

MICROCONTROLADOR PARA UM SISTEMA DINÂMICO DE CONTROLE DE TRÁFEGO URBANO

Bugatti, I., G.. Egidio, F., L..

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 novos materiais 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 aplicada à microcontroladores também exerce papel relevante neste 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 Técnico em Mecatrônica 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 microcontrolador 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:- *FPGA; Microcontrolador; Tempo Real; Adaptativo; Distribuído; Dinâmico.*

1- Introdução

O controle eficiente de tráfego urbano é um requisito e uma 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.

A utilização de circuitos eletrônicos programáveis do tipo PAL e FPGA e linguagens de descrição de *hardware* e/ou utilização de descrição gráfica viabiliza a construção de circuitos com alta integração tanto em laboratórios de pesquisa quanto em pequenas e médias empresas com finalidade de auxiliar o desenvolvimento de sistemas de controle nas mais diversas áreas, por exemplo, o controle de tráfego urbano.

As características da tecnologia da área de circuitos eletrônicos programáveis e linguagens de descrição de *hardware* viabilizam o desenvolvimento de sistemas digitais com alta integração, de forma rápida, eficiente e custos reduzidos. No entanto, esta atividade demanda pessoal qualificado.

Essas características de baixo custo na área de circuitos eletrônicos programáveis e poucas iniciativas de realização de controle de tráfego viabilizam o desenvolvimento de um microcontrolador dedicado para controlar o nó de uma malha viária conforme mostra a figura 1. A malha viária apresentada ilustra a aplicação para a qual será desenvolvido o microcontrolador. Ela demonstra um subconjunto de cruzamentos e cada cruzamento da malha viária é denominado nó. Cada nó contém um microcontrolador e um conjunto de semáforos.

Esse nó será controlado pelo microcontrolador, objeto do trabalho. O microcontrolador recebe 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 nas vias públicas, pois o microcontrolador irá controlar os tempos dos semáforos do nó, permitindo maior tempo de passagem de veículos na via com maior fluxo de veículos.

Visando essas situações, foi sintetizado, projetado, implementado e validado um microcontrolador de uso específico no controle de tráfego urbano, que tem como objetivo aperfeiçoar a geração das temporizações de uma rede de semáforos de forma dinâmica, adaptativa e em tempo real, a fim de otimizar o controle de fluxo veículos de forma distribuída, em tempo real e adaptativo.

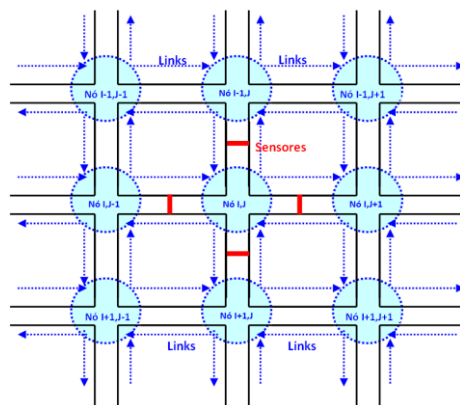


Figura 1: Exemplo de malha viária

O microcontrolador implementado irá 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.

2- Etapas de desenvolvimento do microcontrolador

Para gerar o microcontrolador a fim de atender os requisitos do projeto, foi necessário realizar as seguintes atividades: pesquisar e estudar as normas de trânsito de nosso país, a diversidade de tipos e formas de cruzamentos existentes em nossa malha viária; definir as funções que o microcontrolador deve realizar; dividir as funções em classes e definir os módulos que as executarão; definir a integração dos módulos, a organização e arquitetura do microcontrolador. Para realizar a síntese, o projeto, a implementação e a validação do microcontrolador foi utilizada a FPGA da família Spartan3, modelo Xc3s50, cujo fabricante é a Xilinx e a Ferramenta Xilinx EDK 13.1.

O microcontrolador irá trabalhar de forma dinâmica, adaptativa e em tempo real, atuando sobre as temporizações e controle de lâmpadas dos semáforos de um nó. A figura 2 contém o diagrama que mostra o princípio de funcionamento do microcontrolador:

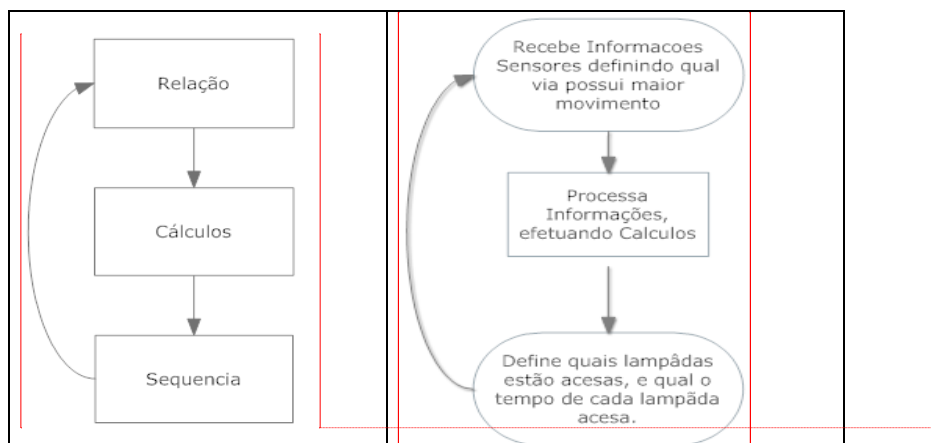


Figura 2: Diagrama de Blocos e funções do Microcontrolador

O bloco de Relação é responsável por identificar a via com maior fluxo de veículos; selecionar o tempo de ciclo “TC”; e a relação de tempo de verde “TG”. Para, em seguida, enviar as informações selecionadas para o módulo de Cálculos. A partir dos valores definidos pelo módulo de Cálculos, são enviadas informações de tempos para o módulo de Sequência. O módulo de Sequência recebe essas informações e define a sequência de ativação das lâmpadas e por quanto tempo elas estarão acesas para todos os semáforos de um cruzamento.

O microcontrolador foi desenvolvido seguindo a sequência lógica da figura acima, recebendo informações quanto à passagem de veículos nas vias a partir de sensores instalados sobre as mesmas. Com estas informações ele efetua comparações para identificar qual a via com maior fluxo de veículos, para em seguida efetuar cálculos dinamicamente e em tempo real dos valores de tempos de cada lâmpada dos semáforos de cada via. Caso os valores de tempos não estejam satisfazendo as condições ideais de fluxo de veículos na via, o microcontrolador de forma adaptativa, reconfigura-se de forma autônoma para atender a demanda de tráfego em um determinado instante.

2.1- 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 dispositivos denominados 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 para gerar um sistema de controle de tráfego adaptativo e em tempo real. As decisões normalmente são tomadas pelo microcontrolador local ao qual estão conectados os detectores. Os detectores ou sensores realimentam constantemente o microcontrolador, as informações obtidas são processadas e comparadas a parâmetros de controle pré-programados. As decisões tomadas pelo microcontrolador resultarão em prováveis alterações, nas fases e nos tempos de acionamento das lâmpadas dos semáforos de um cruzamento (interseção).

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

Existe uma grande diversificação de tipos e características de detectores, os mais utilizados no controle de tráfego viário são: Detector de Pressão; Detector por Botão;

Detectores Magnéticos; Detectores por Laço Indutivo; Detectores por Radar Detectores por Imagem.

2.2- Tipos de Cruzamento e Relações de Tempos de Semáforos

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 ou “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 passagem pelo cruzamento (DENATRAN, 1984).

Considera-se cruzamento de vias a situação em que a geometria do local tem configuração similar, a diversidade de formas e geometria de cruzamentos é muito grande. O item que segue descreve um cruzamento de duas vias de mão dupla com permissão de conversão à esquerda e as relações de tempos nos semáforos que controlam o fluxo de veículos pelo cruzamento.

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

Esse tipo de cruzamento ocorre quando todos os quatro sentidos de fluxo de veículos do cruzamento 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 3.

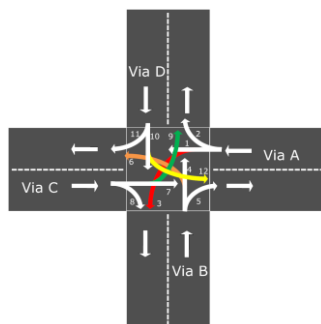


Figura 3: Cruzamento com duas vias de sentido duplo com conversão à esquerda.

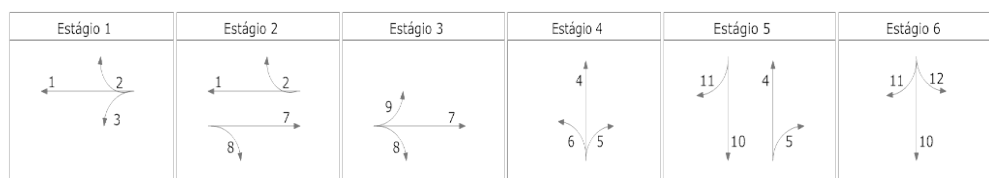


Figura 4: Diagrama de Estágios de Cruzamento com duas vias de sentido duplo e conversão à esquerda.

Como é observado na figura 4, 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.

2.2.2- Relações de Tempo

É possível classificar e definir os tempos de cada lâmpada de um semáforo da seguinte maneira: Tempo de Verde (TG); Tempo de Amarelo (TY); Tempo de Vermelho (TR) e Tempo de Segurança (TS).

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 está sendo utilizado para o cálculo.

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

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

Para os cálculos dos tempos dos semáforos de um semáforo serão utilizadas as expressões que seguem. Os cálculos dos tempos inerentes aos semáforos serão realizados pelo módulo “Cálculos”.

Semáforo 1:

- Tempo de Verde (TG1), $TG1 = TC/y$

Onde:

TC = Tempo de Ciclo

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

- Tempo de Amarelo (TY), TY = constante.

- Tempo de Vermelho (TR1), $TR1 = TC - TS - TY - TG1$

Semáforo 2:

- Tempo Verde (TG2), $TG2 = TC - (TR2 + TS + TY)$

- Tempo de Amarelo (TY), TY = constante.

- Tempo de Vermelho (TR2), $TR2 = TC - TR1$

As expressões 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:

TGx = Tempo de Verde da via X

TGConvz = 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.

A tabela 1 apresenta alguns 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%. O tempo de Ciclo “TC” no exemplo acima foi definido de forma arbitrária como 90 segundos. Este valor pode sofrer alterações para o microcontrolador adaptar-se ao fluxo de veículos na via.

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

2.3 - Definição da Arquitetura e descrição, e implementação dos módulos

A arquitetura do microcontrolador proposto e gerado neste trabalho foi desenvolvida utilizando descrição gráfica. Todo desenvolvimento para sintetizar o microcontrolador 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 microcontrolador foi utilizada a descrição gráfica; para a criação de macros e dos módulos do microcontrolador utilizou, por referência, os subsistemas que foram avaliados pelo simulador. A seguir serão descritos os componentes e a implementação de cada módulo.

2.3.1- Descrição e Implementação do Módulo Relação

O módulo de Relação é responsável por obter informações de fluxo de veículos dos sensores instalados nas vias e compará-los; a partir da quantidade verificar se a relação de “TC” e “TG1” aumenta e/ou diminui, como demonstrado na figura 5.

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”. Caso a relação do tempo de “TG” permaneça por alguns ciclos de tempo na menor relação, o tempo de ciclo “TC” é diminuído gradativamente. O oposto ocorre caso o tempo da relação de verde “TG” permaneça por alguns ciclos na maior relação, fazendo com que o microcontrolador trabalhe de forma adaptativa.

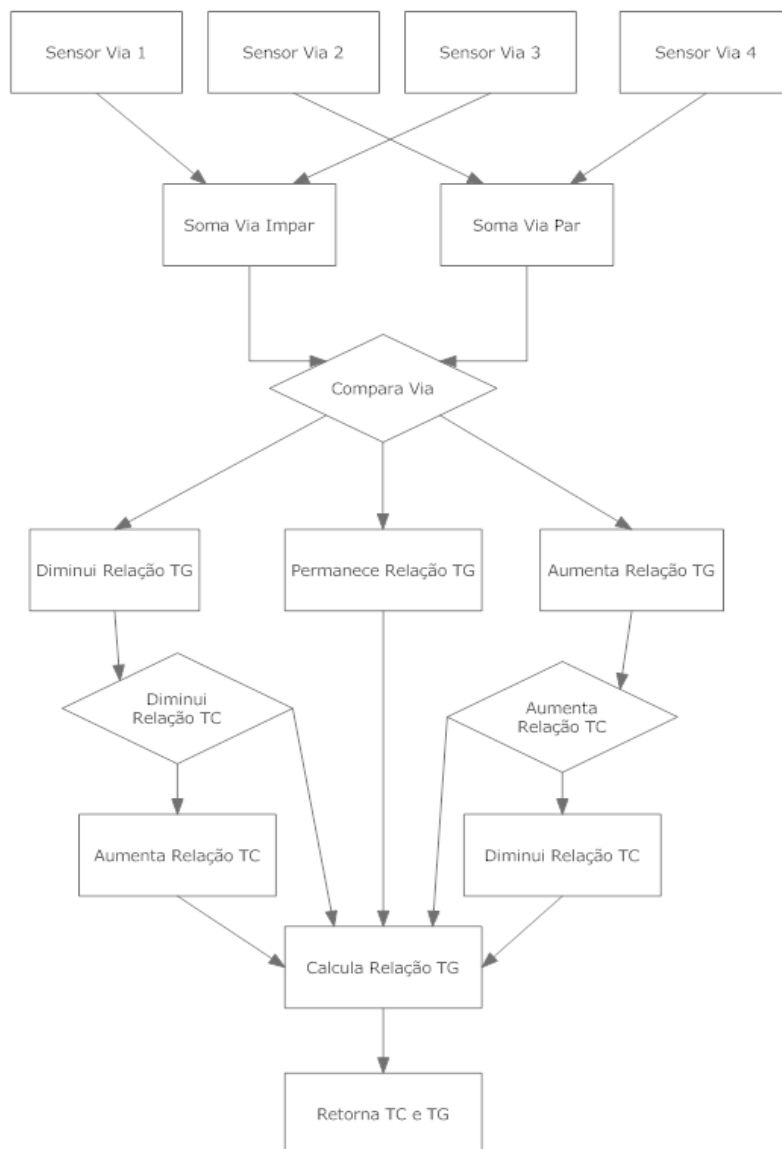


Figura 5: Diagrama de Blocos do Módulo de Relação

2.3.2- Descrição e Implementação do módulo 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.

A implementação do módulo Cálculos possui suporte a cálculos de duas conversões à esquerda, podendo em trabalhos futuros, serem implementados cálculos para três ou quatro conversões. Este módulo utiliza grande quantidade de componentes de soma, subtração e divisão, como demonstrado na figura 6. Um grande diferencial do microcontrolador implementado é a utilização de diversos componentes de soma, por exemplo: em um

microcontrolador de uso geral, ele possui em média apenas um 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.

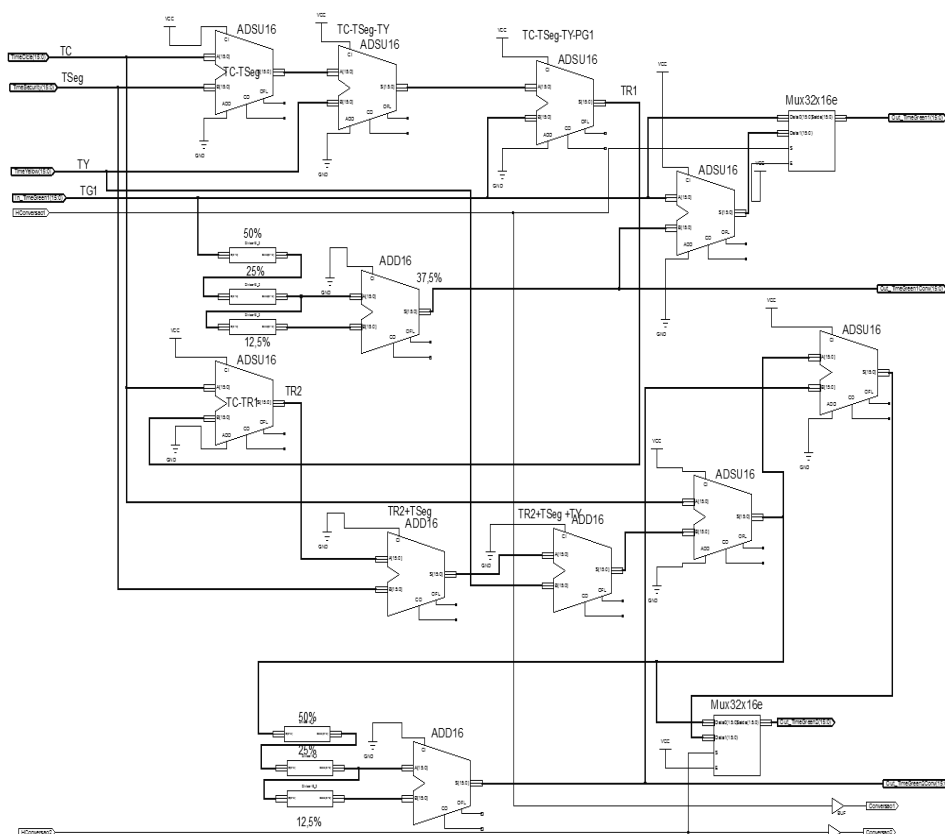


Figura 6: Circuito do Módulo Cálculos

2.3.3- Descrição e Implementação do módulo Sequência

Neste módulo são gerados os sinais lógicos que indicam a sequência de acionamento das lâmpadas de um cruzamento contendo dois semáforos com conversões à esquerda. A sequência de acionamento e temporização das lâmpadas dos semáforos é gerada de forma dinâmica; adaptativa e em tempo real do microcontrolador. Quando o ciclo é finalizado, o módulo de sequência envia um sinal lógico para o módulo Relação. Em caso de modificações no fluxo de veículos das vias o módulo de relação modifica as relações de tempo e enviando-as para o módulo Cálculos. O módulo Cálculos gera as temporizações das lâmpadas e o módulo Relação realiza a sequência de acionamento da lâmpadas utilizando estas informações.

O diagrama de blocos mostrado na figura 7 descreve a sequência, o tempo de acionamento e o tempo de cada lâmpada do cruzamento. O autômato que modela a sequência de acionamento, temporizações das lâmpadas de todos os semáforos, contido em um cruzamento com duas vias de duplo sentido e com permissões de conversão à esquerda em todos os sentidos está representado na figura 9. Utilizando o autômato da figura 9, o módulo Sequência foi sintetizado, projetado e implementado. A figura 8 mostra o circuito digital que implementa o módulo Sequência.

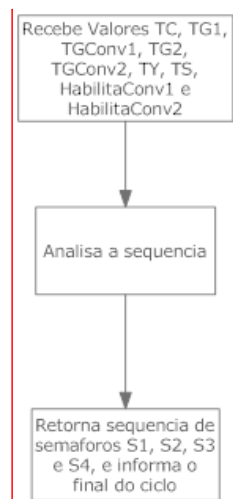


Figura 7: Diagrama de Blocos do Módulo de Sequência

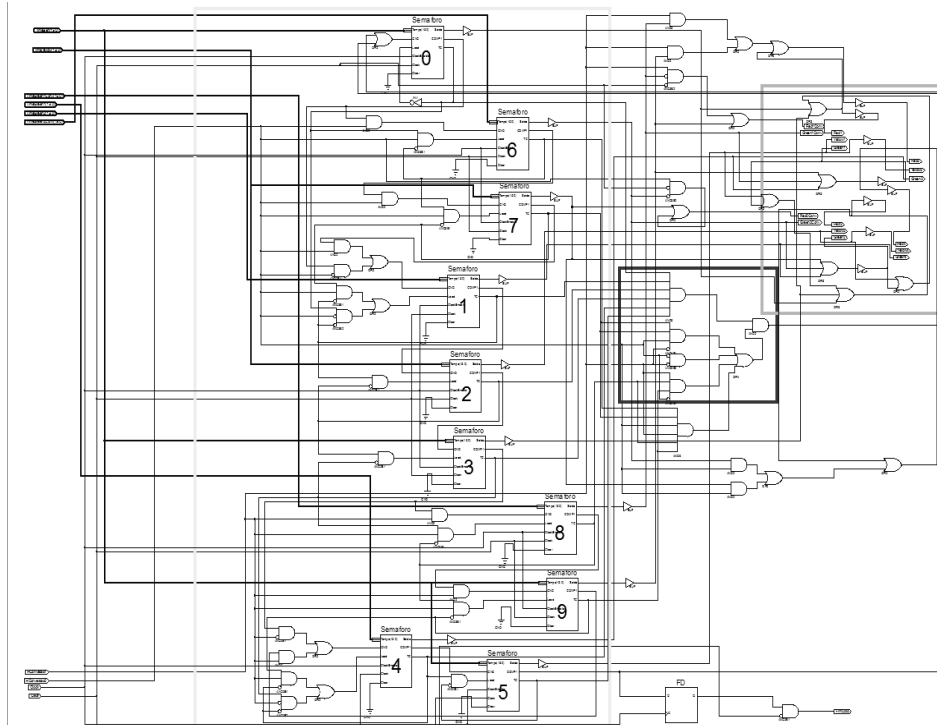


Figura 8- Circuito do Módulo Sequência

[F5] Comentário: sequência semáforos

[F6] Comentário: sequência

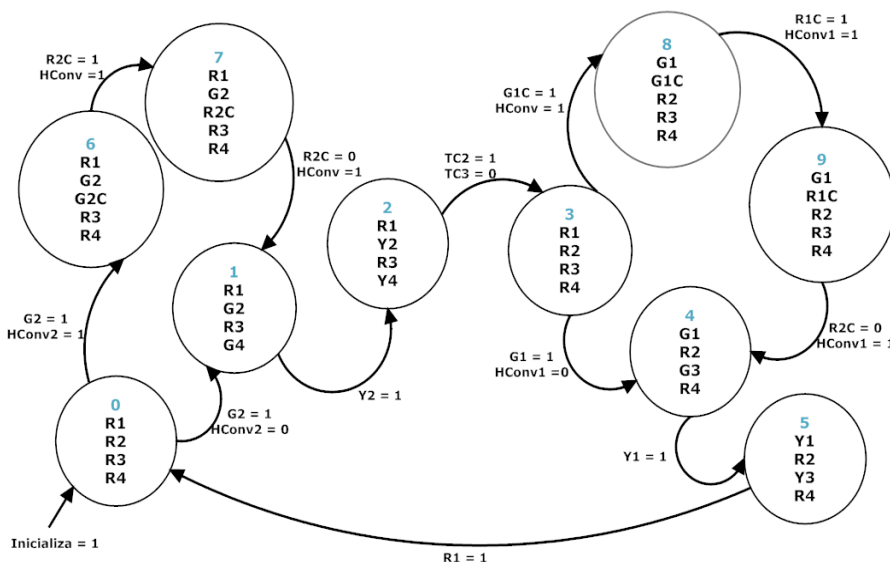


Figura 9: Automato que gera a Sequência de acionamento de Lâmpadas

3- Validação e Simulação

O circuito do microcontrolador de tráfego urbano, descrito, implementado em uma FPGA da família Spartan3, modelo Xc3S200, e validado através de simulação utilizando a versão 13.1 do *software* da mesma empresa, denominado ISE. O circuito final utilizou 40% das funcionalidades do FPGA. Com base nesses dados, o microcontrolador pode ser implementado em FPGAs com capacidade menor que a contida no modelo Xc3S200.

A tabela que segue mostra o sumário gerado pelo ambiente de desenvolvimento utilizado.

Device Utilization Summary				[1]
Logic Utilization	Used	Available	Utilization	Note(s)
Number of Slice Flip Flops	310	3,840	8%	
Number of 4 input LUTs	1,163	3,840	30%	
Number of occupied Slices	882	1,920	45%	
Total Number of 4 input LUTs	1,451	3,840	37%	
Number of bonded IOBs	28	97	28%	
Number of BUFGMUXs	8	8	100%	
Number of RPM macros	62			
Average Fanout of Non-Clock Nets	2.52			

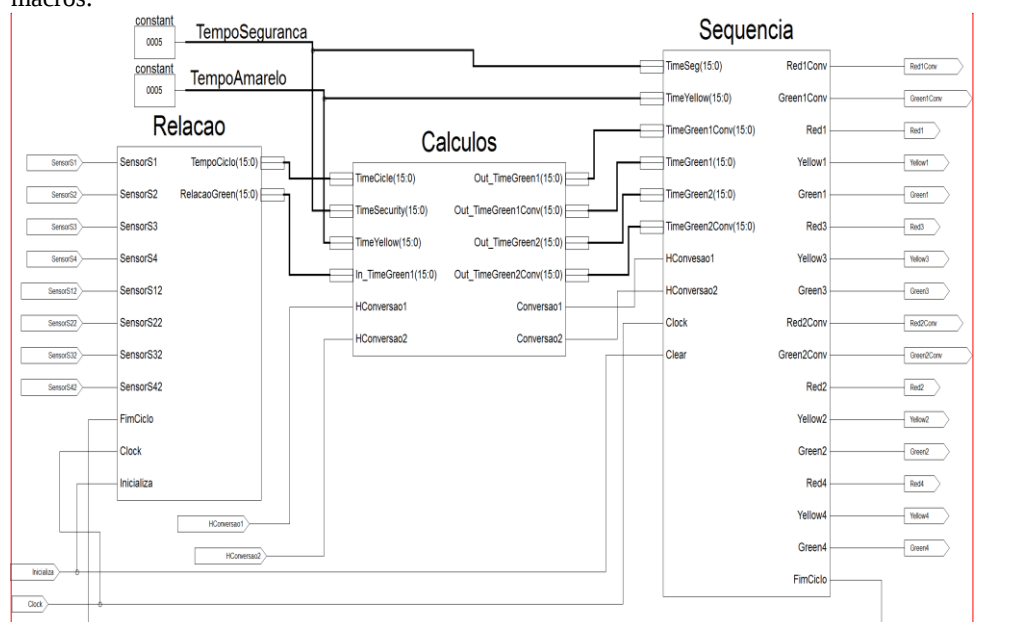
A simulação foi realizada em várias etapas. Primeiramente foram simuladas e validadas de forma isolada, cada uma das funções contidas no microcontrolador. Após a validação da funcionalidade de cada função, foi gerado uma macro com sua consequente simulação e validação.

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

A **figura 10** mostra o circuito do microcontrolador resultante da integração entre as 3 macros.



[F7] Comentário: Relação
Cálculos
Sequência

Figura 10: Circuito do Microcontrolador Gerado obtido através da Integração dos Módulos: Relações, Cálculos e Sequência

4- Conclusões

O objetivo, proposto pelo trabalho, foi alcançado. A metodologia utilizada através da integração das macros geradas para cada módulo foi: Relação, Cálculos e Sequência. A partir dessa integração, foi realizada a validação do microcontrolador através de simulações em laboratório. O microcontrolador implementado e validado pode ser utilizado em todos os cruzamentos que possuem até 6 semáforos; sendo 2 deles semáforos auxiliares para conversões à esquerda. Dessa forma, o microcontrolador abrange a maioria de cruzamentos que utilizam semáforos.

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

A partir da implementação do *software* da Xilinx, pode gerar, através do *software* da Xilinx, o código VHDL da implementação da descrição gráfica. A implementação do microcontrolador possui aproximadamente 7000 linhas de código em VHDL, podendo certamente ser otimizado. O circuito do microcontrolador obtido pode ser complementado, com o desenvolvimento das quatro conversões à esquerda, e também com a implementação de um módulo de comunicação para que o microcontrolador se comunique com outros microcontroladores de outros cruzamentos (nós), gerando assim, uma rede de microcontroladores. Desta forma obtém-se um

microcontrolador com o fim específico de realizar o controle tráfego urbano de forma: adaptativa, dinâmica, distribuída e em tempo real.

5- Referências Bibliográficas

- 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.
- 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, N., J.. *Projeto Semafórico: Legislação , Arranjo Físico e Sinalizações Relacionadas – extraído do CTB e Manual de Sinalização Semafórica*. CET-SP. 1999.
- DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. *Manual de Semáforos 2ªEd.*, Brasil. 1984.
- DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. *Código de Transito Brasileiro*. Brasil 2008.
- 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
- 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
- STILBE B. B., CLOVIS 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.
- 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.