

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MATEUS ARAUJO DA SILVA**

**CONSTRUÇÃO DE UM SEMÁFORO AUTOMATIZADO COM  
SINALIZAÇÃO INOVADORA**

**ALEGRETE-RS**

**2024**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S586c Silva, Mateus Araujo  
Construção de um semáforo automatizado com sinalização  
inovadora / Mateus Araujo Silva.  
76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES, 2024.  
"Orientação: Mauro Fonseca Rodrigues".

1. Semáforo automatizado. 2. Ponte de Wheatstone. 3.  
Eletrônica Aplicada. 4. Sensor Resistivo. 5. Circuito  
condicionamento de sinal. I. Título.

**MATEUS ARAÚJO DA SILVA**

**CONSTRUÇÃO DE UM SEMÁFORO AUTOMATIZADO COM SINALIZAÇÃO INOVADORA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Telecomunicações.

Dissertação defendida e aprovada em: 12 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Mauro Fonseca Rodrigues  
Orientador  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Bruno Boessio Vizzotto  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Cristian Müller  
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **MAURO FONSECA RODRIGUES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2024, às 14:27, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **BRUNO BOESSIO VIZZOTTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/12/2024, às 09:16, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **CRISTIAN MULLER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/12/2024, às 09:35, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1619640** e o código CRC **E2DD30A1**.

---



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro a Deus, por não impedir ou colocar nenhum obstáculo que não fosse possível eu vencer, contribuiu fortemente em fazer eu realizar meu sonho em me tornar um engenheiro.

Em seguida à minha Mãe e meu Pai, por cuidarem de mim nestes momentos, prestando todo apoio possível.

E por fim, aos amigos e colegas por contribuírem com momentos essenciais da vida, sejam eles difíceis e alegres.

E valeu orientador, tamo junto.

HOJE O MUNDO GIROU, LOUVADO  
SEJA O SENHOR, QUE MINHA  
VIDA MUDOU, ME ABRAÇOU E ME  
ABENÇOOU. E EU ME SINTO  
ABENÇOADO.  
EM TEMPOS DIFÍCEIS, NÓIS VAI  
TER QUE MANTER A FÉ EM  
DOBRO.

Me sinto abençoado.  
Mc Poze do Rodo.

## RESUMO

Este trabalho apresenta a simulação final e etapas de desenvolvimento para a implementação de um semáforo com sinalização inovadora, visando a otimização do tráfego, bem estar e segurança da população, fornecendo a passagem principalmente em horários ociosos a noite que não possua nenhum veículo nas vias, além de seu veículo. Para isso, foi desenvolvida uma nova forma de sinalização luminosa, fruto de depósito de modelo de utilidade no INPI, e escrito um algoritmo que prioriza o tráfego nas vias. O modelo de sinalização traz uma interface maior e intuitiva, facilitando a pessoas com dificuldades visuais a percepção, mantendo os requisitos legais atuais, compondo toda a interface do semáforo em cada face. Os objetivos do trabalho consistiram em realizar a construção de um semáforo, aplicando conhecimentos de Eletrônica e Computação. Para isso, o dispositivo foi separado em etapas principais como, sensores, responsável por acionar o algoritmo lógico, condicionamento do sinal, na qual é responsável pelo envio da informação através da resposta dos sensores, controle, que utiliza de um microcontrolador para realizar o controle dos sensores e atuadores, e por fim, os atuadores, sinais visíveis ilustrado nos LEDs para organizar as arrancadas e paradas dos motoristas. A etapa de sensores é responsável por ficar fixada no asfalto e disparar sinais para ativar o sistema lógico a partir de detecção de veículo, logo após a etapa do condicionamento do sinal, que é realizada por um comparador lógico, para evitar erros de detecção do sensor, que podem ser desprezíveis com uma tensão mínima de referência. A etapa do controle é responsável por realizar o processamento da informação dos sensores, disponibilizando o comando a ser enviado para os atuadores. Por fim, a etapa dos atuadores, é o sinal físico a ser ilustrado via LEDs, fixada por um poste, fornecendo os sinais luminosos para o motorista.

## **ABSTRACT**

This paper presents the final simulation and development stages for the implementation of a traffic light with innovative signaling, aiming to optimize traffic flow, well-being, and safety for the population, primarily by providing passage during idle hours at night when there are no vehicles on the roads, except for the vehicle in question. To achieve this, a new type of light signaling was developed, resulting from a utility model deposit at the INPI (National Institute of Industrial Property), and an algorithm was written to prioritize traffic on the roads. The signaling model offers a larger and more intuitive interface, facilitating perception for people with visual impairments, while maintaining current legal requirements, covering the entire traffic light interface on each face. The objectives of the work consisted of constructing a traffic light, applying knowledge in Electronics and Computing. The device was divided into main stages, such as: sensors, responsible for triggering the logical algorithm; signal conditioning, which is responsible for sending information through the sensor responses; control, which uses a microcontroller to manage the sensors and actuators; and finally, the actuators, which are visible signals illustrated by LEDs to manage vehicle starts and stops. The sensor stage is responsible for being fixed on the pavement and triggering signals to activate the logical system upon vehicle detection. This is followed by the signal conditioning stage, performed by a logical comparator, to prevent sensor detection errors, which can be minimized with a minimum reference voltage. The control stage is responsible for processing the sensor information and providing the command to be sent to the actuators. Finally, the actuator stage is the physical signal to be displayed via LEDs, fixed on a pole, providing light signals to the driver.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Censo do IBGE de 2022 do controle populacional.....	22
Figura 2 – Estimativa de custo de congestionamento CET.....	23
Figura 3 – Estimativa de custo de congestionamento FGV EESP. ....	24
Figura 4 – Primeiro semáforo implementado.....	28
Figura 5 – Segundo semáforo. ....	29
Figura 6 – Semáforo de Lester Wire. ....	30
Figura 7 – Semáforo elétrico tricolor. ....	31
Figura 8–Fluxograma do sistema proposto. ....	35
Figura 9–Arquitetura do sistema. ....	36
Figura 10–Fluxograma lógico do sistema.....	37
Figura 11– Contagem de veículos.....	39
Figura 12– Esquema geral da solução.....	40
Figura 13– Fluxograma dos sensores.....	42
Figura 14– Arquitetura 1 semáforo retangular fixo. ....	44
Figura 15 – Semáforo retangular fixo com cor. ....	44
Figura 16 – Semáforo retangular giratório.....	45
Figura 17 – Semáforo retangular giratório com cores. ....	46
Figura 18 – Vista superior do projeto. ....	47
Figura 19 – Representação frontal do semáforo. ....	48
Figura 20 – Ilustração das faces. ....	49
Figura 21 – Semáforo octogonal giratório. ....	49
Figura 22 – Semáforo octogonal giratório com cores.....	50
Figura 23 – Protótipo do semáforo retangular.....	51
Figura 24 – Protótipo das peças embarcadas.....	52
Figura 25 – Sensores nas vias urbanas. ....	53
Figura 26 – Sensores resistivos em ponte de Wheatstone. ....	54
Figura 27 – Ponte de Wheatstone equilibrada. ....	56
Figura 28– Resultado da ponte equilibrada.....	56
Figura 29– Ponte de Wheatstone não equilibrada. ....	57
Figura 30– Resultado da ponte não equilibrada.....	57
Figura 31 – Circuito de condicionamento de sinal.....	59
Figura 32 – Comparador LM339. ....	60
Figura 33 – Fluxograma 1, inicial do semáforo.....	62

Figura 34– Esquemático de guia detalhado. ....	63
Figura 35- Fluxograma do código implementado .....	63
Figura 36 – Estrutura para dois semáforos de cruzamento.....	65
Figura 37 – Pares de sensores nas vias rurais. ....	67
Figura 38– Esquema para operacionalizar o sistema .....	68
Figura 39– Circuito de condicionamento de sinal.....	70
Figura 40 – Entrada de veículo na via.....	71
Figura 41 - Ausência de veículo na via.....	71
Figura 42 – Funcionamento tradicional de semáforo .....	73
Figura 43 – Funcionamento de prioridade da via .....	74

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Resultados obtidos na variação da resistência.....	58
Tabela 2 - configuração de hardware do microcontrolador .....	72

**LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>ADC</b>	<b>Conversor Analógico Digital</b>
<b>a</b>	<b>Área transversal</b>
<b>CET</b>	<b>Companhia de Engenharia de Tráfego</b>
<b>CI</b>	<b>Circuito Integrado</b>
<b>CO2</b>	<b>Dióxido de Carbono</b>
<b>FGV</b>	<b>Fundação Getúlio Vargas</b>
<b>IAG USP</b>	<b>Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP</b>
<b>IA</b>	<b>Inteligência Artificial</b>
<b>IBGE</b>	<b>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</b>
<b>ICCT BR</b>	<b>Conselho Internacional de Transporte Limpo Brasil</b>
<b>iCS</b>	<b>Instituto Clima e Sociedade</b>
<b>IEPS</b>	<b>Instituto de Estudos para Políticas de Saúde</b>
<b>IFUSP</b>	<b>Instituto de Física da USP</b>
<b>INPI</b>	<b>Instituto Nacional da Propriedade Industrial</b>
<b>IoT</b>	<b>Internet das Coisas</b>
<b>ISS</b>	<b>Instituto Saúde e Sustentabilidade</b>
<b>LDR</b>	<b>Resistor Dependente de Luz</b>
<b>l</b>	<b>Comprimento do material</b>
<b>m</b>	<b>Metros</b>
<b>mm</b>	<b>Milímetros</b>
<b>M2M</b>	<b>Máquina a Máquina</b>
<b>Ms</b>	<b>Milissegundos</b>
<b>UM</b>	<b>Modelo de Utilidade</b>

<b><math>\rho</math> (p)</b>	<b>Resistividade do material</b>
<b>PMVs</b>	<b>Painéis de Mensagem Variável</b>
<b>PWM</b>	<b>Pulse Width Modulation</b>
<b>RAM</b>	<b>Memória de Acesso Aleatório</b>
<b>R</b>	<b>Resistência Elétrica</b>
<b>UFF</b>	<b>Universidade Federal Fluminense</b>
<b>V</b>	<b>Volts</b>
<b>°C</b>	<b>Graus Celsius</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
1.1	Objetivo geral.....	21
1.2	Objetivos específicos.....	21
1.3	Justificativa .....	22
1.3.1	MELHORIAS NO TRÁFEGO DE TRÂNSITO .....	23
1.3.2	REDUÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS.....	24
1.3.3	DESAFIOS NO TRÁFEGO URBANO.....	25
1.3.4	SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL .....	26
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>28</b>
2.1	Histórico do semáforo no trânsito .....	28
2.2	Abordagens atuais para semáforos .....	33
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>43</b>
4.1	Arquitetura do projeto .....	43
4.2	Implementação do projeto .....	52
4.2.1	SIMULAÇÃO DO CIRCUITO SENSOR .....	55
4.2.2	CIRCUITO CONDICIONADOR DE SINAL .....	58
4.2.3	CONTROLE.....	61
4.2.4	ATUADOR .....	65
4.3	Aplicações para baixo volume de tráfego .....	66
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
5.1	Sensores de movimento .....	68
5.2	Condicionamento de sinal.....	69
5.3	Controle .....	72
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 76**

**APÊNDICE 1- CÓDIGO DO SEMÁFORO LÓGICO COM SENSORES 80**

## 1 INTRODUÇÃO

A sinalização de trânsito é uma ferramenta que permite o bom andamento do fluxo de veículos e busca garantir segurança aos usuários das vias públicas. Nesse sentido, implementar automação pode ampliar os dois aspectos. Este trabalho busca implantar um semáforo automatizado, como outros existentes, mas incluindo uma lógica de sensores na via que permita sua otimização de funcionamento, evitando paradas desnecessárias dos veículos em movimento. Além disso, no estudo, foi possível implementar uma nova concepção de sinalização, a qual terá seu pedido de patente requerido.

A otimização do fluxo de tráfego em áreas urbanas de grande e médio porte visa não apenas aprimorar a mobilidade, mas também a reduzir a poluição decorrente da inatividade prolongada de veículos, resultando no acúmulo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Ademais, esta iniciativa contribui para o bem-estar da sociedade, diminuindo a emissão de gases causadores do efeito estufa, principalmente o CO<sub>2</sub> devido ao tempo prolongado de veículos estacionados aguardando em semáforos.

O objetivo principal deste trabalho foi a elaboração de um protótipo de sinalização de semáforo de trânsito microcontrolado, o qual impõe recurso adicional para a melhoria da qualidade de vida da população em geral em grandes a pequenos centros populacionais, otimizando o seu tempo de deslocamento sem perder a funcionalidade do controle de tráfego proporcionada pelos semáforos e agregando a redução de poluentes para a atmosfera. Em grandes centros, por exemplo, evitando carros parados e ligados por muito tempo em semáforos. Além de propor uma maior fluidez para o trânsito este trabalho, visa a otimização junto a uma nova arquitetura de sinalização inovadora do semáforo de trânsito.

A partir destas premissas o trabalho propõe a implementação de um semáforo microcontrolado que realiza a função tradicional, agregando a análise de sensores nas vias para detecção de veículos em aproximação e parados, além de ter uma nova proposta de sinalização luminosa, da qual foi solicitado um depósito de patente junto ao INPI.

## 1.1 Objetivo geral

Com foco principal na fluidez do tráfego de trânsito, facilidade e agilidade em sua manutenção, diminuição da poluição visual nas áreas urbanas e redução da poluição ambiental, o objetivo geral deste trabalho está a seguir.

Desenvolver um protótipo de semáforo microcontrolado, com sensores para detecção de aproximação de veículos na via, apresentando uma inovadora proposta de sinalização.

## 1.2 Objetivos específicos

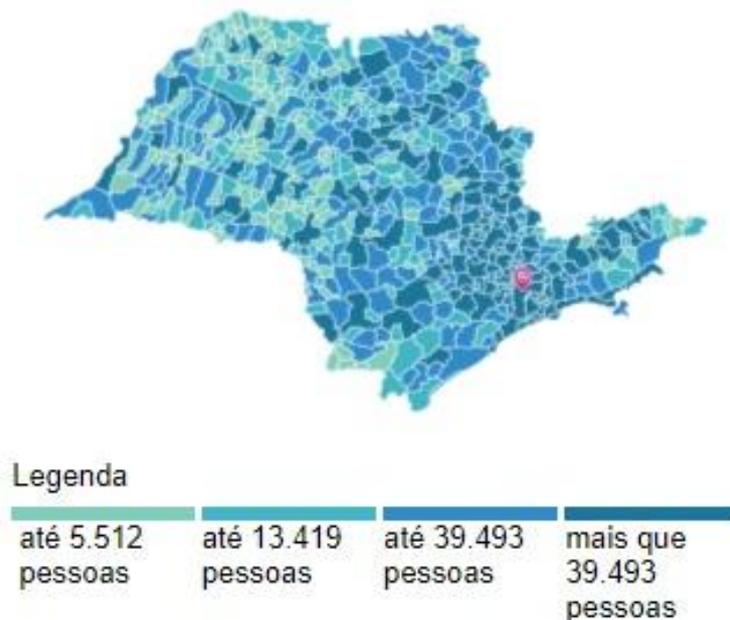
Este trabalho tem como objetivo específico a pesquisa de diferentes tipos de semáforos já utilizados, destacando alguns tipos já automatizados. Além disso, desenvolver uma topologia de semáforo microcontrolado, incluindo um sistema de controle das vias. Também é visado a simulação do semáforo com sua nova arquitetura. Para melhor entendimento da contextualização dos objetivos específicos é exposta uma lista a seguir com os seus principais destaques. São eles:

- Analisar os requisitos legais para o funcionamento de semáforos de trânsito.
- Estudar os tipos de semáforos existentes.
- Propor uma topologia de semáforo inteligente com sinalização inovadora.
- Implementar sensores de controle do tráfego nas vias sob monitoramento do semáforo.
- Simular computacionalmente o sistema proposto de semáforo.
- Analisar os resultados da simulação computacional.
- Desenvolver o protótipo do sistema com a adaptação de sinalização inovadora.

### 1.3 Justificativa

A crescente urbanização e a expansão das áreas metropolitanas em todo o mundo têm desencadeado desafios significativos em relação ao gerenciamento do tráfego viário. O congestionamento nas vias urbanas resulta em uma série de problemas, como atrasos na locomoção, aumento da emissão de poluentes e altos custos operacionais. Portanto, a busca por soluções inovadoras e sustentáveis para enfrentar esses problemas tornou-se uma prioridade em muitos centros urbanos. Um grande centro urbano que essa pesquisa se baseia é na cidade de São Paulo, há qual reside mais de 11 milhões de pessoas, conforme o dado disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (IBGE, 2023).

Figura 1 – Censo do IBGE de 2022 do controle populacional.



Fonte: (IBGE, 2023)

No presente contexto, foi viável realizar a verificação da nota de trânsito, a qual foi disponibilizada no ano corrente de 2023, no mês de janeiro, por intermédio do órgão competente da Prefeitura de São Paulo, a saber, a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET, 2024). Cumpre destacar que a mencionada entidade possui como principais atribuições o planejamento, a coordenação, a execução e a fiscalização das atividades relativas ao transporte

urbano de maneira abrangente, bem como a regulamentação do tráfego. (CET, 2023)

Assim dito, este trabalho introduz um projeto de semáforo para o fluxo do tráfego viário, bem como beneficiar o ambiente e as comunidades urbanas. O presente projeto não apenas visa otimizar a eficiência do tráfego, mas também incorpora elementos essenciais que contribuem para a sustentabilidade e a redução dos custos operacionais.

Além disso, um equipamento de controle viário do porte de um semáforo constitui um valor acima de R\$ 70.000,00 (setenta mil reais), constituindo-se uma importante ferramenta de controle do tráfego urbano e segurança nas vias públicas. O Engenheiro que produzir essa tecnologia pode ter uma oportunidade de empreender nesse cenário de mercado. (Licitações, 2024).

### 1.3.1 MELHORIAS NO TRÁFEGO DE TRÂNSITO

O projeto visa aprimorar a fluidez do tráfego, reduzir congestionamentos e minimizar os tempos de deslocamento nas vias urbanas. Isso se traduz em benefícios tangíveis para a mobilidade urbana e para a qualidade de vida dos cidadãos. Conforme dados da CET, é possível averiguar alguns parâmetros importantes, como horas perdidas, consumo de combustível, poluição, transporte de carga, algo feito nos anos de 2000 a 2008. Na qual é realizada uma estimativa do custo de um congestionamento na cidade de São Paulo, que pode alcançar bilhões de reais, conforme a nota-281, disponibilizada pela CET. (CET,2023).

Figura 2 – Estimativa de custo de congestionamento CET.

	2000	2004	2008
<b>Horas perdidas</b>	6.991.996.050	14.076.392.149	26.634.269.801
<b>Consumo de combustível</b>	2.882.057.546	3.572.285.919	4.155.455.272
<b>Poluição</b>	270.672.171	343.274.015	406.985.538
<b>Transporte de carga</b>	1.019.098.353	1.388.063.866	1.955.718.654
<b>Total</b>	<b>11.163.824.120</b>	<b>19.380.015.949</b>	<b>33.152.429.265</b>

Fonte: (CET, 2023).

Outra representação visual é evidenciada pelo relatório da CET, que oferece uma análise comparativa com a Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (FGV EESP, 2023). Nesse contexto, é efetuada uma estimativa acerca dos custos decorrentes de congestionamentos.

Figura 3 – Estimativa de custo de congestionamento FGV EESP.

	2000	2004	2008
<b>Horas perdidas</b>	---	13.128.172.049	24.282.318.282
<b>Consumo de combustível</b>	---	4.011.850.791	4.991.708.808
<b>Poluição</b>	---	548.333.268	684.837.747
<b>Transporte de carga</b>	---	2.740.466.789	4.431.435.429
<b>Total</b>	---	<b>20.428.822.897</b>	<b>34.390.300.266</b>

Fonte: (CET, 2023).

### 1.3.2 REDUÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS

A introdução desta tecnologia de semáforo resultará em um substancial redução nos custos inerentes à manutenção de infraestruturas viárias. Tal economia será viabilizada por meio da realização de análises detalhadas em todas as fases do ciclo de vida do semáforo, desde o desenvolvimento do seu hardware até a sua implementação por meio de software. Este processo, devidamente elaborado, não apenas otimiza a alocação de recursos financeiros para as autoridades responsáveis, mas também contribui para a eficácia na utilização dos recursos públicos.

A identificação de riscos ao longo do projeto fara que evite custos adicionais associados a retrabalhos ou até mesmo falhas em seus dispositivos. Novamente saliento que a redução de custos não irá comprometer a qualidade ou a integridade do projeto. Uma observação detalhada, irá buscar otimizar os custos sem prejudicar a entrega de um projeto de qualidade.

A fluidez aprimorada do tráfego com a nova tecnologia não apenas contribuirá para a eficiência do sistema viário, mas também minimizará a necessidade frequente de paradas e acelerações dos veículos, resultando na redução das emissões de gases de efeito estufa, notadamente dióxido de carbono, e, assim, mitigando impactos adversos ao meio ambiente. (CET, 2023).

### 1.3.3 DESAFIOS NO TRÁFEGO URBANO

O congestionamento de tráfego representa uma questão crônica em diversas áreas urbanas, sendo particularmente acentuada na grande metrópole de São Paulo, conforme ilustrado nas Figuras 2 e Figura 3, ocasionando consideráveis atrasos, poluição atmosférica e desgaste emocional para os cidadãos.

A urgência de soluções que aprimorem a mobilidade urbana é evidente, e esta pesquisa visa contribuir para atender a essa demanda crescente, visando minimizar o tempo perdido em semáforos e otimizar o fluxo viário.

Conforme um estudo realizado pela WRI BRASIL, há mais de 7,5 milhões de carros, em circulação na grande cidade de São Paulo, gerando grandes transtornos em suas vias urbanas e de cruzamentos. (WRI Brasil, 2023)

As autoridades municipais enfrentam constantes pressões financeiras para equilibrar orçamentos limitados enquanto atendem às crescentes demandas por infraestrutura de transporte e manutenção de vias.

O crescimento urbano em uma escala rápida, é um grande fator para a sobrecarga na capacidade de vias existentes, muitas vezes a construção de novas vias implica em grandes custos elevados.

A imperatividade de adotar práticas voltadas ao desenvolvimento sustentável e integrar inovações tecnológicas nas vias urbanas pode impor pressões financeiras, uma vez que a implementação de tecnologias como semáforos inteligentes, sistemas de transporte conectado e soluções de mobilidade sustentável frequentemente incorre em custos iniciais consideráveis.

Projetos em tecnologias de semáforos automatizados apresentam uma tendência potencial na redução dos custos operacionais, podendo proporcionar, um alívio nas tensões financeiras associadas a tais empreendimentos. (WRI Brasil, 2023)

Através de uma análise de concepção de custos, foi conduzida uma pesquisa sobre o custo de um radar fixo, empregando da mesma tecnologia que será empregado ao projeto dos sensores do semáforo, sensores fisicamente

integrados a pavimentação. Este produto é um produto disponibilizado pela empresa Velsis. (Velsis, 2023).

É possível visualizar o custo por meio de uma licitação na qual a empresa concorreu, e o contrato foi formalizado em 17/08/2020, permanecendo vigente até 19/02/2026, com o montante de R\$ 30.823.399,00, conforme informações disponíveis no Portal Transparência Curitiba. (Portal Transparência Curitiba, 2023).

Detalhes do contrato, redirecionar-se a pesquisa na internet de (Detalhes Licitação - PE 472 /2019).

Também foi constatada a participação da empresa especializada em semáforos denominada (Cidade Verde Sinalizações, 2023), na qual ganhou a licitação de menor preço e obteve êxito no município de Joaquim Távora, no estado do Paraná. A empresa foi contratada para o fornecimento e implementação de uma Sinalização Semafórica, além da readequação da existente na Avenida Paraná. Essas informações podem ser verificadas por meio do número de UASG 987649 e do número do pregão 892023. O valor do protótipo de semáforo foi registrado em R\$ 10,400 (dez mil e quatrocentos reais) e manutenções pelo menor valor de R\$ 10,000 (dez mil reais), conforme dados disponíveis. (Pregão Eletrônico, 2023)

#### 1.3.4 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Em um cenário global marcado pela crescente apreensão com as mudanças climáticas e a poluição ambiental, a minimização da introdução de plásticos no meio ambiente e o desenvolvimento de áreas verdes nas zonas urbanas emergem como metas ambientais cruciais.

Pesquisas, a exemplo do estudo conduzido pelo WRI Brasil, uma respeitável fonte de dados fundamentada, indicam que aproximadamente 51 mil brasileiros perdem a vida anualmente devido à exposição à poluição do ar.

O projeto promovido nesta pesquisa se alinha com esses objetivos, contribuindo para um ambiente urbano mais verde e sustentável, na qual busca metas de redução das emissões de poluentes, promovendo um fluxo de

automóveis mais contínuo e perca de tempo de carro estacionado em uma sinaleira ou cruzamento.

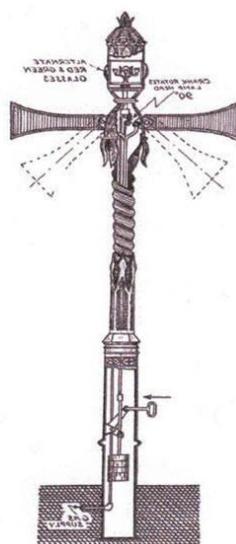
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um semáforo de trânsito é um dispositivo de controle de tráfego rodoviário amplamente utilizado em ambientes urbanos e rodoviários, projetado para gerenciar e regular o fluxo de veículos e pedestres em interseções e cruzamentos. Este dispositivo é caracterizado por sua estrutura vertical que abriga luzes luminosas de cores distintas, geralmente vermelho, amarelo e verde, que são exibidas em sequência cíclica. Cada cor representa um sinal específico que orienta os usuários da via pública, indicando se devem parar, proceder com cautela ou prosseguir com segurança. O trabalho de (R. O. Comparán, 2017), apresenta um semáforo inteligente na qual realiza um controle de vias, através de processamento de imagens em tempo real para obter a contagem e o espaço ocupado pelos veículos, fornecendo uma agilidade no trânsito conforme o fluxo.

### 2.1 Histórico do semáforo no trânsito

No dia 10 de dezembro de 1868, o sistema de semáforo de trânsito foi pioneiramente introduzido no cruzamento das ruas George e Bridge, em Londres, Figura 4. (Semáforo, 2023).

Figura 4 – Primeiro semáforo implementado.



Fonte: (Primeiro semáforo, 2023)

O sistema em questão foi concebido pelo engenheiro ferroviário J. P. Knight e compreendia a presença de dois dispositivos articulados, cuja orientação horizontal denotava a instrução pare, enquanto um ângulo de inclinação de 45 graus representava a orientação; siga com cuidado.

Durante o período noturno, a sinalização era complementada pelo uso de uma lâmpada de gás verde e outra vermelha, reforçando as indicações fornecidas pelos referidos dispositivos, Figura 5. (*National Geographic*, 2023).

Figura 5 – Segundo semáforo.



Fonte: (Histórico de sinais , 2023).

O pioneiro semáforo elétrico, que data do ano de 1912, foi desenvolvido por Lester Wire, um oficial da polícia da cidade de Salt Lake. (Histórico de sinais, 2023). O dispositivo exibia características de simplicidade e rusticidade, compreendendo essencialmente uma caixa de madeira com uma cobertura inclinada, projetada com o propósito de otimizar a drenagem da água da chuva e do derretimento de neve. (Lester, 2023). No que diz respeito à sinalização

visual, o semáforo utilizava lâmpadas que eram pintadas nas cores verde e vermelho, e a emissão de sua luz ocorria através de aberturas circulares estrategicamente posicionadas na mencionada caixa, Figura 6. (Semáforo de Lester, 2023).

Figura 6 – Semáforo de Lester Wire.



Fonte: (udot.utah , 2023)

A Figura 7 retrata a instalação do semáforo de Lester, que consistia em um dispositivo suspenso por cabos para indicar a regulamentação do tráfego. Este semáforo, produzido industrialmente, apresenta duas cores distintas: vermelha, indicando a obrigatoriedade de parar, e verde, sinalizando a permissão para prosseguir.

Posteriormente, diante da necessidade de alertar os veículos sobre a iminência da transição do sinal luminoso de verde para vermelho de maneira gradual, visando evitar colisões, foi concebido um semáforo tricolor composto por três cores: vermelho, amarelo e verde. Este dispositivo, também conhecido como semáforo moderno, foi desenvolvido pelo agente de polícia William Potts,

da cidade de Detroit, no ano de 1920. A inovação introduzida por Potts foi posteriormente adotada em larga escala por diversas cidades nos Estados Unidos e na Europa, consolidando-se como o modelo predominante de semáforo, persistindo até os dias atuais sob a designação de Semáforo de William Potts. (Semáforo de Willian Potts, 2023).

Em 1926, uma estrutura em forma de torre foi concebida com o propósito de incorporar o semáforo idealizado por William Potts.

Figura 7 – Semáforo elétrico tricolor.



Fonte: (NationalGeographic, 2023).

Ao longo do tempo, refinamentos foram implementados no circuito elétrico, visando otimizar a fluidez do tráfego e reduzir o consumo de energia elétrica.

A demanda crescente em cruzamentos prejudica os tempos de travessia e gera filas nas avenidas. O estudo neste a qual é citado, propõe um modelo de micro simulação com algoritmo estocástico para o controle de semáforos, usando comprimento de fila e atrasos no cruzamento como variáveis-chave. O algoritmo, implementado em Python, demonstrou melhorias notáveis, reduzindo os tempos de travessia (5% - 9%) e as filas (20% - 34%) na validação através de simulações no Vissig 9.0. (J. Urbano, F. Bassini, M. Silvera and F. Campos, 2023).

A cidade de Medellín, como outras no mundo, enfrenta desafios de mobilidade devido ao rápido aumento da frota de veículos. A eficiência dos semáforos é crucial para uma mobilidade ágil e sustentável. Investimentos em atualização tecnológica visam melhorar o desempenho, substituindo os modelos clássicos por sistemas adaptativos. Medellín adota uma abordagem inovadora, consolidando um sistema de *Big Data* para armazenamento e uma plataforma tecnológica para ajustar os semáforos com base nos eventos que afetam a fluidez do tráfego. O estudo citado apresenta modos de operações, descrevendo a rede de semáforos, sintetizando sistemas colaborativos de dados, apresentando um esquema adotado por Medellín, exibindo resultados em um cruzamento específico. (M. L. Suarez et al, 2023).

Um estudo conduzido sob a coordenação do WRI Brasil, com a colaboração de 14 especialistas de organizações como o Conselho Internacional de Transporte Limpo Brasil (ICCT Brasil), Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), Instituto Saúde e Sustentabilidade (ISS), Instituto Clima e Sociedade (iCS), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG), Instituto de Física da USP (IFUSP), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Instituto de Estudos para Políticas de Saúde (IEPS) e Universidade Federal Fluminense (UFF), apresenta uma análise sistemática do conhecimento atual sobre a qualidade do ar no Brasil.

Destaca a notável produção técnica e científica, principalmente na saúde, revelando que 90% das emissões de gases poluentes, incluindo dióxido de

carbono, têm origem na queima de combustíveis de veículos do modal rodoviário.

Adicionalmente, ressalta-se a relevância do controle da poluição atmosférica, destacando seus prejudiciais durante a gestação, podendo resultar em sérios problemas de saúde na vida adulta, como doenças cardiovasculares, diabetes e complicações no sistema respiratório. (WRI Brasil, 2023).

## **2.2 Abordagens atuais para semáforos**

Um problema que é possível identificar em cidades de grandes centros é a crescente complexidade da mobilidade urbana que, sem a devida atenção, faz com que autoridades administrativas não consigam acompanhar eficientemente o fluxo intenso de veículos gerado nas vias urbanas. Tendo isto em vista, há a necessidade de implementação de soluções automatizadas, visando a redução de tempo estimado em rodovias urbanas por semáforos eletrônicos.

A operação de um semáforo eletrônico, visa também uma melhor agilidade e segurança para os motoristas. Por essas razões é imprescindível a automatização interna também deste dispositivo, pensando em seu hardware e software. Vamos analisar alguns softwares especializados em fluxo de trânsito com diferentes técnicas empregadas.

Um estudo realizado por J. Urbano (2023), propõe um algoritmo estocástico, que utiliza como parâmetro o comprimento da fila e atraso no cruzamento. Utilizando essas variáveis será possível determinar os tempos de duração do sinal verde e vermelho para cada semáforo em ambos os cruzamentos. Que será um ótimo parâmetro para construção do algoritmo.

O estudo realizado por Lobo, F. (2015) introduz um semáforo interativo que utiliza sensores para o controle do trânsito de veículos em múltiplas vias. Este sistema é capaz de estimar o fluxo de veículos, ajustando os tempos de abertura e fechamento das luzes semaforicas de maneira a priorizar as vias com maior intensidade de tráfego. Ademais, o sistema incorpora funcionalidades de autodiagnóstico, comunicação com uma central de controle, utilização de fontes

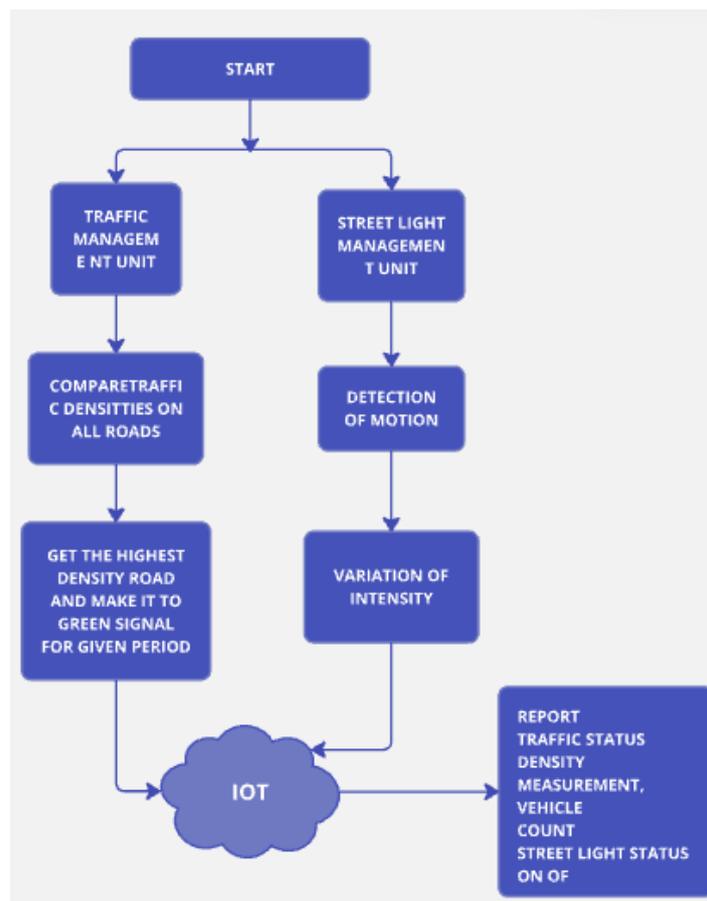
de energia renovável e um sistema inteligente, visando otimizar a gestão do tráfego.

O estudo conduzido por G. e Jayme (2017) apresenta a patente de um sistema preditivo, integrado e inteligente destinado ao controle dos tempos de abertura e fechamento de semáforos, com o objetivo de otimizar o fluxo de veículos. Este sistema faz uso de diversos sistemas de geoprocessamento, como GPS, e de controle de trânsito, permitindo a geração de inteligência computacional para a adequação dos tempos de cada semáforo, em função do fluxo projetado de pessoas e veículos em cada interseção. A abordagem integrada do sistema inclui monitoramento por meio de *crowdsourcing* e *big data*, aplicando algoritmos inteligentes e treináveis para a tomada de decisão, baseados em técnicas de *Machine Learning* e Internet das coisas (IoT).

O estudo de Andrade (2020) apresenta a proposta de um protótipo de semáforo inteligente, que se configura como uma invenção didática. Este protótipo é capaz de ajustar o tempo de acendimento e desligamento de cada luz, fundamentando-se no controle do tráfego de veículos em interseções, considerando a quantidade de veículos que transita em um espaço determinado ao longo de um intervalo de tempo específico. A invenção tem como objetivo facilitar os estudos de tráfego simulado, proporcionando soluções que otimizem a fluidez do trânsito e contribuam para a mitigação ou redução de congestionamentos.

Um estudo realizado por C. V. e Josphine (Josphine, 2023) propõe o desenvolvimento de um sistema aprimorado de controle de tráfego inteligente, que ajusta os tempos de sinalização com base na análise comparativa das densidades de tráfego em todas as vias. Dessa forma, quando uma faixa específica apresenta uma densidade significativamente superior em relação às demais, essa faixa é priorizada, recebendo um sinal verde por um período de tempo pré-estabelecido. Na figura 8, observa-se o fluxograma do sistema proposto pelos autores C.V e Josphine.

Figura 8—Fluxograma do sistema proposto.

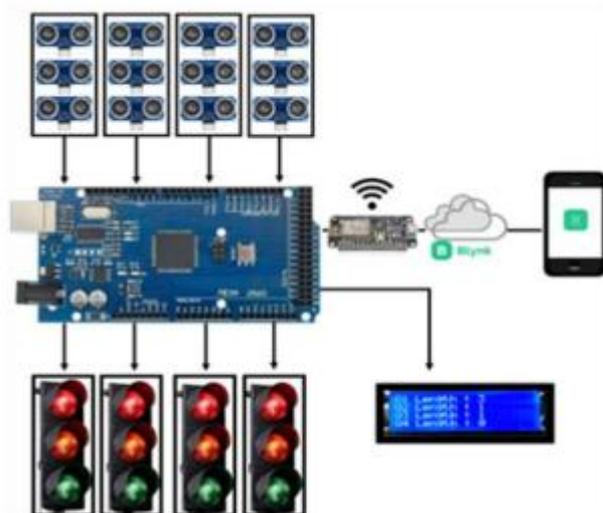


Fonte: (Adaptado de Josphine, 2024).

Além disso, a busca por semáforos inteligentes tem se intensificado com o avanço dos estudos e das aplicações de inteligência artificial e da Internet das Coisas (IoT).

K. AlMulla (2024) enfatiza que o sistema de gerenciamento de tráfego constitui um elemento fundamental em uma cidade inteligente, especialmente diante do aumento populacional que intensifica o tráfego rodoviário. O autor apresenta um sistema de controle de semáforos adaptável, projetado para ajustar os tempos de sinalização em tempo real, em função dos níveis de congestionamento, com o objetivo de otimizar o fluxo de tráfego em cruzamentos e minimizar o tempo de espera. O sistema é equipado com sensores ultrassônicos que medem o comprimento da fila, sinalizando a ocorrência de congestionamento, e utiliza análise de dados e algoritmos inteligentes para efetuar os ajustes necessários nos tempos dos semáforos. Como é possível observar a arquitetura de seu projeto na figura 9.

Figura 9–Arquitetura do sistema.

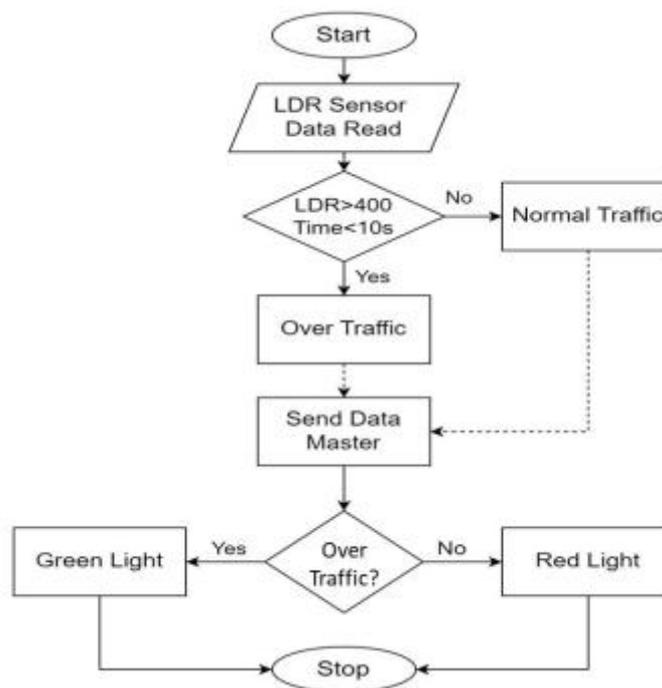


Fonte: (K. AIMulla 2024).

Embora todos os sinais em um cruzamento recebam um tempo verde padrão de 60 segundos, o controlador proposto modifica esse tempo de acordo com o comprimento da fila. Um protótipo funcional foi desenvolvido e sua avaliação demonstrou melhorias significativas no fluxo de tráfego e na redução do tempo de espera. Adicionalmente, um aplicativo para smartphone foi implementado, fornecendo informações em tempo real sobre os níveis de congestionamento em diversos cruzamentos, auxiliando os usuários na tomada de decisões informadas em suas rotas.

N. U. Sakib (Sakib,2024) argumenta que, embora a automação tenha simplificado consideravelmente a vida cotidiana, o crescimento do número de veículos nas estradas, particularmente em Bangladesh, tem resultado em congestionamentos persistentes e um aumento no esforço humano necessário para gerenciá-los. O autor observa que o sistema de semáforos manual atualmente em operação é inadequado para lidar com essa questão de forma eficaz. Para abordar esse desafio, propõe uma solução experimental: um sistema automatizado de semáforos que funciona ininterruptamente, 24 horas por dia, 7 dias por semana, utilizando comunicação Máquina a Máquina (M2M). Na figura 10, o fluxograma do sistema implementado é apresentado.

Figura 10–Fluxograma lógico do sistema.



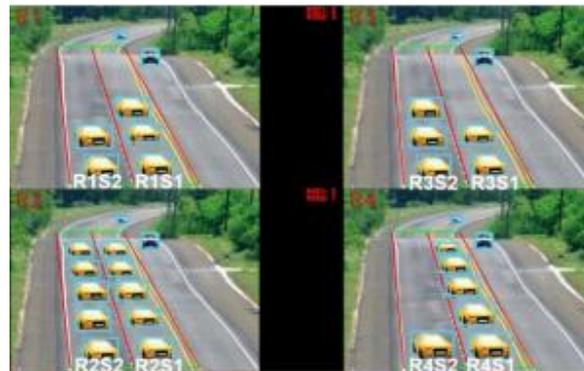
Fonte: (N.U. Sakib, 2024).

Este sistema visa reduzir o esforço humano, otimizar o tempo e aliviar o congestionamento do tráfego. A abordagem apresentada inclui um dispositivo de medição de densidade de veículos, que utiliza um Resistor Dependente de Luz (LDR) e tecnologia a laser para determinar a quantidade de veículos que transitam. Esse dispositivo é capaz de identificar o número máximo de carros em um intervalo de tempo específico. Quando o LDR detecta um aumento significativo no volume de tráfego, indicando congestionamento, essa informação é retransmitida para a unidade mestre (ESP32). Em contrapartida, se o LDR registra um fluxo normal de veículos, esses dados também são enviados para a unidade mestre, que analisa as informações para determinar as condições de tráfego. Em situações típicas, quando tanto o LDR quanto o laser detectam a presença de um veículo, o LED verde correspondente é acionado. Esse ajuste dinâmico do status do LED, baseado na densidade de veículos, contribui para a mitigação de congestionamentos indesejados, economizando tempo valioso para os usuários. Importante ressaltar que a solução proposta opera sem a necessidade de conectividade com a Internet para a comunicação M2M.

C. R. (2024) enfatiza que o objetivo central do estudo é a criação de um sistema de semáforo dinâmico, fundamentado na densidade do tráfego, que ajusta automaticamente o tempo de sinalização em cada cruzamento, considerando sua capacidade de detectar variações na densidade do tráfego. Diante da gravidade dos problemas de congestionamento enfrentados pela maioria das cidades, torna-se imprescindível a transição de sistemas de temporização manuais ou fixos para soluções automatizadas que possuam capacidades de tomada de decisão. O modelo de sinalização atualmente em uso, que opera com intervalos fixos, pode apresentar ineficiências, especialmente em faixas que demonstram um desempenho superior. O crescimento contínuo da frota de veículos torna o congestionamento um problema significativo, impactando negativamente a qualidade de vida dos cidadãos. Nesse contexto, o controle de tráfego inteligente se revela uma questão crucial para o futuro, especialmente em face do aumento do número de usuários das vias e das limitações de infraestrutura e recursos disponíveis. A crescente demanda por sistemas de controle de tráfego inteligentes torna essencial a otimização dessas soluções para lidar de forma eficaz com essa demanda. Para atender às necessidades de um controlador de semáforo eficiente, o projeto foi concebido com a utilização de LEDs para os sinais de trânsito, juntamente com um microcontrolador que atua como componente central de controle. Os LEDs são interligados a um microcontrolador que gerencia os semáforos de forma centralizada. O tempo e as fases do microcontrolador são programados para se adaptar às condições variáveis do tráfego, resultando em um circuito que se caracteriza por ser compacto, confiável e econômico.

D. Nunes (2024) destaca que, nas principais cidades da Índia, o tempo médio de viagem tem aumentado de forma significativa durante os horários de pico. O sistema de semáforos convencional opera com um conjunto fixo de comandos, os quais são armazenados em sua memória, desconsiderando as condições atuais do tráfego. Na Figura 11, é possível observar uma ilustração do estudo realizado por D. Nunes.(D.Nunes, 2024)

Figura 11– Contagem de veículos



Fonte: (D.Nunes, 2024).

A introdução de semáforos inteligentes, baseados em inteligência artificial (IA), permite a utilização de dados, como o número de veículos em cada faixa, para o controle dinâmico dos sinais. Essa abordagem tem o potencial de mitigar o congestionamento do tráfego e diminuir os tempos de deslocamento. Adicionalmente, essa inovação representa um benefício para veículos de emergência, como ambulâncias, ao proporcionar prioridade significativa em suas faixas. O principal objetivo do projeto consiste no desenvolvimento de um sistema de IA que gerencie a sinalização em um cruzamento de quatro vias, cada uma com três faixas. Os resultados obtidos demonstram que os sistemas de semáforos baseados em IA superam os sistemas tradicionais, evidenciando uma redução de 42% no tempo médio de espera dos veículos.

### 3 METODOLOGIA

Para atender à necessidade de usar microcontroladores e estabelecer uma lógica para a implementação de uma nova arquitetura surge como uma perspectiva inovadora e promissora para atender às demandas atuais de mobilidade urbana e sustentabilidade ambiental. Dessa forma, foram citadas algumas premissas, apresentadas a seguir.

Este projeto multidisciplinar envolve a utilização de um sistema embarcado, composto por um microcontrolador, eletrônica dedicada e sensores/atuadores para captar e evidenciar os resultados.

O microcontrolador irá controlar a lógica de sinalização dos semáforos e analisar as entradas de dados para validar e tomar as decisões apontadas nas saídas do processo. A eletrônica dedicada irá fazer a conexão entre os dispositivos de entrada e saída e o microcontrolador. Por fim, os sensores e atuadores terão a função de coletar informações que orientam as tomadas de decisão, que levam os atuadores a cumprirem suas funções no sistema. A Figura 12 apresenta um esquema geral do processo.

Figura 12– Esquema geral da solução



Fonte: do autor

Para isso, é necessário seleção dos componentes eletrônicos, projeto do circuito, programação do microcontrolador, testes e depuração, implementação física, instalação no local desejado, manutenção e monitoramento.

Este trabalho se iniciou no 2º semestre de 2023, o projeto teve origem a partir de uma ideia para ajudar a população e a preservação do meio ambiente. A partir disto, deu-se início a uma extensiva pesquisa sobre a literatura do determinado assunto, com uma ideia pré-estabelecida de uma nova arquitetura de sinalização de semáforo.

Ainda neste processo, foi necessário o desenvolvimento de um algoritmo para o funcionamento do projeto, envolvendo também a implementação de melhorias para garantir o desempenho buscado. No início do primeiro semestre de 2024, começou a etapa de simulação, a qual envolveu a aquisição de materiais para se realizar as simulações avançadas e futuro desenvolvimento do protótipo físico.

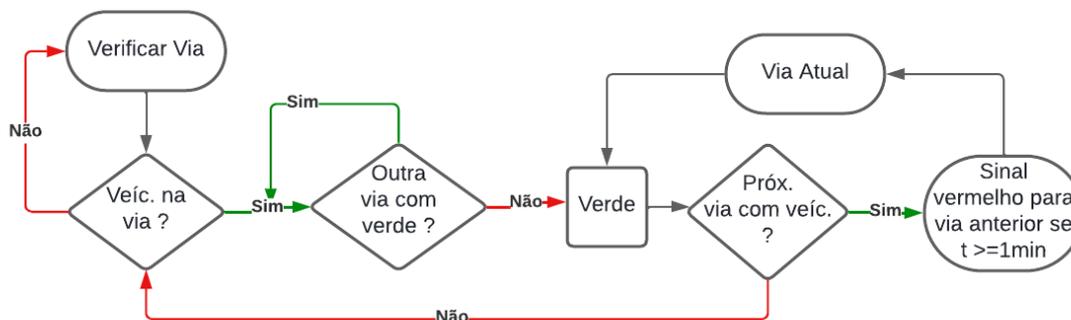
O esquema proposto possui um sistema com a capacidade em controlar um ciclo de cores, que tem como finalidade organizar o trânsito de um determinado local. O microcontrolador é o responsável por coletar dados de um sensor ou até mesmo realizar a função a partir de um tempo definido, organizando qual cor vai acender ou apagar de forma sequencial, controlada por um tempo, ou realizar uma função através dos dados coletados de sensores que podem ser instalados na pavimentação conforme o projeto em questão.

O semáforo consiste em um ciclo de operação com a sinalização que é determinada de maneira que quando acender para a via o sinal da cor verde, indica que o motorista ou pedestre poderá prosseguir. Sinal amarelo sinaliza ao motorista que ocorrerá a troca para o sinal vermelho, preparando-o para parar o veículo. O sinal vermelho indica a parada obrigatória tanto para o motorista como para o pedestre quando há sinalização para pedestre, permitindo assim o sinal verde para outras vias.

Controles utilizados para o semáforo, como por exemplo controle por tempo fixo, a cada tempo, ocorre a troca de sinais. Também são utilizados controle por tráfego que é realizado por sensores acoplados nas vias, realizando o controle através destes.

A partir dos requisitos de um semáforo funcional é possível aperfeiçoar seu funcionamento, com detecção das vias ocupadas e melhoria na sinalização. Para o primeiro caso, detectando as vias ocupadas. A Figura 13 apresenta o esquema geral para cada uma das vias do cruzamento.

Figura 13– Fluxograma dos sensores



Fonte: do autor

Na Figura 13, é apresentado o fluxograma do desenvolvimento do algoritmo. A ideia central para o desenvolvimento do algoritmo veio com a iniciativa de priorizar o fluxo de veículos nas vias, minimizando o tempo de espera nos semáforos. Inicialmente o algoritmo realiza a leitura de veículos nas vias, com base desta informação, a via que registrar o veículo em via, se tornara a nova prioritária deste algoritmo. O sistema é estabelecido por um tempo limitante para cada sensor, a qual permite a transição de controle de um semáforo para o outro conforme a demanda de veículo. Esta transição é realizada de forma sequencial, evitando o retorno a um semáforo anterior caso um veículo seja detectado em uma via subsequente.

Ou seja, havendo 3 semáforos, semáforo 1, semáforo 2 e semáforo 3, não voltará para semáforo 1 se o semáforo 3 identificou veículo. Por fim, caso não haja a identificação de veículos em nenhuma via, o semáforo opera de forma semafórica convencional, seguindo um ciclo predefinido.

Para o segundo caso, melhorando a sinalização do equipamento, foi elaborada uma proposta inovadora que gerou o depósito de patente, (SILVA & RODRIGUES, 2023). Esse Modelo de Utilidade (MU) propõe uma sinalização mais eficiente e de fácil visualização, que será detalhada no próximo capítulo.

Integrando esses dois processos é possível desenvolver e implementar com sucesso um semáforo microcontrolado com otimização em seu funcionamento, além de uma nova concepção na sinalização luminosa, podendo contribuir de forma significativa na melhoria de qualidade de vida nas cidades e para a redução dos impactos ambientais no tráfego urbano.

## **4 DESENVOLVIMENTO**

A implementação do modelo de proposta neste semáforo microcontrolado envolve a utilização de um microcontrolador, para controlar a lógica de sinalização dos semáforos, sensores e eletrônica embarcados, além de uma sinalização inovadora desenvolvida durante o projeto. O processo pode ser dividido em várias etapas, apresentadas neste capítulo.

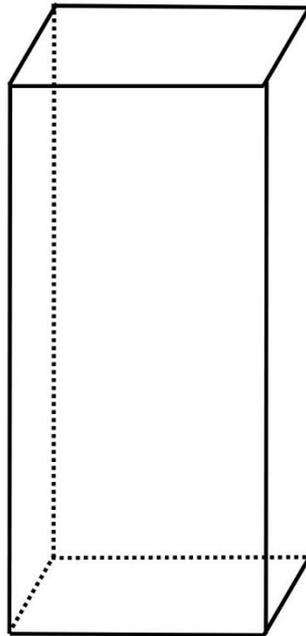
Nesta etapa de desenvolvimento do protótipo de semáforo automatizado, a organização foi realizada para descrição da sinalização inovadora, desenvolvida durante a execução do projeto. Num segundo momento, é tratado o algoritmo e a organização da automatização do semáforo, com a leitura dos sensores viários, descrevendo estes, inclusive.

### **4.1 Arquitetura do projeto**

Ao estudar os aspectos técnicos de sinalização dos semáforos convencionais surgiu a ideia inovadora de modificar sua sinalização. Após pesquisas na bibliografia científica e nas bases de dados do INPI e Google Patentes, decidiu-se, ao final de 2023, solicitar o depósito de um MU (Modelo de Utilidade) no INPI ((SILVA & RODRIGUES, 2023).

A primeira arquitetura do projeto assume a forma de uma prototipagem retangular, caracterizada pela iluminação integral de sua superfície mediante a implementação de Diodos Emissores de Luz (LEDs), preferencialmente. A Figura 14 apresenta a arquitetura de sinalização proposta.

Figura 14– Arquitetura 1 semáforo retangular fixo.

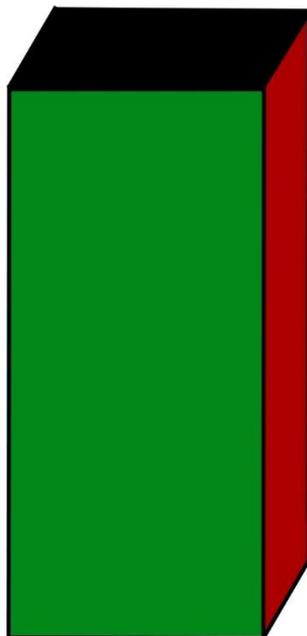


Fonte: do autor.

Para descrever a representação visual deste protótipo, são apresentadas as cores correspondentes à verde, amarelo e vermelho (Figura 15). Nesse contexto, foram incorporados LEDs do tipo *Red, Green, Blue* (RGB), possibilitando a transição de cores entre verde, amarelo e vermelho em todas as quatro faces de maneira independente. Dessa forma, a sinalização alterna entre os locais sinalizados de forma integral na face exposta para a via.

Explorando a mesma estrutura arquitetônica, implementou-se um mecanismo giratório em sua superfície, para que a face sinalizadora fique dependurada. Este mecanismo permite a alternância independente para um número variável de vias, com o intuito de exibir o sinal correspondente à via escolhida, mediante a modificação do ângulo de visão. Este aspecto pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 15 – Semáforo retangular fixo com cor.

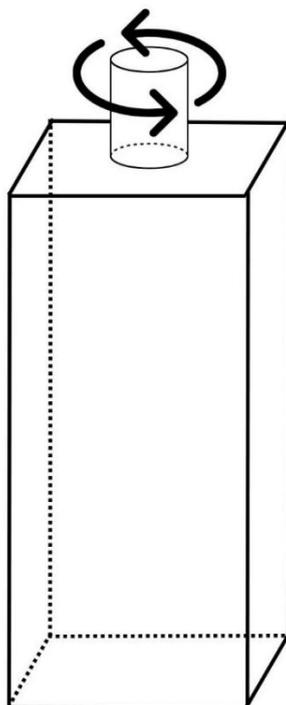


Fonte: do autor.

Adicionalmente, na Figura 16, é apresentada a configuração arquitetônica do sistema giratório, enriquecido pela inclusão de cores em suas faces. Este mecanismo rotativo é impulsionado por um motor instalado em sua superfície superior ou inferior, sendo programado no microcontrolador para realizar rotações independentes, ajustando-se dinamicamente ao número necessário de vias. Este ajuste respeita, simultaneamente, os diferentes ângulos de visão associados a cada via. No entanto, percebeu-se que a ausência do amarelo, tornaria a sinalização deficitária, embora possível pela atual legislação de trânsito.

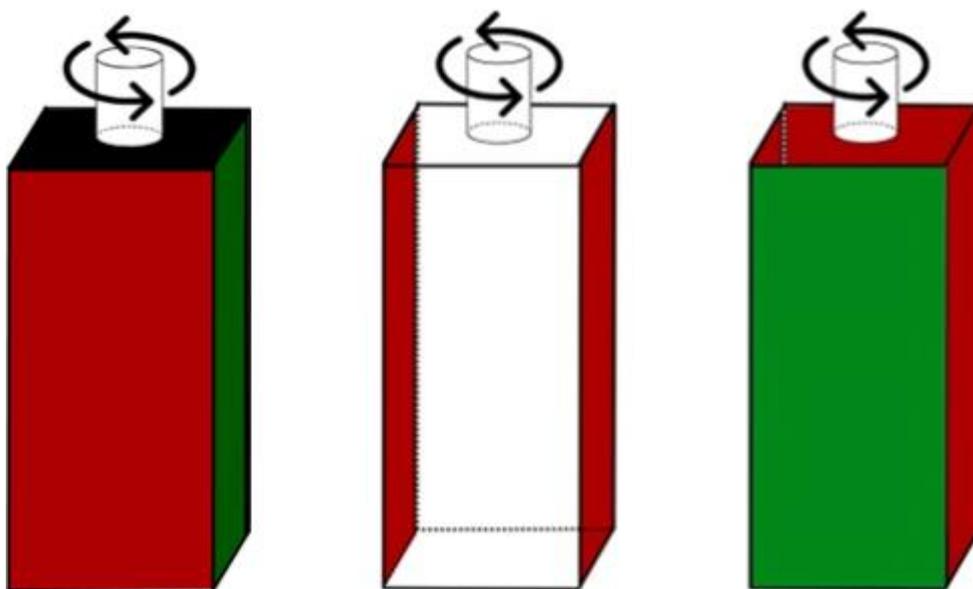
Figura ilustrativa exibindo suas faces coloridas, destacando os lados vermelho e verde, com LEDs de cores fixas (faces com cores fixas), possibilitando a rotação do dispositivo na direção correspondente à via de deslocamento. Este enfoque proporciona economias no setor eletrônico da face do projeto pela movimentação mecânica de faces fixas em termos de cor, representando uma alternativa explorada e analisada durante o estudo.

Figura 16 – Semáforo retangular giratório.



Fonte: do autor.

Figura 17 – Semáforo retangular giratório com cores.



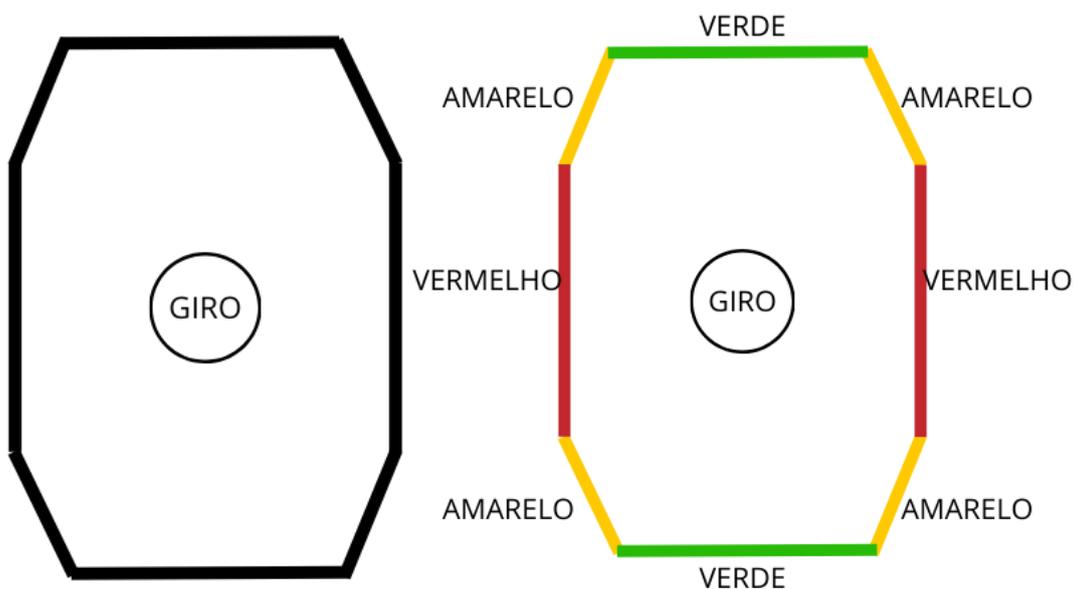
Fonte: do autor.

A partir da primeira arquitetura que foi apresentada, avançou-se para a concepção arquitetônica da arquitetura 2, a qual também foi objeto de depósito do MU (SILVA & RODRIGUES, 2023). Para atender à sinalização do amarelo, durante o movimento mecânico da proposta anterior, foi elaborada uma nova

ilustração que a Figura 18 apresenta com a visão superior do projeto, que adota uma configuração octogonal. Já na Figura 19, a mesma perspectiva é exibida, porém com a inclusão de suas respectivas paletas de cores. Assim como na Arquitetura 1, os lados da Arquitetura 2 podem ser uniformemente coloridos se a topologia permanecer fixa. Alternativamente, podem adotar cores variáveis, caso a topologia seja configurada para permitir alterações. Neste último cenário, as faces que experimentam transições cromáticas são exclusivamente a vermelha e a verde. Independentemente da topologia, a cor amarela é invariável e permanece fixa nas bordas do octógono, conforme evidenciado na Figura 19.

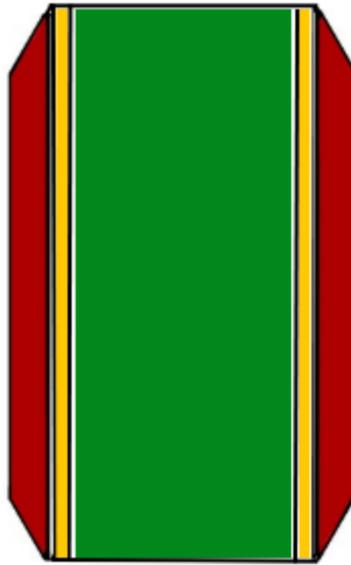
Embora essa implementação, chegou-se à conclusão, não seja usual ou prática. O tamanho da face amarela ficou menor, na representação, para não ser necessário alterar o tempo de rotação do motor que faz o conjunto mover-se.

Figura 18 – Vista superior do projeto.



Fonte: do autor.

Figura 19 – Representação frontal do semáforo.

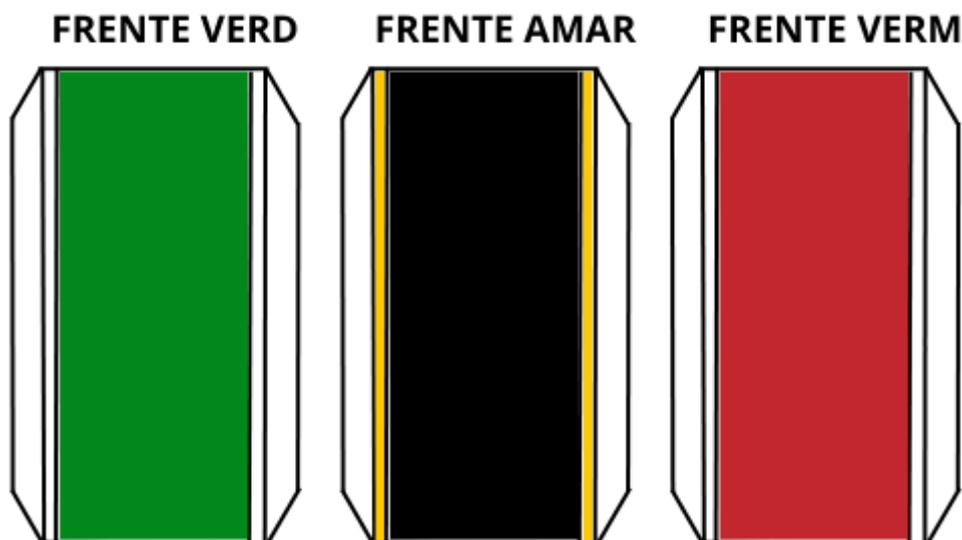


Fonte: do autor.

Cor amarela é fixa entre o intervalo de verde e vermelho independente se for da topologia giratória ou fixa. Lembrando que a topologia de giro é para a simplificação de sinalização nas vias, com mais de 4 vias, que necessitam de sinalização. A estrutura menor do amarelo é para ter uma mesma velocidade na transição das faces da estrutura sinalizadora.

A seguir, na Figura 20, é adicionada uma ilustração com as faces do semáforo octagonal, com suas respectivas cores, verde, amarelo e vermelho, podendo adicionar uma topologia fixa de cores, ou até mesmo topologia de led RGB, alternando as cores de verde para vermelho. Saliendo que a fita de led amarelo é fixa.

Figura 20 – Ilustração das faces.



Fonte: do autor.

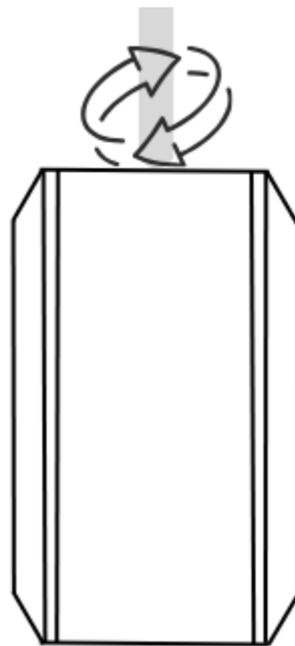
O sentido de adicionar um giro no dispositivo, é um adicional e incremental para grandes centros, implementando apenas um deste dispositivo, na qual se faz presente numerosos cruzamentos urbanos ou rurais. Atribuindo um fluxo contínuo, e diminuindo a manutenção e redução de poluentes visuais em vias.

Na Figura 21, é adicionado apenas uma ilustração do sentido de giro.

Também é introduzida uma outra arquitetura neste projeto, denominada arquitetura 3, concebida para realizar o movimento rotativo em apenas uma parte específica do dispositivo. Neste caso, a escolha foi direcionada para girar exclusivamente o sinal verde em torno do dispositivo vermelho. Esse arranjo adiciona as cores de atenção, sendo acionado quando há a necessidade de direcionar o sinal verde para outra via, Figura 22.

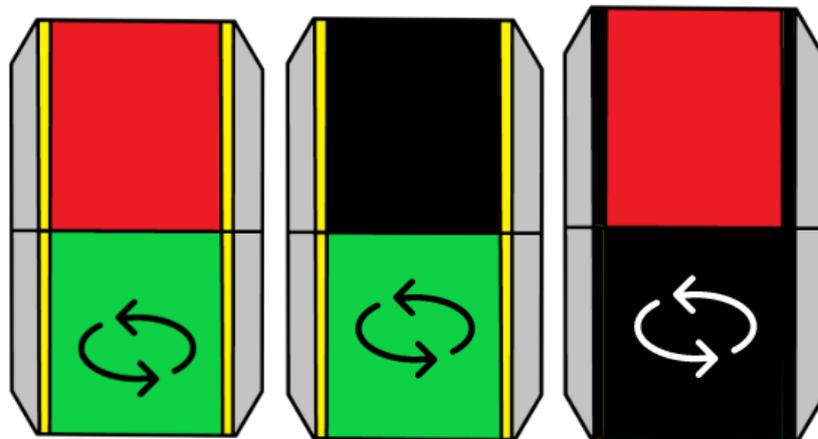
A porção vermelha permanecerá estática, alternando apenas entre os tons de vermelho e preto. Esta alteração ocorrerá quando o sinal estiver em verde, e mudará para amarelo durante a transição para a abertura do sinal verde para a outra via.

Figura 21 – Semáforo octogonal giratório.



Fonte: do autor.

Figura 22 – Semáforo octogonal giratório com cores.

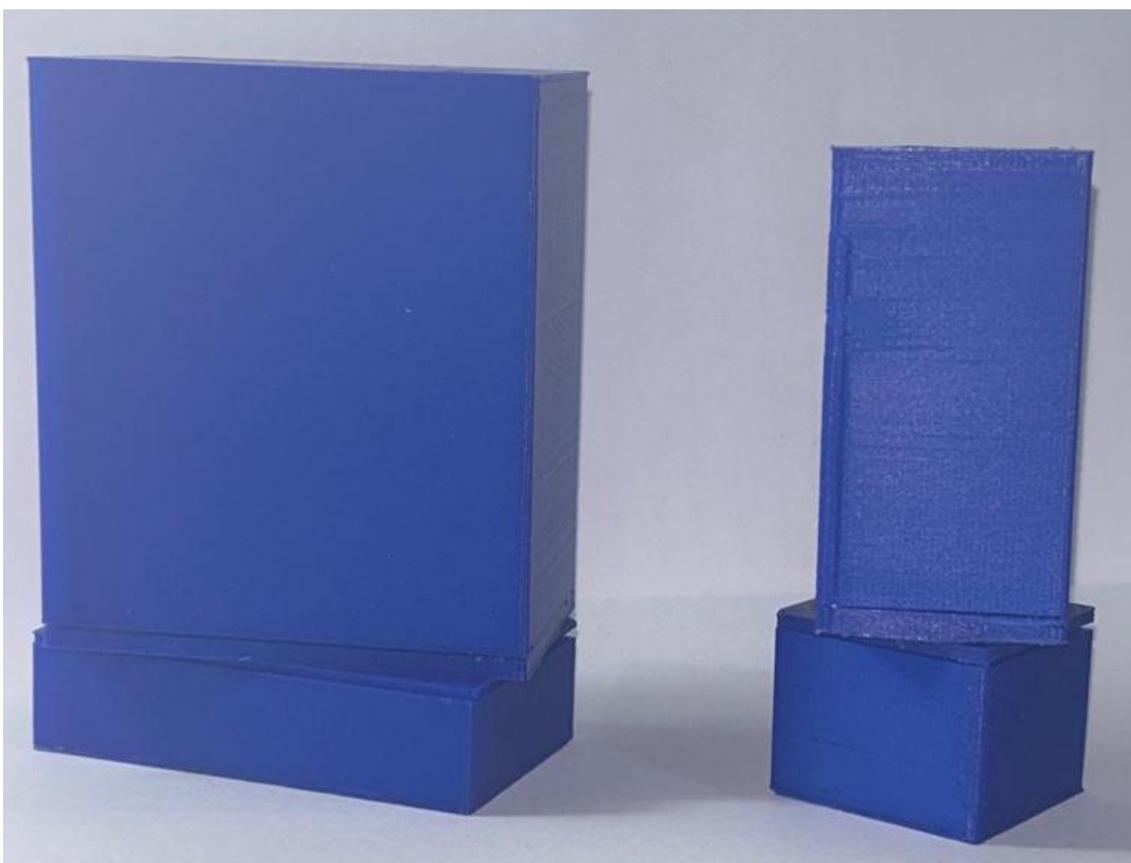


Fonte: (Do autor, 2023).

Neste protótipo o motor de giro será adicionado internamente do dispositivo, realizando o giro apenas da parte inferior do semáforo octogonal.

O protótipo do semáforo retangular rotativo é exibido na Figura 23, representando a primeira iteração do projeto. Este protótipo foi fabricado através de uma impressora 3D, apresentando uma superfície fixa na parte inferior e uma parte superior rotativa. A porção inferior é destinada à fixação no poste, enquanto a parte superior realiza a rotação, incorporando os LEDs designados.

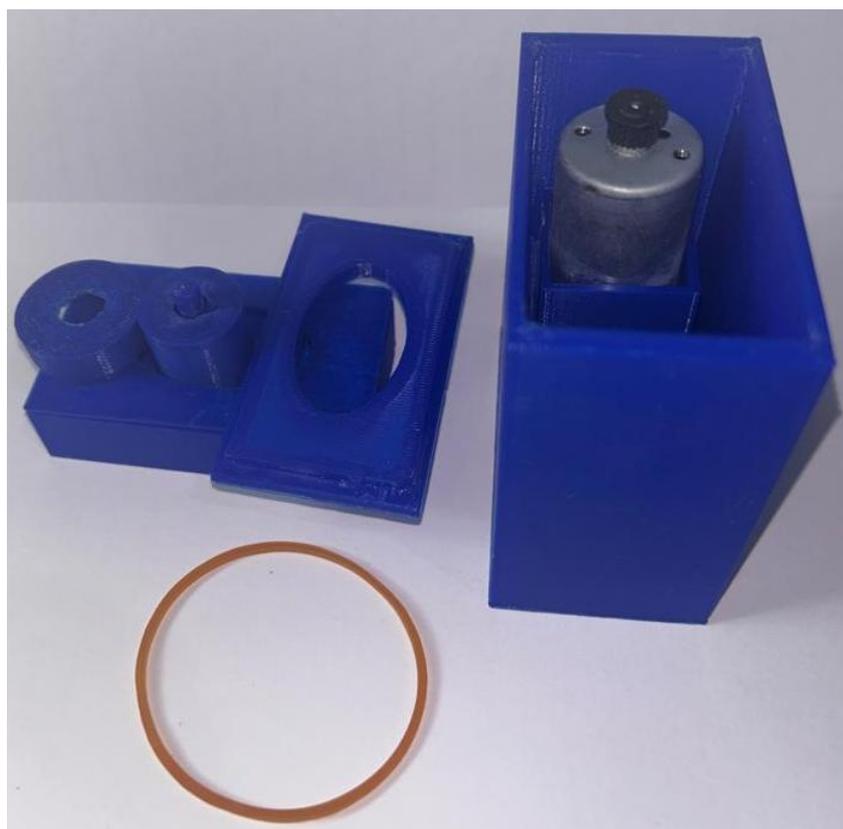
Figura 23 – Protótipo do semáforo retangular.



Fonte: (Do autor, 2023).

A seguir, na Figura 24, é apresentada a perspectiva interna do protótipo mencionado no projeto. Inicialmente, concebida com a mesma abordagem da Figura 22, a superfície do protótipo incorpora um motor juntamente com os LEDs. No entanto, após reflexão posterior, foi discutido que a disposição do motor poderia ser mais apropriada na parte de fixação, suspensa pelo poste. O mecanismo é composto por um motor, um eixo de sustentação responsável pelo movimento rotativo do equipamento e uma correia que conecta o motor ao eixo de sustentação. Essa configuração possibilita a transmissão do movimento do motor para o eixo, facilitando assim o giro do equipamento.

Figura 24 – Protótipo das peças embarcadas.



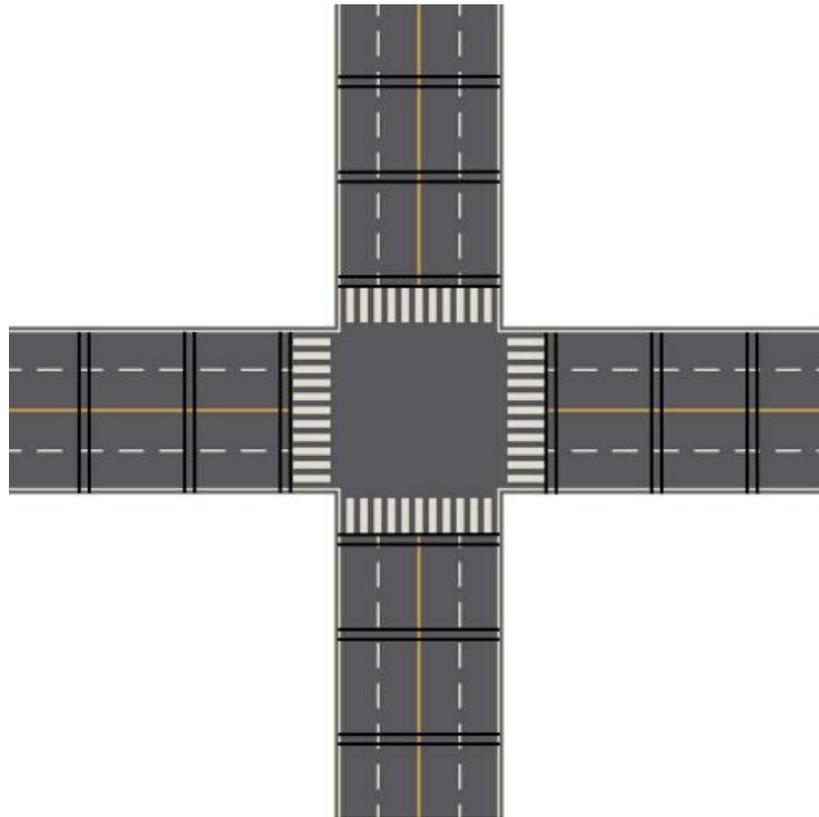
Fonte: do autor, 2023.

Resumidamente, o protótipo desta arquitetura teria inúmeros movimentos caracterizando dificuldade em sua operação, instalação e manutenção.

## 4.2 Implementação do projeto

Para empregar a sinalização inovadora desenvolvida, foi organizado um processo de automação do semáforo tradicional, adicionando sensores nas vias que informariam a chegada dos veículos, priorizando as vias com maior movimento. Ou, em casos noturnos de baixo tráfego, tornando o semáforo livre para passagem na via com movimento. A Figura 25 apresenta o esquema básico deste tipo de sinalização viária, com os sensores nas vias.

Figura 25 – Sensores nas vias urbanas.



Fonte: (Do autor, 2023).

Conforme a ilustração apresenta, o sistema de sensores estará nas vias a partir das propriedades resistivas dos materiais dúcteis, como fios de cobre ou ferro. Sabe-se que a resistência elétrica (Equação 1) é constituída pelas propriedades do material e uma de suas variáveis é a espessura, que varia ao ter contato com o peso do veículo. Aplica-se, neste caso, a segunda Lei de Ohm (R. L. Boylestad, 2012), Equação 1 a seguir.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{a} \quad (1)$$

Onde:

$R =$  resistência elétrica ( $\Omega$ )

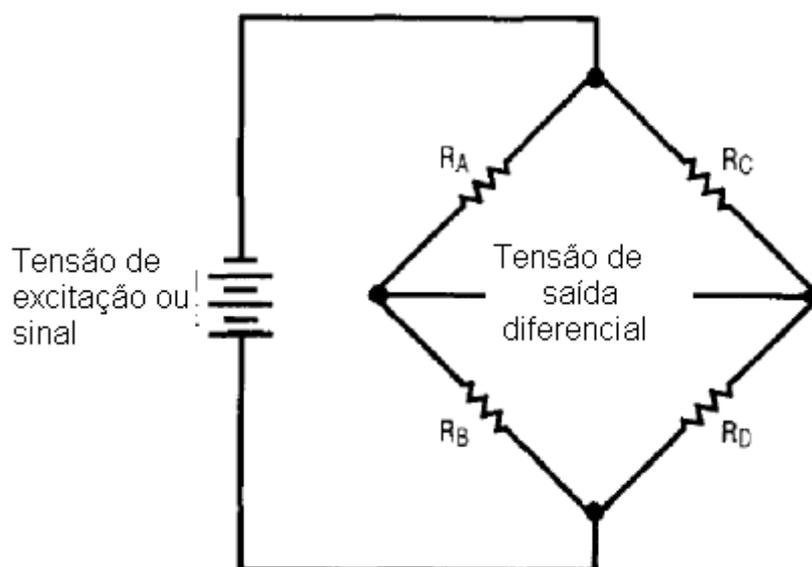
$(\rho) =$  resistividade do material ( $\Omega/m$ )

$l =$  comprimento do material ( $m -$  metros)

$a =$  área transversal do fio ( $m^2$ )

A leitura destes sensores de entrada pode ser realizada por microcontroladores, como PIC ou ATmega. Nos testes foram utilizados um PIC877A e um kit de desenvolvimento Arduino Mega 2560. Para realizar essa aquisição de informação, considerando uma pequena variação da resistência, será utilizada uma ponte de Wheatstone, conforme a Figura 26 apresenta.

Figura 26 – Sensores resistivos em ponte de Wheatstone.



Fonte: Instituto NCB, 2023.

Na Figura 26 é possível observar o tipo do circuito utilizado para implementar os sensores nas vias. A ponte de Wheatstone facilita a medição da variação de tensão diferencial, entre os terminais descritos como tensão de saída diferencial. Enquanto tiver equilíbrio entre as resistências associadas a tensão neste ponto é nula (zero). A escolha desse circuito foi crucial, pois ele realiza uma variação de tensão nesses terminais a partir da variação de resistência. Sendo um circuito viável para implementação e também sensível à variação de resistência, conforme a Equação 2, 3 e 4, explicadas a seguir.

$$V_C = \frac{v \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

$$V_B = \frac{v \cdot R_3}{R_3 + R_4} \quad (3)$$

$$V_{CB} = V_C - V_B \quad (4)$$

Para calcular e implementar no algoritmo o monitoramento dessa tensão diferencial demonstrada na Figura 26 e Equação 2, considera-se: que  $V_C$  é possível averiguar a tensão no ponto **C**, que  $V_B$ , é possível aferir o ponto de tensão em **B**, e assim, realizado um cálculo de subtração entre essas duas tensões, obtém-se o valor diferencial central.

Com esta concepção é possível aplicar a um microcontrolador, que detectará a variação de tensão, e quando o pneu do carro passar pelo sensor da via, ele sinaliza a chegada de um veículo. Se for de interesse, é possível calcular a velocidade dos veículos na via. Como a distância entre os sensores é conhecida, calcula-se a velocidade instantânea do veículo nesse trecho. Esse princípio é utilizado em lombadas eletrônicas e não será necessário realizar para o semáforo, onde apenas é detectado a chegada do veículo.

#### 4.2.1 SIMULAÇÃO DO CIRCUITO SENSOR

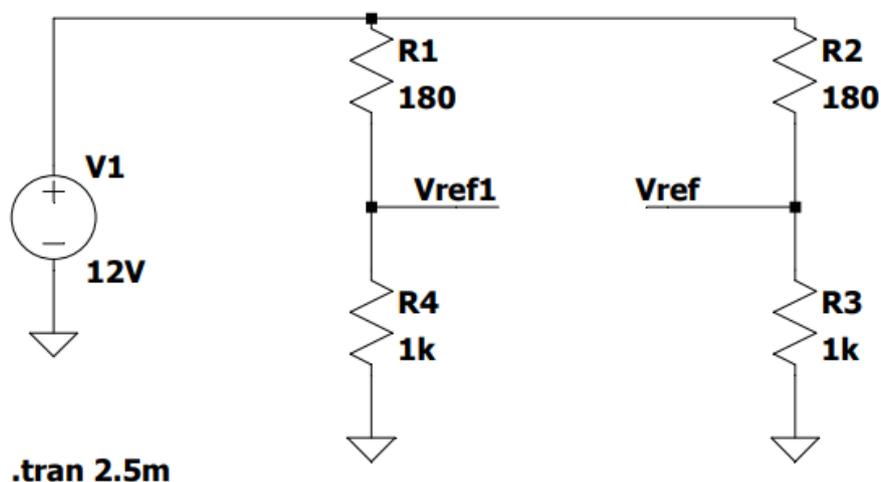
Nesta concepção do projeto será simulado o sensor responsável por realizar a detecção de veículos na pista. É possível analisar a ponte com a sua diferença de potencial elétrico em  $V_{ref1}$  e em  $V_{ref}$  da Figura 27, quando ela se encontra totalmente equilibrada, contém como resultado de diferença de potencial o valor de 0 V (zero Volts). Na Figura 28 é possível conferir o resultado obtido da ponte em estado equilibrado.

Quando ocorrer variação em um dos resistores, vai ocorrer o desequilíbrio desta ponte de Wheatstone, logo, a sua diferença de potencial em  $V_{ref1}$  e em  $V_{ref}$  não será mais nula. Na prática, o único resistor variável será o da pista para detecção dos veículos. Os demais terão seus valores fixados para equilíbrio da ponte após testes de instalação.

Com este propósito, o microcontrolador receberá a informação da variação de tensão no seu pino respectivo e, deste modo, é possível realizar a detecção do veículo. Na Figura 29 é possível observar a variação de 80 ohms, a qual ocorreu o desequilíbrio da ponte, podendo ser observado na Figura 30 os resultados da simulação realizada. Os valores utilizados são estimativas iniciais

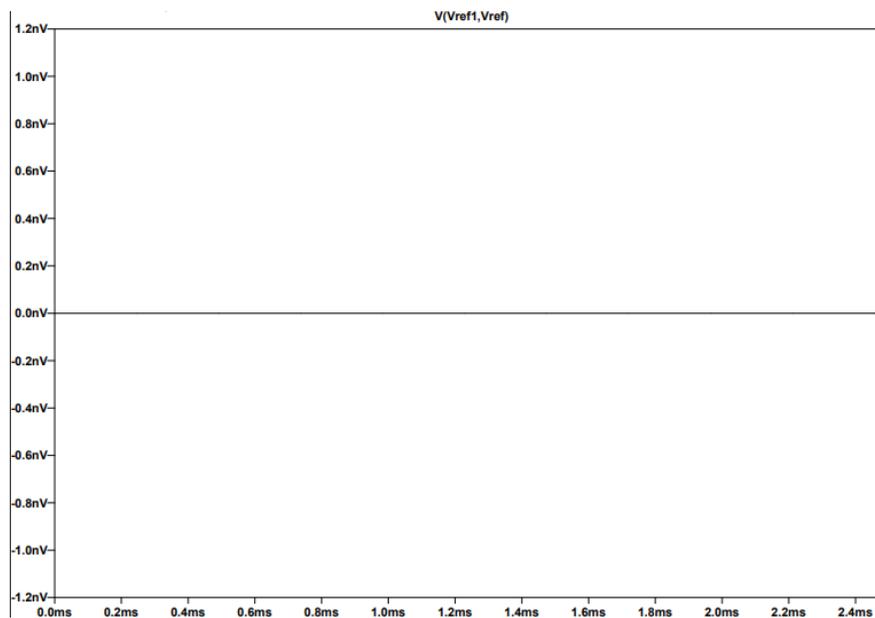
para comprovar e permitir a simulação computacional, ajustando as etapas do circuito de controle dos atuadores a partir do algoritmo.

Figura 27 – Ponte de Wheatstone equilibrada.



Fonte: do autor

Figura 28– Resultado da ponte equilibrada.

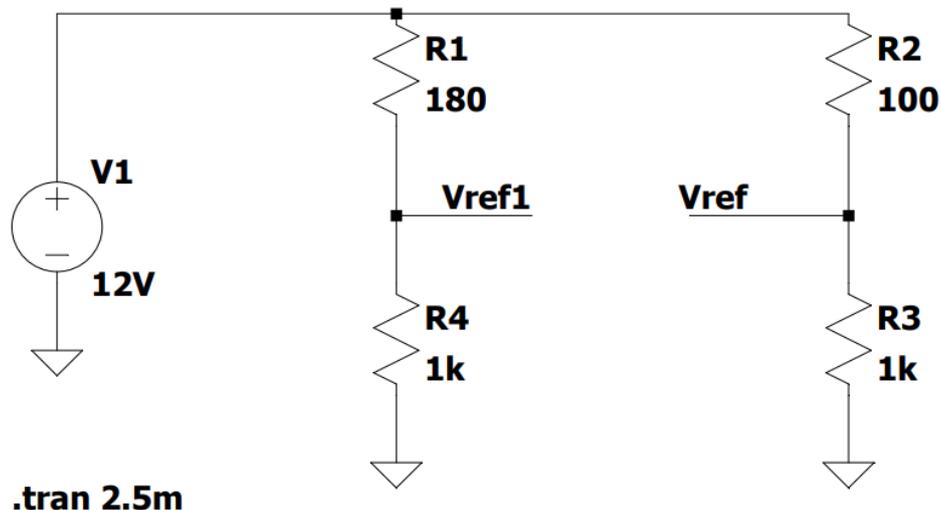


Fonte: (Do autor).

Percebe-se que a tensão diferencial no ponto de medida é nula. Nesse momento é necessário realizar um ajuste para que pequenas variações não sejam detectadas e disparem o processo no microcontrolador. Como exemplo, podem-se usar passagem de bicicletas, animais ou pessoas sobre os sensores.

Ao desequilibrar a ponte na simulação, obtém-se a representação na Figura 29 e a resposta na Figura 30.

Figura 29– Ponte de Wheatstone não equilibrada.



Fonte: (Do autor).

Figura 30– Resultado da ponte não equilibrada.



Fonte: (Do autor).

Percebe-se que há uma tensão referencial no ponto de medida e pode-se analisar esse progresso. A Tabela 1 apresenta variações simuladas e as

consequentes tensões inerentes para ajuste do algoritmo de detecção ou inserção de algum dispositivo de adequação do sinal, como um amplificador operacional, por exemplo, numa etapa de condicionamento de sinal.

Tabela 1 – Resultados obtidos na variação da resistência

Valor inicial	Tensão diferencial	% variação Ohm	% variação tensão
180	0 V	0	0
140	356,8 mV	-33%	-35%
100	739,6 mV	-45%	-48%
60	1,15 V	-67%	-64%
220	333,4 mV	+ 19%	+33%
260	645,7 mV	+ 31%	+51%
300	938,8 mV	+ 40%	+68%
340	1,21 V	+ 48%	+77%

Fonte: do autor.

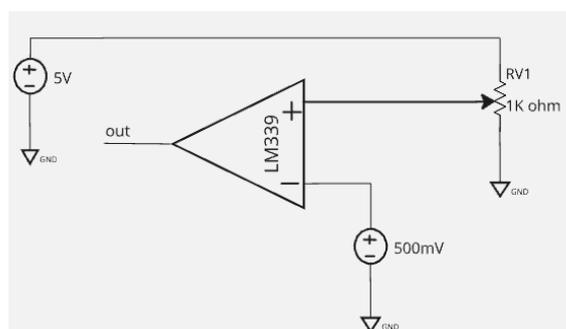
Percebe-se que a Tabela 1 ao apresentar as variações percentuais de resistência e de tensão referencial da ponte, não encontra uma variação diretamente proporcional. Essa diferença será corrigida pelo circuito de condicionamento de sinal proposto adiante. Neste momento, o importante é mostrar que a ponte sinaliza as variações para mais ou para menos, conforme a bibliografia aponta.

#### 4.2.2 CIRCUITO CONDICIONADOR DE SINAL

Para ter efetividade na leitura do microcontrolador, decidiu-se adotar um circuito de condicionamento de sinal para garantir a leitura digital no microcontrolador, ampliando a variação obtida pelas oscilações de resistência elétrica dos sensores e, ao mesmo tempo, descartando variações que não caracterizem efetivamente veículos na via.

A Figura 31 apresenta a estrutura proposta para o circuito de condicionamento de sinal, proposto.

Figura 31 – Circuito de condicionamento de sinal.



Fonte: do autor.

O sensor resistivo a ser implementado na via utiliza um processo de condicionamento de sinal na sequência, sendo este realizado por meio de um comparador com amplificador operacional LM339, escolhido por operar com tensão assimétrica (Datasheet,2024). O comparador tem como função realizar a comparação entre o sinal coletado pelo sensor resistivo e um valor de referência, a fim de possibilitar a correta interpretação do tipo de evento detectado. O processo de condicionamento de sinal é exemplificado através de uma ponte de Wheatstone, configurada de forma a funcionar como um potenciômetro, sendo referenciada na figura como RV1.

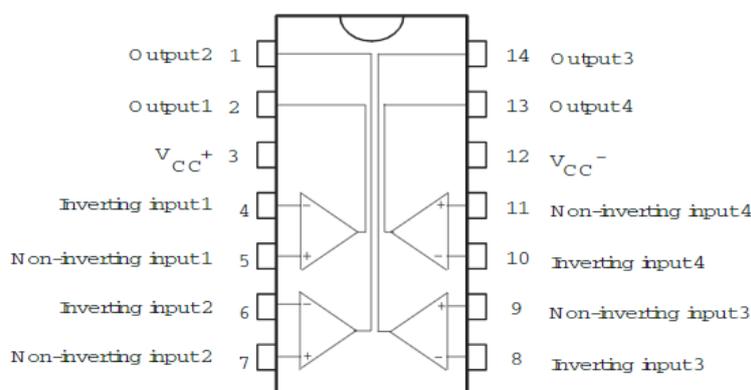
Devido à elevada sensibilidade de RV1 gera variações de resistência, sendo necessário um processo de condicionamento do sinal, no qual se deve selecionar qual dos sinais deve ser considerado para que o controlador execute a operação adequada. Ou seja, esse condicionamento permitirá operar o sistema microcontrolado com entradas digitais, dispensando interrupções e entradas analógicas, além de descartar variações aleatórias ou não importantes, tais como: variações de temperatura, veículos pequenos nas vias, etc. A partir da variação de tensão referenciada, é possível determinar se o valor medido pelo resistor corresponde à presença de um veículo ou à simples passagem de um pedestre pela via. Essa distinção é fundamental para o correto funcionamento do circuito, pois a escolha do sinal relevante permite encaminhá-lo de forma digital ao controlador, possibilitando a definição da ação apropriada por meio do algoritmo implementado.

É igualmente necessário um período de testes para a calibração do dispositivo instalado no asfalto, com o objetivo de determinar a faixa de variação

de tensão associada à presença de um veículo, bem como os limites de tensão abaixo dos quais a detecção corresponde a pedestres ou a possíveis deformações do asfalto causadas por variações térmicas extremas, como o calor ou o frio.

Foi adotado um amplificador operacional com operação preparada para uma única tensão de alimentação, pois a necessidade é ter 0 V ou 5 V na saída para trabalho em análise digital a partir do microcontrolador. Por isso, utilizou-se o CI LM339, com 4 amplificadores operacionais com alimentação não simétrica, Figura 32.

Figura 32 – Comparador LM339.



Fonte: (Datasheet LM339, 2023)

O LM339 possui uma ampla faixa de operação de tensão de alimentação, podendo ser utilizado com fontes de alimentação simples ou duplas. A escolha desse amplificador deve-se à sua versatilidade, destacada pela presença de quatro núcleos de operação, ou seja, quatro comparadores independentes integrados. Essa configuração permite a comparação de até quatro sinais distintos em um único circuito, facilitando a integração com diversos sensores. Ademais, a entrada desse comparador apresenta alta impedância, característica que o torna especialmente útil para a comparação de sinais de baixa corrente elétrica, garantindo medições precisas e confiáveis.

Além disso, a operação do LM339 requer baixo consumo de energia, podendo funcionar com uma corrente de 1,1 mA de forma independente, o que o torna uma opção eficaz para aplicações alimentadas por baterias ou em sistemas que demandam alta eficiência energética. Outra característica

importante é a sua saída do tipo coletor aberto, que implica na necessidade de conexão a uma fonte de tensão externa, geralmente por meio de um resistor de *pull-up*, para definir o nível lógico alto ou baixo. Essa configuração permite que o comparador seja utilizado em sistemas que operam com diferentes níveis de tensão, proporcionando maior flexibilidade em aplicações diversas.

Resistores do tipo *pull-up*, se fragmentam de componentes resistivos a qual ajustam os níveis lógicos desejado para o momento que o circuito é desconectado. O principal objetivo deste resistor *pull-up* é fornecer uma ligação fraca à tensão do pino ao qual está conectado, elevando-o a um nível lógico alto quando o circuito estiver em aberto. Quando o dispositivo estiver em nível lógico baixo, isto é, quando estiver conectado ou pressionado, o seu nível lógico será de 0 V.

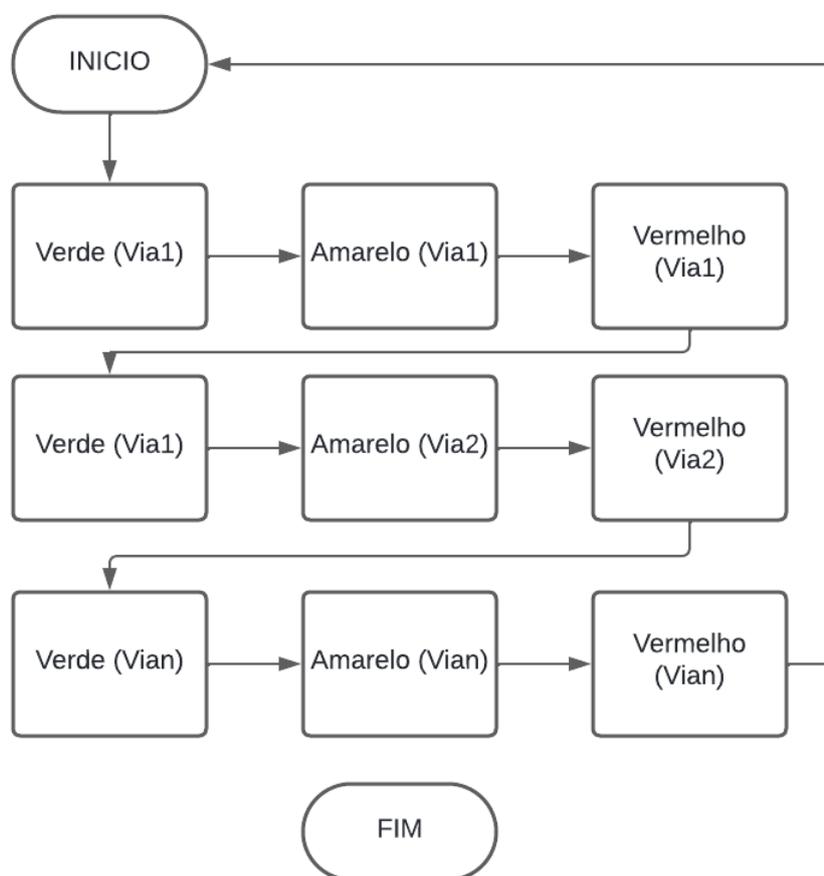
#### 4.2.3 CONTROLE

O sistema de controle consiste num algoritmo implementado em microcontrolador para analisar as entradas provenientes dos sensores, a partir do condicionamento de sinal, e tomar as decisões necessárias para otimizar o fluxo operacional do semáforo. A Figura 33 apresenta um resumo operacional do semáforo.

Essa estrutura é básica de qualquer operação de semáforo. Torna-se necessária para manter esse padrão e permitir a implementação da detecção de veículos nas vias.

O fluxograma apresentado na Figura 33 define a etapa inicial na elaboração lógica do sistema semaforico proposto, expondo de maneira simplificada sua operação, seguindo uma sequência de sinalização. Define-se, nesse contexto, a via principal, designada como *via1*, para dar início ao desenvolvimento do algoritmo.

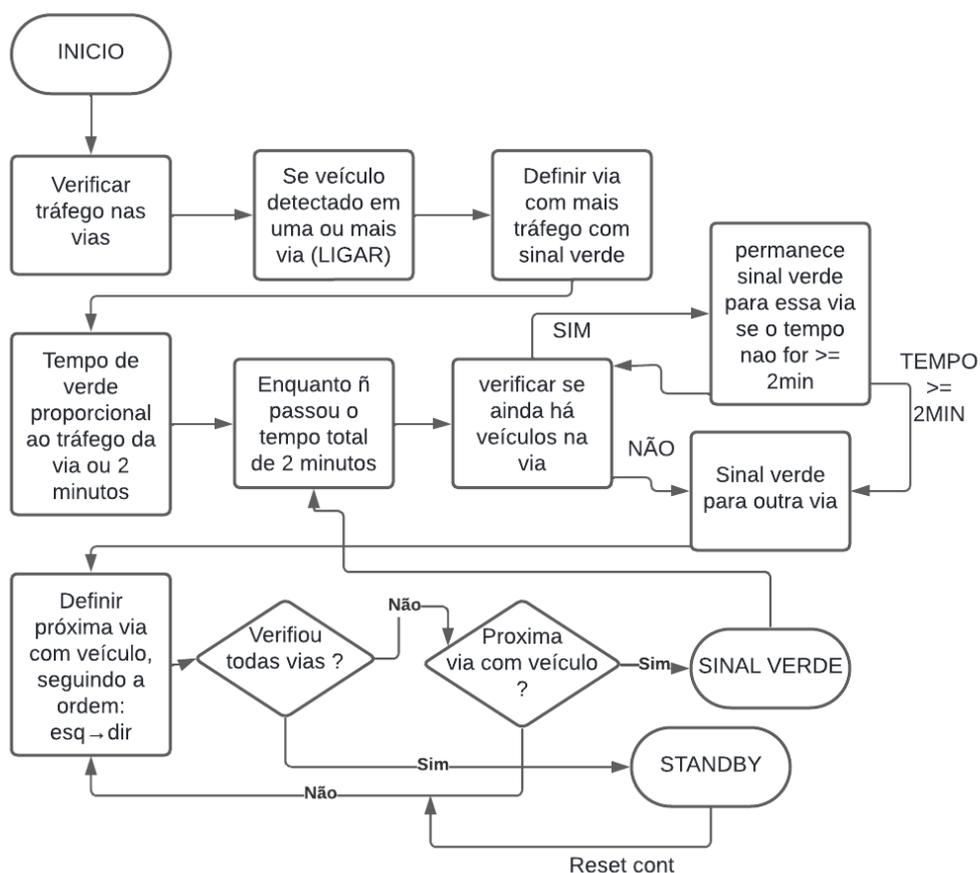
Figura 33 – Fluxograma 1, inicial do semáforo.



Fonte: (Do autor).

Na Figura 34, é apresentado um esquema lógico de implementação de sensores resistivos para monitoramento. Dessa forma, foi estipulado um intervalo de 2 minutos para a sinalização verde em qualquer via, sendo que neste intervalo verifica-se a presença de veículos na pista. Caso não haja veículos detectados nesse período, a sinalização verde é transferida para a próxima via com veículo. O sistema então procede à sequência de vias, verificando inicialmente a ocupação veicular em cada uma delas, em seguida, prossegue com a lógica até percorrer todas as vias. Se em todas as vias não houver veículos detectados, o semáforo fica em operação no seu ciclo de operação normal, como qualquer outro dispositivo dessa função.

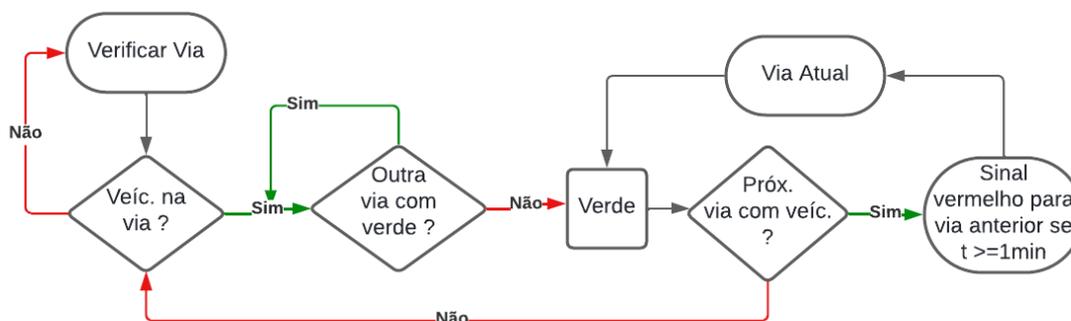
Figura 34– Esquemático de guia detalhado.



Fonte: (Do autor).

Diante deste esquemático, elaborou-se o fluxograma completo do semáforo para cada via (Figura 35). Esta análise lógica é direcionada para cada **ciclo** semaforico, ou seja, um ciclo completo de apenas um semáforo.

Figura 35- Fluxograma do código implementado



Fonte: (Do autor).

A partir da Figura 35, vê-se necessário explicar o fluxograma adotado, como princípio ele é setado em zero, ou seja, após ligar, nenhum sensor é detectado no momento, o algoritmo segue um fluxo de tarefa fixado, como sendo um semáforo não conectado a nenhum sensor. Entretanto, quando detectado um veículo, os sensores são ativados, e seguem o fluxo lógico da figura 36, na qual o primeiro passo é realizar a verificação.

Se alguma via possuir veículo, como exemplificação, iniciando a detecção de veículo na (via 1), e em paralelo é realizada uma confirmação de onde está alocado o sinal verde, ou seja, qual via está com o sinal em aberto, assim, se espera o ciclo deste sinal se encerrar e abre o verde para a via com detecção de veículos primário, independente da ordem, a prioridade é para a via que apresentou veículo primeiro.

Após aberto o sinal para a via com veículo, (via1), faz-se a verificação para a via subsequente, (via2), iniciando novamente a verificação, alertando se tem ou não veículo nesta (via2), se possui veículo, ele abre o sinal vermelho para a via que estava com veículo, (via1), e o sinal verde é aberto para a via seguinte, (via2), se possui veículo, caso contrário, não possua veículo, ele avança para a próxima via subsequente,(via 3).

Desta maneira se a via posterior (via 3), detectou veículo, ela seta vermelho para a (via 2), com uma condição de, se a via atual (via 2) tiver veículo e o tempo de vermelho da (via 3) que foi detectado um veículo for maior que 1min, o algoritmo dará prioridade para a (via 2) com verde até fechar 1min de vermelho da (via3) que o sinal vermelho ainda está sendo exibido, logo após o tempo superior do vermelho superior a 1 minuto, a próxima via, (via 3), se torna prioridade, e o sinal vermelho é aberto para a (via 2) que está com sinal verde, e a próxima via, (via 3) ganha a prioridade.

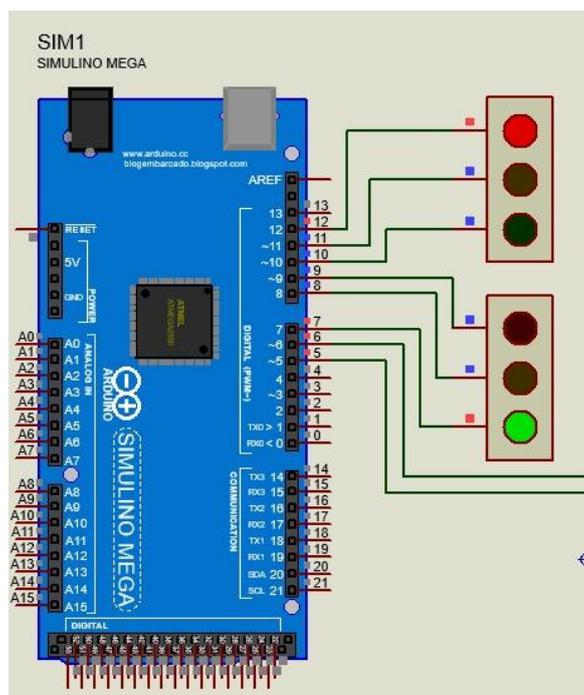
Vale ressaltar que o código gerado tem, em seu princípio, uma análise dos sensores para que, caso não existam carros nas vias ou exista nas diversas monitoradas, faça um fluxo de semáforo normal, com temporização somente. Embora pareça repetitiva esta informação, ela vem para salientar que esse mesmo algoritmo pode ser usado em cruzamentos onde não sejam requeridos, e consequentemente instalados, os sensores para priorização das vias.

#### 4.2.4 ATUADOR

O sistema, para simulação, foi projetado para ser responsável por controlar dois conjuntos de semáforos (2 vias). Além disso, dois sensores de presença são utilizados para detectar os veículos em cada via. O objetivo é garantir que em situações normais, o fluxo de veículos seja regulado de maneira normal, como qualquer semáforo comum. Em casos de alto fluxo ou baixíssimo fluxo, com base na presença ou ausência de carros em cada via.

Nesse sentido o algoritmo de controle associa aos pinos do microcontrolador os atuadores, neste caso específico: luminosos. A Figura 36 apresenta a estrutura simulada no microcontrolador.

Figura 36 – Estrutura para dois semáforos de cruzamento.



Fonte: do autor.

Percebe-se que a escolha desse microcontrolador, cabe a ressalva, é pelo grande número de pinos para implementar em cruzamento com maior número de vias. Neste caso, três pinos para cada semáforo e uma entrada para cada sensor de via. No entanto esse número vai aumentando conforme se colocam mais sensores e mais vias para atendimento.

Esses atuadores serão implementados na nova arquitetura proposta e descrita anteriormente, fruto do Modelo de Utilidade registrado no INPI.

### **4.3 Aplicações para baixo volume de tráfego**

Ao simular, percebeu-se que o projeto pode ser implementado em regiões rurais que demandam uma eficiente sinalização devido ao fluxo baixo de tráfego. Em cruzamentos de vias rurais, por vezes, existem períodos muito longos sem nenhum veículo em determinada via. No entanto, essa falta de trânsito acaba por ocasionar descuidos por parte dos motoristas nas vias, ocasionando colisões.

As necessidades específicas da área rural podem ser atendidas pelos sensores, detectando e sinalizando a chegada de veículo na via a partir do ponto de menor intensidade de tráfego viário. Assim, detectar um veículo numa via secundária, com antecedência pode sinalizar na via principal a necessidade de uso da mesma por esse acesso de menor importância. Normalmente, veículos de grande porte transitam nesses locais, o que facilitaria o acesso dos mesmos na via principal.

Ou seja, nesse tipo de aplicação o semáforo só fecharia a via principal em momentos com tráfego no acesso secundário, liberando logo em seguida o fluxo (Figura 37). Para isso, seria usado o modo de economia de energia, despertando o controle somente quando houvesse tráfego na via secundária.

A ideia principal do algoritmo implementado, é que priorize o fluxo de automóveis. Com isso, otimiza-se o fluxo nos cruzamentos, inclusive, em casos com baixíssima intensidade de tráfego. Como pode ser observado na Figura 37, isso pode-se existir a necessidade de um controle de fluxo em regiões rurais que receberam um desvio, ou seções de regiões rurais que exista a necessidade de controle de tráfego, com baixo fluxo de veículo.

Figura 37 – Pares de sensores nas vias rurais.

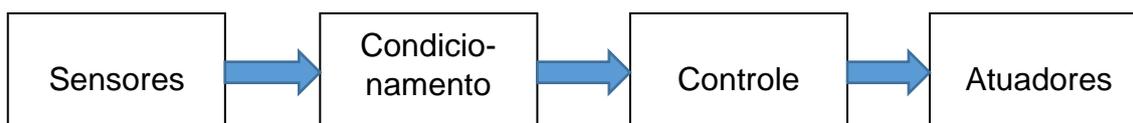


Fonte: (Do autor, 2023).

## 5 RESULTADOS

Um dos resultados significativos deste trabalho foi a realização de um depósito de Modelo de Utilidade para a sinalização inovadora desenvolvida, evidenciando a ação criativa do projeto (SILVA & RODRIGUES, 2023). A ilustração da Figura 38 mostra o esquema adotado para o sistema completo.

Figura 38– Esquema para operacionalizar o sistema



Fonte: do autor.

Neste capítulo, busca-se evidenciar a aplicabilidade do projeto e os resultados obtidos a partir da simulação computacional. Nesse sentido é importante destacar que o circuito final foi concebido em 4 etapas:

- 1) sensores de movimento;
- 2) condicionamento de sinal;
- 3) controle;
- 4) saídas para semáforo.

No contexto de um semáforo tradicional, as etapas de 1 a 3 requerem um detalhamento maior para seu entendimento no funcionamento e obtenção de resultados.

### 5.1 Sensores de movimento

A partir das propriedades citadas anteriormente e da segunda Lei de Ohm, relacionando a resistência elétrica com as dimensões dos materiais condutores, esse sensor foi preparado para ser constituído de material condutor e ter sua conexão associada a uma ponte de Wheatstone. (ponte de Wheatstone, 2023)

Essa associação permite que uma pequena variação do sensor gere uma diferença de potencial no centro da ponte. No entanto, prevendo a aplicação em

vias urbanas, pode ser necessário um ajuste nessa tensão devido às próprias variações de temperatura no ambiente e condições físicas de implementação.

Para exemplificar, faz-se o cálculo da resistência de um fio de cobre, através da equação (1). Considerando um fio de cobre com comprimento de  $l = 10$  metros, com uma resistividade  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ , com uma área transversal  $a = 0,50 \text{ mm}^2$ , tem-se a resistência:

$$R = 1,7 \times 10^{-8} \cdot \frac{10}{0,5 \times 10^{-6}} = 0,34 \text{ ohms. m}$$

Obviamente, que essa resistência será associada a um valor fixo via potenciômetro ajustável de precisão, para permitir um melhor monitoramento de toda ponte. Materiais com maior resistividade terão uma maior resistência e poderão ser implementados, como Alumínio, por exemplo.

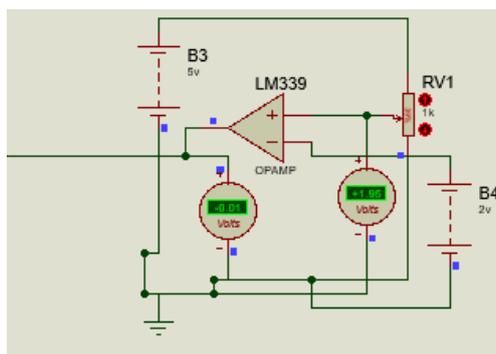
## 5.2 Condicionamento de sinal

Para que seja possível um disparo digital a partir da resposta do sensor de movimento projetado, foi criado um circuito comparador que traz um valor mínimo de variação necessária na tensão elétrica para permitir uma saída em nível alto no circuito.

Esse circuito analisa e compara em tempo real a operação do sensor, permitindo, inclusive, retirar pequenas variações da resistência elétrica, tais como: bicicletas e pedestres que venham a circular pela via.

A Figura 39 apresenta o circuito de condicionamento de sinal utilizado. Nesse momento, se está usando uma leitura digital, pois não se está fazendo medida de velocidade. Num momento posterior, poderá ser usada a interrupção externa para disparar um temporizador do microcontrolador e calcular a velocidade instantânea no trecho.

Figura 39– Circuito de condicionamento de sinal



Fonte: do autor.

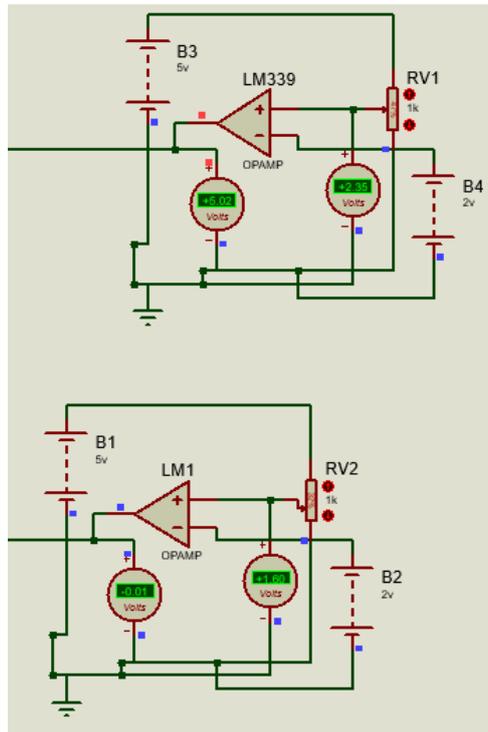
A entrada não inversora (+), possui o sinal de referência, ou seja, o sinal que será comparado. Se a tensão nesta entrada não inversora for maior que a entrada inversora (V-) a saída do comparador terá como resposta uma saída alta próxima a tensão de alimentação positiva.

A entrada inversora (-), tem como entrada o outro sinal a ser comparado com o sinal de referência. Caso a entrada inversora (V-) for maior que a entrada não inversora (V+), a saída será baixa, próximo a tensão de alimentação negativa ou GND.

Nesse sentido, as Figuras 40 e 41 apresentam os resultados com simulação de entrada e ausência de veículos na via.

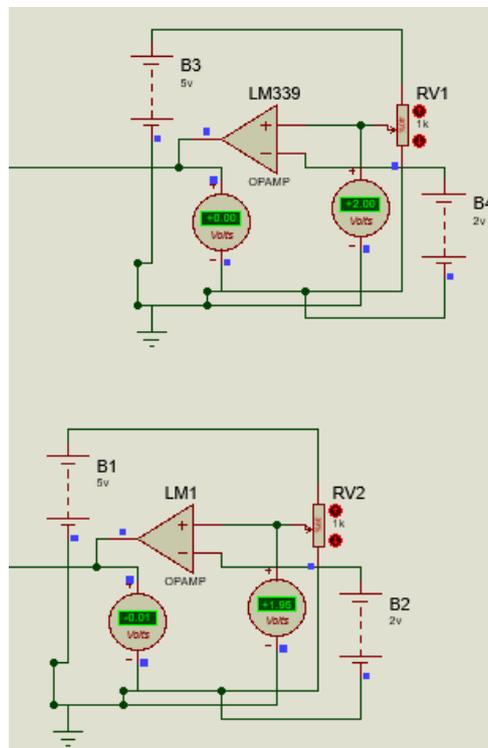
Percebe-se que ao detectar o veículo na Figura 40, através do pino 6, ele prioriza o sinal verde do semáforo superior. O comparador sinaliza para o algoritmo que estará monitorando a entrada, priorizando a via para o sinal verde. Enquanto na Figura 41, não há prioridade para nenhuma via.

Figura 40 – Entrada de veículo na via



Fonte: do autor

Figura 41 - Ausência de veículo na via



Fonte: do autor

### 5.3 Controle

Para efetuar o controle dos sensores e atuadores do sistema, foi utilizado um microcontrolador, no kit de desenvolvimento ATmega 2560. A escolha desse microcontrolador determinou alguns parâmetros para o projeto, como baixo consumo de energia e entrega do desempenho requerido. A tecnologia CMOS, também permite trabalhar em uma grande variedade de temperatura. Conforme explica o fabricante (ATMEL, 2024), disponibiliza uma retenção de dados equivalente para 20 anos a 85 °C, ou também 100 anos a 25 °C. Além de várias possibilidades de portas lógicas que esse microcontrolador disponibiliza e que poderão ser utilizadas no futuro para simplificar o circuito. A Tabela 2 apresenta a configuração do microcontrolador.

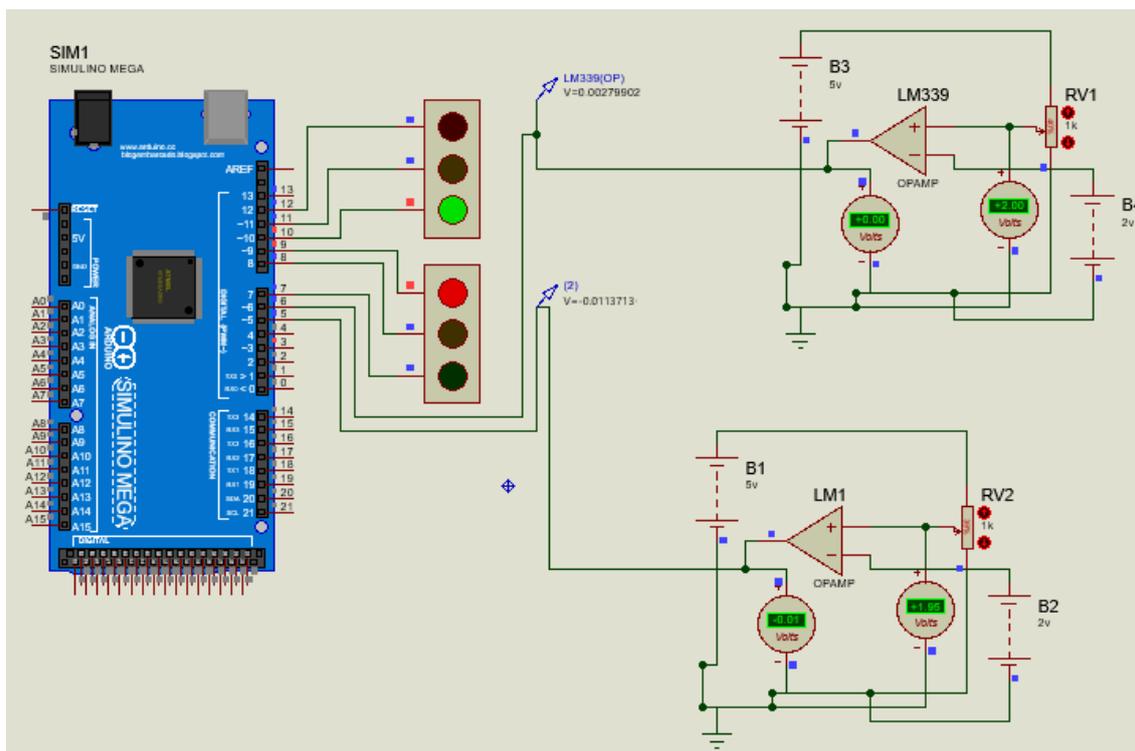
Tabela 2 - configuração de hardware do microcontrolador

Dispositivo	Flash	EEPROM	RAM	Pino	Canais de 16bits PWM	Canais de ADC
Atmega2560	256KB	4KB	8KB	86	12	16

Fonte: (ATMEL, 2024)

O controle do sistema é formado por um algoritmo embasado em um sistema lógico com prioridade de via, a partir de uma determinada situação. Ou seja, toma as decisões baseando-se em situações externas, devidamente parametrizadas na lógica estabelecida. Nesse caso, basicamente: 1) caso não existam veículos na via ou nas duas vias monitoradas, permanece no funcionamento normal de um semáforo temporizado, Figura 42.

Figura 42 – Funcionamento tradicional de semáforo



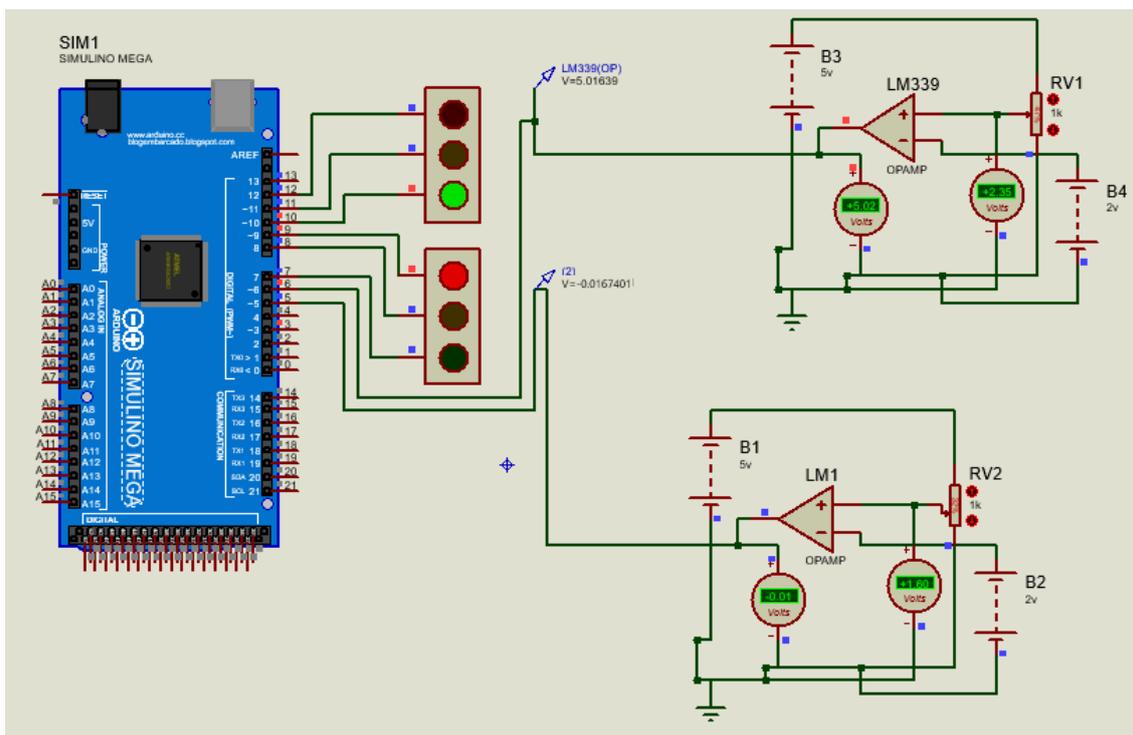
Fonte: do autor.

No caso que tenha veículo em uma das vias, 2) prioriza o sinal verde para esta via, enquanto tiver tráfego somente nela, Figura 43.

A primeira rotina do algoritmo, consiste em intervalos fixos, ou seja, se não detectar nenhum veículo na via, o algoritmo irá seguir uma rotina pre definida de modo que seu comportamento de tempo e classificação de prioridade de via estejam de forma fixa sem alterar a fila ou o tempo.

A segunda parte de sua rotina é a verificação, a todo ciclo de operação, é realizada uma verificação se a alguma das vias possui o sinal verde, ou se a via possui veículo e armazenado na memória do controlador a via que está com veículo, e atribuído a prioridade a ela.

Figura 43 – Funcionamento de prioridade da via



Fonte: do autor.

A terceira observação é a lógica de verificar se a via atual que foi detectado o veículo, ainda está com o sinal verde, e se possui veículo, se a resposta for sim, ele continua dando prioridade a esta via até que chegue um tempo limite pré determinado, e passa para a próxima via que detectou o veículo.

Para realizar essas operações o algoritmo monitora os sensores a cada 100 ms (código no APÊNDICE 1), e se o sensor acionado for o da via em verde, ele aumenta o tempo dessa via. Caso seja o da outra via, ele diminui o tempo para finalizar o verde, trazendo o amarelo e em seguida o vermelho. Se a outra via permanecer com tráfego terá seu tempo aumentado, conforme já explicado e assim, sucessivamente.

## 5 CONCLUSÃO

Ao longo deste projeto, foi possível realizar uma análise abrangente sobre diversas leituras relacionadas a semáforos e suas tecnologias predominantes, assim como explorar as estratégias eficazes para a implementação do projeto de semáforo. Além disso, destaco a conquista de uma patente para essa iniciativa, reconhecida como uma invenção de engenharia. A colaboração com o professor Mauro possibilitou a elaboração bem-sucedida do plano de patente, atingindo todos os objetivos previamente estabelecidos.

O projeto em foco, conduziu um trabalho de conclusão de curso, alinhada aos princípios da sustentabilidade e visa aprimorar a qualidade de vida da população que utiliza as vias urbanas. Contribui para a criação de um ambiente urbano mais verde e sustentável, estabelecendo metas para a redução de emissões poluentes na atmosfera. Adicionalmente, busca promover um fluxo contínuo de veículos, reduzindo o tempo de espera em semáforos e cruzamentos. Além disso, os resultados com o uso do microcontrolador, foi obtido de forma satisfatória a ponto de conseguir o equilíbrio com o ADC destacando uma tensão de referência.

Encerro formalmente este trabalho de conclusão de curso, reconhecendo que sua conclusão não significa um ponto final, mas sim um ponto de transição para uma fase contínua de atualização e aprimoramento deste trabalho excepcional.

Como continuidade deste trabalho, destacam-se os seguintes projetos futuros:

- Desenvolver para as vias rurais.
- Aplicar fonte de alimentação independente para zonas rurais.
- Desenvolver projeto com 4 vias de cruzamento.
- Implementar o sistema para teste em via real.
- Quantificar o valor do equipamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLDATASHEET. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- ALMULLA, K.; ASHKANANI, S.; HASSAN, F.; ALMESBAHI, H.; ALAZMI, M.; NADEEM, M. IoT-based Adaptive Traffic Signal Controller to Optimize the Flow of Traffic and Reduce Congestion. In: 2024 Mediterranean Smart Cities Conference (MSCC), Martil - Tetuan, Morocco, 2024. p. 1-6. DOI: 10.1109/MSCC62288.2024.10696998.
- ATMEL. ATMEGA2560. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/107092/ATMEL/ATMEGA2560.html>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- ARDUINO. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/hardware>. Acesso em: 6 dez. 2023.
- CETTRAN RS. Disponível em: <https://www.cetran.rs.gov.br/inicial>. Acesso em: 13 set. 2023.
- CIDADE VERDE SINALIZAÇÃO. Disponível em: <http://cidadeverde.sinalizacao.com.br/>. Acesso em: 6 dez. 2023.
- COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO (CET). Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/1387991/nt-281.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- Datasheet LM339. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1727782/STMICROELECTRONICS/LM339.html>. Acesso em: 7 out. 2024.
- DETRAN RS. Disponível em: <https://www.detran.rs.gov.br/inicial>. Acesso em: 12 set. 2023.
- ELETROGATE. Disponível em: <http://blog.eletrogate.com/driver-a4988-motor-de-passo-usando-o-arduino>. Acesso em: 8 abr. 2024.
- FÓRUM ARDUINO. Disponível em: <https://forum.arduino.cc/t/geared-stepper-motor/71308>. Acesso em: 8 abr. 2024.
- HISTÓRICO DE SINAIS. Disponível em: <https://www.udot.utah.gov/connect/2012/10/04/udot-display-shows-signals-from-the-past-and-present/>. Acesso em: 26 nov. 2023.
- IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>. Acesso em: 28 nov. 2023.

INSTITUTO NCB. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/usando-os-instrumentos/4204-ins167.html>. Acesso em: 9 dez. 2023.

JAFARI, O.; KOLOSOV, S.; VO, N.; MAGAR, A. T.; HEIKKONEN, J.; KANTH, R. Intelligent Traffic Light Solution for Green and Sustainable Smart City. In: 2023 12th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva, Montenegro, 2023. p. 1-5. DOI: 10.1109/MECO58584.2023.10154954.

KIATRONICS. Disponível em: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/stepd-01-data-sheet-1143075.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2024.

LESTER. Disponível em: [https://drive.google.com/file/d/1Sgvl5T\\_GCMs6Vk4UwWlBbRVK-q5IRf6YV/view](https://drive.google.com/file/d/1Sgvl5T_GCMs6Vk4UwWlBbRVK-q5IRf6YV/view). Acesso em: 26 nov. 2023.

LICITAÇÕES. Edital de pregão eletrônico N°260/2023, Município de São Bento do Sul - SC. Acesso em: 13 maio 2024.

MICROCHIP. Disponível em: <https://www.microchip.com/>. Acesso em: 17 abr. 2024.

MICROCHIP. Disponível em: <https://www.microchip.com/en-us/product/PIC16F877A>. Acesso em: 6 dez. 2023.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Quando o semáforo começou a pôr a ordem nas ruas. Disponível em: [https://www.nationalgeographic.pt/historia/quando-o-semaforo-comecou-a-por-a-ordem-nas-ruas\\_3088](https://www.nationalgeographic.pt/historia/quando-o-semaforo-comecou-a-por-a-ordem-nas-ruas_3088). Acesso em: 27 nov. 2023.

NUNES, D.; BAR, W.; FERNANDES, S.; SATRA, M.; SAVE, J.; DALVI, P. AI-Driven Traffic Lights. In: 2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT), Delhi, India, 2023. p. 1-6. DOI: 10.1109/ICCCNT56998.2023.10306685.

PORTAL TRANSPARÊNCIA CURITIBA. Disponível em: <https://www.transparencia.curitiba.pr.gov.br/sgp/licitacoesdetalhes.aspx?id=205532>. Acesso em: 6 dez. 2023.

PONTE DE WHEATSTONE. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/usando-os-instrumentos/4204-ins167.html>. Acesso em: 12 set. 2023.

PREGÃO ELETRÔNICO. Disponível em: <https://preguinho.ifrn.edu.br/?uasg=987649&pregao=892023>. Acesso em: 6 dez. 2023.

PRIMEIRO SEMÁFORO. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/webstories/cotidiano/2022/09/a-evolucao-da-seguranca-automotiva/>. Acesso em: 15 out. 2023.

Protótipo de semáforo inteligente. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR102020002521A2/pt?oq=+BR102020002521A2>. Acesso em: 25 out. 2024.

R. Osorio-Comparán, M. Peña-Cabrera, I. López-Juarez, G. Lefranc and R. Tovar-Medina, "Smart semaphore using image processing," 2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), Pucon, Chile, 2017, pp. 1-7, doi: 10.1109/CHILECON.2017.8229679. keywords: {Image processing;Computational modeling;Radiofrequency identification;MATLAB;Robustness;Automobiles;Real-time systems;Image Processing;semaphore;K-Nearest Neighbor;Background Subtraction},

R., C. Vehicle Density Based Traffic Control System Using Microcontroller. In: 2024 10th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), Coimbatore, India, 2024. p. 377-381. DOI: 10.1109/ICACCS60874.2024.10717159.

S., S.; M., S.; JOSPHINE, C. V.; KINGSLIN, M. T.; SIVARAJAN, S.; K. R., C. L. IoT based on Smart Traffic Lights and Streetlight System. In: 2023 2nd International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA), Namakkal, India, 2023. p. 1311-1316. DOI: 10.1109/ICECAA58104.2023.10212121.

SAKIB, N. U.; FAISAL, M. M. A.; SAKIB, M. S.; ISLAM, M. S. -U.; CHOWDHURY, M. J.; AHMED, A. Density Based Traffic Signal Light Control with Machine to Machine Communication System. In: 2024 International Conference on Advances in Computing, Communication, Electrical, and Smart Systems (iCACCESS), Dhaka, Bangladesh, 2024. p. 1-6. DOI: 10.1109/iCACCESS61735.2024.10499625.

Semáforo interativo. Disponível em: [https://patents.google.com/patent/BR102015002001A2/pt?q=\(patent%2fBR102015002001A2\)&scholar](https://patents.google.com/patent/BR102015002001A2/pt?q=(patent%2fBR102015002001A2)&scholar). Acesso em: 25 out. 2024.

Semáforo inteligente microcontrolado para controle de tráfego urbano de veículos e pedestres com indicação luminosa por segmentos. Disponível em: [https://patents.google.com/patent/WO2019051571A1/pt?q=\(semaforo\)&oq=semaforo](https://patents.google.com/patent/WO2019051571A1/pt?q=(semaforo)&oq=semaforo). Acesso em: 25 out. 2024.

SEMÁFORO DE LESTER. Disponível em: <https://udot.utah.gov/connect/2016/09/02/happy-birthday-lester-wire/>. Acesso em: 26 nov. 2023.

SEMÁFORO DE WILLIAN POTTS. Disponível em: [https://www.nationalgeographic.pt/historia/quando-o-semaforo-comecou-a-por-a-ordem-nas-ruas\\_3088](https://www.nationalgeographic.pt/historia/quando-o-semaforo-comecou-a-por-a-ordem-nas-ruas_3088). Acesso em: 27 nov. 2023.

SUAREZ, M. L. et al. Dynamic allocation of traffic light plans as a traffic reduction strategy. In: MOVICI-MOYCOT 2018: Joint Conference for Urban Mobility in the Smart City, Medellin, 2018. p. 1-7. DOI: 10.1049/ic.2018.0012.

TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. Disponível em: [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf?ts=1712526983893&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf?ts=1712526983893&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F). Acesso em: 8 abr. 2024.

UDOT. Disponível em: <https://www.udot.utah.gov/connect/employee-resources/udot-library/>. Acesso em: 26 nov. 2023.

URBANO, J.; BASSINI, F.; SILVEIRA, M.; CAMPOS, F. Analysis of the influence of traffic signalization using a stochastic algorithm in the reduction of queues and delays at intersections with high traffic flow. In: 2023 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), Bogotá, Colombia, 2023. p. 1-6. DOI: 10.1109/CONIITI61170.2023.10324268.

VELSIS. Disponível em: <https://velsis.com.br/radar-fixo-laco/>. Acesso em: 6 dez. 2023.

WRI BRASIL. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/publicacoes/o-estado-da-qualidade-do-ar-no-brasil>. Acesso em: 29 nov. 2023.

## APÊNDICE 1- CÓDIGO DO SEMÁFORO LÓGICO COM SENSORES

```

#include <LiquidCrystal.h>
//Declarando as variaveis
int verme_1 = 12;
int verme_2 = 9;
int amare_1 = 11;
int amare_2 = 8;
int verde_1 = 10;
int verde_2 = 7;
//Declarando o sensor de presença
int sensor_1 = 6;
int sensor_2 = 5;
void setup() { //ATIVANDO OS PINOS
  //declarando as funções de saída do microcontrolador
  pinMode(verme_1, OUTPUT);
  pinMode(amare_1, OUTPUT);
  pinMode(verde_1, OUTPUT);
  pinMode(verme_2, OUTPUT);
  pinMode(amare_2, OUTPUT);
  pinMode(verde_2, OUTPUT);
  pinMode(3,OUTPUT); //vcc sensor 1
  pinMode(13,OUTPUT);
  pinMode(sensor_1, INPUT);
  pinMode(sensor_2, INPUT);
  digitalWrite(3,HIGH);          }
void normalsemaforo(){
//if ((digitalRead(sensor_1)==HIGH)&&(digitalRead(sensor_2) == HIGH)){
  //semaforo 1
  digitalWrite(verde_1, HIGH);
  digitalWrite(amare_1, LOW);
  digitalWrite(verme_1, LOW);
  //semaforo 2
  digitalWrite(verme_2, HIGH);
  digitalWrite(amare_2, LOW);
  digitalWrite(verde_2, LOW);
  delay(1000);
  //temporizador
  for (int i = 1; i < 10; i++) {
    if((digitalRead(sensor_1) == LOW)&&(digitalRead(sensor_2) == HIGH)){
      delay(200); digitalWrite(13,HIGH);
    }else{
      delay(100);
    }
  }
  //sinal amarelo para via 1
  digitalWrite(verde_1, LOW);
  digitalWrite(amare_1, HIGH);
  delay(1000);
  //LIGANDO O SEMAFORO 2
  digitalWrite(amare_1, LOW);
  digitalWrite(verme_1, HIGH);
  digitalWrite(verme_2, LOW);
  digitalWrite(verde_2, HIGH);
}

```

```
//temporizador controlado pelo sensor
for (int i = 1; i < 10; i++) {
  if((digitalRead(sensor_2)==LOW)&&(digitalRead(sensor_1)==HIGH)){
    delay(200); digitalWrite(13,LOW);
  }else{
    delay(100);
  }
  //sinal amarelo para via 1
  digitalWrite(verde_2, LOW);
  digitalWrite(amare_2, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(amare_2, LOW);
  digitalWrite(verme_2, HIGH);
}
void loop(){
  normalsemaforo();
}
```