/relação	73
Figura 77- Controle de aumento/diminuição de ciclo	74
Figura 78- Seleção de relação de tempo de verde	74
Figura 79- Seleção de saída da relação de tempo de verde	74
Figura 80- Seleção da relação de tempo de ciclo	75
Figura 81- Relação de tempo de verde	76
Figura 82- Simulação Relações	76
Figura 83- Cálculos	77
Figura 84- Simulação Cálculos	78
Figura 85- Sequência	79
Figura 86- Diagrama de sequência	81
Figura 87- Simulação Sequência	82
Figura 88- Integração dos Subsistemas	85
Figura 89- Simulação Completa 1	86
Figura 90- Simulação Completa 2	87
Figura 91- Simulação Completa 3	88

Figura 92- Simulação Completa 4..... 89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TY: Tempo de Amarelo

TC: Tempo de Ciclo

TS: Tempo de Segurança

TG: Tempo de Verde

TR: Tempo de Vermelho

DENATRAN: Departamento Nacional de Trânsito

CONTRAN: Conselho Nacional de Trânsito

CFTB: Circuito Fechado de TV

IDE: Integrated Development Environment

FPGA: Field Programmable Gate Arrays

PAL : Programmable Array Logic

PIC: Programmable Interface Controller

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de Cálculos	40
Tabela 2 – Dados de entrada do simulador.....	42
Tabela 3 – Sequência de estados	80
Tabela 4- Sumário Xc3s50	83

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
OBJETIVOS	17
ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
CAPÍTULO 1 – SEMÁFOROS	19
1.1 Breve Histórico.....	19
1.2 Tipos de Grupos Semafóricos	20
1.3 Tipos de Controladores Semafóricos	24
1.4 Dispositivos para Sensoriamento do Tráfego	26
1.5 Tipos de Cruzamentos de Tráfego	29
1.6 Relações de Tempo.....	37
CAPÍTULO 2 – SIMULADOR	41
2.1 Liguagem C++	41
2.2 Funções	42
2.3 Simulação	43
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO	46
3.1 Definição e Descrição da Arquitetura	46
3.2 Relacao	46
3.3 Calculos	48
3.4 Sequencia	48
CAPÍTULO 4 –IMPLEMENTAÇÃO	50
4.1 Constante	50
4.2 Contadores	51
4.3 Operações Aritméticas	59
4.4 Comparações	62
4.5 Multiplexadores	65
4.6 Tempos	67
4.7 Detector dos Sensores	69
4.8 Semáforo	71
4.9 Relação	72
4.10 Cálculos	77
4.11 Sequencia	79

VALIDAÇÃO E SIMULAÇÃO	83
CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS	91

INTRODUÇÃO

O controle eficiente de tráfego urbano é um requisito e necessidade essencial em todas as cidades, independente de suas dimensões. Poucas iniciativas de realizar o controle de tráfego urbano obtiveram sucesso, pois além de abranger fatores multidisciplinares a solução envolve grandes investimentos em sistemas viários e fatores comportamentais dos usuários.

O sistema viário de uma cidade é uma malha fortemente conectada e qualquer evento ou ação em um ponto dessa malha tem consequências diretas na sua totalidade.

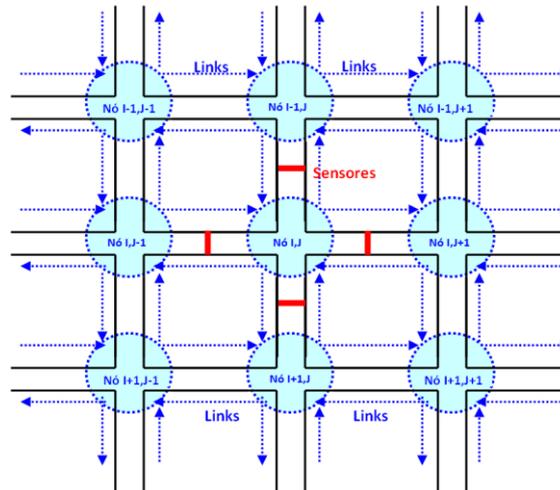
Com a utilização de circuitos eletrônicos programáveis do tipo PAL e FPGA e linguagens de descrição de hardware e/ou utilização de descrição gráfica viabilizam a construção de circuitos com alta integração tanto em laboratórios de pesquisa quanto em pequenas e medias empresas com finalidade de auxiliar sistemas e subsistemas de diversas áreas, por exemplo, o controle de tráfego urbano.

Os custos extremamente baixos na área de circuitos eletrônicos programáveis e linguagens de descrição de hardware torna possível o desenvolvimento sistemas digitais com alta integração de forma rápida e eficiente. No entanto, essa atividade demanda pessoal qualificado.

Essas características de baixo custo, poucas iniciativas de realização de controle de tráfego, viabilizam o desenvolvimento de um micro-controlador dedicado a controlar o nó de uma malha viária conforme mostra a figura 1. A malha viária apresentada para ilustrar a aplicação para a qual será desenvolvido o micro-controlador mostra um subconjunto de cruzamentos e cada cruzamento da malha viária é denominado nó. Cada nó contém um micro-controlador e um conjunto de semáforos. O micro-controlador de um nó está interligado aos micro-controladores dos nós vizinhos (esquerda, direita, acima e abaixo) e controlam os semáforos contidos nos nós. Além disso, existem sistemas de sensoriamento de fluxo de veículos distribuídos de forma estratégica em ruas da malha viária.

Visando estas situações, o projeto, propõe a implementação de um micro-controlador que tem como objetivo aperfeiçoar a temporização do semáforo de forma dinâmica, adaptativa e em tempo real com o objetivo de otimizar o fluxo de veículos através da malha viária de uma cidade.

Figura 1: Exemplo de malha viária



A figura 1 exemplifica uma malha viária, onde cada cruzamento que contém um semáforo é denominado nó. Esse nó será controlado pelo micro-controlador, objetivo do trabalho.

Os semáforos recebem informações geradas por sensores instalados em pontos estratégicos. A função dos sensores é realizar medições de fluxo de veículos para que os controladores dos semáforos realizem, de forma dinâmica, adaptativa e em tempo real, modificações nas temporizações dos semáforos. A forma adaptativa de modificar as temporizações das lâmpadas sinalizadoras (verde, amarelo, vermelho) dos semáforos otimiza os seguintes fatores: tempo de espera em semáforos; quantidade de paradas em semáforos; diminuindo, conseqüentemente, o tempo de percurso e quantidade de veículos em circulação, pois o micro-controlador irá controlar os tempos dos semáforos do nó, permitindo maior tempo de passagem de veículos na via com maior movimentação.

O micro-controlador implementado pode atuar em uma malha viária composta por grande quantidade de nós podendo controlar um conjunto de semáforos. Possibilitando um fluxo contínuo e natural de veículos em uma malha viária.

OBJETIVOS

A meta principal do trabalho apresentado, é a implementação de um micro-controlador de uso específico para o controle de um nó de uma malha viária. Para o desenvolvimento do micro-controlador foram utilizados os seguintes softwares/equipamentos:

- FPGA da família Spartan3, modelo Xc3s50, cujo fabricante é a Xilinx;
- Ferramenta Xilinx EDK 13.1;

O micro-controlador deverá trabalhar de forma dinâmica, adaptativa e em tempo real, atuando sobre as temporizações e controle de lâmpadas dos semáforos do nó. O trabalho apresentado foi implementado utilizando de descrição gráfica de componentes, sendo os mesmos integrados, simulados e validados com a finalidade de resultarem em macros, para a obtenção do micro-controlador objetivo do trabalho.

ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi organizado por capítulos da seguinte maneira:

- **Semáforos:** São descritos conceitos básicos de funcionamentos de semáforos, tipos de semáforos e controladores de semáforos; tipos de sensores utilizados; e por fim as fórmulas que foram utilizadas para a implementação do micro-controlador.
- **Simulador:** É descrito a implementação de um simulador que foi desenvolvido com a finalidade de validação de fórmulas e dimensionamento de componentes que foram utilizados no micro-controlador.
- **Métodologia de Desenvolvimento:** O capítulo descreve a forma que o micro-controlador está organizado, pelos principais módulos que foram implementados do micro-controlador.
- **Implementação:** O Capítulo aborda de forma detalhada a função de cada componente utilizado para o desenvolvimento do micro-controlador, assim como as simulações dos mesmos.
- **Validação e Simulação:** É descrita a integração dos módulos resultantes do capítulo de implementação, assim como a simulação e validação do micro-controlador obtido.
- **Conclusão:** É descrita a conclusão dos resultados obtidos pela validação e simulação do micro-controlador, assim como propostas novas funcionalidades para o desenvolvimento de trabalhos futuros do micro-controlador.

CAPÍTULO 1 – SEMÁFOROS

Neste capítulo, será abordado desde um breve histórico dos semáforos; os tipos de semáforos que variam desde: simples (padrão) até com display auxiliares. Ele também demonstrará os cruzamentos e seus tipos, e por fim ele abordará às formulas que serão utilizadas para a geração dos tempos das lâmpadas dos semáforos.

1.1. Breve Histórico

A utilização de semáforos é realizada mundialmente há mais de dois séculos. O primeiro semáforo que se teve notícia, foi instalado na Inglaterra em 1868 em frente ao parlamento inglês. Embora sua função fosse a de ordenar os direitos de passagem, este dispositivo era muito diferente dos que conhecemos hoje, pois possuía dois braços móveis que se moviam através de cabos de uma torre, este semáforo possuía duas lâmpadas de gás, com uma luz verde e outra vermelha. Ele não teve um ciclo de vida muito longo, pois logo após sua instalação ocorreu um acidente com o semáforo provocando a morte do agente de trânsito que o operava o ocasionando aversão e não utilização por quase meio século na Inglaterra (Clowes, 1980).

James Hoge, inventou o semáforo elétrico, nome como até hoje é referenciado e conhecido. O semáforo de James Hoge foi utilizado em Cleveland em 1914. Esta invenção criou o semáforo a três cores, o qual se propagou nos Estados Unidos no começo da década de 20. A utilização de semáforos interligados foi utilizado pela primeira vez na cidade de Salt Lake City em 1917. Um sistema progressivo (também conhecido como onda verde) foi proposto em 1922. (HOMBURGUER et al., 2007).

Com a necessidade do uso e benefícios gerados, os semáforos são utilizados no mundo todo. Conseqüentemente dada a diversidade de fabricantes e formas de apresentações, os países que mais utilizam o recurso, geraram normas e padronizações.

O Manual de Semáforos no Brasil teve sua primeira edição em 1979. Atualmente ele se encontra na segunda edição, o órgão responsável pelo seu desenvolvimento é o CONTRAN em conjunto com a Companhia de Tráfego do município de São Paulo. (DENATRAN, 1984).

O objetivo do manual é fornecer aos técnicos da programação semafórica de uma cidade, um ferramental teórico/prático para auxiliar no cumprimento de seus princípios:

organizar o trânsito de veículos; otimizar o tempo de percurso, diminuição de paradas em semáforos e conseqüentemente diminuir o consumo de combustível, melhorando a qualidade do ar nas grandes cidades.

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro a sinalização semafórica tem a função de efetuar o controle de trânsito num cruzamento ou seção de via, através de indicações luminosas, alterando o direito de passagem dos vários fluxos de veículos e/ou pedestres (DENATRAN, 2008).

Abaixo seguem as definições das funções que constam no Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 2008) Anexo II para o semáforo veicular:

- O verde indica permissão de passagem (prosseguir em marcha);
- O amarelo significa “atenção” e indica a mudança de situação do direito de passagem;
- E o vermelho indica parada obrigatória.

No Brasil as indicações luminosas seguem a seguinte sequência: vermelho; verde; amarelo. Diferente de países como Reino Unido, Hong Kong, China Central, Paquistão, Alemanha, Polônia, Dinamarca, Groelândia e Israel. Onde em alguns momentos a lâmpada amarela e vermelha do mesmo semáforo fica acesa ao mesmo tempo (Vilanova, 2007).

1.2. Tipos de Grupos Semafóricos

A partir da década de 90, surgiu uma diversidade de alternativas e tipos de semáforos entre as mais relevantes está o semáforo sequencial. O semáforo sequencial fornece informações adicionais ao simples direito de passar ou não por um cruzamento controlado por um semáforo. Estes novos dispositivos informam, de formas distintas, o tempo restante para cada estado do semáforo. Os princípios de funcionamento deste tipo de dispositivo e dos semáforos utilizados no Brasil são apresentados a seguir.

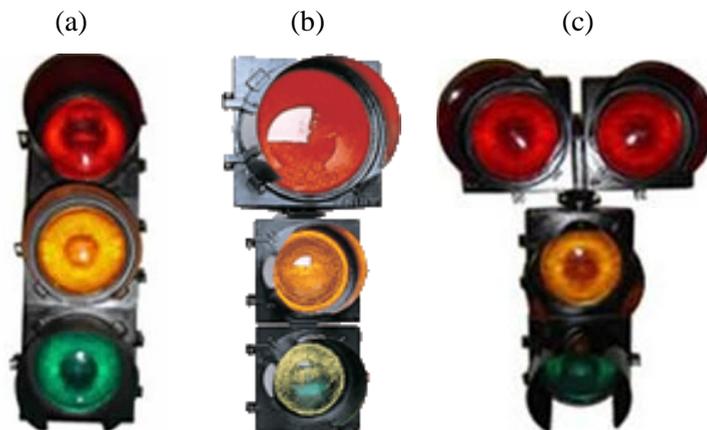
1.2.1. Semáforo Convencional

O semáforo é o conjunto de grupos focais e respectivos suportes, responsável por executar a sinalização semafórica numa interseção ou seção de via (Ejzenberg, 1997). Desta forma o semáforo convencional veicular é composto de três cores (vermelho,

amarelo e verde), que a alternar encontraram os direitos de passagem de cada fluxo de cada via, em determinados tempos distintos e determinados (Shiroidenki, 2011).

A figura 2 mostra alguns modelos de grupos semafóricos mais utilizados no Brasil, ilustrando o semáforo para pedestre em formato quadrado, que também existe no formato redondo.

Figura 2: Semáforos Convencionais.



A figura 2 mostra também alguns tipos de semáforos veiculares, com algumas variações, por exemplo, o modelo “I”(figura 2a e figura 2b). Observa-se também uma variação nos tamanhos das lentes (ou focos) disponíveis em 200mm, que é mais usual nos centros urbanos, e 300mm mais utilizados em rodovias ou vias expressas. É possível também uma combinação de diferentes tamanhos de focos, como é mostrado na Figura 2a e Figura 2b, onde o foco de 300mm aplicado ao vermelho e nos demais em 200mm. Ainda outra variação encontrada em algumas cidades é a adoção de dois focos para o vermelho e os demais com apenas um, é chamado de semáforo modelo “T” como demonstrado na Figura 2c (Cobrasin, 2011).

1.2.2. Semáforo sequencial ou com informação de tempo

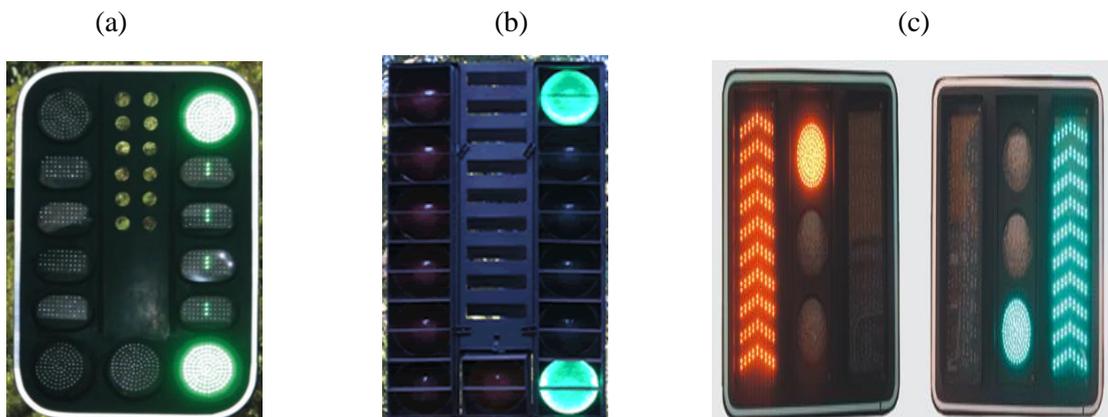
Estes tipos de semáforos fornecem aos usuários, motoristas e pedestres informações sobre o tempo restante das cores vermelha e verde. Dois modelos mais conhecidos são abordados na sequência, sendo o primeiro conhecido como “semáforo sequencial” e o segundo como “semáforo com display auxiliar”.

1.2.2.1. Semáforo Sequencial

Este dispositivo apresenta uma aparência bastante distinta do semáforo convencional, inclusive pelo seu maior número de lâmpadas verdes e vermelhas. Ele foi concebido como um semáforo convencional com as luzes na horizontal, sendo o vermelho à esquerda, o verde à direita (SDM, 2011). Sobre o vermelho e o verde seguem verticalmente uma fila diversas lâmpadas, como mostra a Figura 3.

O seu princípio de funcionamento é baseado no acendimento de duas lâmpadas simultâneas de mesma cor, sendo que acendem a do extremo inferior e a do extremo superior. Esta última será responsável por deslocar-se para baixo naquela fila, sempre apagando a atual e acendendo a seguinte. Esta cadência inicia-se quando estiver terminando o tempo daquela fase. Quando apagar a última lâmpada antes da principal encerra-se aquela fase e inicia-se próxima, que será executada da mesma forma. Os tempos definidos para cadência são calculados proporcionalmente a partir do tempo total daquela fase (verde ou vermelho), (SERTTEL, 2011).

Figura 3: Semáforos Sequenciais.



Vantagens apresentadas para este tipo de semáforo:

- Aumento da capacidade de visualização, o tempo de verde efetivo é maior e o tempo de verde perdido é menor, pois o motorista utiliza o verde desde o início com maior segurança (Beck, 1995).
- Redução de estresse dos motoristas, causado pela expectativa da mudança na cor dos semáforos convencionais que ocorrem a qualquer momento.

- Quando em sistemas coordenados ou sincronizados de onda verde, estes semáforos informam aos motoristas a sua posição nela, permitindo desta forma ajustar a velocidade.
- Redução de acidentes causados por colisões e atropelamentos.

Desvantagens apontadas:

- Não é totalmente compatível com diversos controladores de tráfego existentes no mercado e já instalados, inviabilizando a simples substituição do semáforo convencional;
- Possui maior custo que um semáforo convencional;
- Possui maior numero de lâmpadas muito elevadas aumentando os custos de manutenção;

1.2.2.2. Semáforo com Display auxiliar

Este semáforo baseia-se num princípio muito semelhante ao sequencial do ponto de vista da informação, porém ele é composto do semáforo convencional com um display normalmente numérico acoplado ao seu lado, que informa o tempo restante de todas as cores verde e vermelha para o motorista. A figura 4 mostra um semáforo com display auxiliar dotado com LEDs de alta intensidade instalado na cidade de Marília no cruzamento entre a rua 9 de julho e avenida Sampaio Vidal. O display construído com LEDs de alta intensidade é controlado por um contador registrador decremental. O contador gera uma sequencia de contagem decrescente e trabalha com frequência de 60Hz, ou seja o display, é em um determinado instante, temporalmente, medido em segundos, para que aconteça a mudança de cores do semáforo. As vantagens e desvantagens apresentadas são muitos similares ao do semáforo sequencial.

Figura4: Semáforos com Display Auxiliar.



1.3. Tipos de Controladores Semafóricos

Os controladores de tráfego tem como função o controlador de tempos de cada lâmpada que serão acionadas nos semáforos. Este controle pode ser obtido de forma analógica baseada em um motor, ou de forma digital, baseada em micro-controladores. Assim os controladores de tráfego em três tipos básicos, os controladores eletromecânicos, eletroeletrônicos e eletrônicos micro-controlados (Stolte, 2005).

1.3.1. Controlador Eletromecânico

O controlador eletromecânico foi desenvolvido há mais de quarenta anos, em sua época foi considerado um sistema revolucionário e confiável. Seu princípio de funcionamento baseia-se de num motor síncrono, que gira a 60 ciclos por segundos (ou 60 Hz), permitindo assim a obtenção de uma frequência de medida, em unidades de segundos com uma precisão razoável, pois a frequência é baseada na frequência da rede elétrica. O funcionamento deste sistema baseia-se em engrenagens acopladas a um motor que controla as lâmpadas do semáforo através do seu movimento de rotação e com auxílio de engrenagens atua em contatos que acendem e apagam as lâmpadas do semáforo. O tempo do semáforo é configurado conforme a quantidade de aletas (dentes) nas engrenagens.

Figura 5: Controlador Eletromecânico de Tráfego. Fonte (Cucci, 1999).



1.3.2. Controlador Eletroeletrônico

Os controladores eletromecânicos foram desenvolvidos para substituir os eletromecânicos. Seu princípio de funcionamento é baseado na utilização de circuitos digitais em uma placa lógica que é responsável pela temporização das fases e o controle das lâmpadas é realizado com uso de micro-chaves. Com isso foi eliminado o motor síncrono.

A maioria desses equipamentos funciona em apenas um plano de tempos das lâmpadas, da mesma forma que o eletromecânico, só alterando os tempos ao longo do dia, com o auxílio de outro equipamento que envie informações alterando o plano.

Figura 6: Controlador eletroeletrônico de tráfego.



1.3.3. Controlador Eletrônico Microprocessado

Com a introdução dos microprocessadores, possibilitou o aumento da capacidade computacional e conseqüentemente incrementou as funções executadas pelos controladores de tráfego, por exemplo: monitoramento de falhas dos dispositivos vulneráveis como lâmpadas; sensores; e detectores. Os controladores microprocessados, permitem a

programação de vários planos de determinada interseção (nós, cruzamento), assim como sua manutenção é facilitada graças a recursos de autodiagnostico (TESC, 2011).

Figura 7: Controlador Eletrônico Microprocessado de Tráfego.



1.4. Dispositivos para Sensoriamento do Tráfego

A eficiência operacional de um sistema controle de tráfego adaptativo depende da sua capacidade de sensoriamento de presença de tráfego. O sensoriamento é realizado por dispositivo denominados como sensores ou detectores.

Os detectores podem ser utilizados de forma isolada ou em conjunto medindo variáveis como: volume de tráfego, presença de veículos, velocidade de deslocamento e taxa de ocupação. Estas medidas são utilizadas como parâmetros de controle para intersecções atuadas ou em sistemas de controle de trafego adaptativos. As decisões normalmente são tomadas pelo controlador local ao qual está conectado o detector, ou pelo sistema de controle centralizado realimentado, a partir dos dados de entrada obtidos pelos sensores, que serão processados e comparados a parâmetros de controle pré-programados. A decisão resultará em prováveis alterações, nas fases e tempos de acionamento das lâmpadas das intersecções.

Os detectores utilizados operam em dois princípios básicos: força mecânica e variação de energia.

Os itens que seguem mostram os principais detectores utilizados atualmente.

1.4.1. Detector de Pressão e Detector por Botão

Nos detectores veiculares por pressão, o peso do veículo causa um fechamento de placas de contato seladas em uma chapa de pressão emborrachada, que envia esta

informação a um controlador. As lâminas de contato são fechadas com o peso do veículo quando este se desloca sobre o detector. Desta forma o detector por pressão opera satisfatoriamente todos os tipos de veículos. Uma estrutura metálica instalada no pavimento provê o suporte para a chapa de pressão emborrachada fixando-o no piso. (FHWA, 1976).

Em certos locais, onde o controle de trafego de pedestre é necessário. Também são utilizados detectores de botão. Esse tipo de controle de passagem de pedestres é denominado “botoeira” (FHWA, 1976). Este tipo de detector deve ser aplicado preferencialmente em locais onde exista uma grande demanda com alta variação de intensidade, pois permite a interrupção do trafego veicular nos momentos de maior demanda de pedestres e não interrompe o fluxo quando não existe demanda, por exemplo, em proximidade de escolas.

Figura 8: Detector por Botão.



O acionamento deste detector é ativado pelo usuário através do pressionamento de um botão que informa ao controlador de trafego uma solicitação de direito de passagem (CONTRANSIN, 2011). A solicitação é atendida em momentos pré-definidos do ciclo no plano em execução, evitando com isto uma perda de sincronismo entre as interseções de uma rede semafórica coordenada.

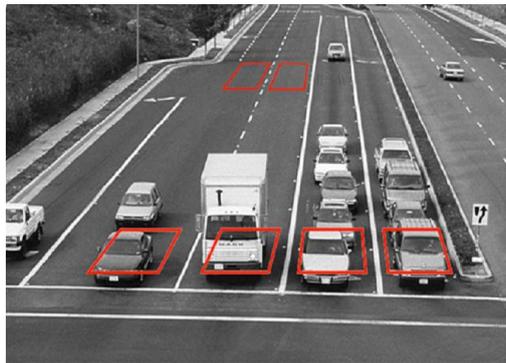
1.4.2. Detectores Magnéticos e Detectores por Laço Indutivo

Os detectores magnéticos operam baseados na variação das linhas de fluxo do campo magnético terrestre. Um rolo de fio com corpo de altíssima permeabilidade magnética são instalados abaixo da superfície do pavimento. Quando um objeto metálico, como um veículo, se aproxima ou passa sobre este sensor, as linhas de fluxo constantes do campo magnético são deflexionadas pelo veículo. Isto causa uma variação na tensão

1.4.4. Detectores por Imagem

O detector por imagem conhecido como “laços virtuais” tem como princípio de funcionamento a utilização de algoritmos para processamento de imagens. Estes detectores permitem a identificação digital da presença de veículos em determinado ponto (laço). As imagens processadas por estes algoritmos são obtidas através de câmeras instaladas nos cruzamentos (nó). Os laços são “virtualmente” inseridos na imagem em pontos e são analisados e processados através de um software. Com a combinação de vários pontos de detecção é também possível medir: presença, ocupação, velocidade, tamanho de fila e detecção de acidentes. (Iteris, 2004).

Figura 10: Detector por Imagem.



A utilização deste tipo de detector traz diversas vantagens, como por exemplo, além da detecção a possibilidade de observação visual das vias monitoradas, em tempo real, por operadores do Centro de Controle (Iteris, 2007).

1.5. Tipos de Cruzamento e Relações de Tempos de Semáforos

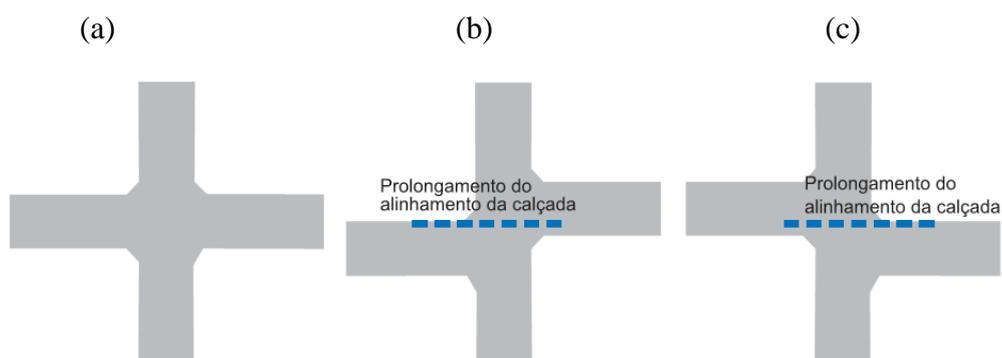
Como a sequência de indicação de cores de um semáforo é verde, amarelo, vermelho e novamente verde. Esta sequência aplicada a uma ou mais correntes de tráfego (movimento) de uma via de sinalização, é denominada fase. O tempo total, em segundos, para a completa sequência de sinalização, numa interseção, é denominado ciclo. Em alguns semáforos além das fases de vermelho, verde e amarelo, existe uma adicional chamada de Vermelho Total “vermelho de segurança”, onde todos os semáforos permanecem com as lâmpadas vermelhas acesas por determinado período de tempo, a fim de garantir maior segurança entre os veículos que estão terminando a ultrapassagem da via (DENATRAN,1984).

Um dos vários períodos de tempo dentro do ciclo é denominado estágio ou intervalo, e durante esse período as indicações luminosas do cruzamento como um todo não mudam de aspecto, e uma ou mais correntes de tráfego e/ou pedestres tem direito de passagem, como veremos nas figuras a seguir.

Em termos de duração, o tempo verde de uma fase geralmente não deve ser inferior a 15 segundos (DENATRAN, 84).

Considera-se cruzamento de vias a situação em que a geometria do local tem configuração similar aos exemplos a seguir:

Figura 11: Exemplo de Cruzamentos (CONTRAN, 2007)

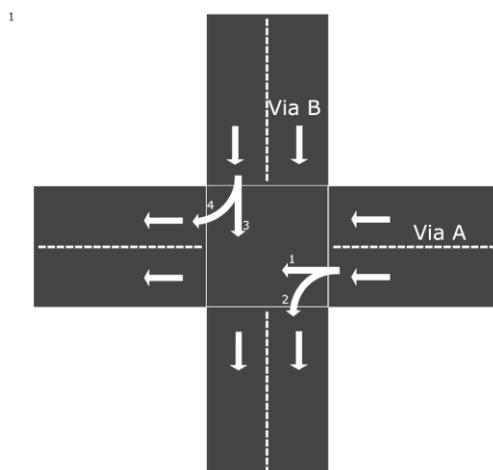


A partir exemplo da figura 11, podemos ter as seguintes situações de cruzamentos descritas a seguir.

1.5.1 Cruzamento de duas vias de sentido único

Esse tipo de cruzamento ocorre quando cada uma das vias possui sentido único, podendo apenas seguir em frente ou efetuar uma única conversão à direita na via como demonstrado na figura 12.

Figura 12: Cruzamento com Duas Vias Simples



No cruzamento da figura 12, podemos observar que o cruzamento possui 4 movimentos diferentes, neste caso podemos definir o seguinte diagrama de estágios.

Figura 13: Diagrama de Cruzamento com Duas Vias Simples



Como é observado na figura 13, neste tipo de cruzamento são necessários apenas dois estágios, sendo um estágio com os movimentos 1 e 2; e o outro estágio com os movimentos 3 e 4.

1.5.2. Cruzamento de duas vias de sentido duplo sem conversão à esquerda

Esse tipo de cruzamento ocorre quando cada uma das vias possuem dois sentidos, quando ocorre esse tipo de cruzamento, não ocorrendo conversão à esquerda das vias, o funcionamento dele é idêntico ao do cruzamento com duas vias de sentido único. Como demonstrado na figura 12.

Figura 14: Cruzamento com Duas Vias Duplas sem Conversão à Esquerda.

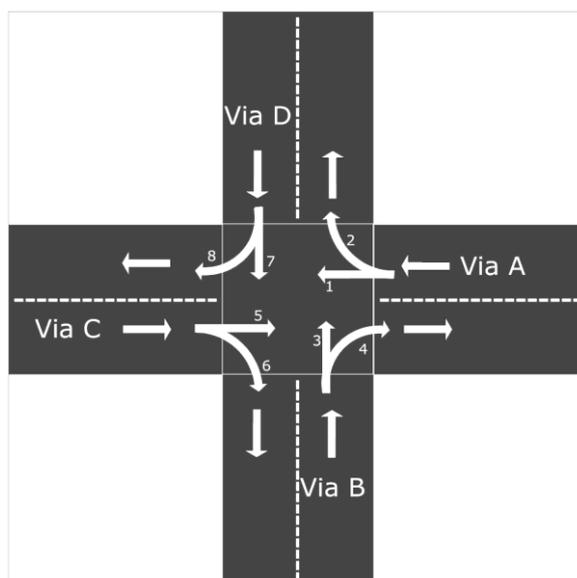
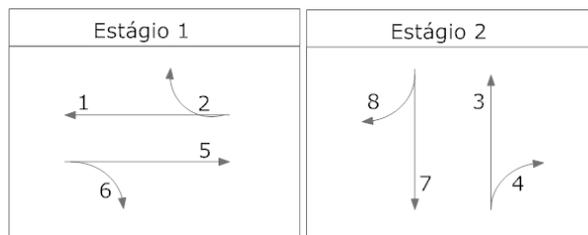


Figura 15: Diagrama de Cruzamento com Duas Vias Duplas sem Conversão à Esquerda.



Como é observado na figura 15, neste tipo de cruzamento são necessários apenas dois estágios, sendo um estágio com os movimentos 1, 2, 5 e 6; e o outro estágio com os movimentos 3, 4, 7 e 8.

1.5.3. Cruzamento de uma via de sentido único e outra com sentido duplo

Esse tipo de cruzamento pode ocorrer de duas maneiras; quando uma via continua o fluxo normal, ou quando uma via se encerra “final de rua”, no segundo caso o cruzamento também é conhecido como cruzamento em T, como demonstrado na figura 16(a) e figura 16(b). Podemos observar na figura 16(a) que a via de sentido único pode efetuar os movimentos de conversão à esquerda, conversão à direita e seguir em frente. Porém a via de sentido duplo não pode converter para a via de sentido único, podendo apenas efetuar a conversão para o lado oposto da via de sentido único. Como podemos observar na figura 16(b), a via C possui conversão à esquerda, esta situação ocorre por não haver conflito com outra via no momento de passagem de veículos. O funcionamento deste tipo de cruzamento é idêntico ao demonstrado anteriormente na figura 12.

Figura 16: Cruzamento de Uma Via com Sentido Único e Outra Via com Sentido Duplo

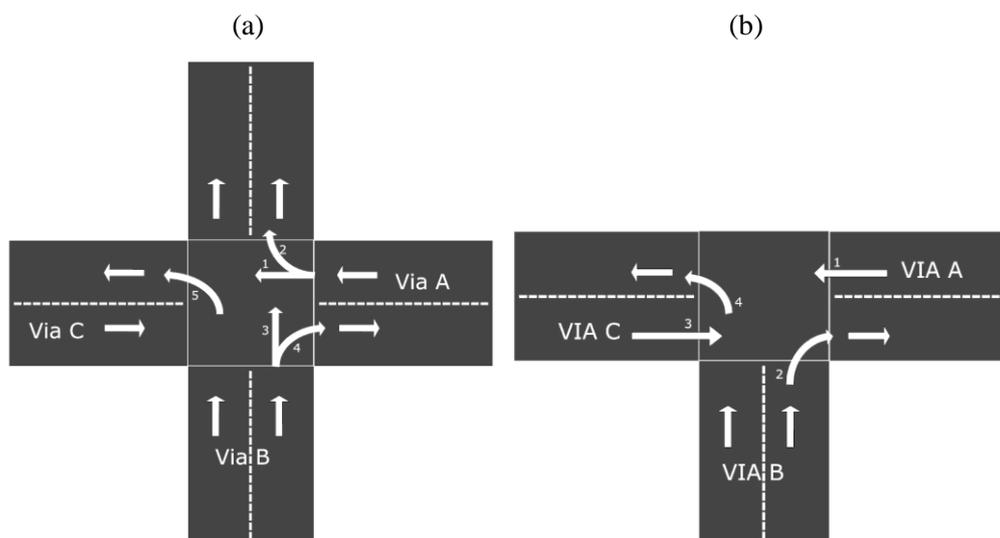
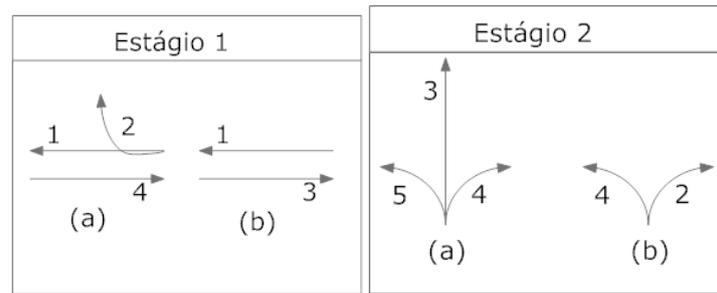


Figura 17: Diagrama de Cruzamento Via com Sentido Único e Outra com Sentido Duplo.



Como é observado na figura 17, neste tipo de cruzamento são necessários apenas dois estágios, sendo o estágio 1 com os movimentos 1, 2, e 4 para a figura 17(a); 1 e 3 para a figura (b); e o estágio 2 com os movimentos 3, 4, e 5 para a figura 17(a) e 2 e 4 para a figura 17(b).

1.5.4. Cruzamento de duas vias de sentido duplo com uma das vias possuindo conversão à esquerda.

Esse tipo de cruzamento ocorre quando uma das vias necessita que haja conversão à esquerda. Quando ocorre esta situação, é necessária a utilização de um estágio adicional e um semáforo auxiliar de conversão para que não haja conflito de vias dentro do cruzamento como, por exemplo: o conflito entre a via B e a via D, como podemos verificar na figura 18.

Figura 18: Cruzamento com Duas Vias de Sentido Duplo, sendo uma Via com Conversão à Esquerda.

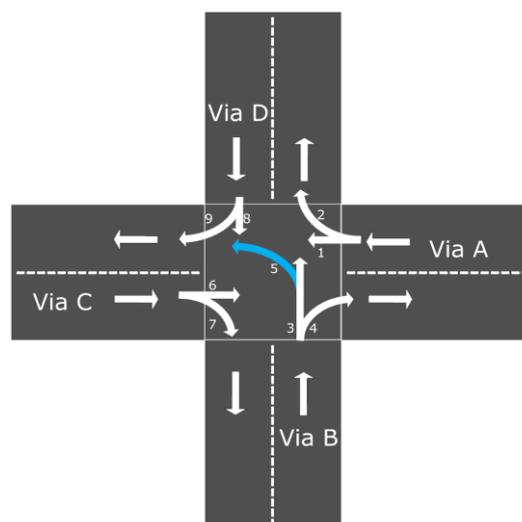
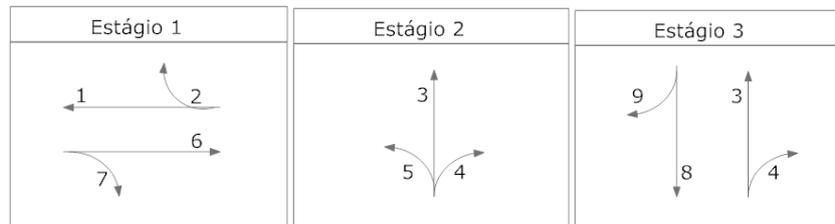


Figura 19: Diagrama de Cruzamento com Duas Vias de Sentido Duplo, sendo uma Via com Conversão à Esquerda.



Como é observado na figura 19, neste tipo de cruzamento são necessários três estágios, sendo um estágio com os movimentos 1, 2, 6, 7; outro com 3, 4, 5; e outro com 3, 4, 8 e 9. Essa situação com três estágios geralmente ocorre quando é necessário o uso de conversão à esquerda numa das vias do cruzamento.

1.5.5. Cruzamento de duas vias de sentido duplo com duas das vias possuindo conversão à esquerda.

Esse tipo de cruzamento ocorre quando duas das vias necessitam de conversões à esquerda. Quando ocorre esta situação, é necessária a utilização de um semáforo auxiliar para cada via que terá a conversão para que não haja conflito de vias “(via B e via D; e via A e via C)” dentro do cruzamento, como podemos verificar na figura 20.

Figura 20: Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo duas vias com conversão à esquerda.

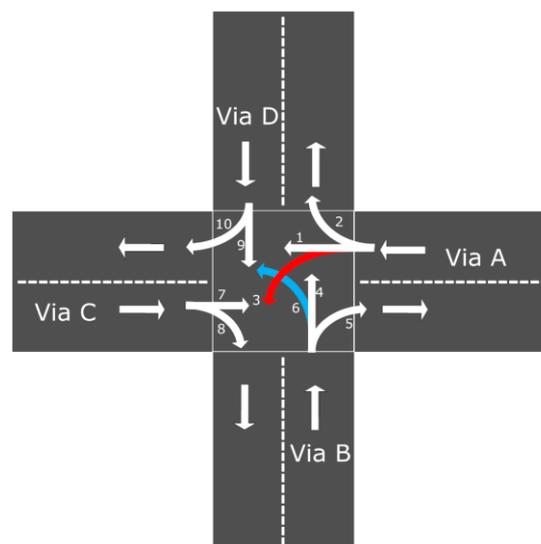
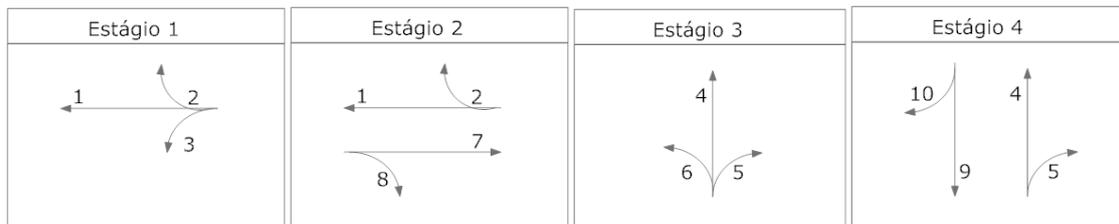


Figura 21: Diagrama de Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo duas vias com conversão à esquerda.



Como é observado na figura 21, neste tipo de cruzamento são necessários quatro estágios, sendo um estágio com os movimentos 1, 2, e 3; outro com 1, 2, 7 e 8; outro com 4, 5 e 6; e outro com 4, 5, 9 e 10. Este tipo de situação com quatro estágios geralmente ocorrem quando é necessário o uso de conversão à esquerda em duas vias do cruzamento.

1.5.6. Cruzamento de duas vias de sentido duplo com três vias possuindo conversão à esquerda.

Esse tipo de cruzamento ocorre quando três das vias necessitam de conversões à esquerda. Quando ocorre esta situação, é necessária a utilização de um semáforo auxiliar para cada via que terá a conversão para que não haja conflito de vias “(via B e via D; via A e via C; e via C e via A)” dentro do cruzamento, como podemos verificar na figura 22.

Figura 22: Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo três vias com conversão à esquerda.

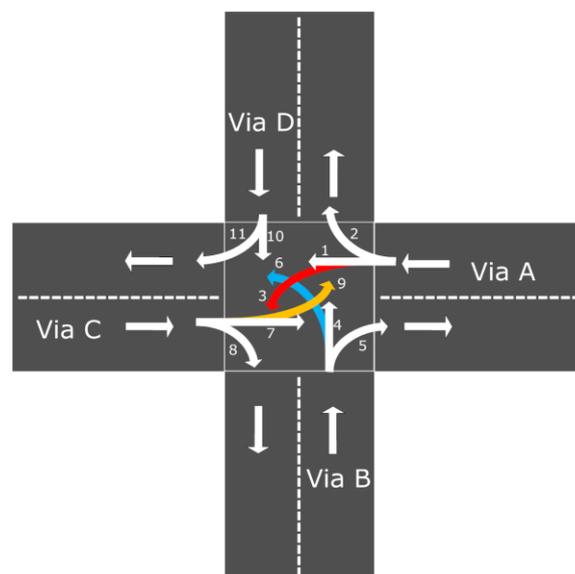
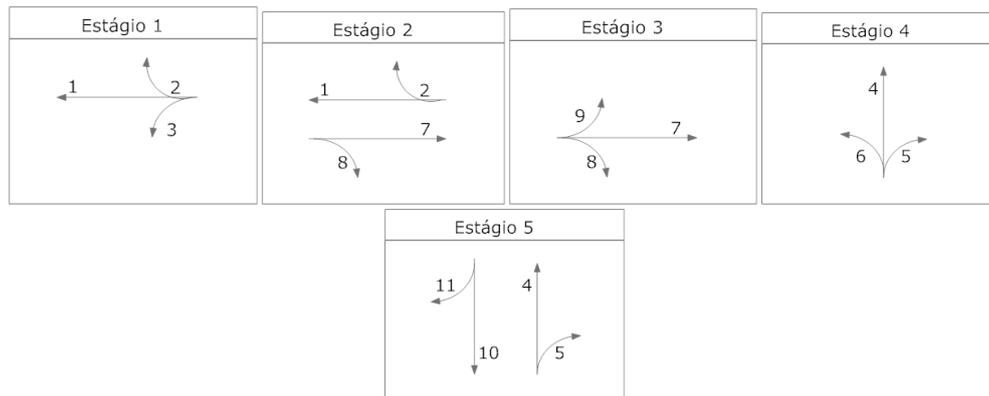


Figura 23: Diagrama de Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo três vias com conversão à esquerda.



Como é observado na figura 23, neste tipo de cruzamento são necessários cinco estágios, sendo um estágio com os movimentos 1, 2, e 3; outro com 1, 2, 7 e 8; outro com 7, 8 e 9; outro com 4, 5 e 6; e outro com 4, 5, 10 e 11. Este tipo de situação com quatro estágios geralmente ocorrem quando é necessário o uso de conversão à esquerda em três vias do cruzamento.

1.5.7. Cruzamento de duas vias de sentido duplo, sendo todas as vias possuindo conversão à esquerda.

Esse tipo de cruzamento ocorre quando todas as quatro das vias necessitam de conversões à esquerda. Quando ocorre esta situação, é necessária a utilização de um semáforo auxiliar para cada via que terá a conversão para que não haja conflito de vias “(via B e via D; via D e via B; via A e via C; e via C e via A)” dentro do cruzamento, como podemos verificar na figura 24.

Figura 24: Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo todas vias com conversão à esquerda.

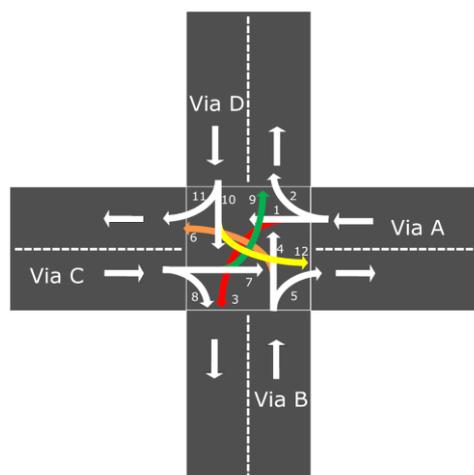
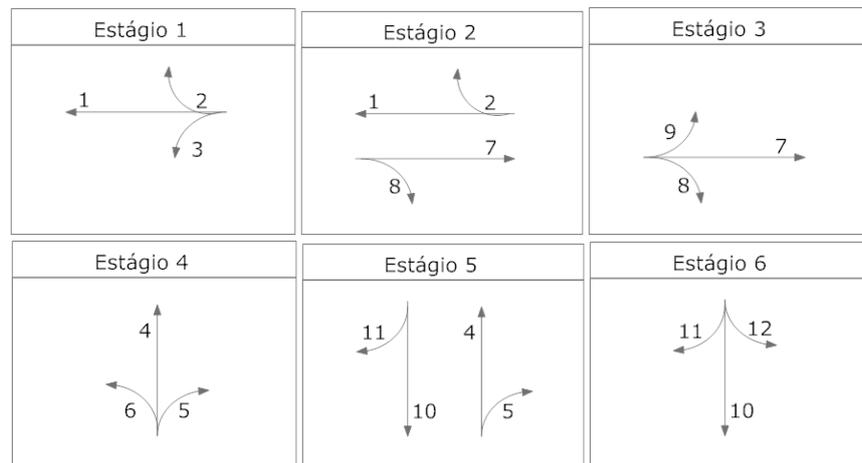


Figura 25: Diagrama de Estágios de Cruzamento com duas vias de sentido duplo, sendo todas vias com conversão à esquerda.



Como é observado na figura 25, neste tipo de cruzamento são necessários seis estágios, sendo um estágio com os movimentos 1, 2, e 3; outro com 1, 2, 7 e 8; outro com 7, 8 e 9; outro com 4, 5 e 6; outro com 4, 5, 10 e 11; e outro com 10, 11 e 12. Este tipo de situação com quatro estágios geralmente ocorrem quando é necessário o uso de conversão à esquerda em quatro vias do cruzamento. Este tipo de cruzamento é extremamente raro de ser utilizado, por sua maior complexidade no controle de tráfego urbano. Porém este tipo de cruzamento é completo, pois engloba todos os outros cruzamentos citados anteriormente.

1.6. Relações de Tempo

Podemos classificar o tempo de cada lâmpada de um semáforo da seguinte maneira.

- Tempo de Verde;
- Tempo de Amarelo;
- Tempo de Vermelho;
- Tempo de Segurança;

A partir deste momento iremos tratar o tempo de verde como TG “Tempo de Green”, o tempo de Amarelo como TY “Tempo de Yellow”, tempo de vermelho como TR “Tempo de Red”, tempo de vermelho total “segurança” como TS “tempo de segurança”, e o tempo de ciclo como TC “tempo de ciclo”. Iremos utilizar esta analogia

com nomes em inglês para que não ocorra confusão em decorrência dos tempos de vermelho e tempo de verde.

O Tempo de ciclo “TC” é a soma de todos os tempos de um semáforo do cruzamento; sendo assim a fórmula do TC é a seguinte.

$$TC = TY + TR_x + TG_x + TS$$

Onde:

“x” indica o semáforo que esta sendo utilizado para o cálculo.

TS se trata de um valor constante, sendo o mesmo valor para todos os semáforos do cruzamento.

TY se trata de um valor constante, sendo o mesmo valor para todos os semáforos do cruzamento.

Para os cálculos dos semáforos, serão utilizadas as seguintes fórmulas:

- Semáforo 1:

- Verde

$$TG1 = TC/y$$

Onde:

TC = Tempo de Ciclo

y = Porcentagem de tempo de ciclo. Exemplo: 50%.

- Amarelo

$$TY$$

- Vermelho

$$TR1 = TC - TS - TY - TG1$$

Onde:

TR1 = Tempo de vermelho do semáforo 1

TG1 = Tempo de verde do semáforo 1.

- Semáforo 2:

- Verde

$$TG2 = TC - (TR2 + TS + TY)$$

Onde:

TR2 = Tempo de vermelho do semáforo 2

- Amarelo

$$TY$$

Onde:

TY = Tempo de Amarelo, será utilizado como valor constante, sendo o mesmo tempo de amarelo para todos os semáforos do cruzamento.

- Vermelho

$$TR2 = TC - TR1$$

Onde:

TR1 = Tempo de verde do semáforo 1, deve ser da via que esta cruzando a via do semáforo 2.

As fórmulas relacionadas acima foram utilizadas para a geração de tempos dos cruzamentos que não possuem conversões à esquerda. Para as conversões à esquerda foi utilizada a seguinte fórmula, além das fórmulas citadas acima para obtenção dos valores utilizados abaixo.

- Verde de Conversão

$$TGConv_x = TG_x/z$$

Onde:

$TGConv_x$ = Tempo de Verde de Conversão da via X.

TG_x = Tempo de Verde da via X.

z = Porcentagem de tempo de verde. Exemplo: 50%.

- Vermelho de Conversão

$$TRConv_x = TC - TG_x$$

Onde:

$TRConv_x$ = Tempo de Vermelho da Conversão X.

Ocorrendo alguma conversão no cruzamento a via de sentido oposto à via com conversão; sofre redução de tempo de verde por causa da via com a conversão. Segue abaixo a fórmula para o cálculo de tempo de verde para a via oposta a via com conversão à esquerda.

$$TG_x = TG_{x1} - (TGConv_z + TS)$$

Onde:

TG_x = Tempo de Verde da via X

$TGConv_z$ = Tempo de Verde de conversão da via oposta a via X

TS = Tempo de Segurança

O tempo de segurança “TS” foi utilizado para maior segurança de travessia dos veículos, pois nos semáforos de conversão não possuem a lâmpada amarela. Na Tabela 1 apresenta alguns exemplos dos valores calculados, os valores da tabela, estão representando o tempo de duração das lâmpadas acesas em segundos.

Tabela 1: Exemplo de Cálculos

TC	TC/y	TS	TY	TR1	TRConv1	TG1	TGConv1	TR2	TRConv2	TG2	TG2Conv	TR3	TG3	TR4	TG4
90	45	5	5	35	-	45	-	55	-	25	-	35	45	55	25
90	56	5	5	24	-	56	-	66	-	14	-	24	56	66	14
90	33	5	5	47	-	33	-	43	-	37	-	47	33	43	37
90	22	5	5	58	-	22	-	32	-	48	-	58	22	32	48
90	45	5	5	35	74	45	16	55	81	25	9	51	29	64	16
90	56	5	5	24	69	56	21	66	85	14	5	45	35	81	9
90	33	5	5	47	78	33	12	43	77	37	13	54	26	61	19

A tabela 1 apresenta os cálculos dimensionados para um controlador com quatro semáforos, sendo dois semáforos possuindo ou não conversão à esquerda. O cálculo da relação esta representado com o resultado direto da fórmula “TC/y”. As relações utilizadas foram respectivamente: 50%; 52,5%; 37,5%; 25%; 50%; 52,5% e 37,5%. Para os cálculos das conversões, foi utilizado o valor constante de 37,5%.

CAPÍTULO 2 – SIMULADOR COM INTERFACE GRÁFICA

Nesse capítulo contém a descrição simulador do implementado com a finalidade de aprendizado, que gerou subsídios para sintetizar e dimensionar a arquitetura do controlador de semáforos implementado.

Para que fosse possível dimensionar e encontrar formas de dimensionar e até aperfeiçoar os subsistemas que serão necessários para a implementação do micro-controlador, antes da implementação do micro-controlador, foi implementado um simulador com interface gráfica utilizando a linguagem C++ para que fosse possível obter uma prévia de como seria o comportamento do micro-controlador proposto. A implementação do simulador foi realizada em linguagem C++ utilizando como ambiente de desenvolvimento o IDE “*Integrated Development Environment*” Visual Studio 2010 (Microsoft, 2011).

2.1. C++

Para a implementação do simulador, foi utilizada a linguagem C++, devido a facilidade de geração de interfaces gráficas, e pela facilidade de migração das funcionalidades principais do simulador, para a linguagem C; pois C++ pois ela provem da linguagem C. Com a migração do código para a linguagem C, é possível com algumas modificações inserir o código em um micro-controlador do tipo PIC. O código em C++ até o momento não foi migrado, podendo em trabalhos futuros ser migrado e inserido em um micro-controlador PIC.

No simulador foram utilizados como base de aprendizado, os cruzamentos de dois estágios como demonstrado nas figuras 12, 14 e 16 apresentadas no capítulo anterior. Devido ao tempo de desenvolvimento, não foi possível o desenvolvimento de cruzamentos com mais de dois estágios e também a desenvolvimento para o simulador interagir de forma dinâmica. O simulador efetua os cálculos de tempos de forma dinâmica, porem como o simulador não possui entradas simulando sensores de detecção de veículos, o simulador atua com valores pré-determinados de: tempos de ciclo “TC”; tempo de amarelo “TY”; tempo de segurança “TS”; e por fim a relação de tempo de verde “TC/y”, onde é calculado o tempo de verde “TG”. Os valores pré-determinados, na

tabela 2, descrevem de forma simplificada, as descrições das entradas de informações da interface gráfica do simulador.

Tabela 2: Dados de Entrada do Simulador

Dado	Descrição
Tempo de Ciclo	Tempo total do ciclo “TC”
Relação de Verde/Ciclo	Tempo verde levando em consideração o tempo de ciclo total, por exemplo $TG = TC/2$
Tempo de Amarelo	Constante TY
Tempo de Segurança	Constante TS
Quantidade Ciclos	Quantidade de vezes que o simulador irá exibir os ciclos

2.2. Funções

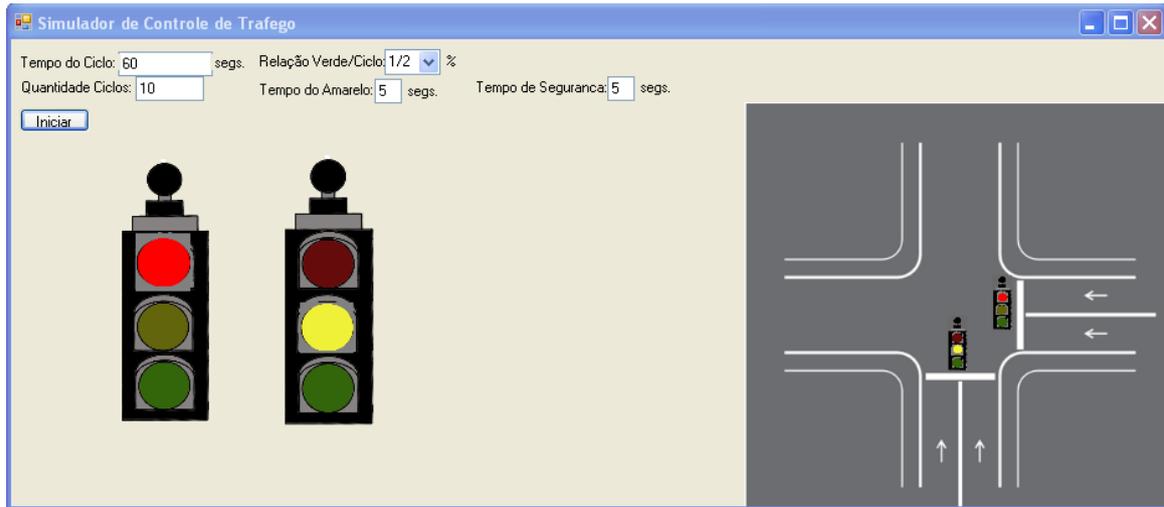
Para o desenvolvimento do simulador foram implementadas diversas funções para a realização de cálculos e controle de lâmpadas do semáforo. Dentre estas funções as principais são:

- Função de inicialização do sistema: Ela tem a finalidade de controlar a inicialização, não permitindo que ocorram situações de risco no simulador; como por exemplo, duas lâmpadas verdes acesas ao mesmo tempo de semáforos de vias que se intersectam.
- Função de cálculos do sistema: Ela tem a finalidade de controle de tempos de cada lâmpada de cada semáforo, gerando o valor de tempos a partir das informações de relação do tempo de ciclo “TC” do cruzamento.
- Função de sequência das lâmpadas: Ela tem a finalidade de controle de quais as lâmpadas estão acesas e por quanto tempo elas continuaram acesas no cruzamento.

2.3. Simulação

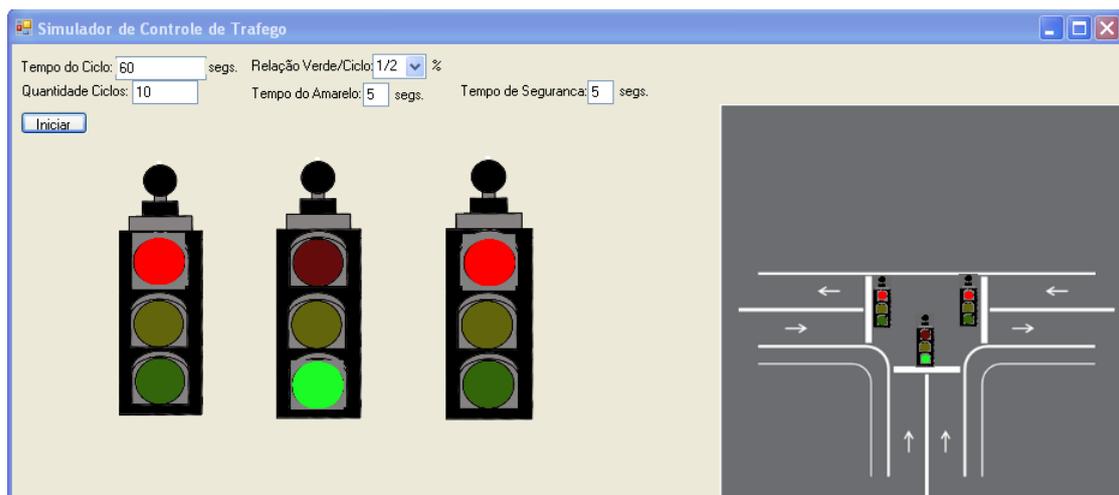
A partir do desenvolvimento do simulador, foram efetuadas simulações com a finalidade de validação. A seguir são apresentadas algumas simulações que foram realizadas pelo simulador desenvolvido.

Figura 26: Simulador com cruzamento de duas vias simples



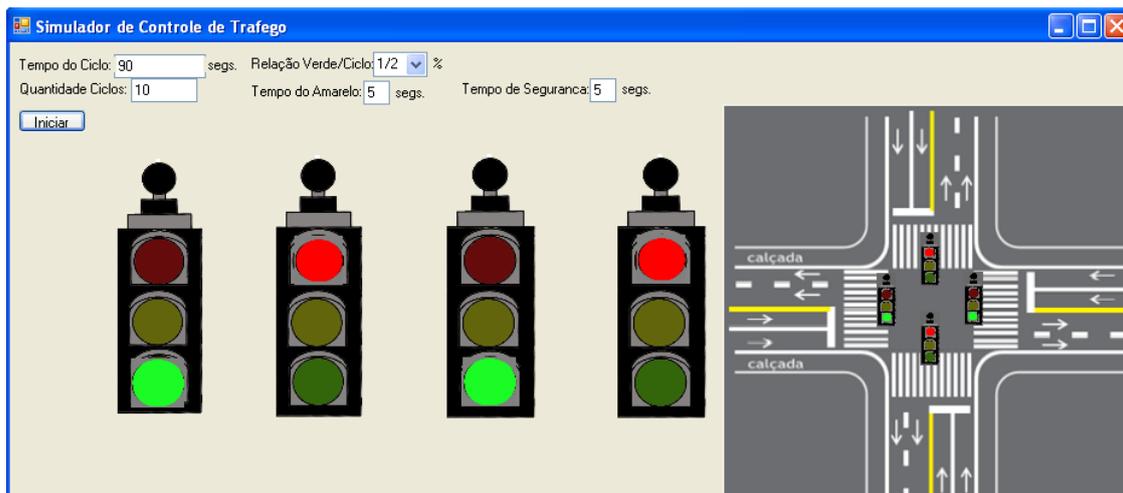
A figura 26 demonstra a simulação utilizando um cruzamento com duas vias de sentido único, onde o tempo de ciclo “TC” possui 60 segundos, a relação do tempo de verde “TG1”, possui 50% em relação ao tempo de ciclo, ou seja, “TG1” = 30 segundos, o tempo de amarelo possui 5 segundos e o tempo de segurança possui 5 segundos.

Figura 27: Simulador com cruzamento de uma via simples e uma via dupla



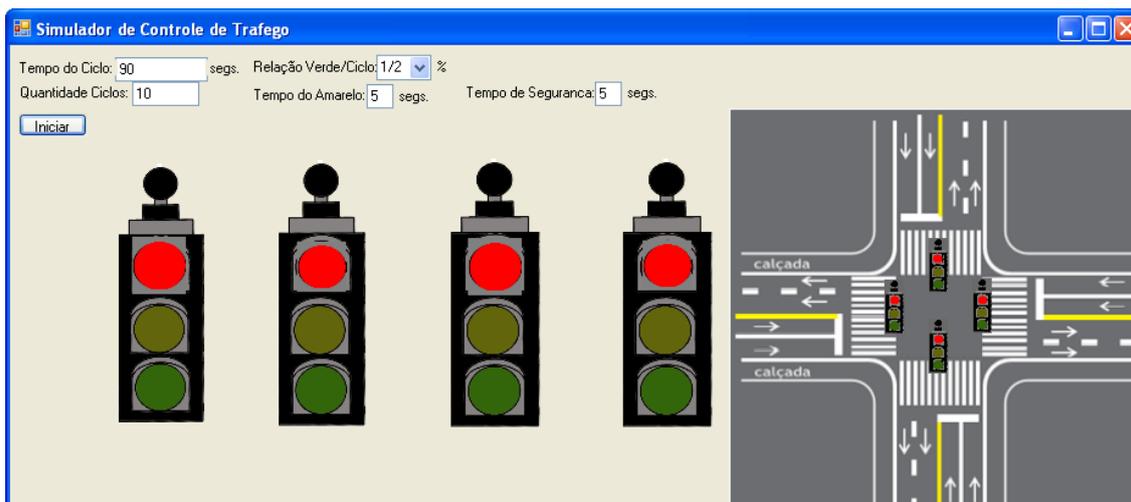
A figura 27 demonstra a simulação utilizando um cruzamento em T, utilizando com tempo de ciclo “TC” possuindo 60 segundos, relação de tempo de verde de 50%, tempo de amarelo possuindo 5 segundos e tempo de segurança possuindo 5 segundos.

Figura 28: Simulador com cruzamento de duas vias duplas



A figura 28 demonstra a simulação utilizando um cruzamento de duas vias com sentido único, com tempo de ciclo de 90 segundos; relação de tempo de verde “TG1”, sendo 50% do “TC”, ou seja, “TG” = 45 segundos, tempo de amarelo “TY” = 5 segundos e tempo de segurança “TS” = 5 segundos.

Figura 29: Exemplo de tempo de segurança



A figura 29 demonstra a simulação utilizando um cruzamento com duas vias de sentido duplo sem conversão a esquerda, os dados de entrada são os mesmos da figura 28, entretanto, a figura 29 demonstra o momento em que todos os semáforos estão com a lâmpada vermelha acesa “vermelho de segurança”.

Os resultados obtidos contribuíram para definir a arquitetura do circuito controlador de tráfego, objetivo primeiro do projeto.

A partir das funções citadas acima, foi possível verificar que o micro-controlador necessitará dos seguintes subsistemas:

- Registradores Contadores: para registrar os valores de tempo e controlar o tempo de acionamento das luzes de todos os semáforos por ele controlados;
- Portas de entrada para receber informações dos sensores;
- Unidade Lógica Aritmética (ULA): para efetuar cálculos que utilizam as informações oriundas dos sensores para calcular de forma dinâmica e em tempo real dos tempos inerentes as luzes de todos os semáforos por ele controlados;
- Portas de saída para controlar os semáforos acesos.

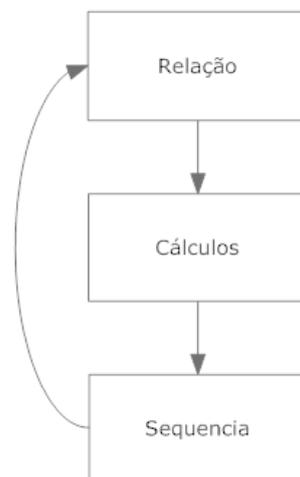
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão apresentados os módulos que foram desenvolvidos e utilizados para a implementação do micro-controlador.

3.1. Definição e Descrição da Arquitetura.

A partir do simulador implementado, foi possível definir a arquitetura e seus módulos, como demonstrado na figura 30.

Figura 30: Arquitetura do Micro-controlador.

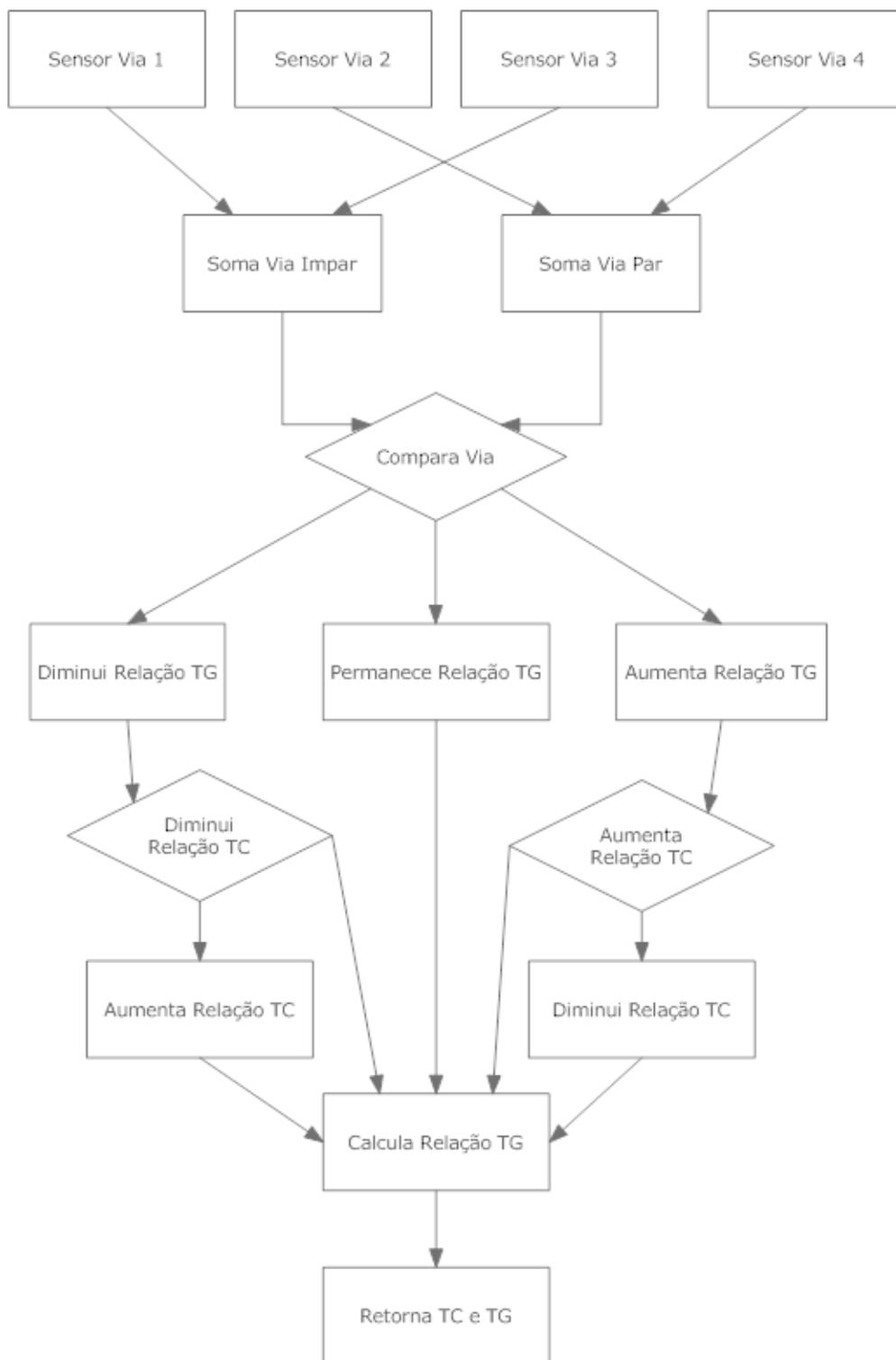


O bloco de Relação é responsável por selecionar o tempo de ciclo “TC” e a relação de tempo de verde “TG”, logo em seguida ele envia as informações selecionadas para o módulo de Cálculos, onde é efetuado os cálculos e obtém-se os valores de “TG2”, “TGConv1” e “TGConv2” e o valor final de “TG1”. A partir dos valores definidos pelo módulo de Cálculos, são enviadas informações de tempos e de conversões para o módulo de sequencia. O módulo de sequencia a partir das informações recebidas, define quais lâmpadas e por quanto tempo elas são acesas.

3.2. Relação

O módulo de relação é responsável por obter dos sensores instalados nas vias, a quantidade de veículos nas vias, compara-los, a partir da quantidade, verificar a se a relação de “TC” e “TG1” aumenta e /ou diminui, como demonstrado na figura 31.

Figura 31: Diagrama do Módulo de Relação



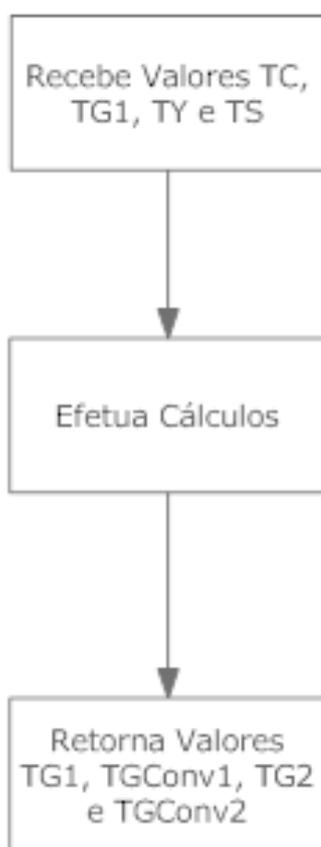
O módulo de relação recebe informações de quantidade de veículos a partir de sensores, logo em seguida ele compara qual a via está com maior movimentação, para verificar a necessidade de aumentar, diminuir ou permanecer com a relação de tempo, ele verifica também se existe a necessidade de aumentar ou diminuir o tempo de ciclo, para

logo em seguida calcular o tempo da relação de verde, e retornar os valores de “TG” e “TC”.

3.3. Cálculos

O módulo de cálculos é responsável por receber os valores de TC, TY, TS e TG1 e a partir desses valores calcular os valores de TG1Conv, TG2 e TG2Conv, como podemos verificar na figura 32.

Figura 32: Diagrama do Módulo de Cálculos



3.4. Sequência

O módulo de sequência é responsável por definir quais lâmpadas e quais grupos semafóricos estarão acesos por determinado tempo, ele também é responsável por avisar o módulo de relações quando um ciclo termina “final da sequencia”, para que o módulo de relação verifique quais serão os novos tempos a serem calculados, como demonstrado na figura 33.

Pode-se verificar no módulo analisa a sequência, o módulo, nele é efetuada a verificação se o cruzamento possui conversão à esquerda, caso exista conversão ele se autoconfigura para que o grupo de semáforos trabalhem com as conversões selecionadas.

Figura 33: Diagrama do Módulo de Sequencia



No módulo de retorno da sequência, é retornado um sinal lógico indicando quais lâmpadas estão acesas, assim gerando o controle dinâmico; adaptativo e em tempo real do micro-controlador.

CAPÍTULO 4 – SÍNTESE, PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DO MICRO-CONTROLADOR

Nesse capítulo, contem a definição, descrição e implementação do componente utilizados para o desenvolvimento do micro-controlador.

A arquitetura do micro-controlador proposto e gerado neste trabalho foi descrita utilizando descrição gráfica. Todo desenvolvimento para sintetizar o micro-controlador foi executada dentro do ambiente de desenvolvimento integrado Xilinx ISE 13.1 (Integrated Software Environment). O ambiente de desenvolvimento integrado Xilinx ISE 13.1 é uma suíte de projeto de software que permite a criação de um projeto a partir da entrada de um dispositivo de programação Xilinx (Xilinx, 2011).

Para a realização da implementação do micro-controlador, foi utilizada descrição gráfica, para a criação de macros e dos módulos do micro-controlador, utilizando por referencia os subsistemas que foram avaliados pelo simulador. A seguir serão descritos os componentes e a implementação de cada módulo.

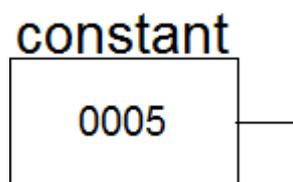
4.1. Constante

Constantes são valores fixos, pré-definidos, que não serão alterados no micro-controlador em tempo de execução.

- Constant

Como o próprio nome sugere, trata-se de um componente que armazena um valor constante, ele será utilizado para armazenar os valores de TS, TY e gerar o valor de TC pelas relações.

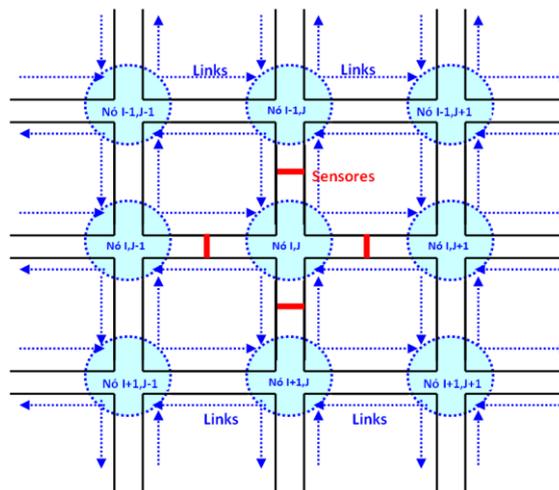
Figura 34: Constant



4.2. Contadores

Como verificado pelo simulador, a utilização de contadores é necessária para contagem de tempo de cada semáforo. O micro controlador irá utilizar contadores de até 16 bits, pois ao verificar os contadores de 8bits, ele efetua contagem de 0_{10} a 255_{10} o equivalente utilizando a medida de segundos; a 4 minutos e 16 segundos não sendo possível valores acima, com o contador de 16bits, possuímos valores de 0 a 65535 o equivalente a 10922 minutos e 16 segundos. Porém não será utilizado todos os bits para a contagem. Não foi optado a implementação de um contador de 9bits, pelo motivo de facilitar possíveis implementações no sentido de comunicação externa do micro-controlador com outros nós vizinho, como demonstrado na figura 35. Os demais contadores do micro-controlador, serão utilizado com finalidades específicas que serão descritas abaixo.

Figura 35: Exemplo de malha viária



- Contador Bidirecional de 4bits - CB4CLED

Contador de 4bits bidirecional com *load*, *chip enable* e *clear* assíncrono. A função dele é contar de forma crescente ou decrescente de um em um bit, o controle da direção da contagem é feita pelo pino UP; UP = 0 a contagem é decrescente, UP = 1 a contagem é crescente quando as saídas Q0, Q1, Q2 e Q3 estiverem com os valores 0000 e UP = 0, as saídas Q0, Q1, Q2 e Q3 se tornam 1111. O inverso ocorre quando as saídas Q0, Q1, Q2 e Q3 estão com o valor 1111 e UP = 1; as saídas Q0, Q1, Q2 e Q3 se tornam 0000.

Por este contador possuir o pino de *load* “L”, é possível iniciar a contagem de um determinado valor que se encontra na entrada D.

O pino *Terminal Count* “TC” se trata de uma saída de 1 bit onde ele retorna o valor lógico 1, quando os valores das saídas Q0, Q1, Q2 e Q3 forem 0000.

O pino *chip enable* “CE”, habilita o contador para contagem. Caso ele esteja desabilitado a saída do contador será 0000.

O pino *clear* “CLR”, quando em estado lógico 1, zera o contador, podendo dependendo do circuito, ser utilizado para a reinicialização “*reset*” do circuito. Esse contador é utilizado para a implementação do CB3CLEdsemTCCEO que será descrito posteriormente.

Figura 36: CB4CLED

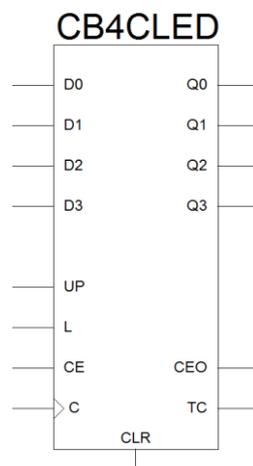
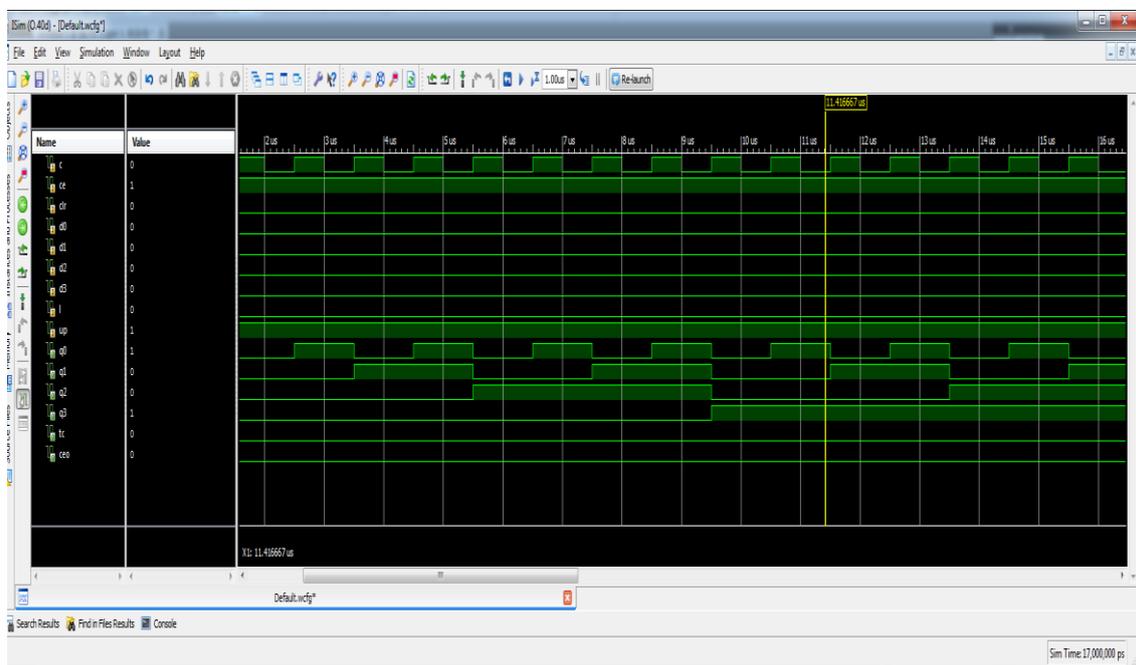


Figura 37: Simulação CB4CLED

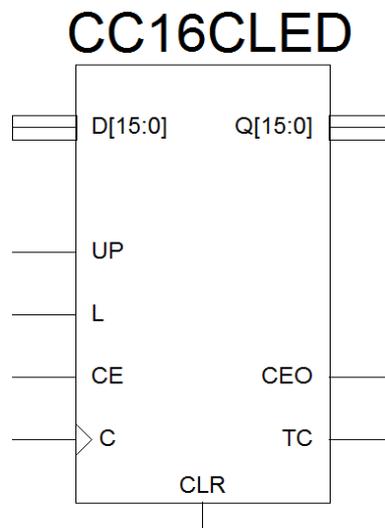


A figura 37 desmonstra a simulação realizada do CB4CLED, onde pode-se observar a cada *clock* as é realizada a incrementação ou decrementação de um bit, dependendo do valor da entrada *U*, gerando as saidas Q0,Q1,Q2,Q3.

- Contador Bidirecional de 16bits - CB16CLED

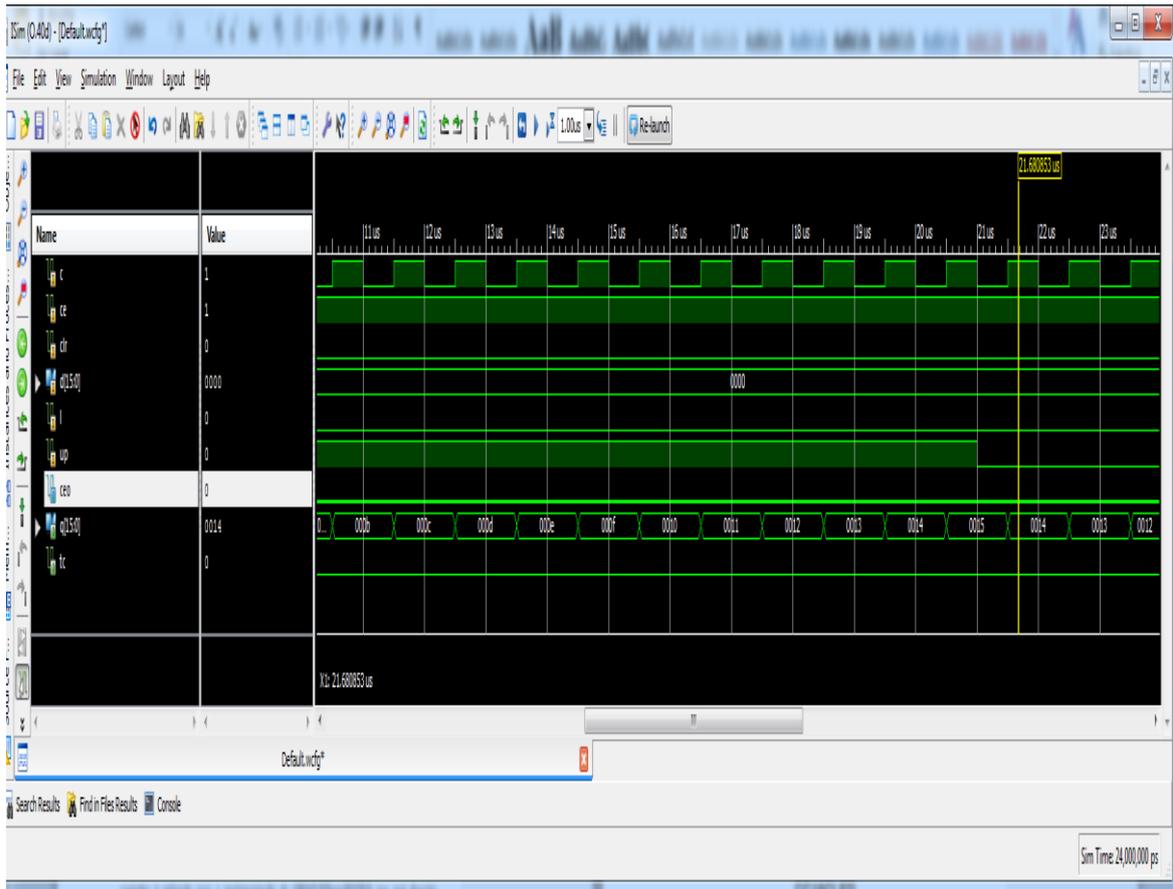
Contador de 16 bits bidirecional com *load*, *chip enable* e *clear* assíncrono. O funcionamento dele é idêntico ao CB4CLED, apenas com o diferencial de possuir 16 bits. Esse contador é muito utilizado no módulo de relação e módulo para a contagem de tempos de todas as lâmpadas do semáforo, assim como na comparação de movimentação das vias.

Figura 38: CC16CLED



A figura 39, demonstra a simulação do CC16CLED, nela é observado que a cada *clock* a saída Q(0:15), incrementa ou decrementa um bit, dependendo do valor que a entrada UP possuir. O funcionamento dele é idêntico ao CB4CLED, apenas diferenciando a quantidade de bits de entrada e saída. O CB4CLED possui 4 bits para entrada e 4 bits para saída; enquanto do CC16CLED, possui 16 bits de entrada para a inicialização do valor de saída e 16 bits de saída.

Figura 39: Simulação CC16CLED

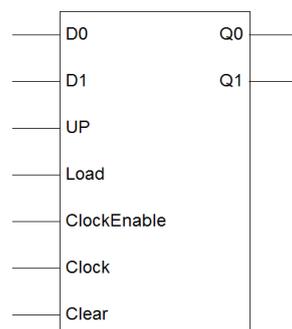


- Contador Bidirecional de 2bits - CB2CLEDsemTCCEO

Contador implementado com a finalidade de funcionamento similar aos CB4CLED e CB16CLED, porém com dois bits, o diferencial dele está quando os valores da saída 00 e UP = 0, ele permanece com a saída em 00; da mesma forma quando a saída estiver em 11 e UP = 1, ele irá permanecer com a saída em 11. Esse contador é utilizado no módulo de relação para gerenciar o controle da relação de verde no módulo de relações.

Figura 40: CB2CLEDsemTCCEO

CB2CLEDsemTCCEO



- Contador Bidirecional de 3 bits - CB3CLEDsemTCCEO

Contador de 3 bits bidirecional com *load*, *chip enable* e *clear* assíncrono. O funcionamento dele é idêntico ao CB2CLEDsemTCCEO, apenas com o diferencial de possuir 3 bits. Esse contador é utilizado no módulo de relação para o controle de qual será o tempo de ciclo TC selecionado.

Figura 43: CB3CLEDsemTCCEO

CB3CLEDsemTCCEO

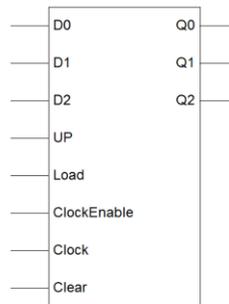
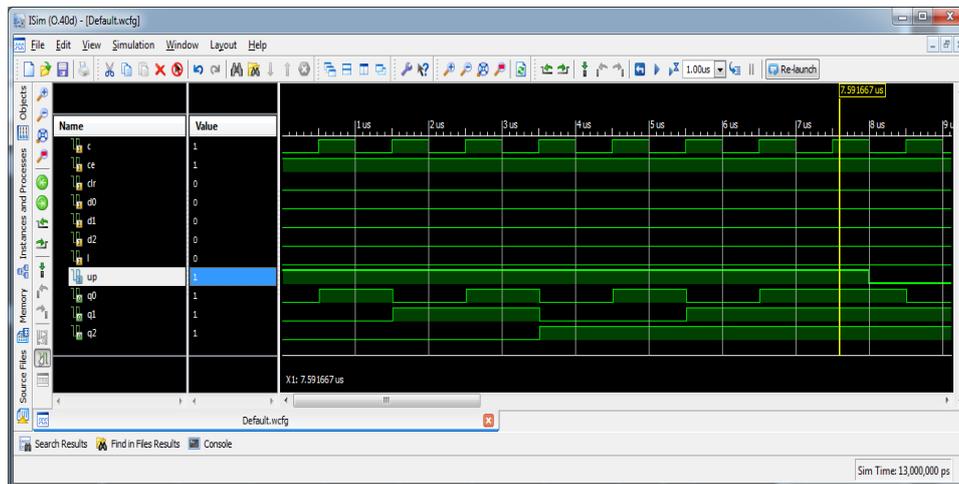
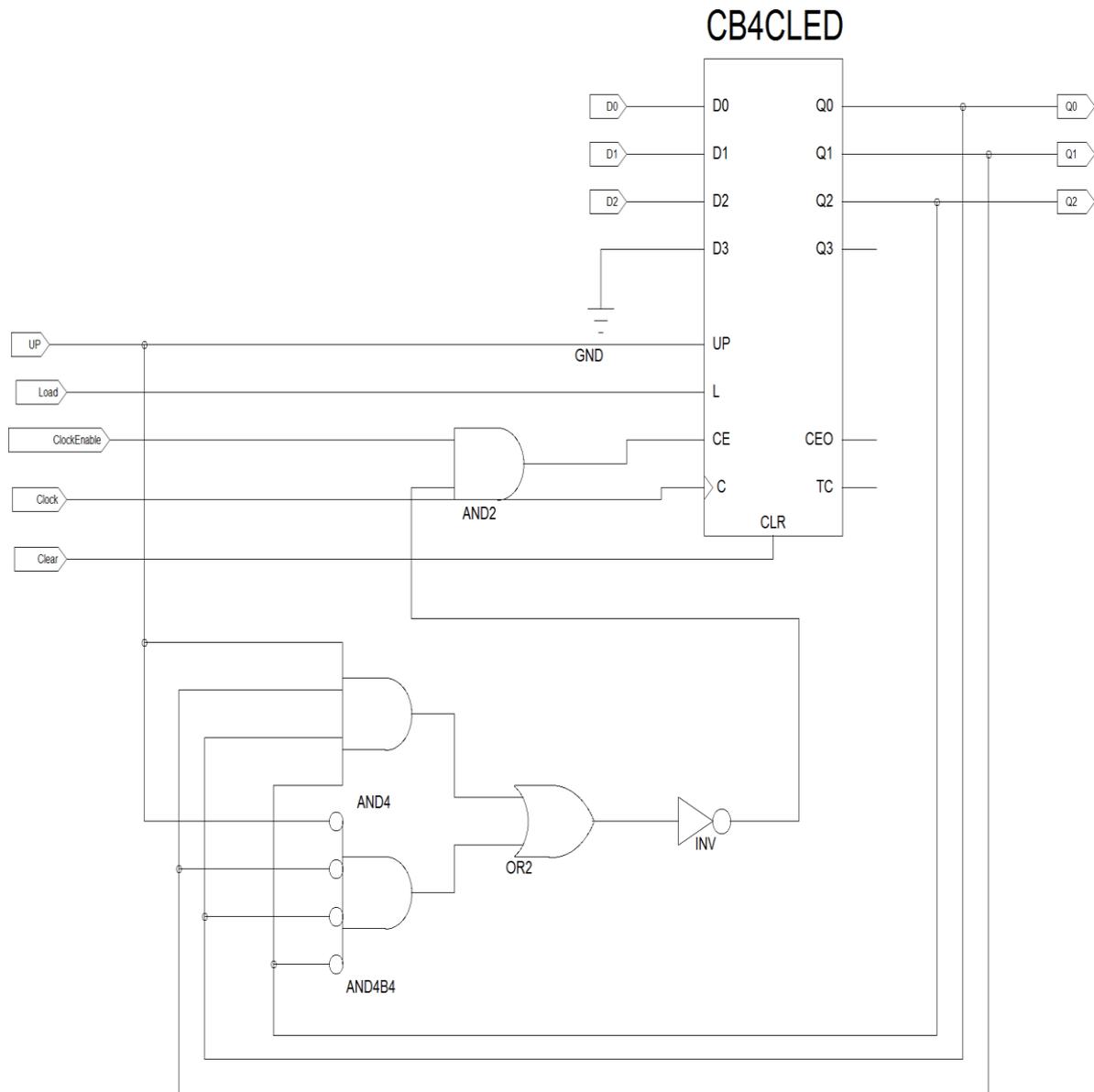


Figura 44: Simulação CB3CLEDsemTCCEO



A figura 44 mostra a simulação do CB3CLEDsemTCCEO, onde pode-se observar o funcionamento idêntico ao CB2CLEDsemTCCEO, apenas diferenciando a quantidade de portas de entradas e saídas que são três, enquanto o CB2CLEDsemTCCEO possui apenas duas.

Figura 45: Estrutura interna CB3CLEdsemTCCEO



- Contador Sequencial de 4 bits - ContadorSequencial4b

Contador de 4 bits direcional com *clear*. O funcionamento diferente dos contadores citados anteriormente, pois ele não possui valores de entrada e somente as entradas de *clock* e *clear*. Este contador sempre é inicializando com as saídas D0, D1, D2 e D3 em 0, e a cada *clock* que o contador recebe a saída é incrementado em 1 na base 2. Quando as saídas estiverem em 1111, no próximo *clock* o valor retorna a 0000. Esse contador é utilizado no módulo de relação para controlar o período de alteração da relação de verde e/ou tempo de ciclo.

Figura 46: ContadorSequencial4b

ContadorSequencial4b

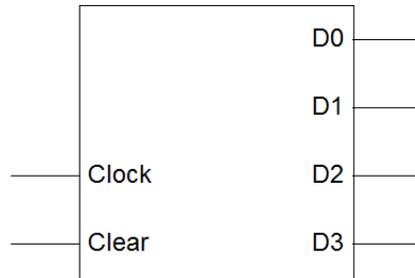


Figura 47: Estrutura interna ContadorSequencial4b

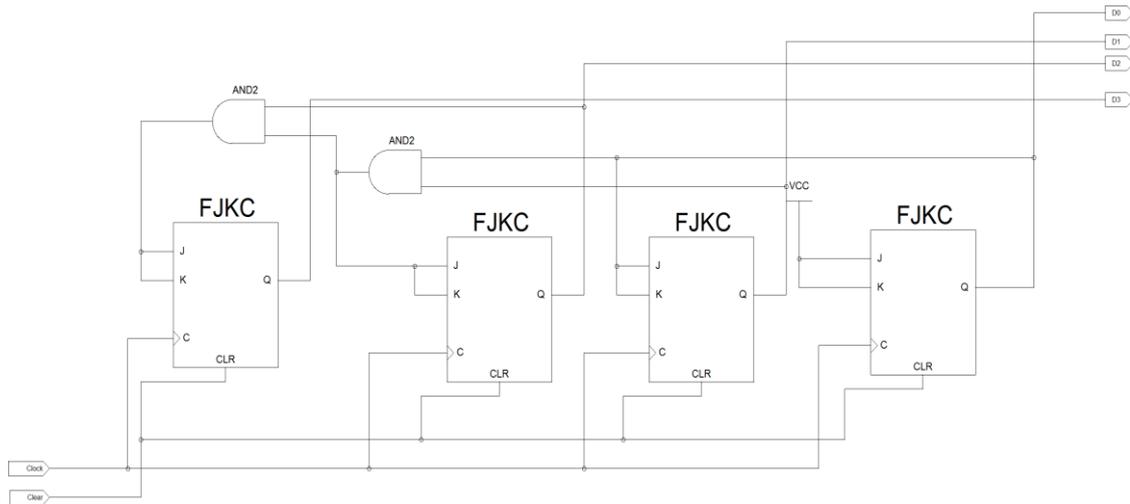
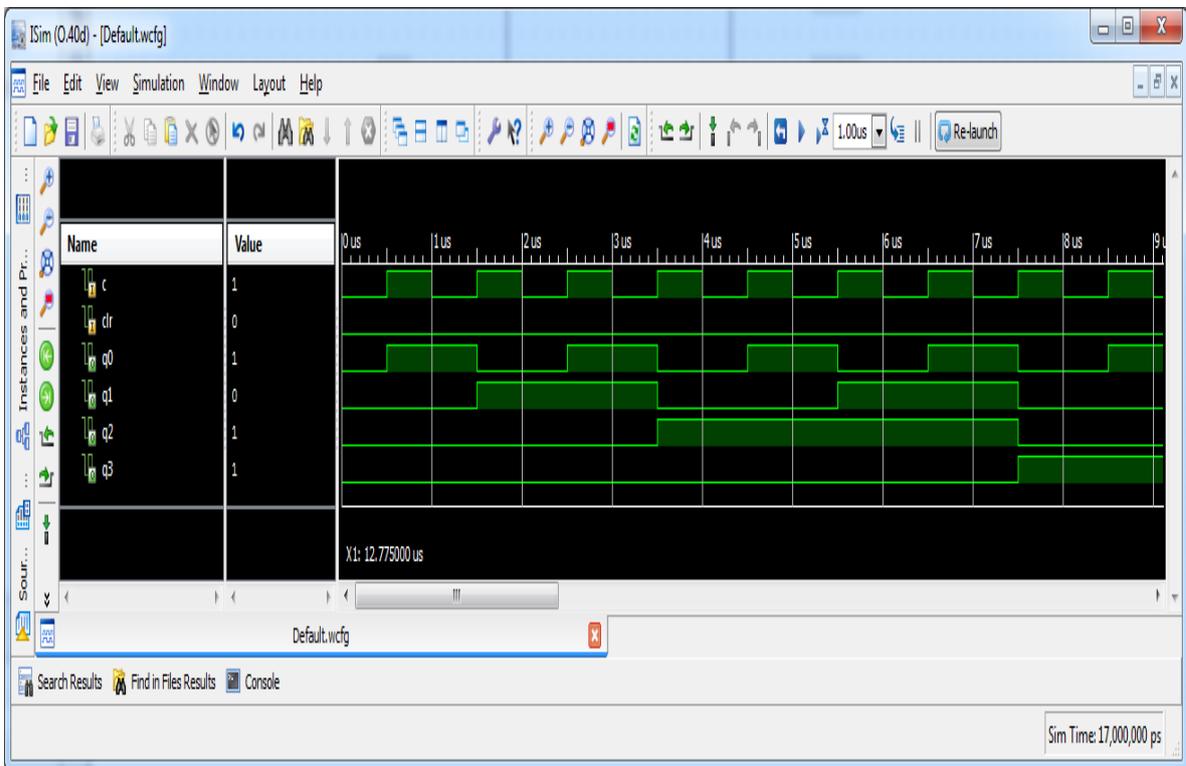


Figura 48: Simulação ContadorSequencial4b



A figura 48 mostra a simulação do ContadorSequencial4b, esse contador, diferente dos outros abordados anteriormente, não possui entrada de dados de inicialização, assim como entrada de controle de incremento ou decremento de bits. Como pode-se observar na simulação ele incrementa um bit a cada *clock*.

4.3. Operações Aritméticas

As operações são necessárias, como verificado pelo simulador; para a obtenção de valores a partir das fórmulas vistas anteriormente utilizando das operações de adição, subtração e divisão; para a obtenção dos tempos de iluminação de cada lâmpada de cada semáforo.

- Divisor de 16bits - Divisor16_2

Divisor de 16 que efetua o deslocamento de todos os bits para a direita, de forma a efetuar a divisão do valor por sua base de forma a obter valores inteiros, por exemplo, 1011_2 , ficaria 101_2 . Esse divisor é utilizado no módulo de relação para gerar os valores que serão selecionados para a relação de verde TG; ele também é utilizado no módulo de cálculos para gerar os tempos de conversões das vias, usando por base os valores de verde de cada via.

Figura 49: Divisor16_2

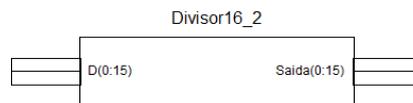


Figura 50: Estrutura interna do Divisor16_2

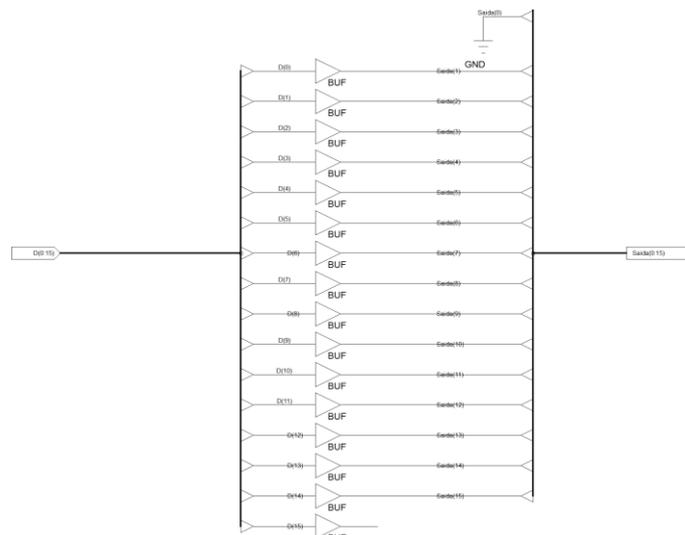
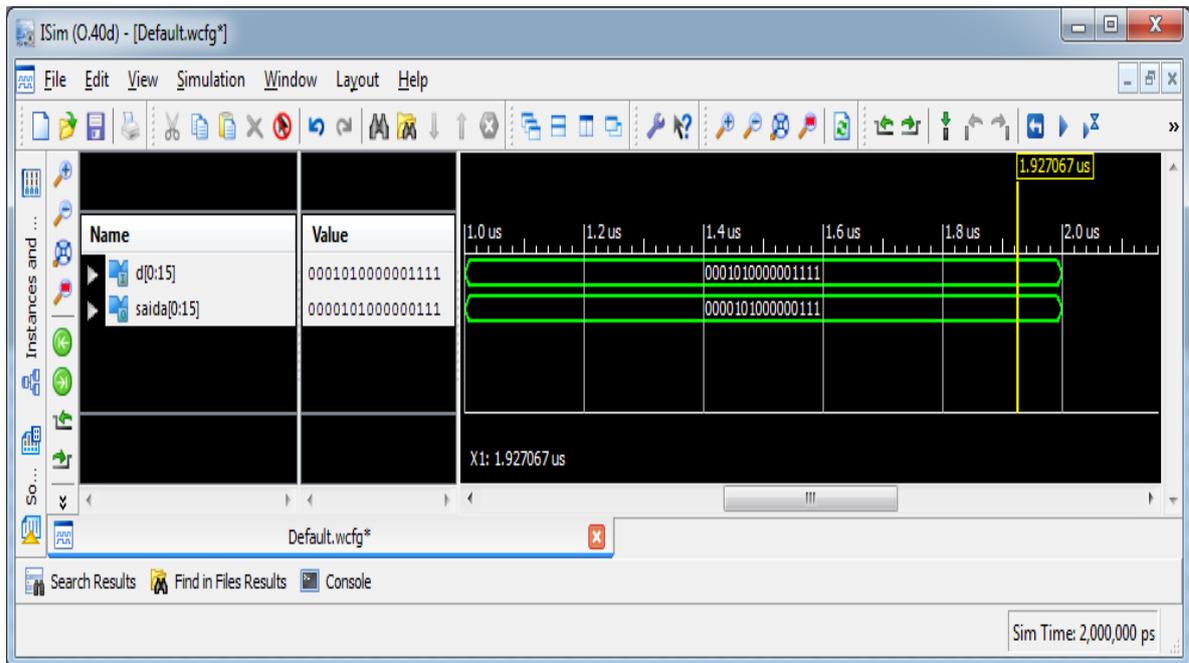


Figura 51: Simulação Divisor16_2



A figura 51 mostra a simulação do Divisor16_2, onde pode-se observar o deslocamento de base que gera a divisão.

- Somador de 16bits - ADD16

Efetua soma entre A e B com valores de 16bits. O somador é utilizado no módulo de relação com a finalidade de obter relações diversificadas, como por exemplo $75\% = 50\% + 25\%$. Ele é muito utilizado também no módulo de cálculos, a partir dele são gerados diversos valores de tempos das luzes dos semáforos.

Figura 52: ADD16

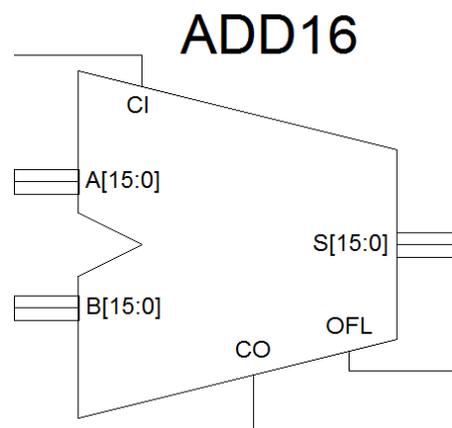
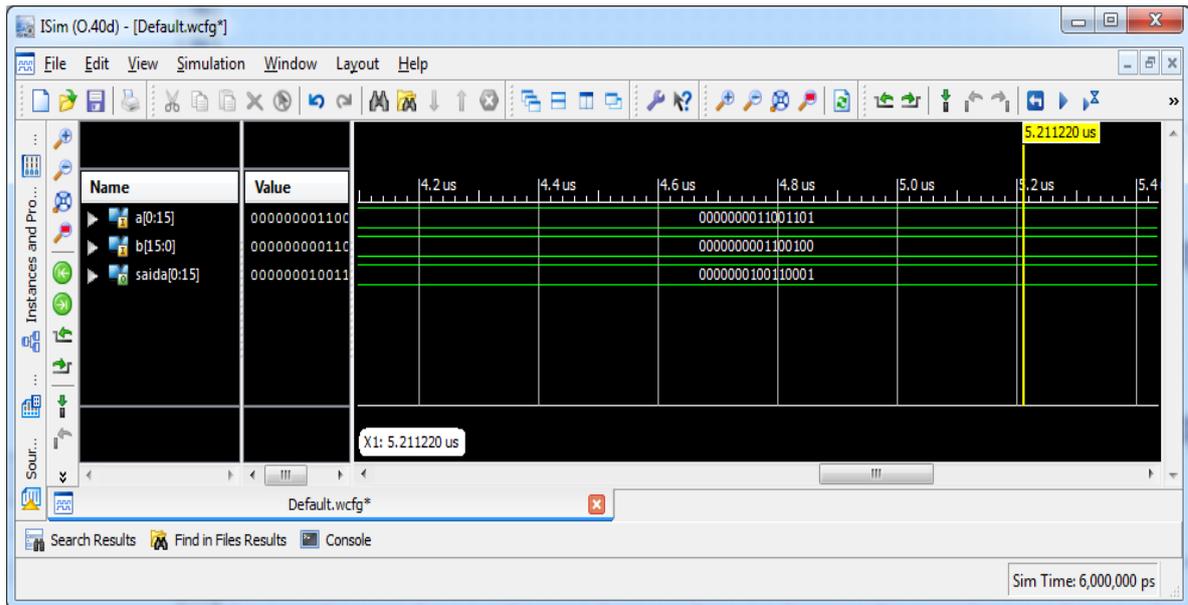


Figura 53: Simulação ADD16

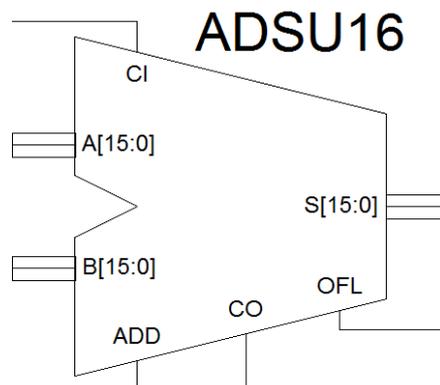


A figura 53 mostra a simulação do ADD16, onde observa-se a soma dos valores das entradas de 16 bits A e B, resultando na saída de 16 bits.

- Somador e Subtrator de 16bits - ADSU16

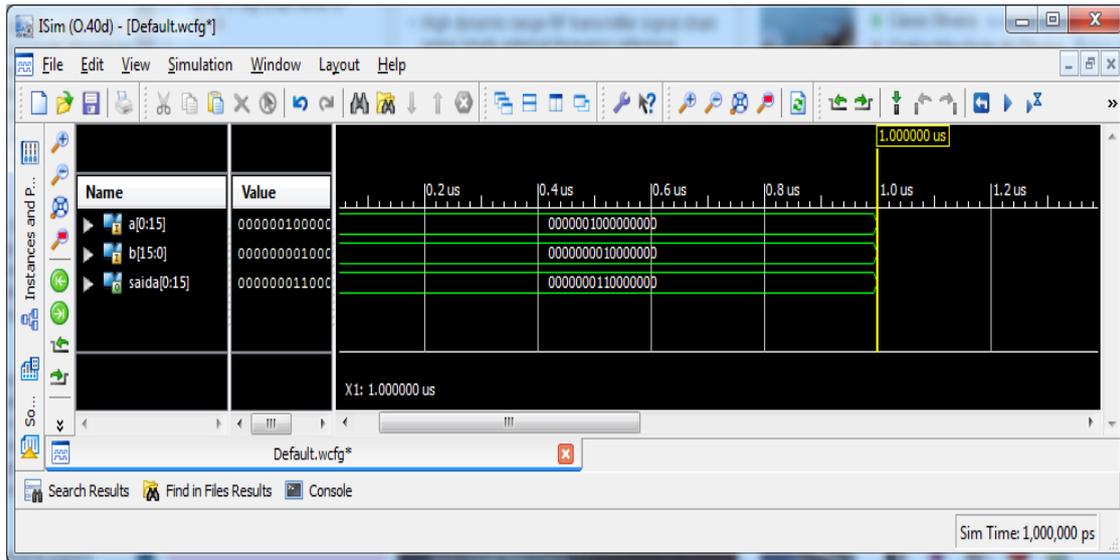
Efetua soma ou subtração entre A e B com valores de 16bits. Para efetuar soma, o pino ADD deve estar com valor lógico 1, caso contrario o componente irá efetuar a subtração. Ele é muito utilizado no módulo de cálculos, com a finalidade de se obter diversos valores das lâmpadas dos semáforos.

Figura 54: ADSU16



A figura 55 mostra a simulação do ADSU16, onde observa-se que o valores de 16bits de A é subtraído de B, resultando no valor da saída de 16bits. Esse componente pode ser utilizado como somador, apenas

Figura 55: Simulação ADSU16



4.4. Comparações

Comparadores efetuam comparações entre valores e retornam se o valor é maior, menor ou igual. Eles são utilizados no módulo de relações com a finalidade de obter a relação de tempo de verde TG e o tempo de ciclo TC, a partir de informações recebidas dos sensores instalados nas vias, e a partir da contagem de quantidade de ciclos terminados pelo módulo de sequencia de estados.

- Comparador de Menor, Maior e Igualdade de 4 bits - COMPM4

Efetua comparação entre A e B com valores de 4bits, caso A seja maior que B a saída GT fica em estado lógico 1; caso B seja maior que A, a saída LT fica em estado lógico 1; e caso A e B sejam o mesmo valor, tanto a saída GT como LT ficam com estado lógico 0.

Figura 56: COMPM4

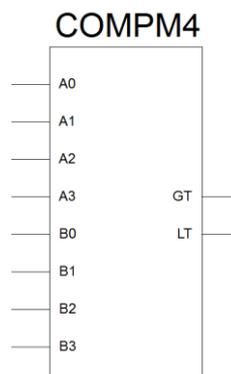
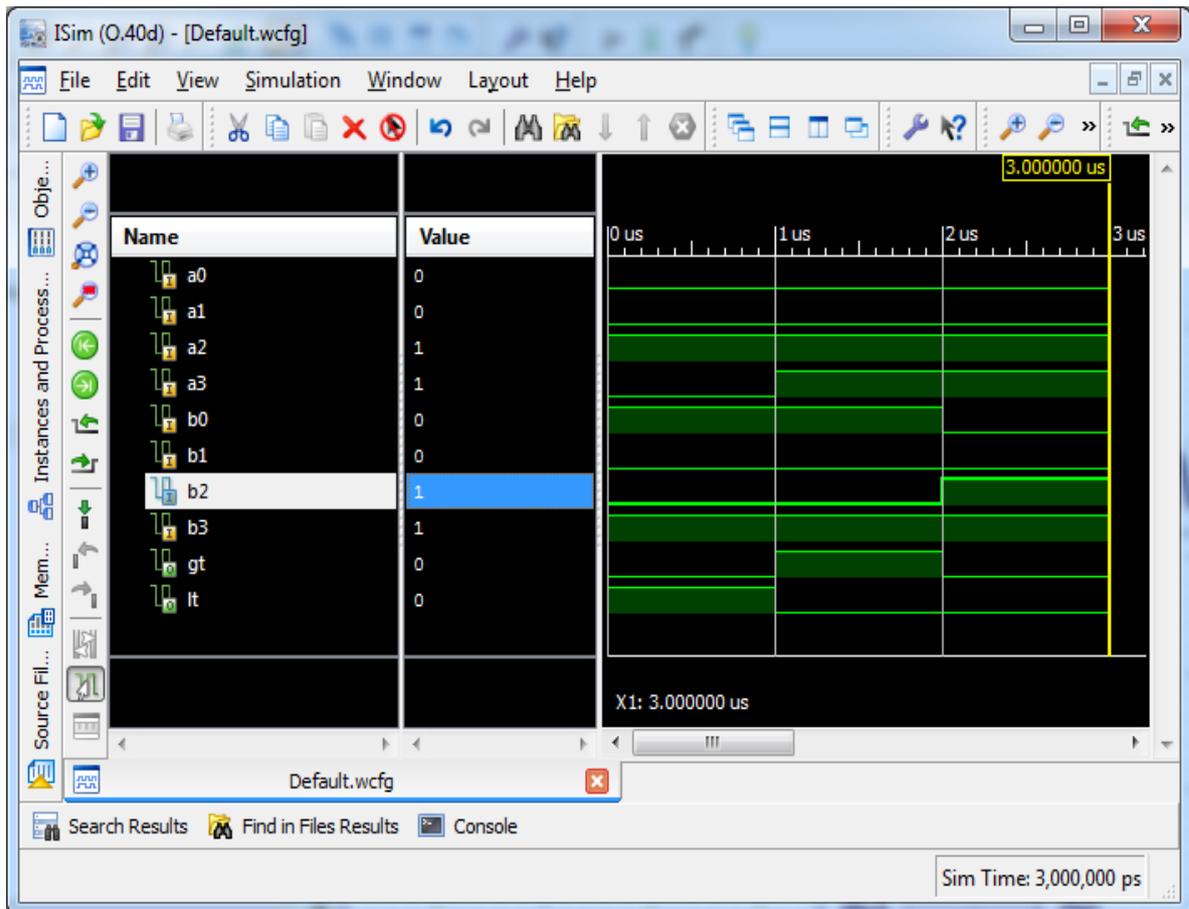


Figura 57: Simulação COMPM4



A figura 57 mostra a simulação do COMPM4, onde pode-se observar os valores das saídas GT e LT, descritas anteriormente.

- Comparador de Menor, Maior e Igualdade de 16bits - COMPM16

Funcionamento idêntico ao COMPM4 somente com o diferencial da comparação ser de 16bits.

Figura 58: COMPM16

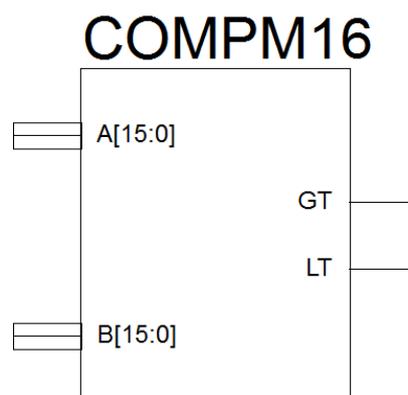
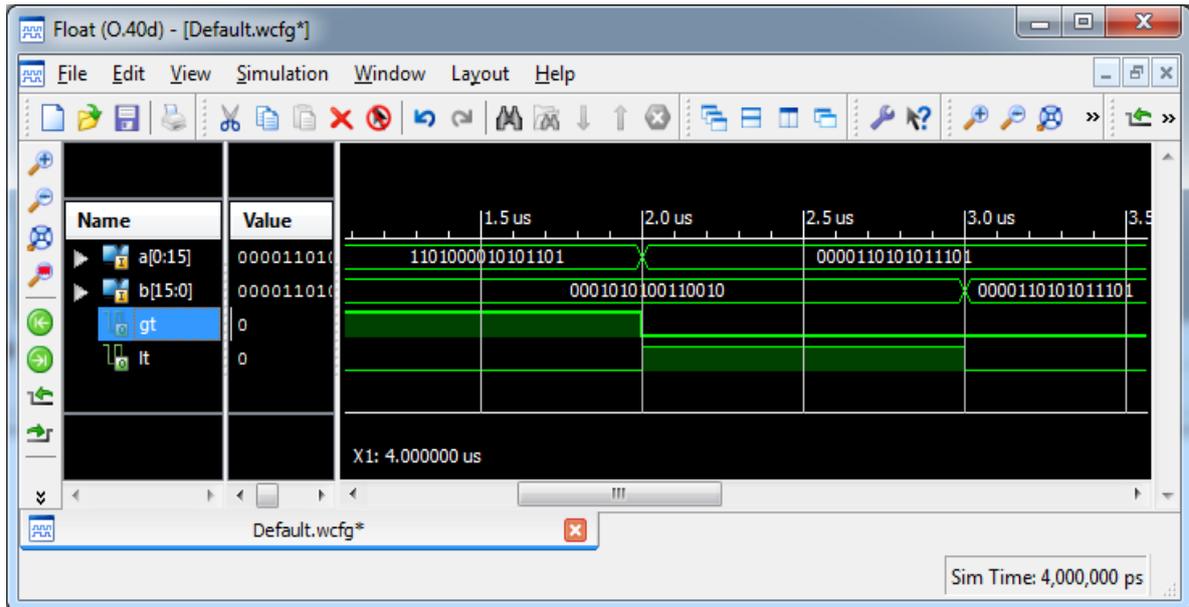


Figura 59: Simulação COMPM16



A figura 59 mostra a simulação do COMPM16, onde observa-se o funcionamento lógico idêntico ao COMPM4, diferenciando apenas a quantidade de bits de entradas, o COMPM4 possui 8 bits de entradas, enquanto o COMPM16 possui 32bits de entrada.

- Comparador de Igualdade de 16bits - COMP16

Efetua comparação entre A e B com valores de 16bits, caso A seja igual à B a saída EQ fica em estado lógico 1. Caso contrario a saída EQ fica em estado lógico 0, esse comparador apenas compara se existe igualdade entre os valores.

Figura 60: COMP16

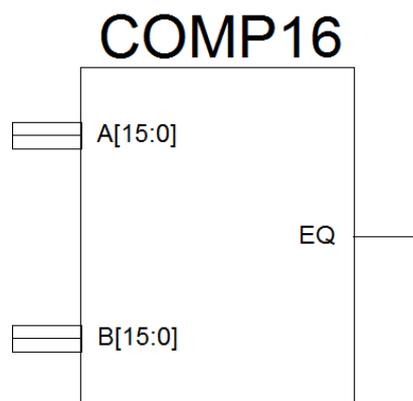
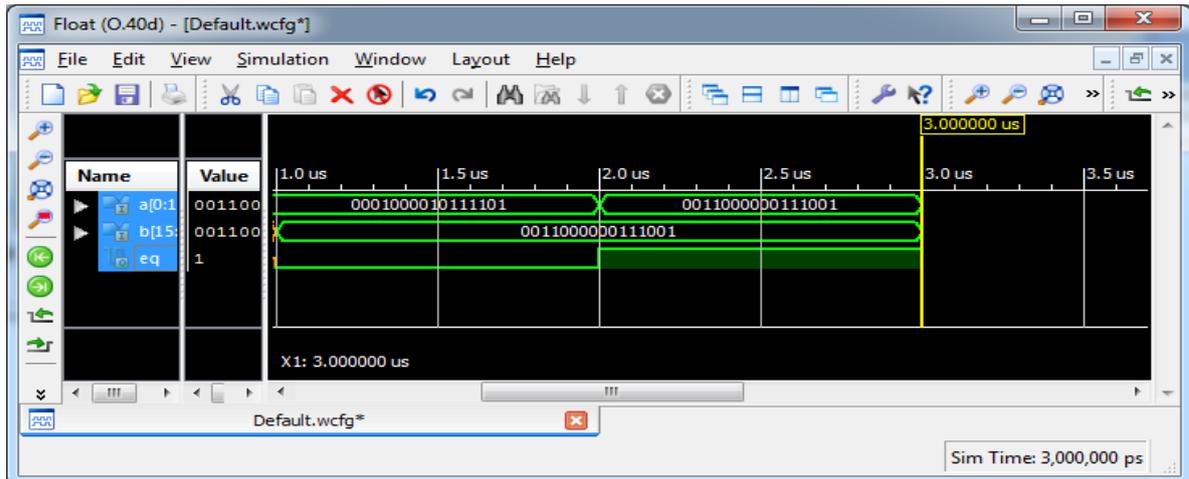


Figura 61: Simulação COMP16

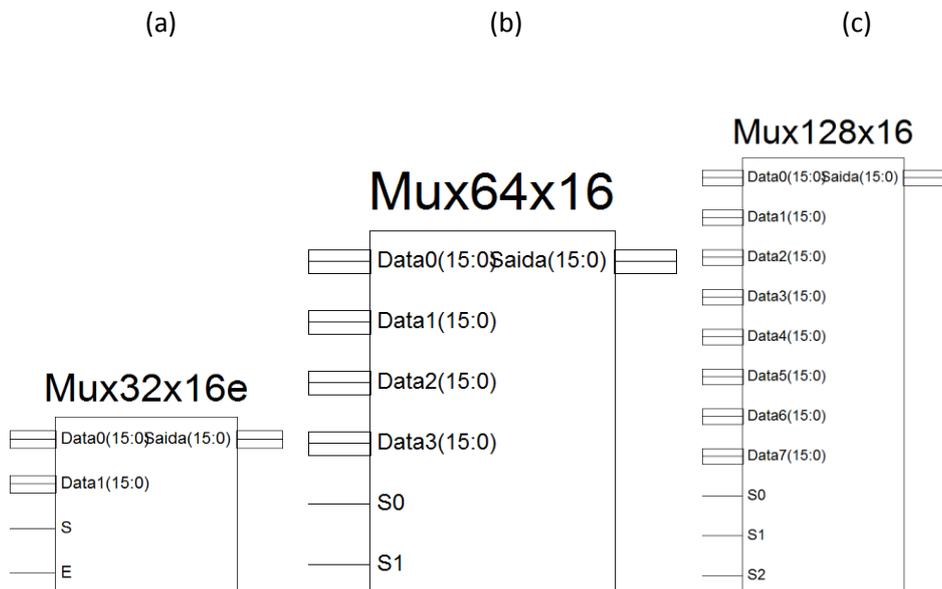


A figura 61 mostra a simulação do COMP16, pode-se observar que a saída EQ apenas fica em nível lógico alto, quando os valores de 16 bits A e B forem iguais.

4.5. Multiplexadores

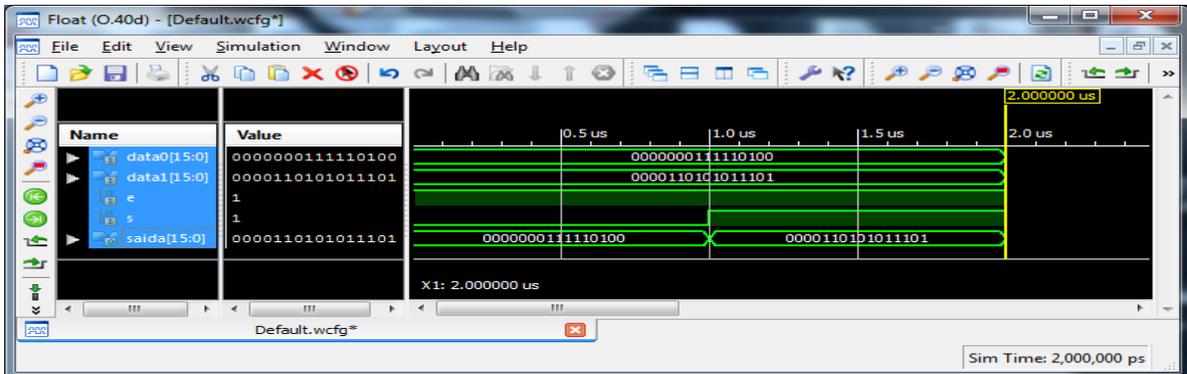
Os multiplexadores tem por finalidade selecionar determinada saída, a partir de duas ou mais entradas. Abaixo são demonstrados os multiplex que foram utilizados no projeto, assim como os multiplex que foram implementados. A identificação do multiplex é $Y \times Z$ onde Y é a quantidade de entradas do multiplex e Z a quantidade de saídas “no caso de saída utilizando barramento”. O multiplex é muito utilizado no módulo de relação e cálculos para definir qual será o valor de saída.

Figura 62: Multiplex



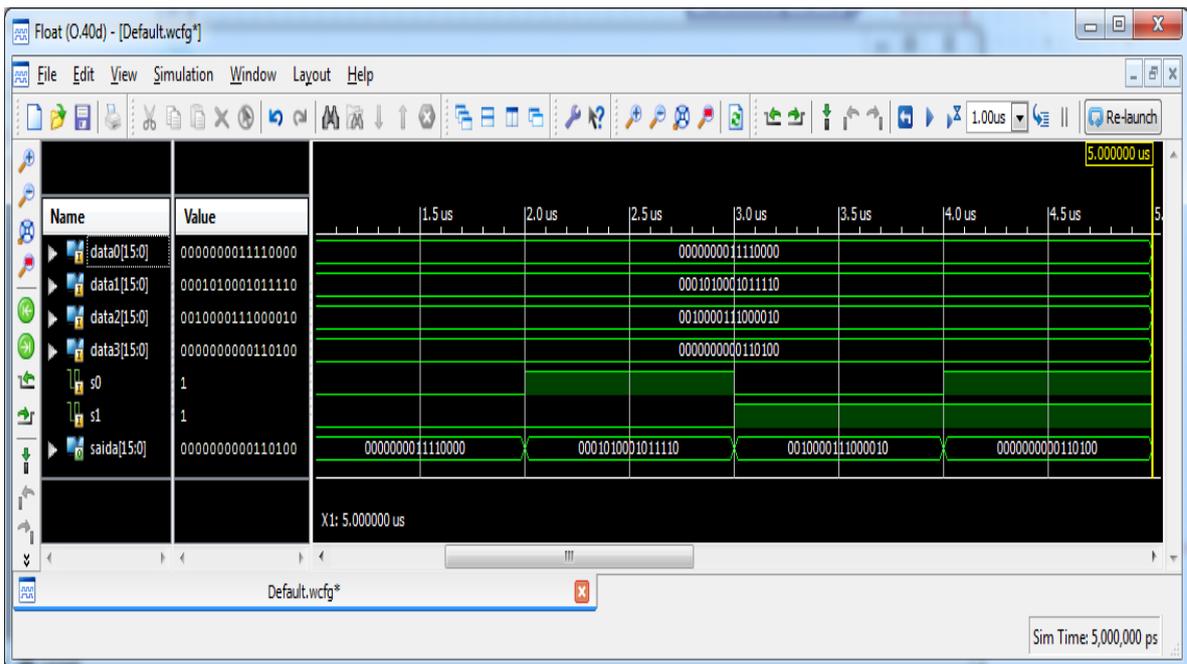
A seleção das saídas são efetuadas pelas entradas “S”, no caso da figura 62(a), pode-se observar a existência de outro pino de entrada E ”enable”, este pino é responsável por habilitar ou não o multiplex.

Figura 63: Simulação Mux32x16e



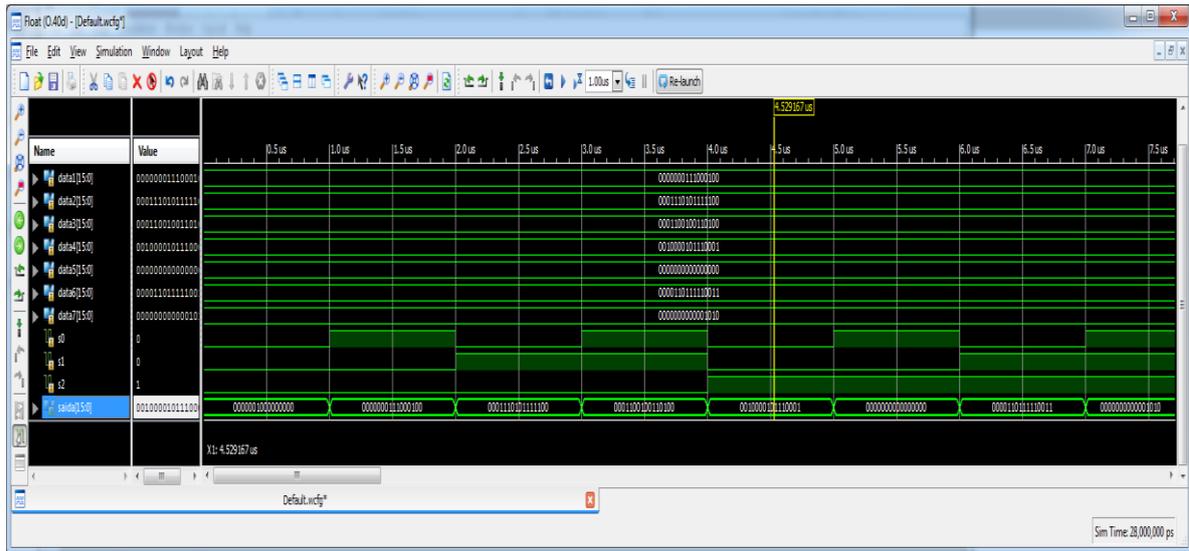
A figura 63 mostra a simulação do Mux32x16e, onde observa-se os dois valores de 16bits de entrada e o controle da saída de 16 bits sendo determinado pela entrada S.

Figura 64: Simulação Mux64x16



A figura 64 mostra a simulação do Mux64x16, onde é observado os quatro valores de 16 bits e o controle da saída de 16bits, sendo definido pelas entradas S0 e S1.

Figura 65: Simulação Mux128x16



A figura 64 mostra a simulação do Mux128x16, pode-se observar as oito entradas de 16bits e o controle da saída de 16 bits, sendo determinada pelas entradas S0, S1 e S2.

4.6. Tempos

A função desse componente Tempos é definir os valores de TC, ele é composto de varias constantes com valores definidos, sendo selecionado por um multiplex, como demonstrado na figura 65. As constantes variam de 90 a 300, com incremento de 30 em 30 entre elas os valores serão utilizados na medida de segundos, como demonstrado na figura 67.

Figura 66: Tempos



Figura 67: Estrutura Interna Tempos

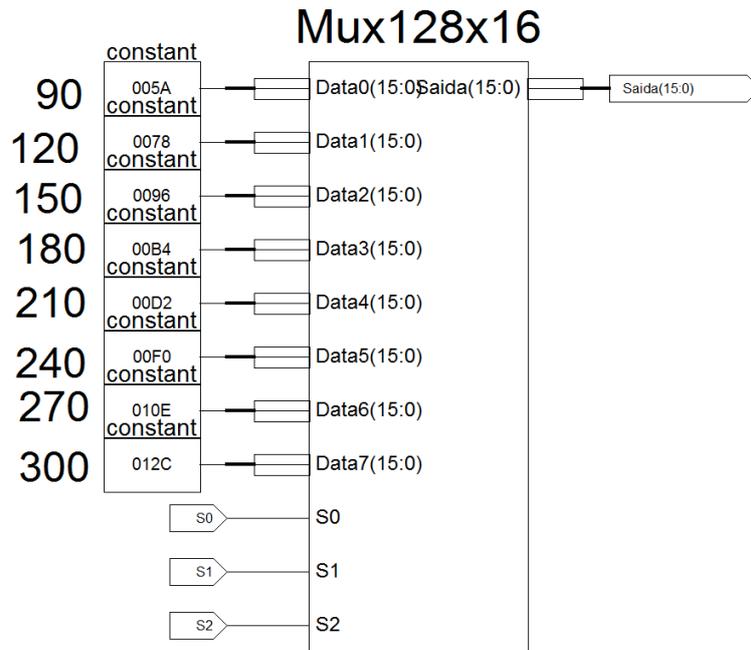
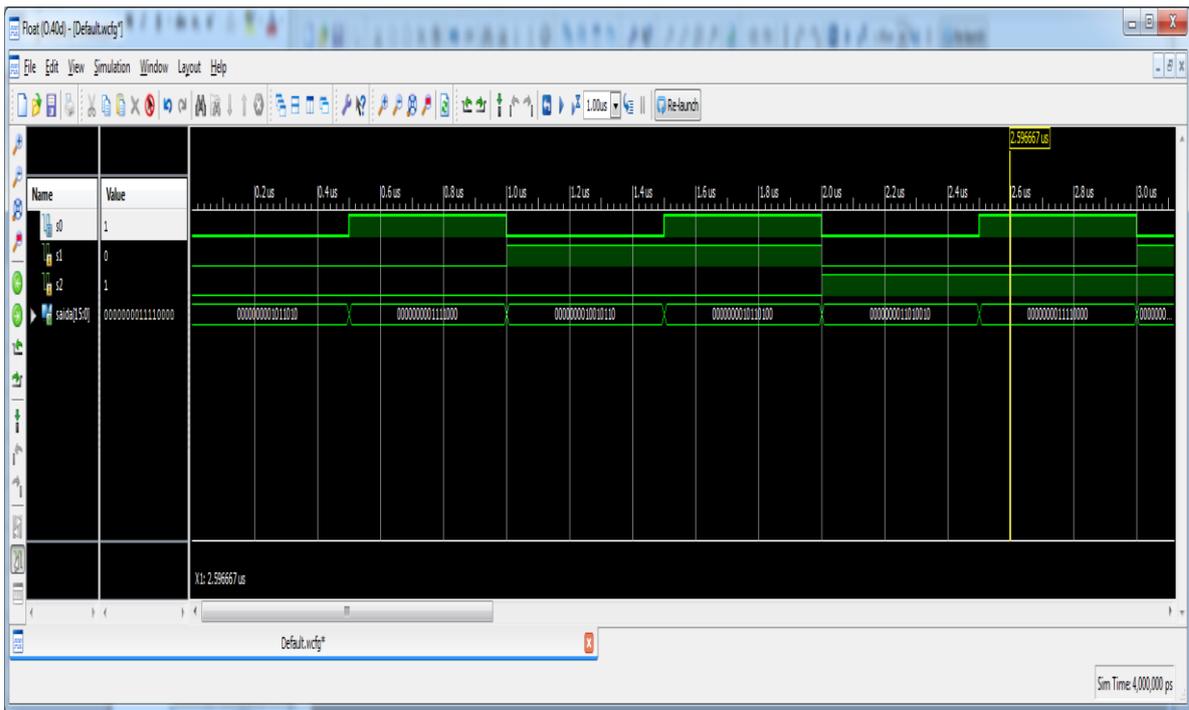


Figura 68: Simulação Tempos



A figura 68 mostra a simulação de Tempos, onde é demonstrado os valores pré-determinados sendo controlados pelas entradas S0, S1 e S2.

4.7. Detector dos Sensores - Detector8

A função do Detector é receber 1 clock a cada passagem de veículos nas vias A, B, C e D, efetua a soma dos sensores da via A e C; e B e D, de forma a retornar pelas saídas os valores de duas vias. O módulo sensor esta dimensionado a receber 8 valores, para que numa futura implementação as conversões a esquerda possam ser dinâmicas também, como demonstrado na figura 53. Ele é utilizado no módulo de relação para receber as informações e informar qual a via com maior movimentação, não importando a quantidade.

A figura 71 mostra a simulação do Detector8, onde é demonstrado o modo de operação do Detector8, utilizando de forma dinamica a contagem de veiculos a fim de determinar qual a via com maior fluxo de veiculos, para que o micro-controlador possa aumentar ou diminuir a relação de tempos das vias.

Figura 69: Detector8

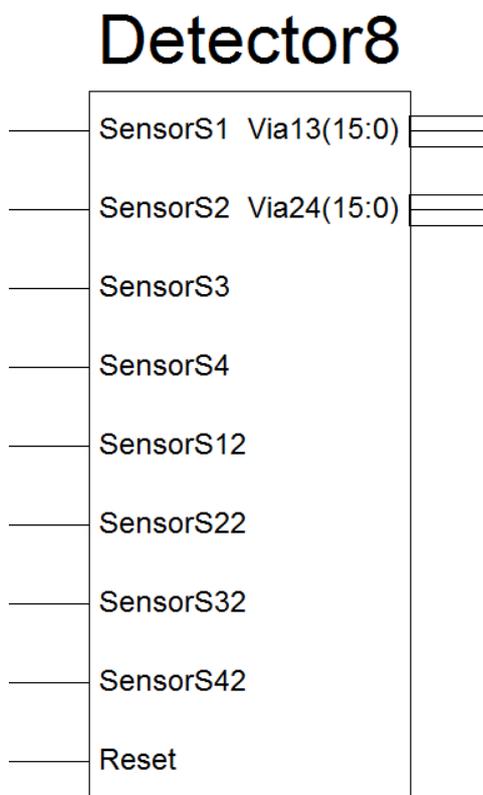


Figura 70: Estrutura interna Detector8

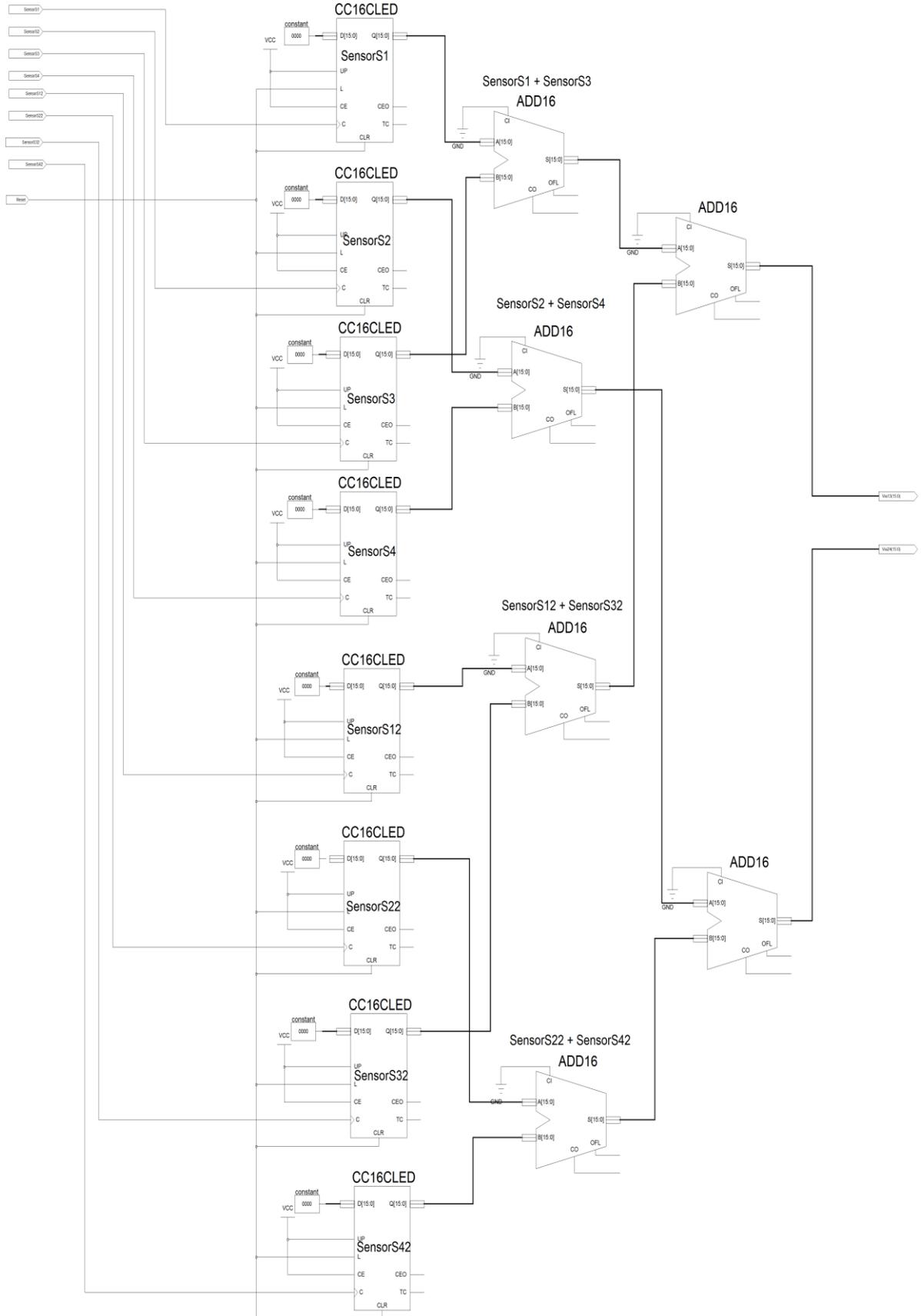
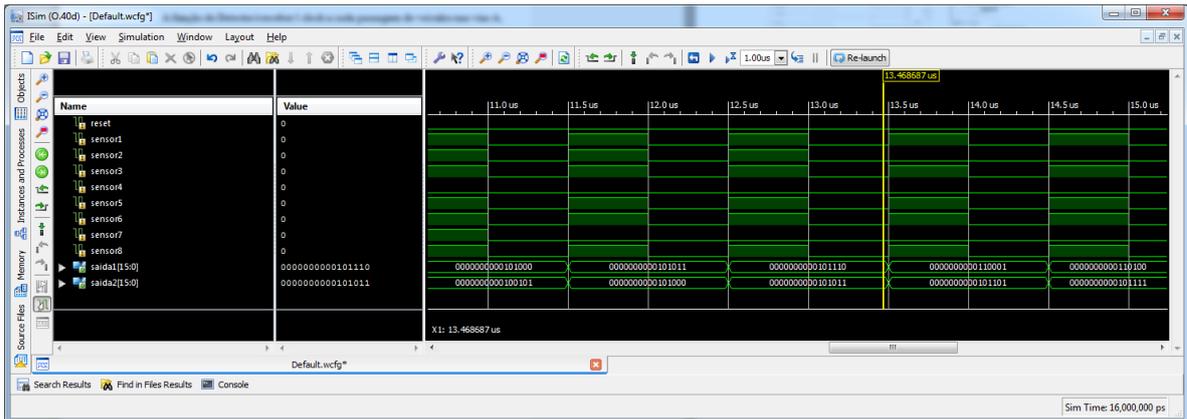


Figura 71: Simulação Detector8



4.8. Semáforo

A função de Semáforo é efetuar contagem de forma regressiva com valor inicial definido pela entrada Time, no momento que o valor estiver em 1, ele gera um *clock* para que o próximo semáforo possa carregar o valor da entrada do próximo semáforo e o semáforo é desligado quando o contador estiver em 0, conforme demonstrado na figura 72 e figura 73. Ele é utilizado exclusivamente no módulo de sequência com a finalidade de indicar o momento da troca de lâmpadas acesas em cada semáforo do cruzamento selecionado.

Figura 72: Semáforo

Semaforo

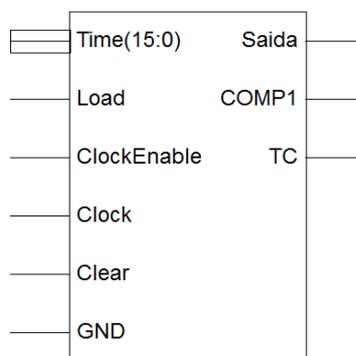


Figura 73: Estrutura interna Semáforo

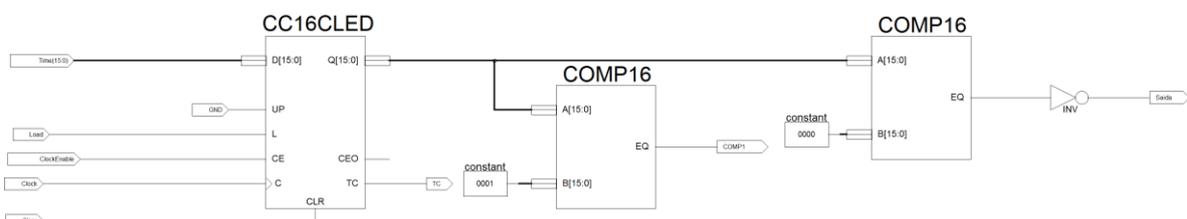
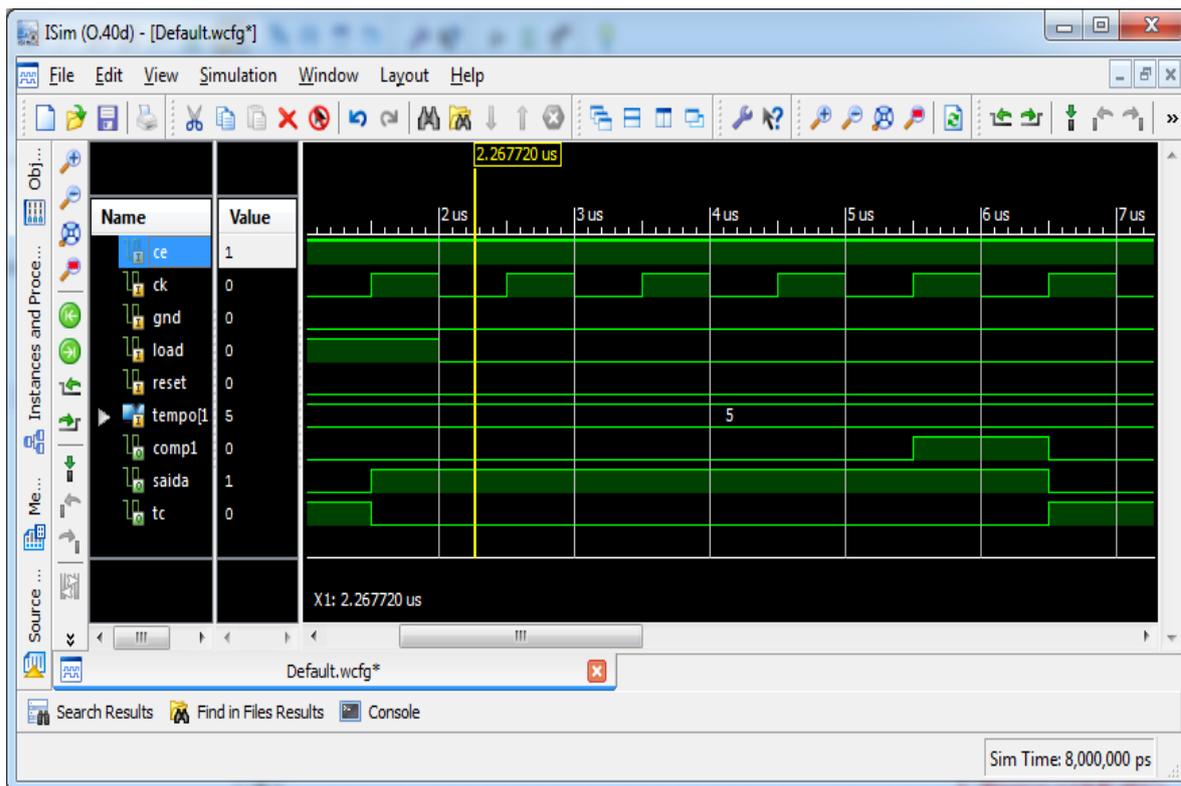


Figura 74: Simulação Semáforo



A figura 74 mostra a simulação de Semáforos, onde observa-se que ao final da contagem de tempo o semáforo é deligado, apenas ligando novamente somente quando a entrada CE estiver com nível lógico 1.

4.9. Relação

O módulo de relação foi implementado a partir dos componentes mencionados acima, a figura 75, demonstra a definição do módulo implementado. Para o controle de trocas de relações do micro-controlador, ele possui um ContadorSequencial4b que é incrementado a cada 8 ciclos do semáforo, e somente após esses 8 ciclos o micro-controlador incrementa ou decrementa a relação do ciclo e/ou altera o tempo de ciclo, como demonstrado na figura 76.

Enquanto não é gerado o *clock* de mudança de ciclo/relação, o micro-controlador a partir da entrada de informações do módulo de sensores, e a partir dele é verificado a media de veículos na via e comparado no COMP16, caso a via A, seja maior que a via B, é gerado um *clock* na saída GT do COMPM16, esse *clock* é utilizado para incrementar o ContadorSequencial4b da via A, caso contrário é gerado um *clock* na saída LT do

COMP16, incrementando o ContadorSequencial4b da via B. Logo em seguida, os contadores passam por uma comparação de 4bits, no COMP4, caso o contador da via A seja maior que o contador da via B, a saída GT gera um *clock*, conforme demonstrado na figura 77.

Figura 75: Relações

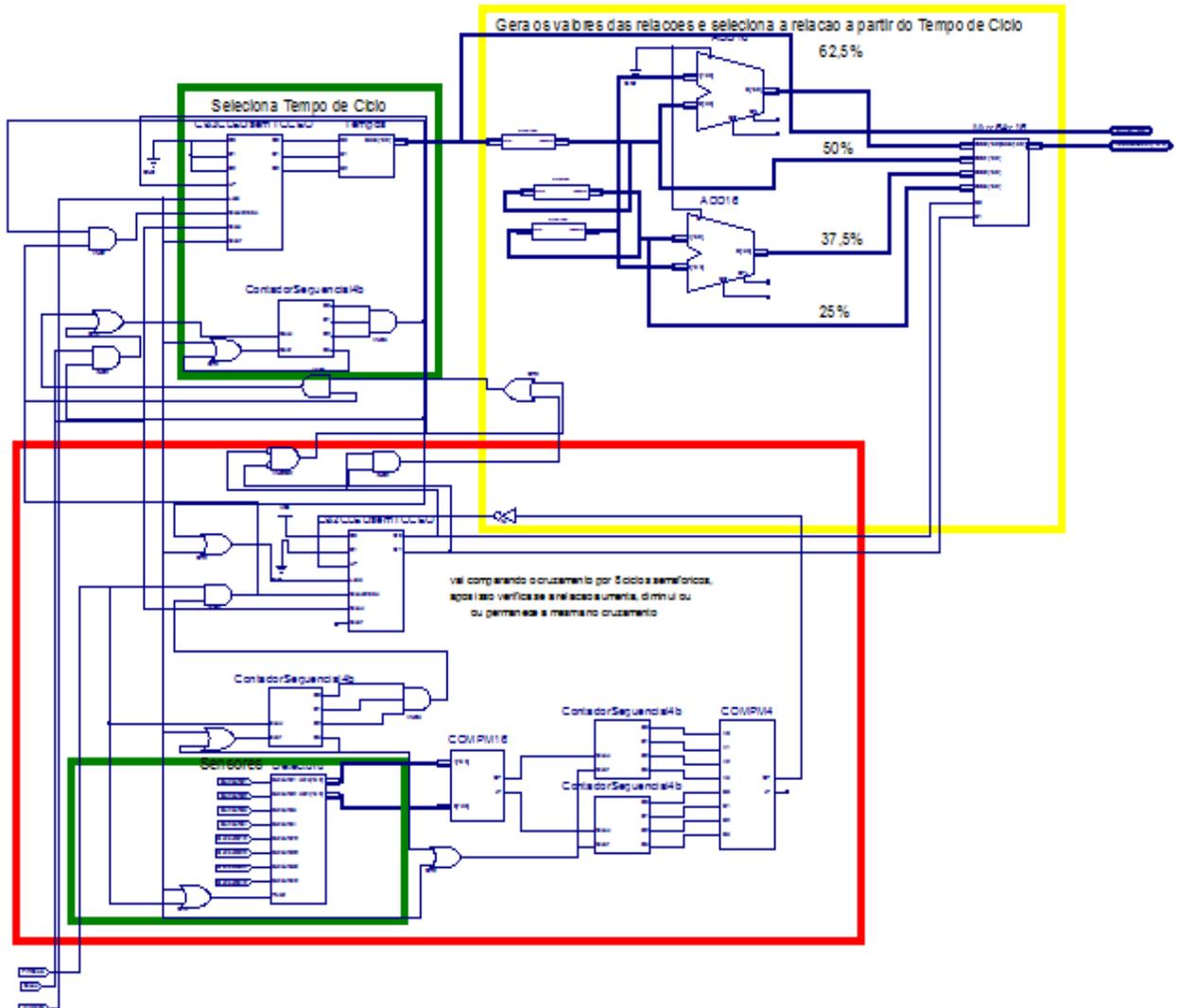


Figura 76: Controle de mudança de ciclo/relação

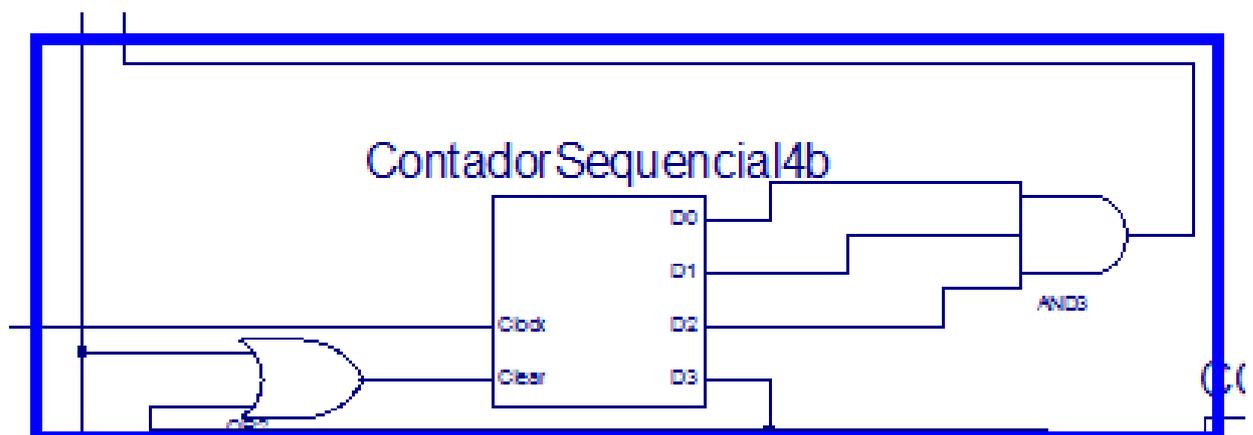
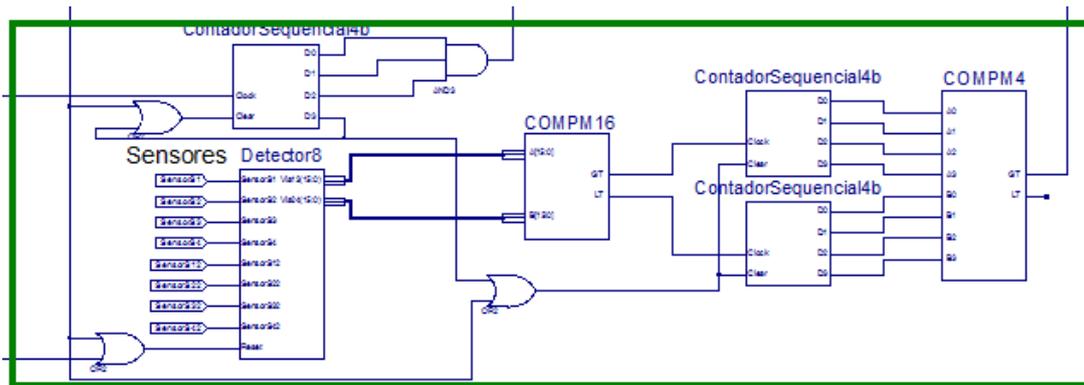


Figura 77: Controle de aumento/diminuição de ciclo



No momento que o circuito que controla o ciclos possui sinal lógico 111, ele habilita a entrada CE “*circuit enable*” e a partir do sinal 1 ou 0 do COMP4, ele aumenta ou diminui a relação de verde do circuito pelo CB2CLEdsemTCCEO. O contador CB2CLEdsemTCCEO controla qual será a saída da relação de verde TG do módulo. Esse controle é realizado pelas saídas Q0 e Q1 do CB2CLEdsemTCCEO que seleciona a saída pelas entradas S0 e S1 do multiplex Mux64x16, conforme demonstrado na figura 78 e figura 79.

Figura 78: Seleção de Relação de Tempo de Verde

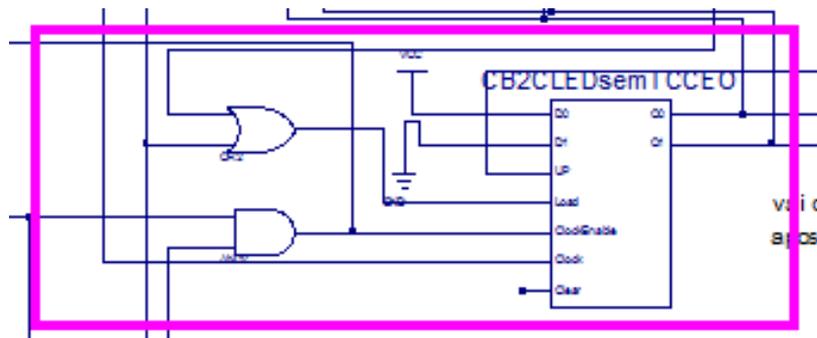
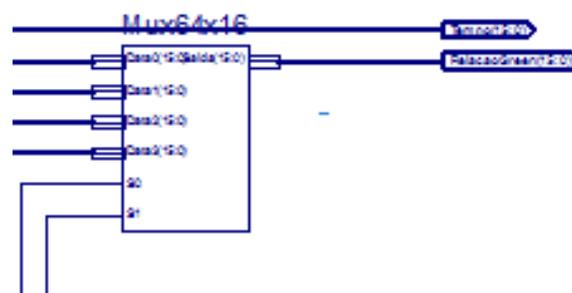
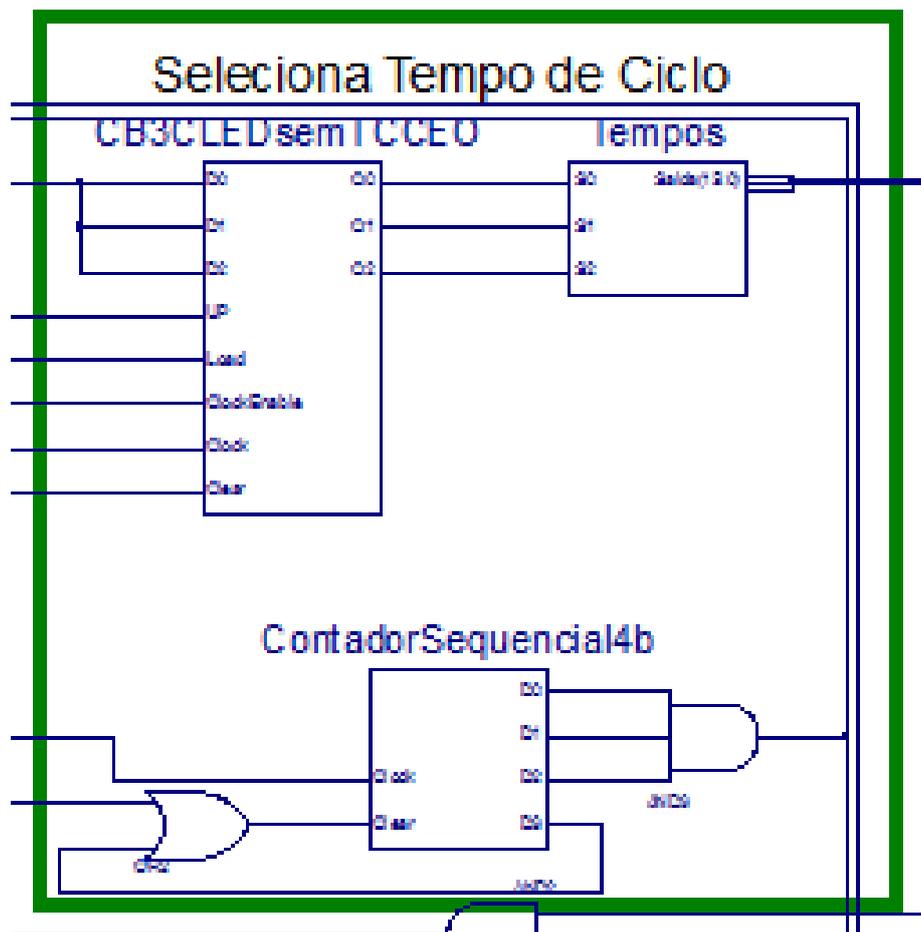


Figura 79: Seleção de Saída da Relação de Tempo de Verde



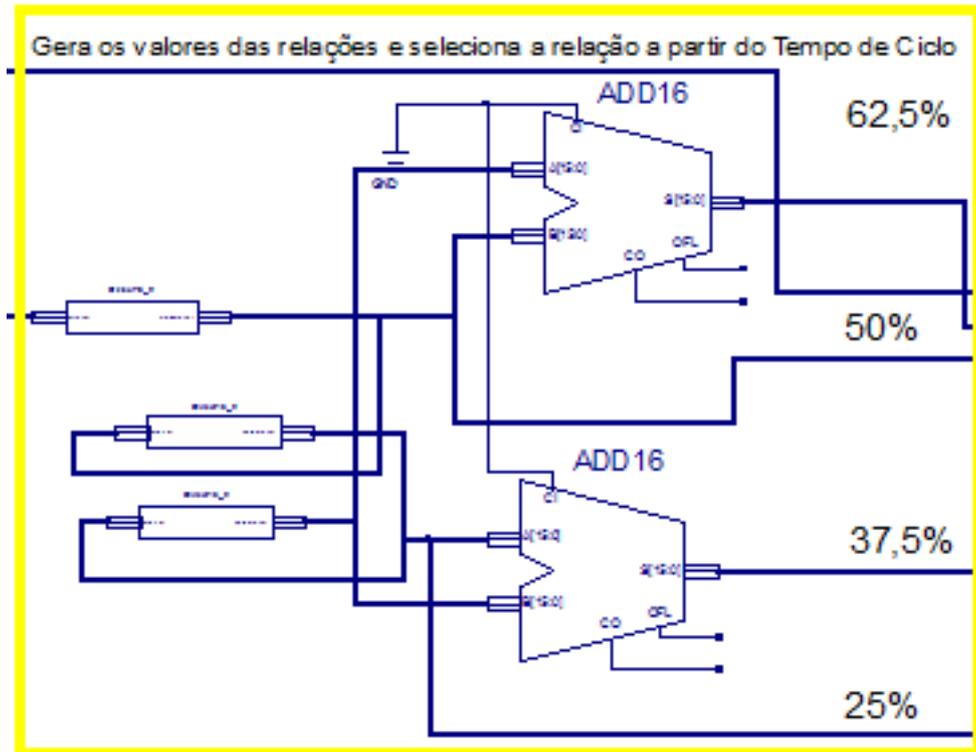
Caso a saída do CB2CLEDsemTCCEO seja 00 ou 11, é gerado um *clock* para outro ContadorSequencial4b, que irá contar 8 *clocks* para alterar o tempo de ciclo TC que será utilizado para calcular o tempo de relação TG. Isso ocorre caso a via permaneça com maior ou menor movimentação por muito tempo; neste caso o tempo de ciclo é alterado com intenção de otimizar as temporizações do cruzamento, como demonstrado na figura 80.

Figura 80: Seleção da Relação de Tempo de Ciclo



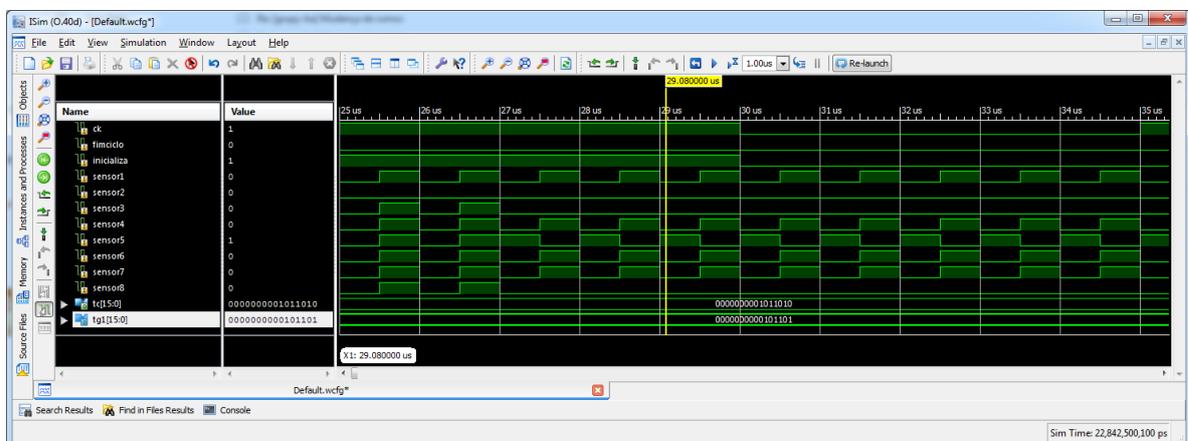
A saída de Tempos calcula as relações possíveis para o tempo de verde TG, ela é calculada por 1 divisor que efetua a divisão gerando a metade do valor da entrada, assim obtemos 50% do valor de entrada, logo em seguida é efetuada a mesma divisão utilizando os 50%, para obter-se 25%, e por fim é efetuada a divisão para obter-se 12,5%. Após realizadas as divisões, para obter-se outras relações, como por exemplo uma relação acima de 50%, são efetuadas algumas somas entre as divisões. A fim de obter-se as relações definidas para a implementação do micro-controlador. As relações do micro-controlador são: 62,5%; 50%; 37,5% e 25%. Como demonstrado na figura 81.

Figura 81: Relação de Tempo de verde



Como os componentes de divisão e adição não necessitam de *clock* para que sejam efetuados os cálculos, os valores podem ser calculados em paralelo, como demonstrado na figura 81, gerando grande a velocidade de cálculo do micro-controlador.

Figura 82: Simulação da Relação

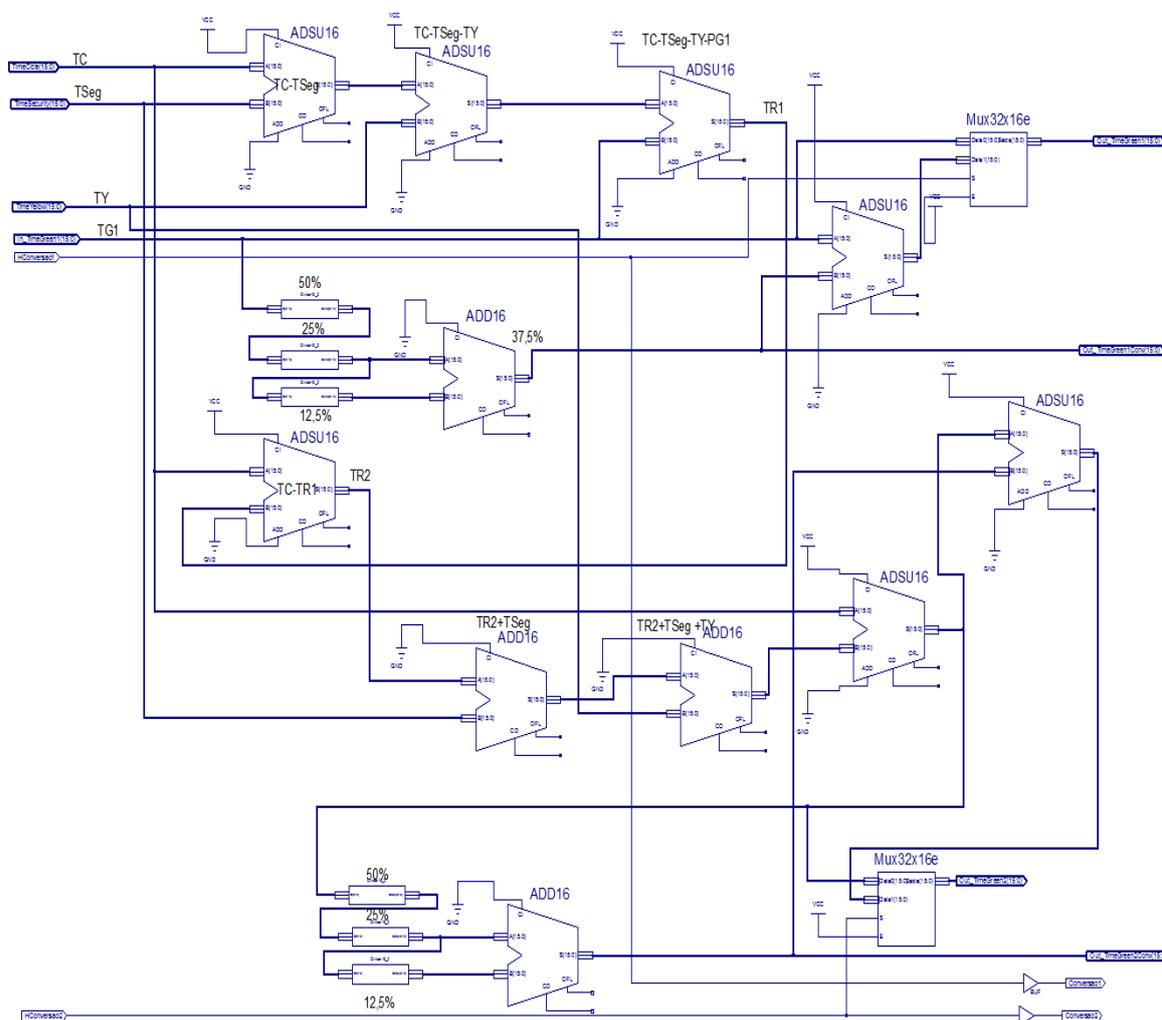


A figura 82 mostra a simulação do módulo de Relação, demonstrando os valores de TC e TG1, que são determinados de forma adaptativa; dinâmica; em tempo real.

4.10. Cálculos

O módulo de cálculos foi implementado utilizando dos componentes mencionados anteriormente. Ele é responsável por efetuar os cálculos tempo de verde do semáforo 2 e calcular os tempos de conversões a esquerda, caso esteja sendo utilizadas. A implementação do módulo de cálculos, possui suporte a cálculos de 2 conversões a esquerda, podendo em trabalhos futuros, serem implementados cálculos de 3 ou 4 conversões. Este módulo utiliza grande quantidade de componentes de soma, subtração e divisão, como demonstrado na figura 83. Um grande diferencial do micro-controlador implementado é a utilização de diversos componentes de soma, por exemplo: em um micro-controlador de uso geral, ele possui em média apenas 1 componente de soma. No módulo de cálculos são utilizados para efetuar os cálculos de valores de TG e TC em paralelo 11 componentes de soma, sendo desses, 6 componentes com subtração.

Figura 83: Cálculos



As entradas do módulo são:

- TimeCicle = TC
- TimeSecurity = TS
- TimeYellow = TY
- In_TimeGreen1 = TG1
- HConversao1 = Habilita conversão a esquerda do semáforo 1
- HConversao2 = Habilita conversão a esquerda do semáforo 2

A partir dos valores citados acima, o módulo efetua os seguintes cálculos:

$$TR1 = TC - TS - TY - TG1$$

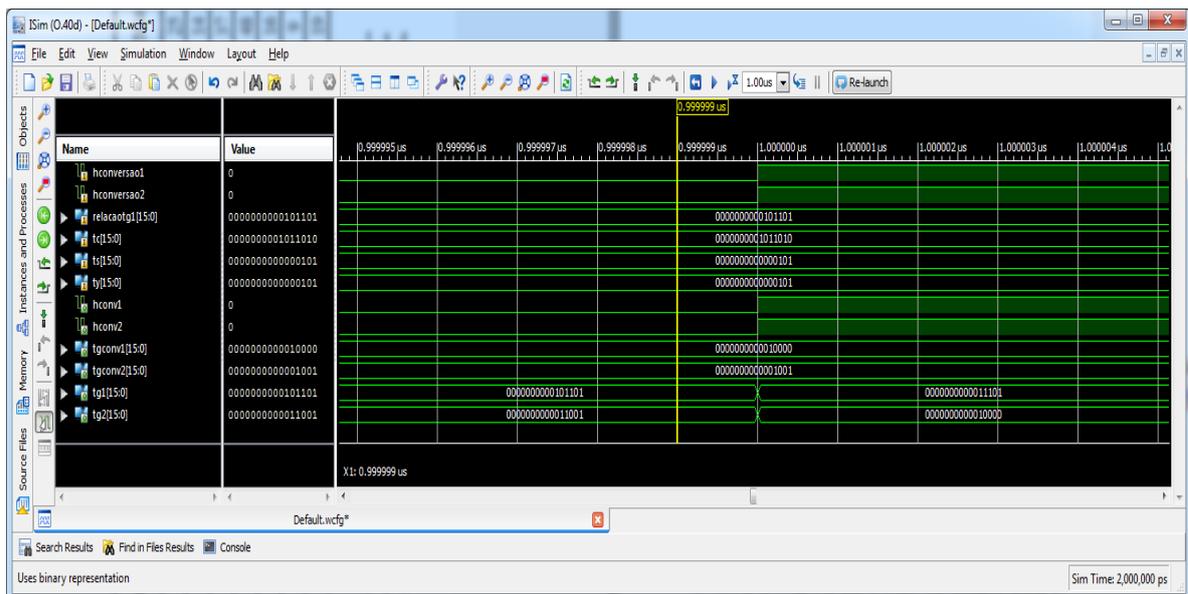
$$TR2 = TC - TR1$$

$$TG2 = TC - (TR2 + TS + TY)$$

$$TG1Conv = TG1 * 0,375$$

$$TG2Conv = TG2 * 0,375$$

Figura 84 Simulação Cálculos

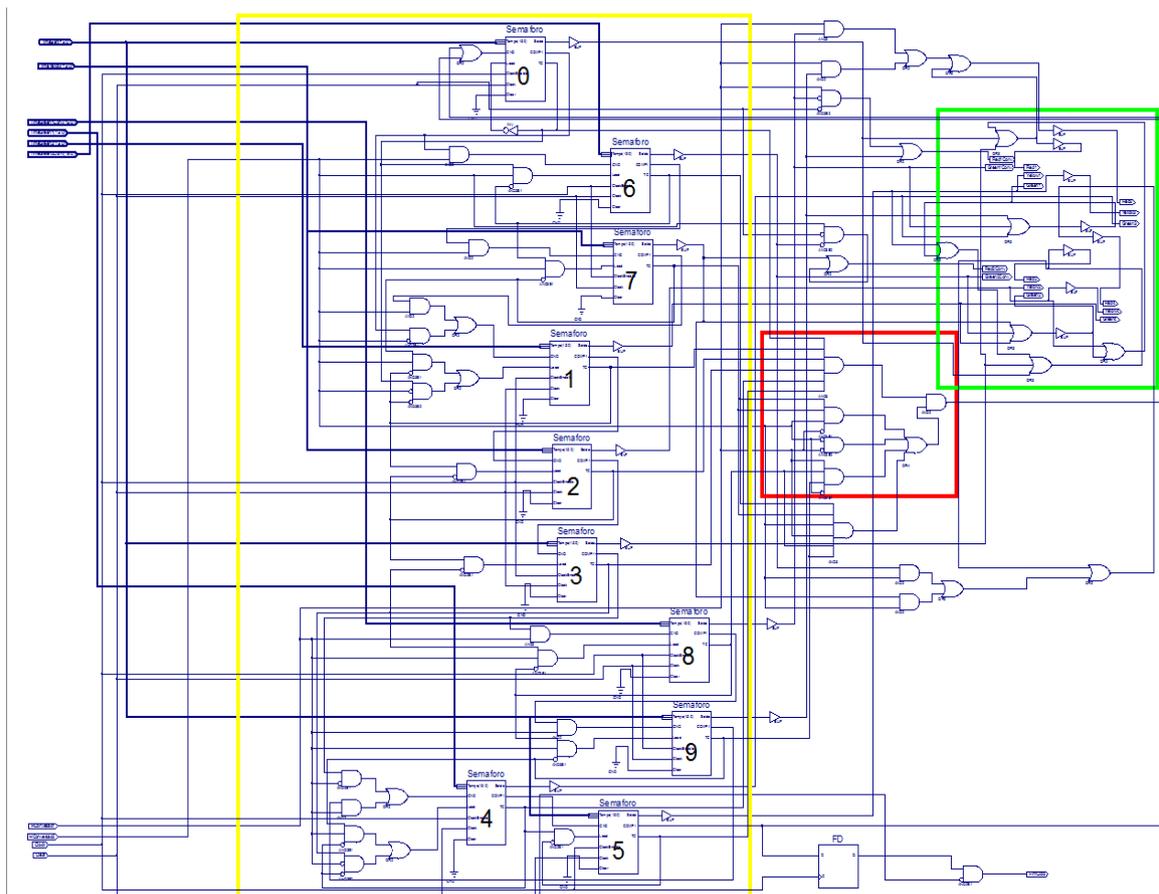


A figura 84 mostra a simulação do módulo de Relação, demonstrando os valores de TC e TG1. Onde foram utilizadas as fórmulas descritas no capítulo 1, dessa forma validando o módulo.

4.11. Sequência

O módulo de sequência é responsável por organizar a sequência e tempo de cada lâmpada do cruzamento, podendo ou não o cruzamento possuir até 2 vias com cruzamentos a esquerda. O módulo foi implementado, utilizando de componentes citados acima. A figura 85 demonstra à implementação do módulo de sequência.

Figura 85: Sequência



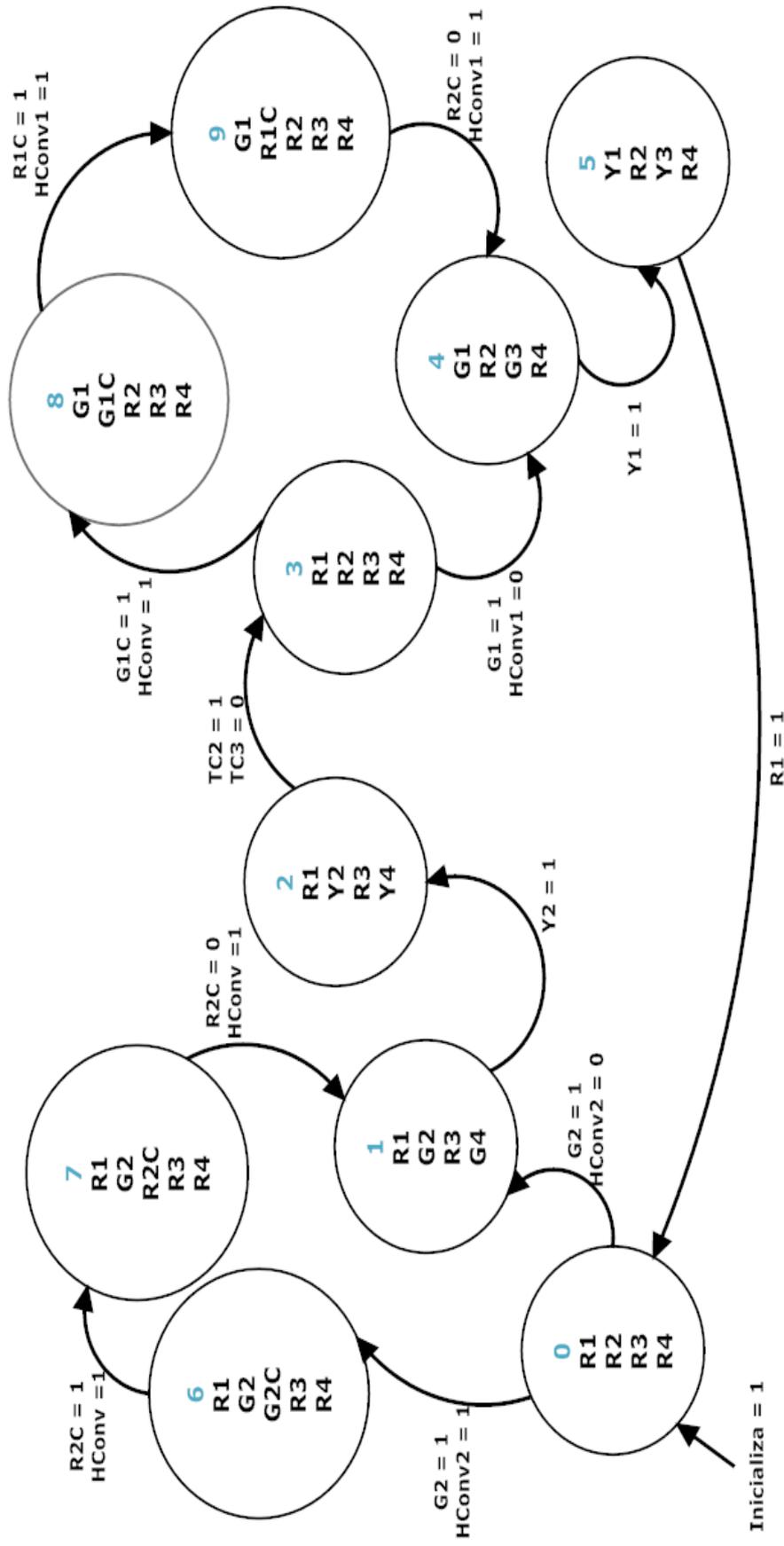
Para a implementação do módulo de sequência, foi respeitada a seguinte sequência das lâmpadas dos semáforos demonstrada na tabela 2, onde a cada mudança de lâmpada acesa, foi considerado como um estado, a partir da tabela. A sequência foi gerada a partir de um semáforo sem nenhuma conversão, logo após foram inseridas as conversões, utilizando a tabela de sequência a seguir foi possível gerar o grafo de sequência demonstrado na figura 86. Para simplificar o entendimento, a partir daqui será tratada cada lâmpada acesa como: verde aceso G; amarelo aceso Y e vermelho aceso R, seguido de um número que representara o número do semáforo.

Tabela 2: Sequencia de estados

Sequencia	HConv1	HConv2	R1	Y1	G1	R2	Y2	G2	R3	Y3	G3	R4	Y4	G4	R1Conv	G1Conv	R2Conv	G2Conv
0	1	1	1			1			1			1			1		1	
6	1	1	1					1	1			1			1			1
7	1	1	1					1	1			1			1		1	
1	1	1	1					1	1					1	1		1	
2	1	1	1				1		1				1		1		1	
3	1	1	1						1			1			1		1	
8	1	1				1			1			1				1	1	
9	1	1				1			1			1			1		1	
4	1	1				1					1	1			1		1	
5	1	1		1						1		1			1		1	

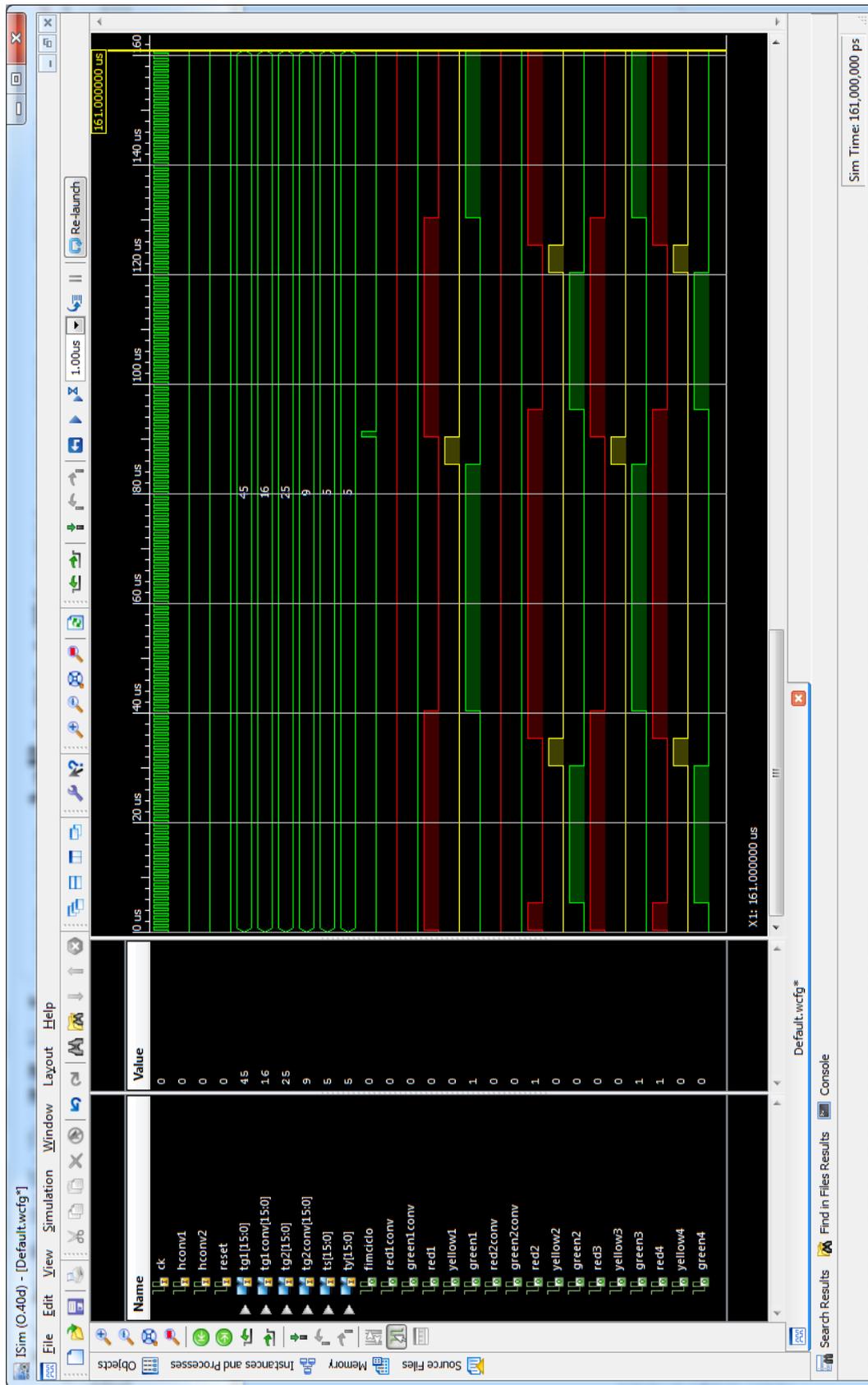
A tabela acima demonstra os valores da sequência utilizados pelo micro-controlador para exibir quais as lâmpadas dos semáforos estão acesas no momento. O figura 65 representa a sequência lógica dos estados da tabela 2. Para a implementação de outras conversões à esquerda, é necessário efetuar alterações na tabela acima e no diagrama a seguir.

Figura 86: Diagrama de sequencia



O diagrama da figura 86 representa os estados das lâmpadas, assim como suas respectivas transições de estados. O Diagrama de sequência acima possui 10 estados; de 0 a 9, sendo o estado 0 o estado inicial do circuito. No estágio 0 todos os semáforos estarão com o a lâmpada vermelha acesa (vermelho de segurança), assim como no estágio 3. No capítulo seguinte serão validados e simulados os módulos do micro-controlador objetivo do trabalho.

Figura 87: Simulação sequencia



A figura 87 mostra a simulação do módulo de Sequência, onde a partir dos valores resultantes do módulo de cálculos, determina os tempos de cada lâmpada de cada semáforo do nó controlado pelo micro-controlador.

VALIDAÇÃO E SIMULAÇÃO

O circuito do micro-controlador de tráfego urbano, descrito, implementado em uma FPGA da família Spartan3, modelo Xc3S50, e validado através de simulação utilizando a versão 13.1 do software da mesma empresa, denominado ISE. A tabela 4 demonstra alguns dados de utilização do FPGA; onde observa-se que foi utilizado menos que 30% das funcionalidades do FPGA, onde por exemplo o numero de blocos de entrada e saída IOBs foram de 28, sendo disponível pelo FPGA 240; blocos lógicos LUTs, foram utilizados 1792, sendo disponíveis no FPGA 46.560. Maiores informações sobre ocupação e espaço e de utilização dos componentes disponíveis no FPGA, estarão presentes no arquivo “sumario.html”, que se encontra juntamente com o disco da monografia. Com base nesses dados, o micro-controlador pode ser implementado em FPGAs com capacidades menores do modelo Xc3S50.

Tabela 4: Sumario Xc3s50

Integracao Project Status				
Project File:	TCCImplementacao.xise	Parser Errors:	No Errors	
Module Name:	Integracao	Implementation State:	Programming File Generated	
Target Device:	xc3s50-5tq144	• Errors:	No Errors	
Product Version:	ISE 13.1	• Warnings:	1320 Warnings (30 new)	
Design Goal:	Balanced	• Routing Results:	All Signals Completely Routed	
Design Strategy:	Xilinx Default (unlocked)	• Timing Constraints:	0	
Environment:	System Settings	• Final Timing Score:	150 (Timing Report)	
Device Utilization Summary				[-]
Slice Logic Utilization	Used	Available	Utilization	Note(s)
Number of Slice Registers	310	93,120	1%	
Number of Slice LUTs	1,792	46,560	3%	
Number of occupied Slices	600	11,640	5%	
Number of LUT Flip Flop pairs used	1,792			
Number of bonded IOBs	28	240	11%	
Number of BUFG/BUFGCTRLs	10	32	31%	
Number of STARTUPs	1	1	100%	
Number of RPM macros	58			
Average Fanout of Non-Clock Nets	2.47			

A simulação foi realizada em várias etapas. Primeiramente foram simuladas e validadas de forma isolada, cada uma das funções contidas no micro-controlador. Após a validação da funcionalidade de cada função, foi gerada uma macro com sua consequente simulação e validação.

As macros geradas para todas as funções, foram agrupadas utilizando critérios de funcionalidade, e integradas em três macros (subsistemas) maiores denominadas: Relação, Cálculos e Sequência. As macros: Relação, Cálculos e Sequência foram simuladas de forma isoladas para realizar a sua funcionalidade e sincronismo entre os subsistemas contidos nas mesmas.

Após a validação isolada das três macros (subsistemas), elas foram integradas gerando o circuito final, que foi, novamente simulado, com o intuito de validar a funcionalidade e sincronismo entre as três macros.

A figura 66 mostra o circuito do micro-controlador resultante da integração entre as 3 macros. Nele pode-se observar 8 entradas para sensores; 1 entrada para inicialização do circuito (*reset*); 1 entrada de *clock* e 2 entradas para os valores de tempo de segurança e tempo de amarelo.

Essa metodologia foi importante para a obtenção do circuito do micro-controlador gerado, contribuindo para garantir a confiabilidade e eficiência do circuito final, no tempo disponível (exíguo) para implementá-lo.

As figuras abaixo mostram a simulação do micro-controlador, sendo possível verificar a alteração de relação. A simulação mostra todas as saídas no caso do micro-controlador estiver configurado sem a conversão à esquerda, onde cada lâmpada de cada semáforo está representada com sua respectiva cor, os valores de tempo estão sendo exibidos na base 10, para que haja melhor compreensão. Pode-se visualizar graficamente, as saídas de cada semáforo pelas cores de cada lâmpada do semáforo, pelas simulações a seguir.

Em todas as simulações a seguir para simular a movimentação de veículos nas vias, foram utilizados *clocks* aleatórios nas entradas dos sensores para estimular a simulação de forma dinâmica, em tempo real e adaptativa.

A figura 89 mostra a mudança de relação de verde simulando o aumento de veículos na via do semáforo 1, passando de 45 segundos para 56 segundos.

A figura 90 mostra a mudança do tempo de ciclo, simulando grande aumento de veículos na via do semáforo 1, passando o tempo de ciclo de 90 segundos, para 120

segundos, incrementando ou decrementando o tempo de ciclo em 30 segundos como descrito nos capítulos anteriores.

A figura 91 mostra a mudança de relação do tempo de verde de 45 segundos; para 30 segundos e posteriormente 22 segundos. Simulando a diminuição da movimentação de veículos na via do semáforo 1 e aumentando a movimentação de veículos na via 2.

A figura 92 mostra a simulação com conversões a esquerda, onde, pode-se observar o funcionamento do micro-controlador com uma das duas conversões à esquerda implementadas.

Figura 88: Integração dos Subsistemas

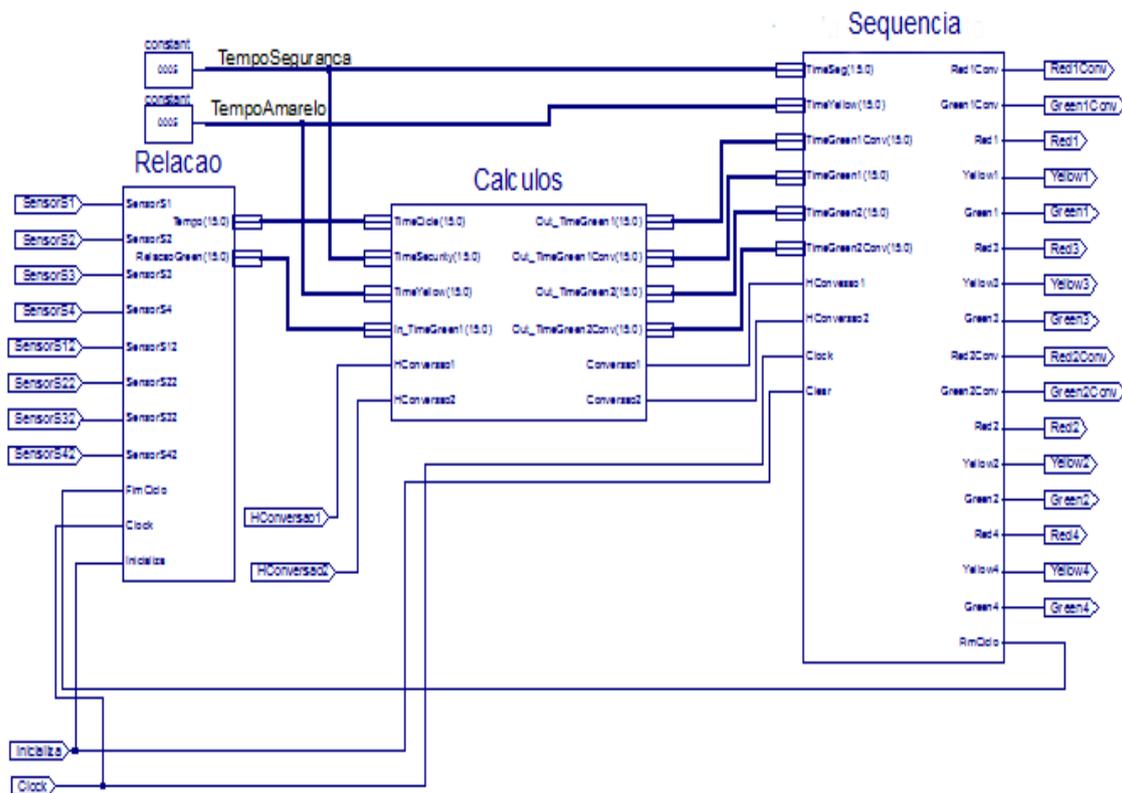
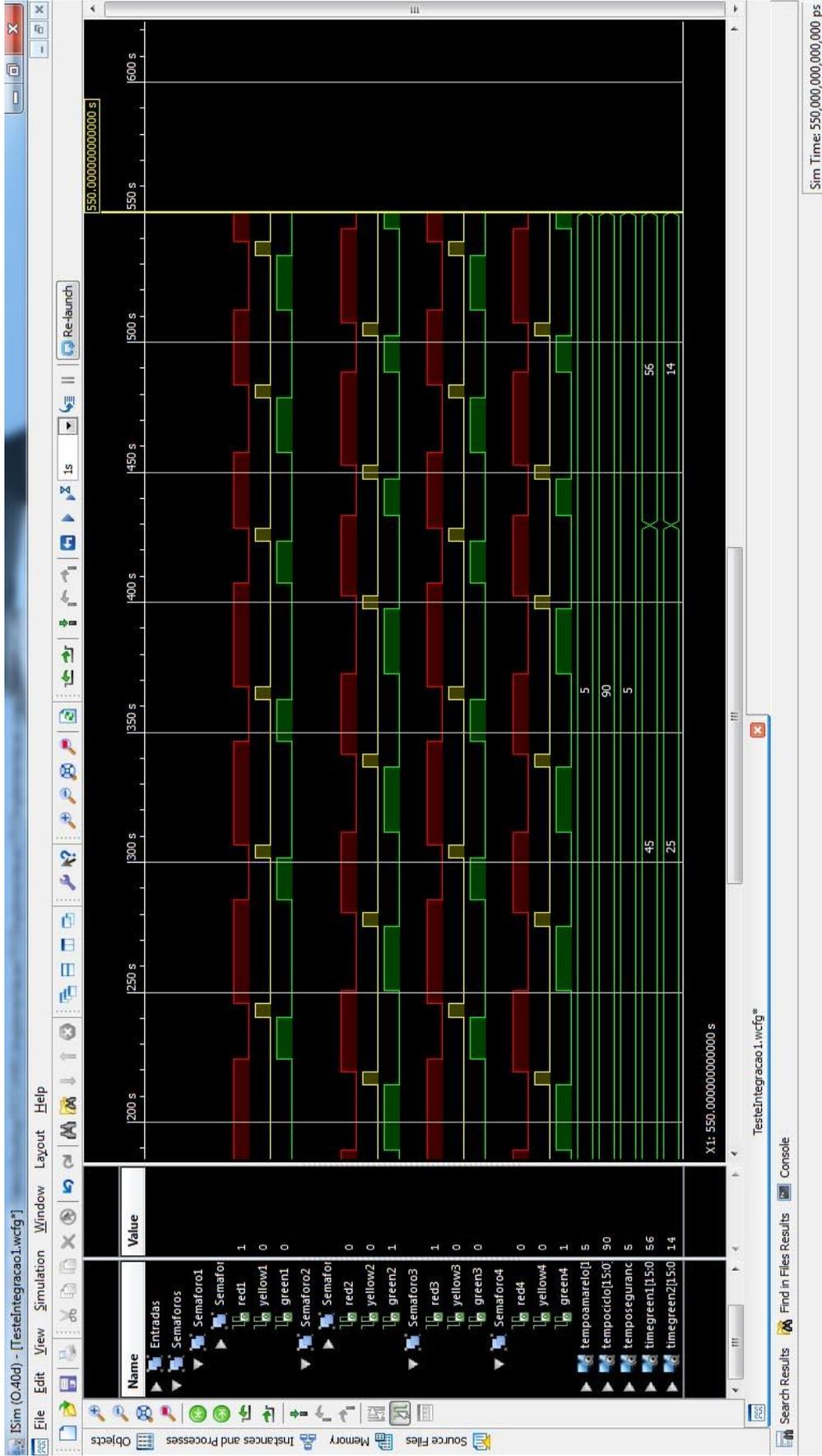
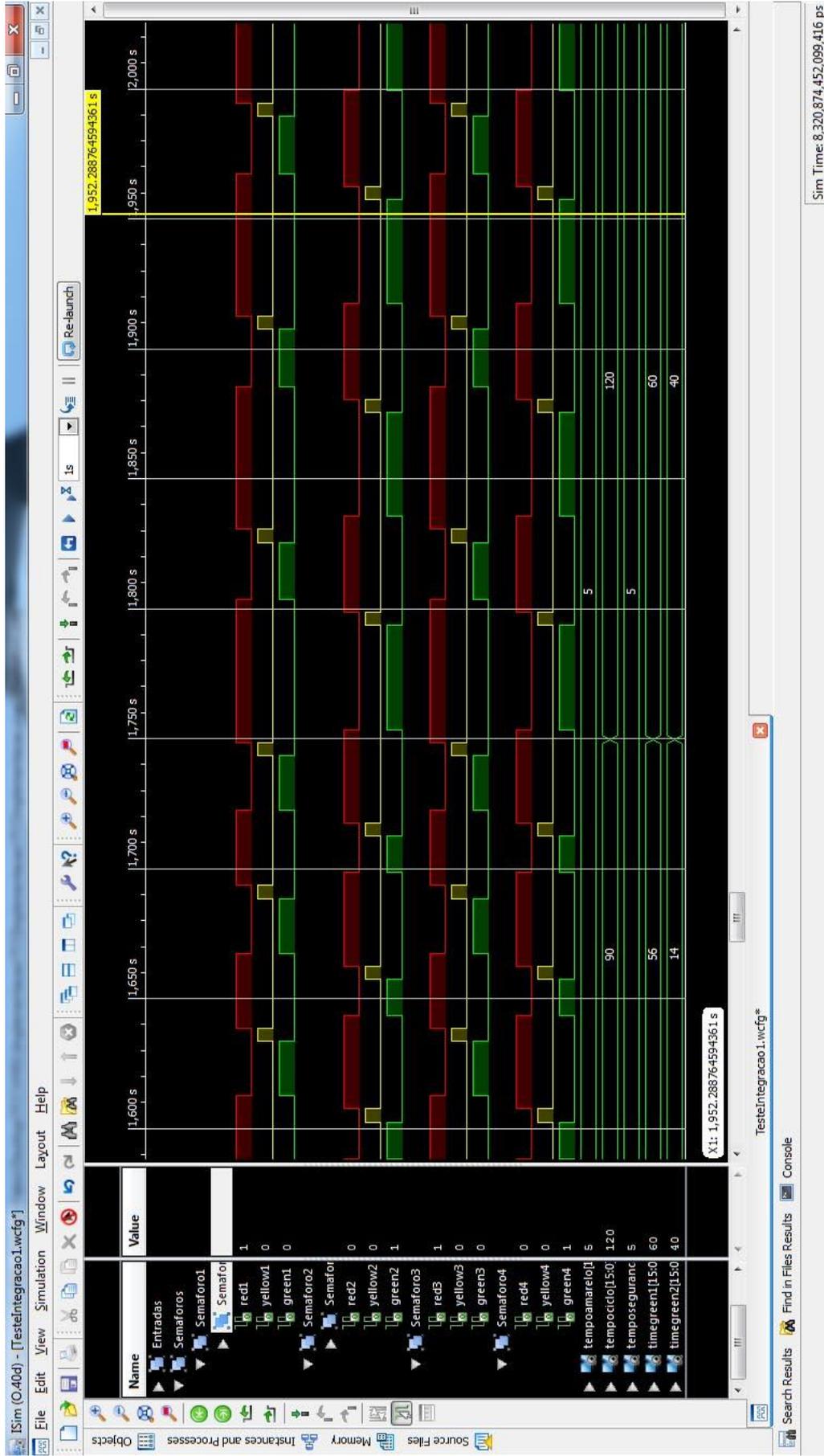


Figura 89: Simulação Completa 1



A figura 89 demonstra a simulação da integração dos módulos de relação de relação, cálculos e sequência, demonstrando a mudança da relação de tempo de TG1 de 45 segundos, para 56 segundos. Com essa alteração de tempo de TG1, o tempo de TG2 é alterado de 25 segundos para 14 segundos.

Figura 90: Simulação Completa 2



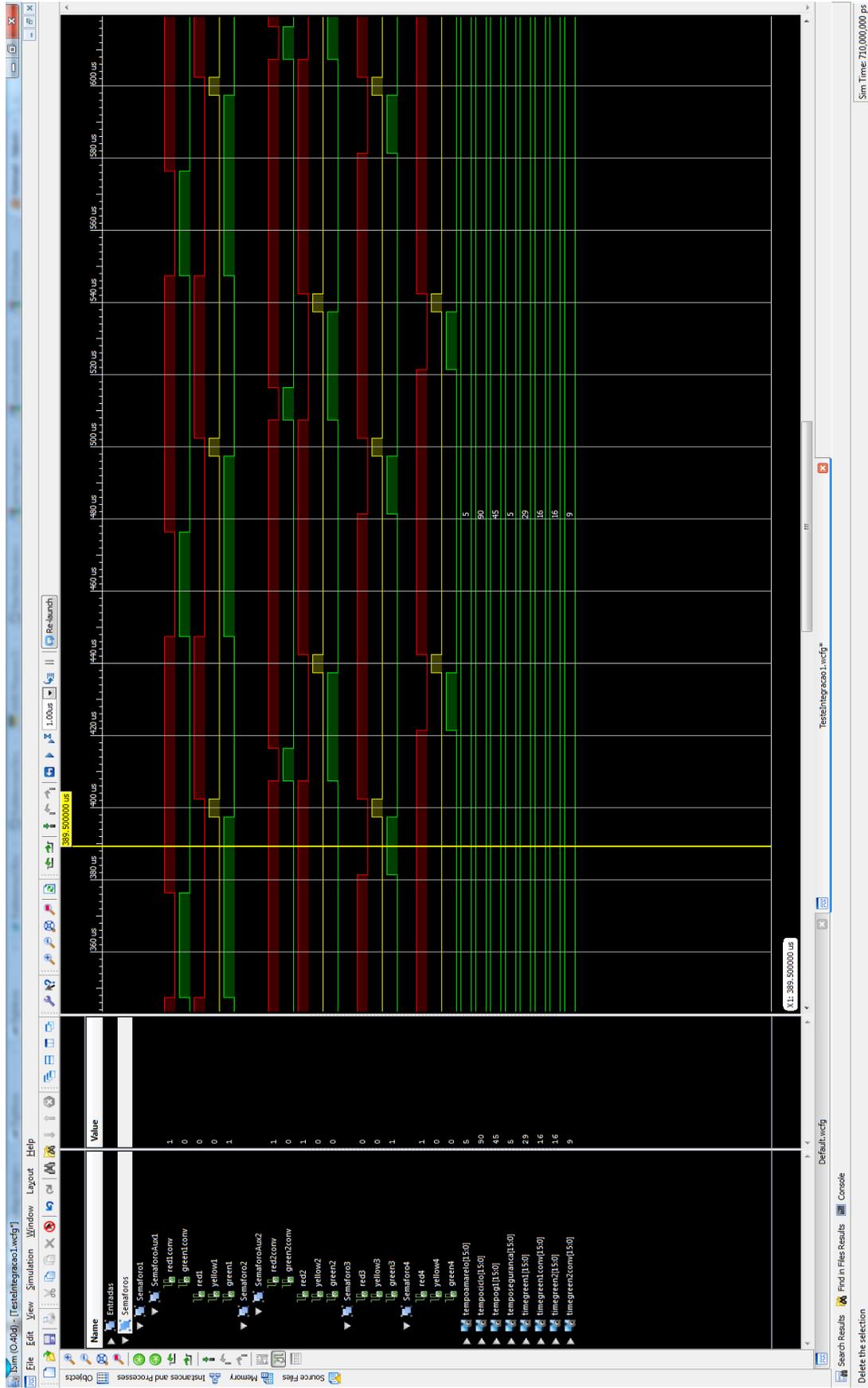
A figura 90 demonstra a simulação da integração dos módulos de relação, cálculos e seqüência, demonstrando a mudança da relação de tempo de ciclo de 90 segundos para 120 segundos, gerando um tempo de TGI de 56 segundos, para 60 segundos. Com essa alteração de tempo de TGI, o tempo de TG2 é alterado de 14 segundos para 40 segundos.

Figura 91: Simulação Completa 3



A figura 91 demonstra a simulação da integração dos módulos de relação de relação, cálculos e sequência, demonstrando a mudança da relação de tempo de TG1 de 45 segundos, para 37 segundos. Com essa alteração de tempo de TG1, o tempo de TG2 é alterado de 37 segundos para 48 segundos.

Figura 92: Simulação Completa 4



A figura 92 demonstra a simulação da integração dos módulos de relação de relação, cálculos e sequência e demonstrando o modo de operação do micro-controlador utilizando dois semáforos auxiliares.

CONCLUSÃO

O objetivo proposto pelo trabalho foi concluído utilizando da interligação de macros de Relação, Cálculos e Sequencia. A partir dessa interligação foi possível a realização das simulações do capítulo anterior. O problema proposto no início do projeto, era a implementação de um micro-controlador dinâmico, em tempo real e adaptativo. O micro-controlador, pode ser utilizado em todos os cruzamentos que possuem até 6 semáforos; sendo 2 deles semáforos auxiliares para conversões a esquerda. Dessa forma o micro-controlador, abrange a maioria de cruzamentos que utilizam semáforos.

O protótipo do micro-controlador foi implementado utilizando-se de descrição gráfica dos componentes lógicos, no ambiente da Xilinx.

A partir da implementação o software da Xilinx, pode-se gerar pelo software da Xilinx o código VHDL da implementação da descrição gráfica. A implementação do micro-controlador possui aproximadamente 7500 linhas de código em VHDL, podendo certamente ser otimizado. O código em VHDL estará disponível juntamente dentro do disco da monografia no arquivo “VHDL-TCC.txt”.

O projeto pode complementado, com o desenvolvimento das quatro conversões a esquerda, e implementando um módulo de comunicação para que o micro-controlador se comunique com outros micro-controladores de outros cruzamentos (nós), gerando assim uma rede de micro-controladores. Obtendo-se um micro-controlador dinâmico, em tempo real, adaptativo e distribuído. Podendo otimizar as malhas viárias de forma a otimizar até o efeito “onda-verde”.

REFERÊNCIAS

Amore, R., VHDL: Descrição e Síntese de Circuitos Digitais. Rio de Janeiro: LTC. 2005.

Beck, R. **Análise do impacto do semáforo com informação auxiliar de tempo sobre a capacidade das intersecções.** 1995.

Bruce, R. **A watching brief, Traffic Technology International.** 2001.

Carter, N.. **Teoria e Problemas de Arquitetura de Computadores.** 1ª ed. Bookman, 2003.

Clowes, D.J. **Second International Conference on Road Traffic Control.** 1986.

COBRASIN. **Catálogo de produtos.** Disponível em: <<http://www.cobrasin.com.br/semaforos.htm>>. Acesso em: set. 2011

CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito. **Sinalização Vertical de Advertência, Volume II.** 2007.

CONTRANSIN. **Catálogo de produtos.** Disponível em: <<http://www.contransin.com.br>>. Acesso em: out. 2011.

Cucci Neto, J. **Projeto Semafórico: Legislação , Arranjo Sísico e Sinalizações Relacionadas – extraído do CTB e Manual de Sinalização Semafórica CET-SP.** 1999.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. **Manual de Semáforos 2ºEd.,** Brasil. 1984.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. **Código de Transito Brasileiro.** Brasil 2008.

EIS. **Catálogo de Produtos.** Disponível em: <http://www.imagesensingca.com/en/Solutions/SolutionsIntro/tabid/72/Default.aspx>>. Acesso em Out 2011.

Ejzenberg, S. **Reprogramação de semáforos: método baseado em observação de campo**, Notas Técnicas Vol. 1. 2005

FHWA, Federal Highway Administration. **Traffic Control System Handbook –USDOT United States Department of Transportation**, USA, 1976.

FHWA, Federal Highway Administration. **Traffic Detector Handbook: Third Edition—Volume I**. Disponível em: <<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/>>. Acesso em: Out 2011.

HOMBURGER, W.S., KELL, J.S., PERKINS, D.D. **Fundamentals of Traffic Engineering - 16th ed.** 2007.

Iteris. **Vantage: Sistema de Video Detecção**. 2004

Iteris. **Vantage: Video Detection System Overview**. 2007

MICROSOFT. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/visualstudio/pt-br/>>. Acesso em abr. 2011

Ordonez, E., D., M.. at all – **“Projeto, Desempenho e Aplicações de Sistemas Digitais em Circuitos Programáveis (FPGAs)”**. Bless Gráfica e Editora Ltda. 2003.

Ordonez, E., D., M.; Penteadó, C., G.; Silva, A., C., R.. **“Microcontroladores e FPGAs- Aplicações em Automação”**. Novatec Editora. 2006.

Patterson, ., A.; Hennessy, J., L. .. **Organização e Projeto de Computadores**. 3a.^a ed. Editora Campus, 2005.

SDM. Comercio e Montagem de Componentes Eletrônicos LTDA. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<http://www.semaforointeligente.com.br/semaforo/index.htm>>. Acesso em: set. 2011

SERTTEL. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<http://www.zae.com.br/serttel20081/prod01gsemf.asp>>. Acesso em: out. 2011

Shiroidenki. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<http://www.shiroidenki.com.br/detalhes.asp?id=26&produto=403>>. Acesso em: set. 2011

Shiroidenki. **Catálogo de produtos.** Disponível em: <<http://www.shiroidenki.com.br/detalhes.asp?id=26&produto=398>>. Acesso em: set. 2011

Stolte B. B., Clóvis P. F. A. **Estado da prática na operação de semáforos nas cidades médias do Estado de São Paulo**, 15º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, ANTP, Goiania, Brasil (2005).

Tanenbaum, A., S.. **Organização e Arquitetura de Computadores.** 5ª Ed. Pearson/Prentice Hall. 2007.

TESC. **Catálogo de produtos.** Disponível em: <<http://www.tesc.com.br/V2/baby.asp>>. Acesso em: out. 2011.

Tocci, J. R.. **“Sistemas Digitais - Princípios e Aplicações”.** 8ª Ed. Prentice Hall do Brasil. 2003.

Vilanova, L.M. **Dimensionamento dos tempos de entreverdes para veículos.** Brasil. 2007.

Xilinx. Disponível em <http://www.xilinx.com/support/documentation/dt_ise13-3_releasenotes_knownissues.htm>. Acesso em: nov. 2011.