

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA**

WILLIAM DAITI KOBO TAKESHITA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE UM CONTADOR PNEUMÁTICO
PARA A CONTAGEM E CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS NA REDE URBANA**

Joinville

2018

WILLIAM DAITI KOBO TAKESHITA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE UM CONTADOR PNEUMÁTICO
PARA A CONTAGEM E CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS NA REDE URBANA**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia de Transportes e Logística do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes

Joinville

2018

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE UM CONTADOR PNEUMÁTICO PARA A CONTAGEM E CLASSIFICAÇÃO DE VEÍCULOS NA REDE URBANA

WILLIAM DAITI KOBO TAKESHITA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville, 24 de junho de 2018.

Dra. Elisete Santos da Silva Zagheni
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes
Orientadora

Dra. Francielly Hedler Staudt
Membro 1

Dra. Tatiana Renata Garcia
Membro 2

Dedico este trabalho a minha querida família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer meus pais e minhas irmãs, que ao longo de todo o curso não mediram esforços para que eu pudesse ter forças para terminar a faculdade, me incentivando nos momentos difíceis e sempre fazendo o possível para que eu pudesse ter uma vida com conforto, focando somente na faculdade.

Aos professores e servidores da UFSC, que sempre demonstraram interesse em ajudar os alunos, contribuindo imensamente para o desenvolvimento técnico, científico e intelectual. Agradecimento, em especial, a minha orientadora Christiane, por acreditar nesse trabalho, e que não mediu esforços para me passar confiança, ensinamentos, principalmente me tranquilizando nos momentos de incerteza e ansiedade.

Às professoras Francielly Hedler Staudt e Tatiana Renata Garcia, por terem aceitado o convite de me avaliar. Ainda agradeço a professora Tatiana por ter me emprestado os materiais necessários para o desenvolvimento desse trabalho. Agradeço a professora Elisete por ter me dado todo suporte após minha decisão de trocar de curso. E também, à Luciana Reginato Dias, que sempre esteve à disposição para resolver meus problemas.

Não posso deixar de citar a Transmob que financiou boa parte do desenvolvimento desse trabalho, pois sem a compra dos materiais não seria possível dar continuidade no desenvolvimento do protótipo. Taiman e Eduardo que sempre me incentivaram e me apoiaram nesse trabalho. Agradeço também meu amigo João que me ajudou em toda parte eletrônica no trabalho.

Sem prioridade de nome, mas um agradecimento especial à Rapeize, que ao longo desses anos em Joinville se tornaram minha segunda família e que sem eles nada disso seria possível. À minha namorada Helena, que durante esse tempo tem sido minha parceira e não mediu esforços me incentivando para que esse trabalho fosse concluído.

“A lei da mente é implacável.

O que você pensa, você cria;

O que você sente, você atrai;

O que você acredita, torna-se realidade.”

Buda

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de um contador volumétrico de vias simples utilizando um diferenciador de pressão e um hardware. Atualmente, tem-se um problema em relação as contagens volumétricas que são realizadas utilizando-se de contagens manuais ou técnicas caras. O desenvolvimento deste trabalho dá-se devido a importância que o fluxo de veículos de uma via representa para a engenharia de tráfego, sendo ela essencial para análise do seu desempenho. O objetivo principal é desenvolver um contador de veículos pneumático, de forma que os dispositivos utilizados sejam baratos e fáceis de encontrar no mercado. O protótipo inclui um circuito que utiliza um sensor de pressão para detecção dos veículos e um algoritmo para coleta e apresentação dos dados, desenvolvido em um sistema embarcado. Elaborou-se dois algoritmos, um somente para a contagem acumulativa de veículos e outro para contagem e classificação de veículos. O método utilizado de pesquisa experimental permitiu o estudo de causas e efeitos do protótipo. O protótipo foi testado em um cenário real, apresentando um bom desempenho para a contagem acumulativa de veículos e permitiu a descoberta da necessidade de dois sensores para a classificação de veículos.

Palavras-chave: Arduino. Sensor de pressão. Fluxo de veículos. Contador pneumático.

ABSTRACT

This work has as its objective to develop a prototype of a volumetric counter of simple roads using a pressure differentiator and hardware. Nowadays we have a problem related to volumetric counting that are realized using manual counting or expensive techniques. The development of this work its due to the importance that the flow of vehicles represents for traffic engineering, being essential for the analysis of its performance. The main goal was to develop a pneumatic vehicle counter, in a way that the used devices are cheap and easy to find in the market. The prototype includes a circuit that uses a sensor of pressure to detect vehicles and an algorithm to collect and present data, developed in a boarded system. Two algorithms were elaborated, one only for accumulative counting of the vehicles and other for counting and classification of the vehicles. The method used of experimental research allowed the study of causes and effects of the prototype. The prototype was tested in a real scenario, presenting a good performance for the cumulative counting of vehicles and allowed the discovery of the need of two sensors for classification of the vehicles.

Keywords: Arduino. Pressure sensor. Flow of vehicles. Pneumatic counter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da população urbana no Brasil; e áreas metropolitanas de 1960 a 1991.	16
Figura 2. Exemplos de classes de veículos.....	24
Figura 3. Classificação funcional do sistema rodoviário brasileiro.....	25
Figura 4. Relação entre velocidade e volume.....	28
Figura 5. Relação entre velocidade e densidade.....	29
Figura 6. Relação entre velocidade e densidade.....	29
Figura 7. Contador de veículos de tubos pneumáticos.....	32
Figura 8. Arduino Uno 3.....	36
Figura 9. Arduino Uno 3 com proteção de acrílico.....	36
Figura 10. Sensor MPX5700DP.	37
Figura 11. Modulo Micro SD.	39
Figura 12. Ligações da Protoboard.....	40
Figura 13. Ilustração da Protoboard.	40
Figura 14. Jumper.....	41
Figura 15. Mangueira de combustível.....	42
Figura 16. Espigão macho.....	43
Figura 17. Conexão de mangueira PU macho.....	43
Figura 18. Mangueira PU.....	43
Figura 19. Tampão macho.....	44
Figura 20. Conexões do circuito.	45
Figura 21. Montagem das mangueiras e conexões.....	45
Figura 22. Tubo cirúrgico de silicone.....	46
Figura 23. Código teste sensor.....	47
Figura 24. Teste 1 mangueira.....	48
Figura 25. Mangueira instalada.	49
Figura 26. Principais dimensões básicas dos veículos de projeto.....	51
Figura 27. Tabela de classificação	52
Figura 28. Veículos com 2 eixos.....	53
Figura 29. Identificação das mangueiras e eixos.....	54
Figura 30. Passagem eixo 1 na mangueira A.....	56

Figura 31. Passagem eixo 1 na mangueira B.....	57
Figura 32. Passagem eixo 2 na mangueira A.....	57
Figura 33. Passagem eixo 2 na mangueira B.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Crescimento da população urbana, Brasil e metrópoles.	15
Tabela 2: Indenizações por morte e invalidez no trânsito em 2011, 2012 e 2017.	17
Tabela 3. Contagem de veículos em 6 minutos.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

IDE – Integrated Development Environment

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	ENGENHARIA DE TRÁFEGO.....	21
2.1.1	Elementos da engenharia de tráfego	22
2.1.2	Características do tráfego	25
2.2	CONTAGEM VOLUMÉTRICA	30
2.2.1	Métodos de contagem	30
2.2.2	Tubos pneumáticos	31
3	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	34
3.1	DISPOSITIVOS UTILIZADOS	34
3.1.1	Arduino	34
3.1.2	Sensor de Pressão	37
3.1.3	Modulo Micro SD	38
3.1.4	Protoboard	39
3.1.5	Mangueira e Conexões	41
3.2	MONTAGEM ELETRÔNICA E MONTAGEM DA MANGUEIRA.....	44
4	O CONTADOR NÃO CLASSIFICATÓRIO E O CLASSIFICATÓRIO	46
4.1	Não Classificatório.....	47
4.2	Classificatório	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60

5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	61
	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICE A – Teste 2 mangueiras.....	65

1 INTRODUÇÃO

Decorrente da urbanização acelerada, a necessidade de locomoção, transporte de pessoas e objetos através de veículos motorizados vem aumentando cada vez mais, isso tem implicado em exigências de melhorias, modernização de vias e desenvolvimento de equipamentos de controle de tráfego cada vez mais sofisticados.

O crescimento da população urbana do Brasil pode ser visto na Tabela 1 e na Figura 1. No período entre 1960 e 1991, a população urbana foi multiplicada por 3,5, tendo sido acrescentado 80 milhões de habitantes. Nas metrópoles pesquisadas, essa população aumentou 2,8 vezes, incorporando 28 milhões de pessoas.

Tabela 1: Crescimento da população urbana, Brasil e metrópoles.

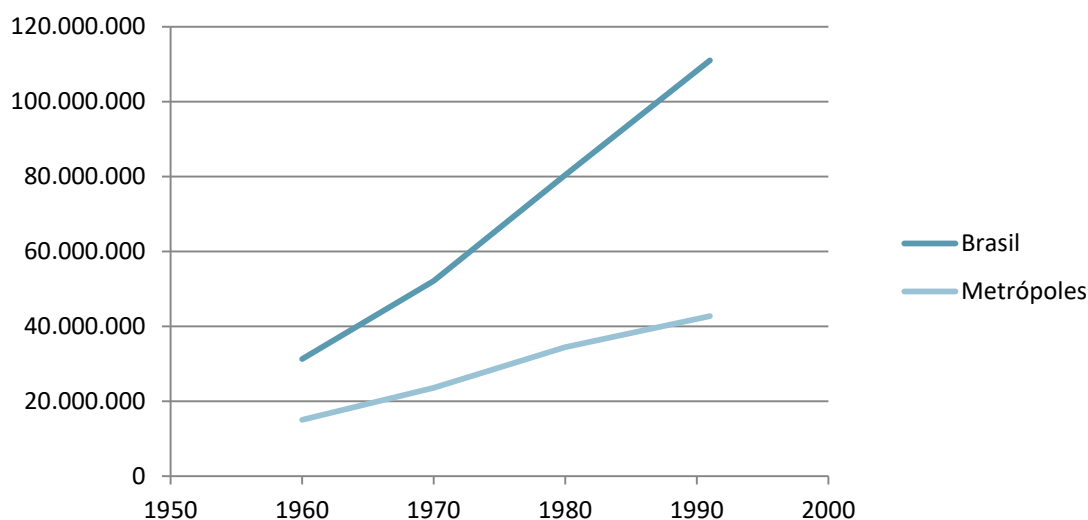
Ano	População urbana	
	Brasil ¹	Metrópoles ²
1960	31.303.034	15.014.571
1970	52.084.984	23.574.038
1980	80.436.409	34.392.315
1991	110.990.990	42.677.730

1: Fonte: adaptado de IBGE.

2: Belém, Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador.

Fonte: Ibam (2000).

Figura 1: Evolução da população urbana no Brasil; e áreas metropolitanas de 1960 a 1991.



Fonte: Adaptado IBGE (2005).

A imprevisibilidade e a complexidade das interações entre os elementos de um sistema de trânsito se dão essencialmente pelo comportamento humano. Essa peculiaridade colabora na necessidade de modernização, construção de vias e de elementos de controle de tráfego.

Tais necessidades e características inerentes ao trânsito tornam justificáveis os constantes estudos sobre os controladores de tráfego, além do desenvolvimento de melhores soluções no fluxo de veículos, maior segurança de passageiros, pedestres e cargas.

Segundo Vasconcellos (2013, p.8)

“[...] no caso do impacto da mobilidade na segurança da circulação das pessoas, os processos de motorização e urbanização da sociedade brasileira tiveram consequências trágicas. O aumento acelerado do número de automóveis da organização automobilística, em 1956, causou enorme número de feridos e mortos.”

Considerando os dados históricos das rodovias federais DNIT, 2012 e o conhecido sub registro das mortes no trânsito na história do Brasil, é possível afirmar que, no período entre 1960 e 2010, o uso de veículos motorizados, especialmente automóveis e motocicletas, causou 1,5 milhões de mortes no país.

A Tabela 2 mostra o número de indenizações pagas por morte e invalidez permanente ocorridas em acidentes de trânsito nos anos de 2011, 2012 e 2017.

Tabela 2: Indenizações por morte e invalidez no trânsito em 2011, 2012 e 2017.

Natureza	Ano		
	2011	2012	2017
Morte	58.134	60.752	41.151
Invalidez permanente	239.738	352.459	284.191

Fonte: Líder Seguradora – DPVAT (2018).

Um objeto de controle de tráfego que está presente principalmente nas intersecções de vias é o semáforo. De acordo com Hoel, Garber e Sadek (2012, p.134-135).

“Quando os volumes de tráfego são baixos, as intersecções são reguladas por meio das regras gerais de circulação, ou com o uso de sinais de pare e dê a preferência. Entretanto, conforme aumentam os volumes de tráfego, torna-se extremamente difícil para os motoristas e pedestres escolherem as brechas nas correntes de tráfego conflitante para executar suas manobras. Quando isso acontece, a semaforização torna-se mandatória. Evitando a colisão entre veículos, possibilitando a passagem de pedestres e gerando maior segurança.”

Ainda segundo Hoel, Garber e Sadek (2012, p.135) “os semáforos desempenham um papel primordial na determinação do nível de desempenho geral de um sistema de vias arteriais. Semáforos mal projetados podem resultar em atrasos desnecessários e excessivos”.

No entanto, esses dispositivos não apresentam – de modo geral – expressivas características de se adaptar para priorizar o fluxo de veículos. Para adquirir tal característica, se faz necessário estabelecer uma forma de coletar os dados relevantes em relação ao trânsito.

Uma informação importante, e que deve ser levada em consideração para uma boa programação semafórica é o número de veículos por hora que trafegam nas vias. A contagem desses veículos pode ser realizada manualmente, por uma pessoa, ou por equipamentos automatizados, e através desses dados é possível a implantação de sinalização adequada, visando garantir a segurança e conforto dos usuários.

Neste sentido, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo para a realização de contagem de veículos que circulam em uma via de pista simples.

A metodologia empregada nesse trabalho baseou-se na pesquisa experimental, que tem como finalidade testar hipóteses que dizem respeito à convicção do pesquisador. A pesquisa experimental caracteriza-se por manipular diretamente as variáveis relacionadas com o objeto de estudo. Portanto, a pesquisa pretende dizer de modo geral o porquê de o fenômeno ser produzido. Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto, (Prodanov; Freitas, 2013).

Este desenvolvimento pode ser utilizado não só num contexto de semáforos, mas também em uma série de outras aplicações dentro da Engenharia de Tráfego que necessitem de contagens volumétricas para suas aplicações.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Segundo Highway Capacity Manual (2010), “A contagem volumétrica de veículos em vias é essencial para a área de engenharia de transporte, pois, a partir dos volumes, é possível estabelecer parâmetros de operação e desempenho dos diversos tipos de vias e seus dispositivos, tais como: semáforos, rotatórias entre outros.”. Adicionalmente o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) (2006), um sistema de contagem de tráfego seria essencial para o cumprimento das seguintes finalidades:

- Planejar o sistema rodoviário;
- Programar necessidades e prioridades de melhorias no sistema rodoviário;
- Medir a demanda atual de serviços por via rodoviária;
- Estabelecer as tendências de tráfego no futuro;
- Determinar os volumes de viagens de forma a proporcionar justificativa econômica aos investimentos programados;
- Avaliar o fluxo existente de tráfego em relação ao sistema rodoviário atual;
- Estimar os benefícios dos usuários nas rodovias;
- Estabelecer uma classificação do sistema rodoviário;

- Justificar e planejar o policiamento;
- Estabelecer o veículo de projeto para fins de projeto geométrico;
- Projetar pavimento, obras de arte, seção transversal e outros elementos de rodovia;
- Estudar a localização de postos de pesagem, socorro médico emergencial, etc;
- Analisar a capacidade e estabelecer o Nível de Serviço;
- Realizar análise estatística de acidentes;
- Localizar e projetar instalações para a operação rodoviária.

No entanto, as soluções de contagem volumétrica de vias encontradas no mercado atualmente tem um custo relativamente alto. Justificando-se assim o desenvolvimento de um protótipo de um custo baixo e de fácil acessibilidade do hardware necessário.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um protótipo de um contador volumétrico de vias simples utilizando um diferenciador de pressão, um hardware de baixo custo e uma plataforma de prototipagem eletrônica de fácil programação.

1.2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um protótipo de baixo custo e fácil acessibilidade das peças;
- Coletar dados de fluxo para validação;
- Validar o contador volumétrico desenvolvido;

- Verificar a confiabilidade do protótipo com dados de contagens manuais.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Inicialmente, apresenta-se uma introdução que aborda os problemas encontrados no tráfego urbano, suas devidas consequências e como os controladores de tráfego e outras tecnologias são aplicados para o controle dos mesmos. Assim, descreve-se a importância da contagem veicular das vias para o melhor desempenho desses controladores. O capítulo 2 aborda o referencial teórico sobre a engenharia de tráfego, sistemas de controle de tráfego, sistemas de coleta de dados, sensores para detectar a passagem de veículos e equipamentos para determinar o fluxo destes. O capítulo 3 descreve o desenvolvimento do protótipo, os dispositivos escolhidos, suas características e respectivas funções e a montagem eletrônica do circuito. O capítulo 4 aborda o método escolhido para a realização dos testes do sensor de pressão e o desenvolvimento do algoritmo para identificação dos veículos para a realização da contagem não classificatória e classificatória. Finalmente, conclui-se o trabalho e abordam-se as considerações finais e trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo são apresentados conceitos relevantes a compreensão das variáveis envolvidas e a estrutura deste tema, contextualizando com uma abordagem sobre a engenharia de tráfego, tipos de contagens de veículos, métodos de contagens, períodos de contagens volumétricas, uma breve análise estatística de tamanho de amostra, enfoque nos sensores de tubos pneumáticos e uma sucinta descrição sobre a plataforma Arduino.

2.1 ENGENHARIA DE TRÁFEGO

O'Flaherty (1997) define a engenharia de tráfego como um ramo da engenharia de transporte com objetivos principais de tratar do planejamento, projeto geométrico, operação de tráfego de rodovias, ruas, redes de tráfego, terminais e as relações entre os modos de transporte. Sendo que o mesmo determina que a engenharia de transporte aplica tecnologia e princípios científicos para planejar, operar e gerir no transporte de pessoas e mercadorias com agilidade, conforto, economia e segurança em todos os modos de transporte.

Segundo o manual de estudos de tráfego do DNIT (2006) a engenharia de tráfego é definida como sendo o planejamento de vias e circulação do trânsito nas mesmas, com vistas ao seu emprego para transportar pessoas e mercadorias de forma eficiente, econômica e segura. O estudo de tráfego busca obter, através de métodos sistemáticos de coleta, dados relativos aos cinco elementos fundamentais do tráfego (motorista, pedestre, veículo, via e meio ambiente) e seu inter-relacionamento. Os estudos de tráfego se constituem no instrumento de que se serve a engenharia de tráfego.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1983):

Engenharia de tráfego é a parte da Engenharia que trata do planejamento do tráfego e do projeto e operação das vias públicas e de suas áreas adjacentes, assim como seu uso para fins de transporte, sob o ponto de vista de segurança, conveniência e economia.

Conforme Coelho e Goldner (2016) os aspectos da engenharia de tráfego relacionados a projetos de transportes são:

- Estudos das características do tráfego
 - Usuário da via, veículos, velocidade, tempo de viagem, os atrasos, volume de tráfego, origem/destino, capacidade viária, estudos do estacionamento, acidentes, transporte público;
- Planejamento de tráfego
 - Estudo das características das vias urbanas, inclusive transporte público;
- Projeto geométrico
 - Projeto de vias e interseções, estacionamento e terminais;
- Operação do tráfego
 - Medidas regulamentadoras, planos de controle de tráfego;
- Administração
 - Órgãos administradores do tráfego, programas de educação do trânsito, legislação regulamentadora.

2.1.1 Elementos da engenharia de tráfego

Os principais componentes da engenharia de tráfego são: usuários, veículos e via.

2.1.1.1 Usuários

No modal rodoviário são eles, motoristas e pedestres que disputam a infraestrutura entre si (Hoel; Garber; Sadek, 2012, p.75). As diferentes habilidades e percepção dos usuários fazem com que seja necessário conhecer estes fatores para compreender o comportamento do tráfego.

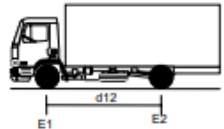
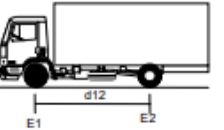
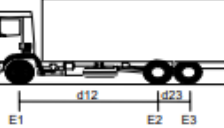

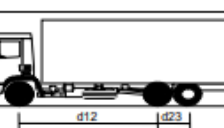

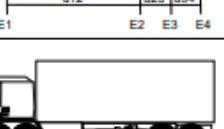
2.1.1.2 Veículos

Os veículos são de grande importância para as características da via, como pavimento e alinhamento geométrico. Uma das características básicas é a sua classificação. Podemos classificar os veículos da seguinte maneira segundo (COELHO; GOLDNER, 2016):

- Biciclos (motocicletas e bicicletas com ou sem motor).
- Ligeiros ou veículos de passeio (automóveis, veículos de turismo até 9 pessoas, pequenos caminhões e furgões, com carga útil até 2 toneladas).
- Pesados (caminhões e ônibus).
- Especiais (tratores agrícolas e máquinas de obras públicas).

A Figura 2 apresenta alguns exemplos das classificações dos veículos pesados pelo DNIT.

Figura 2. Exemplos de classes de veículos.

SILHUETA	GRUPO/ Nº EIXOS	PBT ou PBTC / (5%)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	2 / 2	12 / (12,6)	CAMINHÃO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. $d12 \leq 3,50$ m	2CC	120
	2 / 2	16 / (16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12 > 3,50$ m	2C	65
	2 / 3	23 / (24,15)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23 \leq 2,40$ m	3C	67
	2 / 3	19,5 / (20,475)	CAMINHÃO TRUCADO COM EIXO TRASEIRO MISTO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23 \leq 2,40$ m	3CD	103
	2 / 3	19,5 / (20,475)	CAMINHÃO TRUCADO COM EIXO TRASEIRO MISTO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23 \leq 2,40$ m	3DC	121
	2 / 4	31,5 / (33,075)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23, d34 \leq 2,40$ m	4C	69
	2 / 4	29 / (30,45)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d23 > 2,40$ m $1,20$ m < $d12, d34 \leq 2,40$ m	4CD	70

Fonte: DNIT (2008)

2.1.1.3 Vias

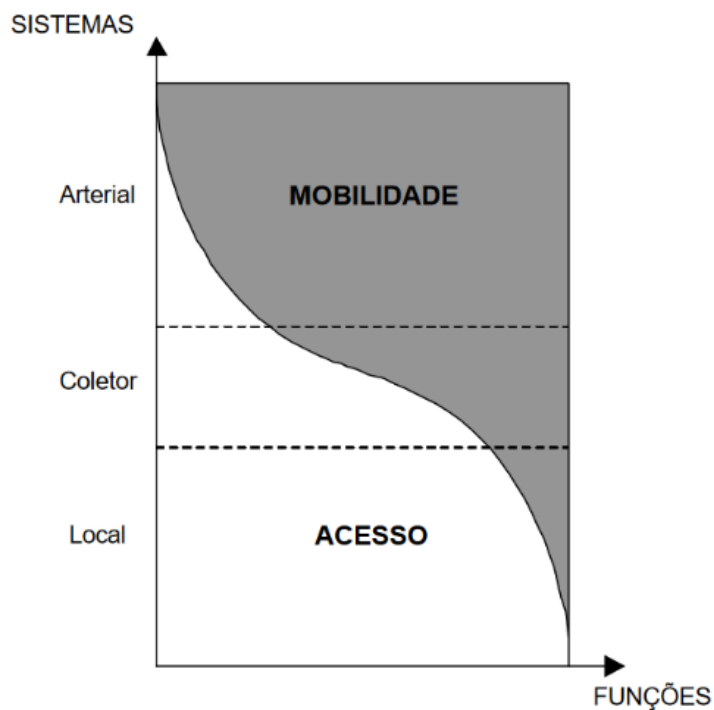
As vias dependem das características dos veículos e dos usuários. Assim se preocupando com os aspectos geométricos dessas, são classificadas de acordo com (DNER, 1999) como:

- Arteriais (alto nível de mobilidade).
- Coletoras (função de atender o tráfego intermunicipal e centros geradores de viagem).

- Local (destinadas as áreas urbanas e rurais).

A Figura 3 mostra o contraste que existe entre mobilidade e acesso nas vias arteriais, coletoras e locais.

Figura 3. Classificação funcional do sistema rodoviário brasileiro.



Fonte: DNER (1974).

2.1.2 Características do tráfego

O volume, a velocidade e a densidade são características essenciais para o tráfego. O estudo destes elementos permite a verificação global da fluidez do movimento de veículos (DNIT, 2006).

2.1.2.1 Volume de tráfego

Volume de tráfego (ou fluxo de tráfego) define-se segundo o DNIT (2006) como o número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou determinada faixa, durante uma unidade de tempo. É normalmente expresso em veículos/dia (vdp) ou veículos/hora (vph).

- Volume médio diário (é a média dos volumes que circulam durante 24h em um trecho de via, VMD). São subdivididos em VMDe, VMDm, VMDs e VMDd, que são respectivamente o volume médio diário anual, mensal, semanal e em um dia da semana.
- Volume horário (número total de veículos trafegando em uma determinada hora do dia).

Outra característica importante do volume de tráfego é sua variação, sendo ela, dentro da hora, do dia, da semana, do mês e do ano. Os volumes horários variam ao longo do dia, apresentando pontos de máximos, designados por picos.

Os picos contendo os maiores volumes de veículos são considerados “Horas de pico” (DNIT, 2006) elas variam de local para local e do dia determinado, mas tendem a se manter estáveis em um mesmo local, no mesmo dia da semana (DNIT, 2006).

A comparação de contagens de quatro períodos consecutivos de quinze minutos mostra que são diferentes os volumes de veículos que passam por uma seção de via. Essa variação leva ao estabelecimento do “Fator de Horário de Pico” (*FHP*) segundo DNIT, 2006, que mede a flutuação e o grau de uniformidade do fluxo. Pode-se ver na Equação 1 o *FHP*.

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4 \cdot V_{15max}} \quad [1]$$

Onde *FHP* é o fator de horário de pico que segundo o DNIT (2006) varia, teoricamente, entre 0,25 (fluxo concentrado em um dos períodos de 15 minutos) e 1,00 (fluxo completamente uniforme), V_{hp} é o volume da hora pico e V_{15max} é o volume do período de quinze minutos com maior fluxo de tráfego dentro da hora pico.

2.1.2.2 Velocidade

A velocidade é uma das mais complexas características do tráfego para se definir. Assume várias formas, de acordo com o tipo de tempo que é utilizada e a base espacial sobre a qual é calculada. Alguns conceitos de velocidade são, de acordo com o DNIT (2006):

- Velocidade: relação entre o espaço percorrido e o tempo gasto em percorrê-lo;
- Velocidade instantânea: velocidade em um instante determinado, correspondente a um trecho que tende para zero;
- Velocidade pontual: velocidade instantânea de um veículo que passa por um ponto;
- Velocidade média no tempo: é a média das velocidades pontuais de todos os veículos que passam por um ponto;
- Velocidade média no espaço: é a velocidade em um trecho, determinado pela razão do comprimento pelo tempo médio em percorrê-lo;
- Velocidade de fluxo livre: é a velocidade média dos veículos quando não há restrições na via;
- Velocidade de projeto: é a maior velocidade com que o trecho pode ser percorrido com segurança;
- Velocidade de operação: é a mais alta velocidade da via atendendo às limitações imposta pelo tráfego.

2.1.2.3 Densidade

A densidade (D_t) pode ser definida como o número de veículos por unidade de comprimento da via. Ilustrada na Equação 2.

$$D_t = \frac{F_{mt}}{V_{mt}} \quad [2]$$

Onde, D_t é a densidade (veic/km), F_{mt} é o fluxo médio no trecho em (veic/h) e V_{mt} é igual a velocidade média no trecho (km/h).

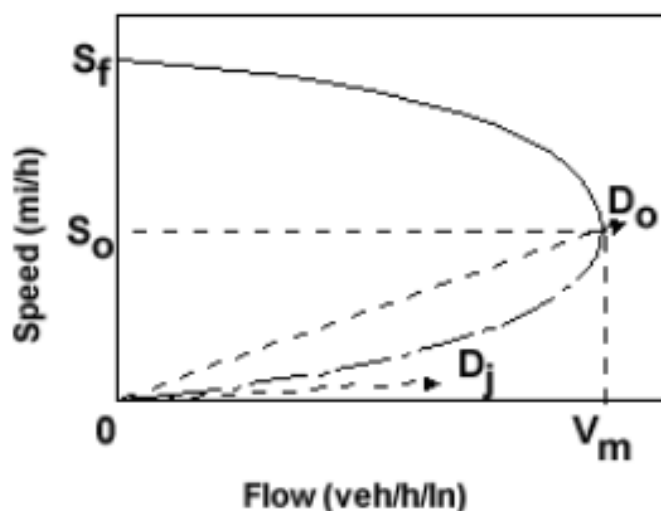
Outros dados também importantes são os espaçamentos que é a distância entre dois veículos sucessivos, medida entre pontos de referências comuns e o intervalo de tempo entre veículos “Headway”, que nada mais é que o tempo transcorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos por um determinado ponto.

2.1.2.4 Relação entre Volume, Velocidade e Densidade

Nesta seção serão mostradas as expressões gráficas do inter-relacionamento das variáveis volume, velocidade e densidade.

A relação entre velocidade e volume, segundo o DNIT (2006), partindo da velocidade de fluxo livre (S_f), aumentando o valor do fluxo, reduz-se a velocidade até chegar à densidade ótima (D_0), que é a capacidade. A partir desse ponto, a entrada de mais veículos, diminuem tanto a velocidade quanto o volume, mostrado na figura 4.

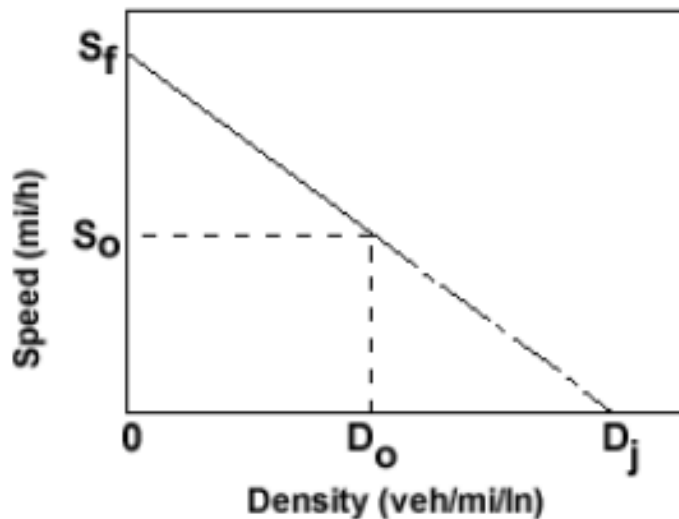
Figura 4. Relação entre velocidade e volume.



Fonte: HCM (2010).

Já a relação entre velocidade e densidade, de acordo com o DNIT (2006), a densidade aumenta com a diminuição da velocidade. Uma vez que atingi o D_0 , a densidade aumenta enquanto a velocidade decresce. Figura 5.

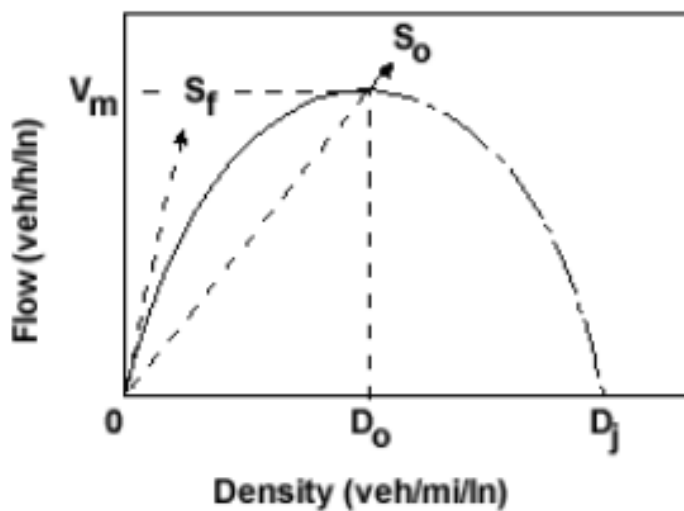
Figura 5. Relação entre velocidade e densidade.



Fonte: HCM (2010).

E por fim, a relação entre volume e densidade, conforme o DNIT (2006) possui forma de parábola, onde um aumento na densidade acarreta um aumento no volume, até atingir o D_o , a partir do qual o volume diminui com o aumento da densidade, figura 6.

Figura 6. Relação entre velocidade e densidade.



Fonte: HCM (2010).

2.2 CONTAGEM VOLUMÉTRICA

As contagens volumétricas destinam-se a determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, numa determinada unidade de tempo (DNIT, 2006). Essas informações são usadas na análise de capacidade, avaliação de congestionamentos, dimensionamento semaforico, de elevados índices de acidentes e outras melhorias.

Classificam-se de acordo com o DNIT (2006):

- a) Contagens globais: São aquelas em que é registrado o número de veículos que circulam por um trecho de via, independentemente de seu sentido, agrupando-os geralmente pelas suas diversas classes.
- b) Contagens direcionais: São aquelas em que é registrado o número de veículos por sentido do fluxo e são empregadas para cálculo de capacidade, determinação de intervalos de sinais, etc.
- c) Contagens classificatórias: São registrados os volumes para os vários tipos de classes de veículos.

2.2.1 Métodos de contagem

As contagens volumétricas podem ser realizadas das seguintes formas de acordo com o DNIT (2006):

- a) Contagens manuais: São contagens realizadas manualmente por pesquisadores, com auxílio de fichas, contadores manuais e ideias para classificar veículos em período curto de tempo. Não ideal para longos períodos, pois a fadiga humana acarreta em grandes chances de erros na contagem.
- b) Contagens automáticas: São contagens feitas através de dispositivos de diversos tipos, em que os veículos são detectados por meio de:

- Tubos pneumáticos;
- Laços indutivos;
- Dispositivos magnéticos;
- Piezoelétricos;
- Sistema acústico;
- Radar;
- Células fotoelétricas.

Segundo Simoni (2008) a configuração de alguns destes equipamentos é constituída de transdutores de força, que captam a passagem dos eixos, e de um sistema de processamento de sinais.

Os contadores automáticos ainda podem ser classificados em intrusivos e não intrusivos. Os intrusivos são aqueles que necessitam ser instalados, embutidos ou presos à superfície do pavimento, como por exemplo, os tubos pneumáticos. E os não intrusivos não modificam a estrutura da via, são instalados acima ou às margens da via, exemplo: os detectores por imagem (COELHO; GOLDNER, 2016).

2.2.2 Tubos pneumáticos

Os tubos pneumáticos foram uma das primeiras tecnologias de detecção de tráfego, inventada em 1920 (MARTIN, FENG e WANG, 2003). Os componentes pertencentes a um sensor de tubo pneumático segundo Oliveira (2012, p.23) são:

- Tubo ou mangueira de borracha;
- Chave de ar ou diferenciador de pressão;
- Sistema eletrônico;
- Software ou contador;
- Sistema de armazenamento de dados.

O sensor ou chave de ar identifica a pressão exercida pelos eixos de um veículo em movimento sobre os tubos de borracha, para detectar sua presença. As etapas do funcionamento de um contador de tubos pneumáticos podem ser listadas como segue (MARTIN, FENG e WANG, 2003):

1. O eixo do veículo passa por cima do tubo de borracha causando uma diferença de pressão de ar no interior deste;
2. O diferenciador de ar identifica um pulso elétrico;

3. Esse sinal elétrico chega a um contador ou um software responsável por realizar a contagem;
4. O dado é armazenado em um sistema de armazenagem.

As vantagens e desvantagens segundo Mimbela e Klein (2000, p.4-1) do uso de sensores de tubo pneumáticos são:

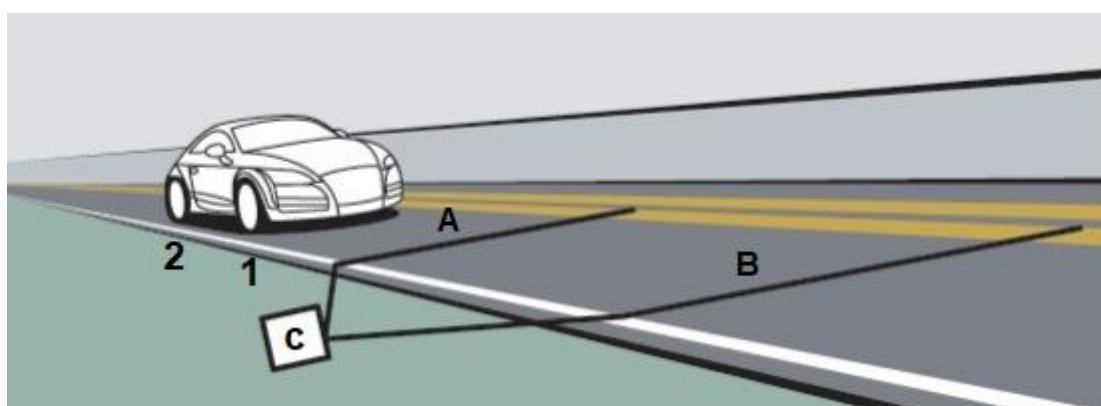
a) Vantagens:

- É rápido de ser instalado;
- Permanente ou temporário;
- Consome pouca energia;
- De baixo custo;
- Manutenção simples.

b) Desvantagens:

- Baixa confiabilidade para contagem de eixos quando o volume de ônibus e caminhão é grande;
- Sensível à temperatura e vibrações;
- Os tubos podem ser cortados devido ao vandalismo;
- A passagem de veículos pesados pode desgastar o tubo.

Figura 7. Contador de veículos de tubos pneumáticos.



Fonte: Adaptado de Diamondtraffic (2018).

Podem-se identificar na figura 7 os elementos de um sistema de contagem de tubos pneumáticos, com a utilização de dois tubos, A e B, o sistema é utilizado pra medir a distância entre eixo, a velocidade e contagem de veículos. Para fazer

somente uma contagem volumétrica simples de veículos, apenas um tubo se faz necessário. Ainda na figura 7, pode-se identificar o elemento C, que é onde fica armazenado o software, diferenciador de pressão e o sistema de armazenagem.

Os sistemas de tubos pneumáticos são simples conforme vemos na literatura, porém os dispositivos encontrados no mercado, internacional ou nacional, são de custos elevados, variando entre \$438 à \$3.847,00 dólares (Diamondtraffic, 2008) sendo os não classificatórios os mais baratos. Existem desde dispositivos de acúmulo de veículos, que faz somente uma contagem bruta de veículos, quanto, dispositivos sofisticados que classificam os tipos de veículos (PeopleCounterStore™, 2018).

Conforme Mimbela e Klein (2000, p.4-1) algumas das desvantagens dos tubos pneumáticos são, a confiabilidade do dispositivo para contagem quando o volume de veículos pesados é muito grande e o desgaste dos tubos na passagem de veículos pesados. Portanto, esses dispositivos ficam restritos a volume de tráfego baixo e com pouco movimento de veículos pesados, sendo mais utilizado em áreas urbanas.

Na sequência será apresentado o desenvolvimento do protótipo, onde serão abordados os materiais utilizados e como foram feitas as montagens eletrônica e das mangueiras e conexões.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Nesse capítulo são apresentadas as informações referentes ao desenvolvimento do protótipo, assim como o conceito lógico para a contagem. A primeira seção apresenta os dispositivos utilizados e quais suas funções.

3.1 DISPOSITIVOS UTILIZADOS

O sistema de contagem de veículos a que se refere este trabalho é composto de cinco partes básicas:

- Arduino
- Sensor de pressão
- Módulo microSD
- Protoboard
- Mangueiras e conexões

O Arduino é responsável por realizar o processamento do código, o sensor de pressão de identificar a diferença de pressão ocorrida pela passagem de veículos sobre as mangueiras e o módulo microSD de guardar os dados em arquivo .txt em um cartão microSD. A seguir será descrita uma breve explicação sobre cada dispositivo utilizado.

3.1.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem open-source, a placa de um Arduino consiste em um microcontrolador de um único circuito, com componentes complementares para facilitar a programação e incorporação para outros circuitos (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

Ele foi criado em 2005 por um grupo de 5 pesquisadores: Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis. O objetivo era

desenvolver um dispositivo que fosse acessível a estudantes e projetistas amadores, dessa forma foi elaborado um dispositivo barato, funcional e fácil de programar. O conceito de open-source, significa que qualquer um pode montar, modificar e melhorar o Arduino, partindo do mesmo hardware básico (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

O microcontrolador utilizado é um Atmel (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013), composto por uma entrada/saída e que pode ser facilmente conectado à um computador e programada via IDE (IntegratedDevelopmentEnvironment, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) utilizando uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extras, além de um cabo USB.

O Arduino é composto por duas partes, ou dois blocos:

- Setup() – É a parte do programa que configura as opções iniciais do programa, os valores iniciais de uma variável, se a porta será utilizada como entrada ou saída, mensagem para o usuário.
- Loop() – É a parte do programa que repete uma estrutura de comandos de forma contínua, na capacidade de processamento do Arduino, que é bem rápida, ou até que algum comando de “parar” seja enviado.

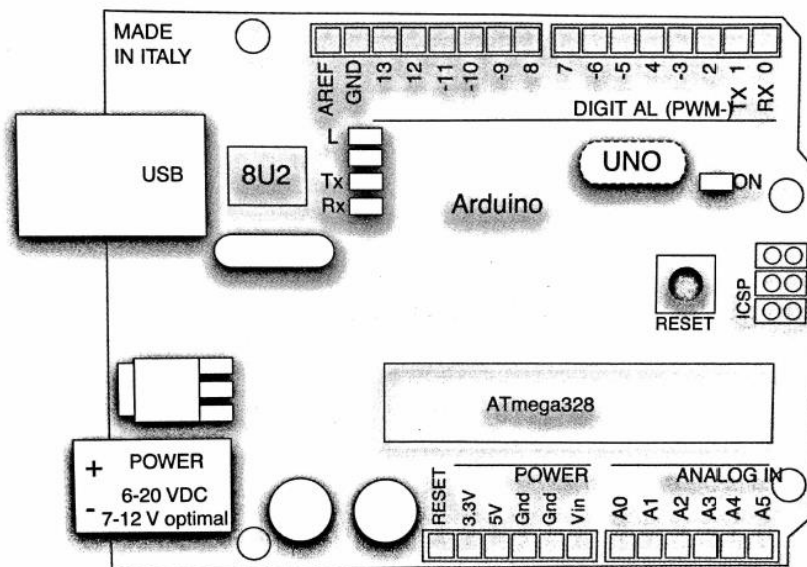
Existem diversos modelos de placas Arduino, o tipo de placa depende do projeto a ser desenvolvido e o número de portas necessárias. As opções vão das mais comuns, como o Arduino Uno, passando para placas com maior poder de processamento, como o ArduinoMega, com microcontrolador ATmega2560 com 54 portas digitais (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013). A placa utilizada no protótipo, foi o Arduino Uno R3, que tem como especificações:

- Microcontrolador: ATmega328;
- Tensão de operação: 5V;
- Tensão de entrada: 7-12V;
- Portas digitais: 14;
- Portas analógicas: 6;
- Corrente pinos I/O: 40mA;
- Corrente pino 3,3V: 50mA;
- Memória Flash: 32Kb;
- SRAM: 2Kb;
- EEPROM: 1Kb;

- Velocidade do clock: 16MHz.

A Figura 8 mostra um Arduino Uno 3 e a Figura 9 o Arduino Uno 3 com a proteção de acrílico utilizada no protótipo.

Figura 8. Arduino Uno 3.



Fonte: (EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. 2018).

Figura 9. Arduino Uno 3 com proteção de acrílico.



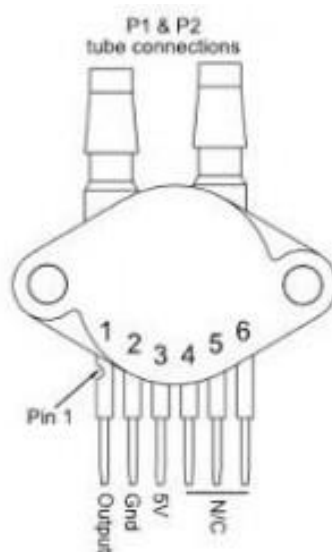
Fonte: Botshop (2018).

3.1.2 Sensor de Pressão

O sensor de pressão utilizado é um componente eletrônico muito compacto e tecnológico, desenvolvido para atuar em conjuntos com plataformas de prototipagem como o Arduino. Com interface simplificada o sensor escolhido MPX5700DP possui 6 pinos para ligação elétrica, entre eles, o de alimentação VCC (5V), GND e o pino VCC de saída que apresentará a variação na sua tensão conforme for a pressão apresentada, com índice médio de 6.4mV/kPa. Os outros 3 pinos não são utilizados.

Uma das diferenças do sensor MPX5700DP para os demais modelos é a capacidade de medir a pressão diferencial entre dois bocais diferentes, como podemos ver na Figura 10. O bocal P1 é o bocal negativo, ou seja, ele irá reduzir a pressão apresentada pelo sensor, e o bocal P2 é o bocal positivo, ele irá aumentar a pressão apresentada pelo sensor.

Figura 10. Sensor MPX5700DP.



Fonte: 4hobby (2018).

Quando em operação o sensor é capaz de medir a pressão em gases entre 0kPa a 700kPa, que corresponde a 0 a 101,5PSI. Possui compensação automática para a variação de temperatura durante as medições. As especificações segundo o datasheet do sensor são:

- Faixa de pressão operacional 0kPa a 700kPa (0 ~ 101,5 PSI);

- Tensão de alimentação: 5V;
- Número de pinos: 6;
- Sensibilidade V/P: 6,4mV/kPa;
- Faixa de temperatura de operação: -40°C a +125 °C;
- Dimensões (Comprimento x Largura x Altura): ~29x37x10mm;
- Peso: 5g;

3.1.3 Modulo Micro SD

O modulo micro SD consegue fazer leitura e escrita diretamente em um cartão micro SD, como por exemplo gravar dados do Arduino em um cartão SD. A comunicação é feita pela interface SPI (*Serial Peripheral Interface*) que é um protocolo de dados seriais síncronos utilizados em microcontroladores para comunicação entre microcontroladores e um ou mais periféricos.

A comunicação SPI possui um Master que é o Arduino, e um ou mais Slave, que são os periféricos. Esta comunicação contém 4 conexões:

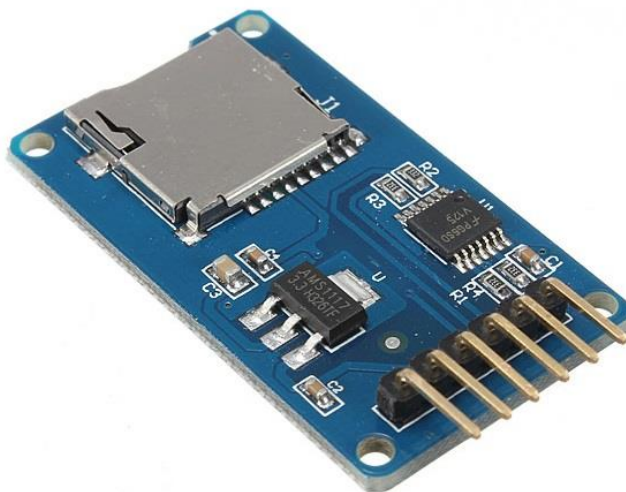
- MISO (Master IN Slave OUT) – Dados do Slave para Master
- MOSI (Master OUT Slave IN) – Dados do Master para Slave
- SCK (Serial Clock) – Clock de sincronização para transmissão de dados entre o Master e Slave
- CS (Chip Select) – Seleciona qual Slave receberá os dados
- GND
- VCC

As especificações do modulo micro SD (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013):

- Tensão de operação: 3,3 ou 5V
- Tensão de alimentação: 5V
- Interface SPI: MOSI, SCK, MISO, CS
- Dimensões: 41 x 24mm

Figura 11 para ilustrar o modulo Micro SD.

Figura 11. Modulo Micro SD.



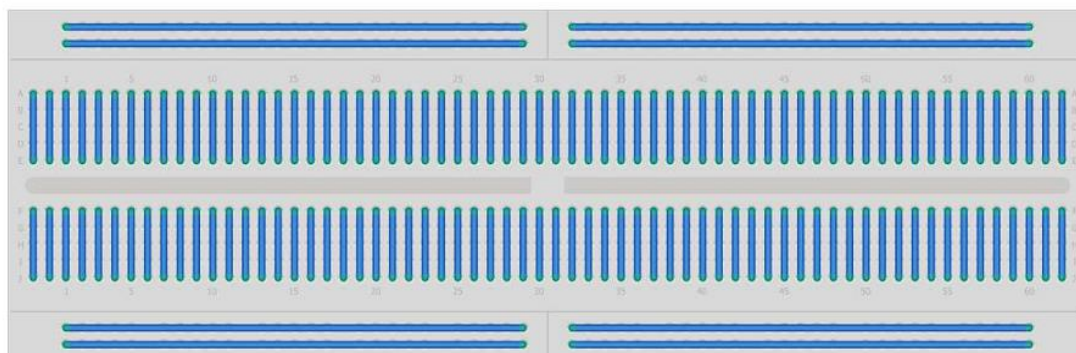
Fonte: Filipeflop (2018).

3.1.4 Protoboard

A protoboard talvez seja uma das ferramentas mais importantes para montagem de circuitos, com ela é possível montar diversos circuitos diferentes sem a necessidade de soldar qualquer componente (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

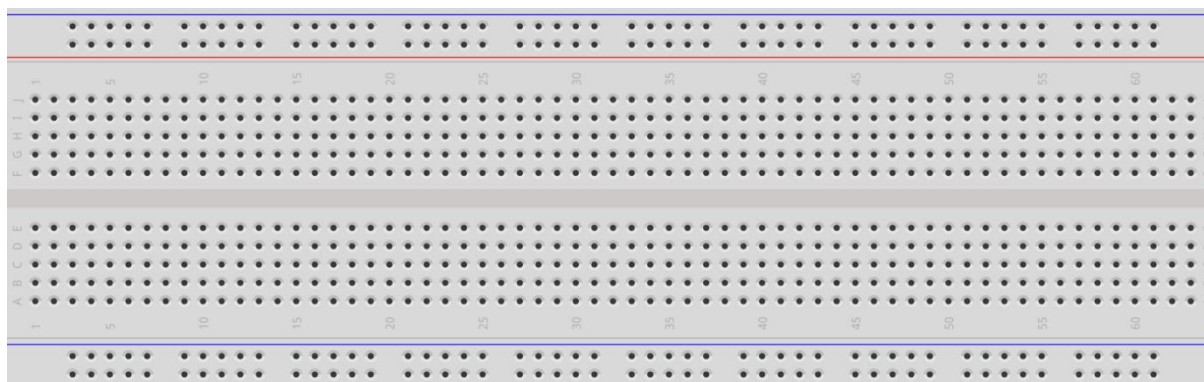
Na figura 12 temos as duas áreas disponíveis no protoboard utilizado, a área para distribuição da alimentação elétrica (duas linhas superiores e inferiores) e a área para montagem dos componentes (colunas). As linhas azuis representam as ligações internas da protoboard, ou seja, internamente elas já estão interligadas. A figura 13 ilustra a protoboard utilizada no protótipo.

Figura 12. Ligações da Protoboard.



Fonte: Robocore (2018).

Figura 13. Ilustração da Protoboard.



Fonte: Fiozera (2018).

A conexão dos circuitos é realizada através de jumpers. O jumper é uma peça que conecta dois pontos de um circuito eletrônico, segundo Evans, Noble e Hochenbaum (2013) é uma peça plástica que contém um pequeno filamento de metal responsável pela condução de eletricidade. Figura 14 demonstra alguns jumpers.

Figura 14. Jumper.



Fonte: Tosave (2018).

3.1.5 Mangueira e Conexões

O princípio básico da utilização da mangueira é a sua conexão, ela estará estendida perpendicularmente na via, com o sensor de pressão, e a sua ponta estará fechada, assim, toda passagem de eixo de algum veículo sobre a mangueira, irá gerar uma diferença de pressão dentro da mesma, que será percebida pelo sensor de pressão.

A escolha da mangueira foi primordial para dar continuidade ao desenvolvimento do protótipo. Mangueiras muito rígidas atrapalham a deformação da mesma no momento que um veículo passasse sobre ela, se fosse muito frágil o excesso de veículos passando sobre a mangueira resultaria em um desgaste rápido e o seu possível rompimento. Portanto, decidiu-se por uma mangueira de combustível de borracha de 200PSI com 3/8" e 9,5mm na cor preta, que com os testes realizados se manteve intacta e possibilitou a identificação dos veículos passando sobre ela.

Figura 15 apresenta uma ilustração da mangueira de combustível.

Figura 15. Mangueira de combustível.



Fonte: Luciflex (2018).

A redução do diâmetro interno da mangueira de combustível, que tem 9,5mm, para o bocal do sensor, que possui aproximadamente 4,5mm, foi realizada através de conexões pneumáticas. Nas duas extremidades da mangueira de combustível utilizou-se um espigão macho para fechar, segue figura 16 para melhor visualizar. A extremidade que será conectada ao sensor, possui uma conexão de mangueira PU (Poliuretano) fêmea, que irá conectar a uma mangueira PU e ao sensor. Segue figura 17 e 18, da conexão e da mangueira PU. A outra extremidade possui um tampão fêmea para fechar a extremidade da mangueira, figura 19.

Figura 16. Espigão macho.



Fonte: Leroymerlin (2018).

Figura 17. Conexão de mangueira PU macho.



Fonte: MercadoLivre (2018).

Figura 18. Mangueira PU.



Fonte: Aliexpress (2018).

Figura 19. Tampão macho.



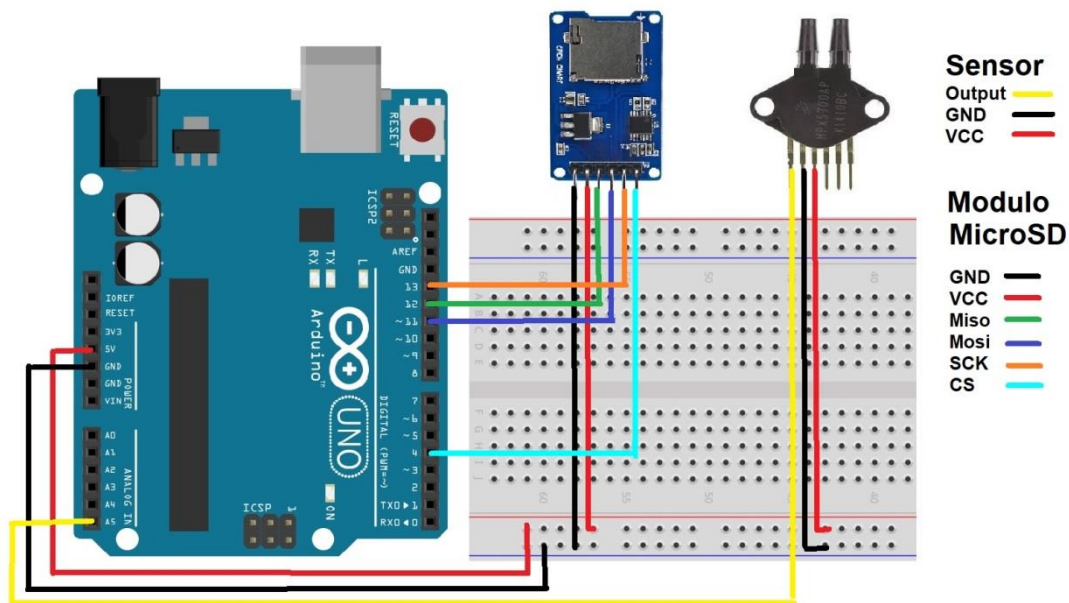
Fonte: Repares (2018).

A conexão é realizada com o bico do espigão na extremidade da mangueira de combustível. O lado macho do conector de mangueira PU rosqueia no lado fêmea do espigão, a mangueira PU engata no conector de mangueira PU e a mangueira PU, enfim, conecta no bico do sensor. A outra extremidade é a parte onde é realizada a vedação da saída de ar, portanto, conecta-se o bico do espigão a extremidade da mangueira de combustível e o tampão na parte fêmea do espigão.

3.2 MONTAGEM ELETRÔNICA E MONTAGEM DA MANGUEIRA

Com a protoboard realizou-se a montagem eletrônica, fazendo a conexão dos pinos do sensor e do módulo micro SD, utilizando os manuais de instruções de cada um. O sensor de pressão só utiliza três pinos, e a identificação do pino de saída (Output) é um leve corte em um dos pinos. O módulo micro SD veio com os nomes dos pinos para facilitar a identificação. A Figura 20 a seguir apresenta a montagem do circuito como um todo.

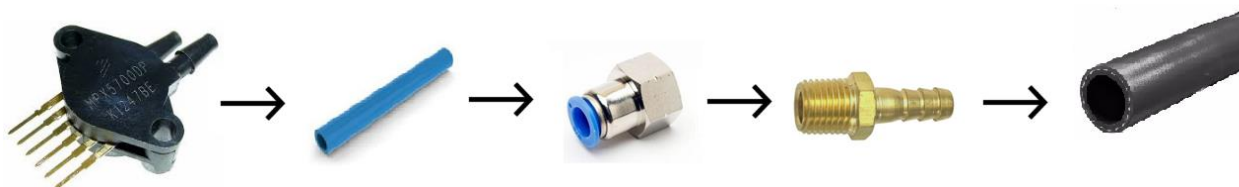
Figura 20. Conexões do circuito.



Fonte: Autoria própria (2018).

As conexões das mangueiras e conectores se deu conforme a Figura 21.

Figura 21. Montagem das mangueiras e conexões.



Fonte: Autoria própria (2018).

4 O CONTADOR NÃO CLASSIFICATÓRIO E O CLASSIFICATÓRIO

A necessidade de classificar os tipos de veículos fez-se necessário iniciar o protótipo com uma contagem mais simples não classificatória.

Após a montagem eletrônica dos módulos é necessário realizar um teste em escala menor para melhor compreender o funcionamento do sensor de pressão. Portanto, através de um tubo de silicone com diâmetro interno de aproximadamente 4 mm, como apresentado na figura 22, identificou-se o valor que o sensor retorna sem nenhuma deformação do tubo e o valor caso haja alguma deformação.

Figura 22. Tubo cirúrgico de silicone.



Fonte: Metaquimica (2018).

Basicamente, utilizou-se dois tubos de silicone de 30 cm de comprimento, com uma das extremidades fechada e a outra conectada nos bocais, positivo e negativo do sensor. Assim, através do código descrito na Figura 23, foi possível identificar que ao pressionar o tubo do bocal positivo, ocorre um aumento no valor da leitura do sensor, e ao pressionar o bocal negativo uma redução no valor.

Portanto, a partir dessa premissa deu-se continuidade no desenvolvimento do contador.

Figura 23. Código teste sensor.

```

1 //Programa: Teste Sensor de Pressão
2 //Autor: William Takeshita
3
4 int sensorValue = 0; //inicializar sensor
5
6 void setup() {
7     Serial.begin(9600);
8     pinMode(A5, INPUT); //define porta de entrada
9 }
10
11 void loop() {
12     sensorValue = analogRead(A5); //ler a porta
13     Serial.println(sensorValue); //salvar os dados
14 }

```

Fonte: Autoria própria (2018).

4.1 Não Classificatório

Partindo do principio do teste com os tubos de silicone, iniciou-se o desenvolvimento de um contador de veículos não classificatório, apenas a contagem acumulativa de veículos, utilizando apenas uma mangueira. A mangueira utilizada foi a que está conectada ao bocal positivo do sensor de pressão, que vamos chamar de mangueira A. Portanto, a partir da premissa que ao deformar o tubo no teste do sensor anterior, definiu-se uma variável inteira “cont” igual a zero que será o valor acumulativo da deformação da mangueira, ou seja, em toda deformação da mangueira, onde ocorrerá uma diferença de pressão identificada pelo sensor, a variável cont receberá + 1.

A deformação é representada pelo incremento da variável que indica pressão. A Figura 24 a seguir descreve o código desenvolvido.

Figura 24. Teste 1 mangueira

```

1 //Programa: Teste 1 mangueira (não classificatório)
2 //Autor: William Takeshita
3 #include <SdFat.h> //biblioteca SdFat
4 SdFat sdCard;
5 SdFile meuArquivo;
6 const int chipSelect = 4; //inicializar modulo MicroSD
7 int sensorValue = 0; //variavel do sensor
8 float averageValue = 0; //variavel da média
9 int count=0; //contador
10
11 void setup() {
12     Serial.begin(9600);
13     pinMode(A5, INPUT);
14     // Inicializa o modulo SD
15     if(!sdCard.begin(chipSelect, SPI_HALF_SPEED))sdCard.initErrorHalt();
16     // Abre o arquivo LER_POT.TXT
17     if (!meuArquivo.open("test14-4.txt", O_RDWR | O_CREAT | O_AT_END)){
18         sdCard.errorHalt("Erro na abertura do arquivo LER_POT.TXT!");
19     }
20 }
21
22 void loop() {
23     sensorValue = analogRead(A5);
24     if(millis()<3000){ //Até 3 segundos realiza uma média do valor do sensor
25         averageValue +=((float)sensorValue-averageValue)/10.f;
26         Serial.println(sensorValue);
27         Serial.println(averageValue);
28     }else{
29         if(sensorValue>averageValue +15){ //compara o valor do sensor com
30             count++; // o valor da média mais 15
31             Serial.print("quantidade = ");
32             Serial.println(count);
33             meuArquivo.print("quantidade = "); //salva o valor SD
34             meuArquivo.println(count);
35             delay(1000); //espera de 1 segundo
36         }
37         else{
38             count = count;
39         }
40     }

```

Fonte: Autoria própria(2018).

Para esse código usou-se a biblioteca SdFat, que auxiliou na criação do arquivo de texto .txt e na gravação de dados no arquivo.

Declarou-se uma variável real `averageValue` igual a zero, usando a função `millis()`, que retorna o valor em milissegundos desde que o Arduino foi ligado ou reiniciado, definiu-se uma média para o valor da leitura do sensor quando o mesmo não sofre nenhuma deformação e igualou-se a `averageValue`.

Por fim, fez-se a leitura do sensor, se o valor do sensor for maior que nossa média, `averageValue`, então ocorreu uma deformação na mangueira, portanto `cont` recebe +1 e usou-se a função `delay(x)` que faz o processo esperar `x` milissegundos, se não `cont` recebe `cont`.

Esse uso da função `delay()` é para que o processo espere e não conte o eixo traseiro do veículo, por isso definiu-se o valor de 1 segundo.

O valor de 1 segundo foi devido à distância de dois veículos de passeio de aproximadamente 3,2 metros passando a uma velocidade média de 40 Km/h, sendo que é necessário uma distância de segurança entre os veículos.

Para o teste em escala real utilizou-se uma mangueira de combustível, solicitou-se autorização ao grupo Perini Business Park situado na cidade de Joinville que acompanhou e apoiou todo o processo de montagem do dispositivo. O teste foi realizado em uma via de pista dupla, que facilitou interromper o tráfego em uma das vias para a realização da instalação da mangueira. A mangueira de combustível foi instalada perpendicularmente ao sentido da via e fixada com fita. Na figura 25 pode-se ver a mangueira instalada na via e cones para afunilar o tráfego para uma única pista.

Figura 25. Mangueira instalada.



Fonte: Autoria própria (2018)

O teste realizado teve um intuito de identificar a campo o comportamento da diferença de pressão gerada se um veículo passasse sobre a mangueira de combustível. Foi identificado que a contagem é feita e que a passagem sobre a mangueira, tanto de veículos leves como de pesados, são identificados pelo sensor. Porém, a escolha do valor de delay de 1 segundo gerou alguns erros, como na contagem de veículos muito lentos que acabou realizando a contagem de dois veículos.

Através de uma filmagem realizada de 6 minutos, fez-se a contagem e comparou-se com a contagem do dispositivo. A Tabela 3 mostra os resultados da contagem.

Tabela 3. Contagem de veículos em 6 minutos

	Veículos
Manual	24
Protótipo	27

Fonte: Autoria própria (2018).

Foi realizada uma contagem de um tempo curto para que fosse possível acompanhar no monitor do computador quais foram os erros que ocorreram. A contagem de três veículos a mais do que a real, ocorreu devido a um veículo pesado com 4 eixos e um veículo pesado com 3 eixos, os dois passaram em uma velocidade muito baixa, onde o valor de 1 segundo de espera não foi suficiente para que o veículo passasse por completo sobre a mangueira, fazendo assim um dos eixos traseiros serem identificados como outro veículo também.

4.2 Classificatório

Após a contagem de veículos não classificatória fez-se necessário o desenvolvimento do protótipo a fim de elaborar um modo para classificar os tipos de veículos. A classificação de veículos não é tão simples, o manual de projeto de interseções do DNIT de 2005, classifica os veículos usuais em cinco categorias, a serem adotadas em cada caso conforme as características predominantes do tráfego:

- VP - Representa os veículos leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo minivans, vans, utilitários, pick-ups e similares;
- CO - Representa os veículos comerciais rígidos, não articulados. Abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de dois eixos e quatro a seis rodas;
- O - Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões. Entre estes incluem-se os ônibus urbanos longos, ônibus de longo percurso e de turismo, bem como caminhões longos, freqüentemente com três eixos (trucão), de maiores dimensões que o veículo CO básico. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal admissível para veículos rígidos;
- SR - Representa os veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples (cavalo mecânico) e um semi-reboque. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal para veículos dessa categoria.

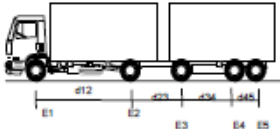
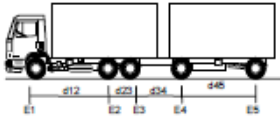
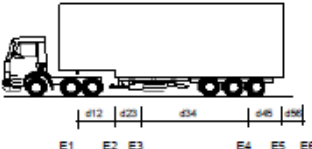
A Figura 26 resume as principais dimensões básicas dos veículos de projeto recomendados para utilização.

Figura 26. Principais dimensões básicas dos veículos de projeto

Designação do veículo tipo / Características	Veículos leves (VP)	Caminhões e ônibus convencionais (CO)	Caminhões e ônibus longos (O)	Semi-reboques (SR)	Reboques (RE)
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8	19,8
Raio min. da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7	13,7
Raio min. da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0	6,9

Fonte: DNIT (2006)

Figura 27. Tabela de classificação

SILHUETA		Nº DE EIXOS	PBT / CMT MÁX. (t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
		5	43 (45,2)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d23, d34 > 2,40 m 1,20 m < d45 ≤ 2,40	2C3	76
		5	43 (45,2)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. d12, d34, d45 > 2,40 m 1,20 m < d23 < 2,40	3C2	77
		6	48,5 (50,93) Res. Contran 184/2005 desde que atenda o critério do comprimento	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO+ SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5E6 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d56 ≤ 2,40 m	3S3	78

Fonte: DNIT (2008)


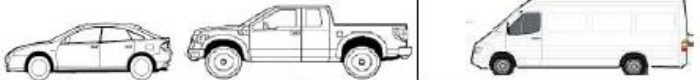

As diversas classes são representadas por um código alfanumérico e são inúmeras conforme é possível ver na Figura 27. Porém para veículos comerciais são incluídas as definições usuais para veículos leves, necessárias para os estudos de tráfego e de capacidade.

- P – Carro de Passeio, com dois eixos com rodagem simples, incluindo jeeps e kombis;
- U – Veículo Utilitário, com dois eixos com rodagem simples, compreendendo caminhões leves (2 eixos com rodagem simples), pick ups, furgões, vans e micro-ônibus;
- M – Motocicletas, motonetas e bicicletas a motor;
- B – Bicicletas.

Existem inúmeros veículos e configurações de eixos diferentes, como se pode observar, sendo assim, para a classificação de veículos adotada nesse trabalho priorizou-se os veículos com apenas dois eixos, sendo eles: P, U, M e B. Porém a classe das bicicletas foi excluída, pois se verificou no teste a campo não classificatório que bicicletas não eram identificadas pelo sensor, devido ao baixo peso que elas possuem, fazendo com que a mangueira de combustível não sofresse deformação. Neste sentido, seria necessário um desenvolvimento mais específico para que as mesmas pudessem ser observadas.

Definindo-se apenas veículos com dois eixos para a classificação entre moto, carro e caminhões/ônibus, percebeu-se uma diferença entre as distâncias entre eixos. As distâncias entre eixos de caminhões/ônibus são maiores que de carros e a de carros são maiores que de motos. Conforme Figura 28.

Figura 28. Veículos com 2 eixos.

TABELA DE CLASSIFICAÇÃO		
CATEGORIA	N. DE EIXOS	SILHUETA
MOTO	2	
PASSEIO e VAN	2	
2 EIXOS	2	

Fonte: Adaptado de Cimsaneamento (2018).

Através de uma consulta no manual do DNIT (2006) que possibilita a filtragem da maior e menor distância entre eixo de veículos estipulou-se um valor de distância entre eixo para cada classificação deste trabalho. Sendo eles:

- Moto: menores que 1,80 m;
- Carro: entre 1,80 m e 3,20 m;
- Caminhões/ônibus: maiores que 3,20 m.

Necessitou-se então de uma segunda mangueira para o cálculo da distância entre eixos. A instalação de uma segunda mangueira teve o intuito de definir uma velocidade média em que o veículo passa sobre a mangueira. A velocidade média é definida como sendo a razão entre o deslocamento de um corpo (Δx) e o intervalo de tempo durante o qual ele se deslocou (Δt) (Corradi, W. et al.), conforme equação 3.

$$V_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad [3]$$

A unidade da velocidade no sistema internacional de unidades é o metro por segundo.

Adotou-se o eixo dianteiro do veículo de eixo 1, o eixo traseiro de eixo 2, as mangueiras, seguindo o sentido da via, mangueira A sendo a primeira mangueira que o veículo irá encontrar e mangueira B a segunda. A Figura 29 mostra o teste realizado.

Figura 29. Identificação das mangueiras e eixos.



Fonte: Autoria própria (2018).

Portanto, se são conhecidas as distâncias entre as duas mangueiras é conhecida e o tempo que o eixo 1 leva para passar de uma mangueira para outra, sabe-se a velocidade média em que o veículo passou sobre as mangueiras.

Para que ocorra a passagem somente do eixo 1 sobre a mangueira A e B, antes que o eixo 2 passe sobre a mangueira A, definiu-se uma distância entre as mangueiras inferior que a menor distância entre eixos dentre as classes desse trabalho. A menor distância entre eixos encontrada nesse trabalho foi de um modelo de motocicleta Jog teen da Yamaha com 1,115 m, segundo especificações técnica. Portanto, a distância entre as mangueiras A e B fixou-se em 1 m.

Conseqüentemente, sabendo-se a velocidade média do eixo 1 e adotando-se que o veículo permanecerá a uma velocidade média constante ao passar sobre as mangueiras, pode-se adotar essa mesma velocidade média encontrada no eixo 1

para o eixo 2. Logo, sabendo-se o tempo entre a passagem do eixo 1 na mangueira A e a passagem do eixo 2 na mesma mangueira e velocidade média, pode-se determinar a distância entre eixos.

O desenvolvimento do algoritmo foi baseado em uma escala menor, utilizando tubos de silicone de aproximadamente 4 mm de diâmetro interno. Basicamente, teve como início a mesma premissa do teste não classificatório.

Declarou-se uma variável `sensorValue` igual a zero e um `averageValue` igual a média entre os valores observados do sensor durante um período de 5 segundos.

Algumas novas variáveis foram necessárias, como:

- `Ta`: tempo do eixo 1 na mangueira A;
- `Tb`: tempo do eixo 1 na mangueira B;
- `Tc`: tempo do eixo 2 na mangueira A;
- `Td`: tempo do eixo 2 na mangueira B;
- `Tv`: tempo para calcular a velocidade;
- `Te`: tempo para calcular a distância entre eixos;
- `V`: velocidade média;
- `Distance`: distância entre as mangueiras A e B igual a 1 m;
- `Eixo`: distância entre eixos;
- `Moto`: variável inteira para contar o número da classe moto;
- `Carro`: variável inteira para contar o número da classe carro;
- `Cam`: variável inteira para contar o número da classe caminhão/ônibus.

A grande diferença é a utilização de duas mangueiras, onde a mangueira A foi conectada ao bocal positivo do sensor e a mangueira B ao bocal negativo. Portanto, a comparação para verificar se algum eixo passou sobre a mangueira A será:

- se `sensorValue` for maior que `averageValue + 25`.

E se algum eixo passou sobre a mangueira B será:

- se `sensorValue` for menor que `averageValue - 20`.

Desta maneira, no algoritmo usou-se a função `millis()` para a coleta do tempo em milissegundos do exato momento em que foi identificado a passagem de algum eixo. As figuras 31, 32, 33 e 34 a seguir demonstram a passagem dos dois eixos nas duas mangueiras na sua respectiva ordem.

Na figura 30 é possível ver a passagem do eixo 1 na mangueira A. Através da função millis() guarda-se o tempo em milissegundos que o sensor identificou a passagem do eixo na variável Ta.

Figura 30. Passagem eixo 1 na mangueira A.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Em sequência, na Figura 31 pode-se identificar a passagem do eixo 1 na mangueira B onde guarda-se o tempo em que o sensor identificou a passagem na variável Tb. Percebe-se também que o eixo 2 não passa em nenhuma das mangueiras antes do eixo 1 ter passado nas duas mangueiras.

Figura 31. Passagem eixo 1 na mangueira B.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Seguido, tem-se a Figura 32, que ilustra a passagem do eixo 2 na mangueira A e novamente usa-se a função `millis()` para guardar o tempo na variável T_c .

Figura 32. Passagem eixo 2 na mangueira A.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Por fim, a Figura 33 demonstra a passagem do eixo 2 na mangueira B, onde também utilizamos a função `millis()` para guardar o tempo na variável T_d .

Figura 33. Passagem eixo 2 na mangueira B.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Sabendo-se então o tempo que cada eixo passou nas determinadas mangueiras pode-se determinar a velocidade média e a distância entre eixo. Multiplicam-se as variáveis de tempo por 0,001 para transformar de milissegundos para segundos.

Com as variáveis T_a e T_b tem-se a velocidade média. Usando a equação 3 tem-se o deslocamento que é a distância entre as mangueiras e o intervalo de tempo que é a diferença entre a variável T_b e T_a .

Conhecendo a velocidade média e o valor de T_c obtém-se a distância entre eixos. Novamente, usando a equação da velocidade média onde, a velocidade média é a encontrada anteriormente pelas variáveis T_a e T_b e a diferença entre T_c e T_a , tem-se a distância entre eixo.

Finalmente, o algoritmo compara a distância entre eixo encontrada com os valores estabelecidos para cada classe, se for menor que 1,80 m uma moto, entre 1,80 m e 3,20 m um carro e maior que 3,20 m um caminhão/ônibus e acumula +1 nas devidas variáveis, moto, carro e cam. O algoritmo desenvolvido pode ser visto no Apêndia A.

Os testes realizados em escala menor com tubos de silicone de 4 mm de diâmetro interno e 30 cm de comprimento ocorreram perfeitamente. No entanto, no teste com as mangueiras de combustível não obteve-se sucesso. O maior problema encontrado foi o tempo de resposta para o sensor voltar ao seu estado normal, ou

seja, a sua pressão padrão. Visto que utilizou-se o mesmo sensor para a identificação de duas mangueiras diferentes, onde uma aumentava o valor identificado pelo sensor e outra baixava esse valor.

Mesmo a velocidade dos veículos menores que 40 km/h, dado que a via utilizada para o teste no Perini Business Park é controlada e limitada a 40 km/h, o sensor não tinha a velocidade necessária para identificar um valor superior à média estabelecida e voltar ao seu estado normal de pressão para identificar um valor inferior a essa média. Ou seja, os veículos passavam pelas mangueiras, mas o sensor não conseguia identificar a passagem dos 4 eixos, só identifica os valores da mangueira A que é quando os valores aumentam a pressão.

Portanto a realização da comparação dos dados coletados não se fez possível, sendo que não foi possível adquirir outro sensor para teste.

Na sequência serão apresentadas as considerações finais do trabalho e as sugestões para os trabalhos futuros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora já existam diversos métodos de contagem de veículos, muitos com alta taxa de acertos, o desenvolvimento de um contador de baixo custo e com equipamentos acessíveis no mercado é de fundamental importância, visto que, muitos desses produtos encontrados são de um custo elevado.

Os resultados dos testes para a classificação de veículos ainda se mostram insatisfatórios. O maior problema está no tempo de resposta para o sensor voltar ao seu estado normal, ou seja, a sua pressão padrão. Por outro lado, a contagem acumulativa de veículos não classificatória apresenta-se de maneira satisfatória. Neste caso, a substituição da mangueira de combustível por mangueiras mais flexíveis na contagem não classificatória permite que se realize a contagem de bicicletas. Neste contexto, com a urbanização e o aumento da frota de veículos torna-se necessário o incentivo da utilização de modais alternativos para a locomoção, como a bicicleta. Uma das maneiras para o incentivo da utilização da bicicleta são as ciclovias, que como qualquer outra via de transporte, necessita de planejamento e exige também a contagem de bicicletas para o desenvolvimento de um projeto.

Realizações de teste em escalas menores possibilitaram atuar em ambientes controlados e internos, por outro lado, os testes a campo revelaram a dificuldade de instalação dos controladores intrusivos. O ambiente controlado onde foi realizado o teste a campo e a pista dupla facilitaram os procedimentos de instalação sem interromper o fluxo da via, situação que não ocorre em ambientes não controlados e de pista simples.

O desenvolvimento de um contador volumétrico de vias simples usando um diferenciador de pressão e um hardware fez-se satisfatório, visto que os materiais escolhidos obtiveram sucesso.

Em relação ao preço do protótipo, o preço final se deu como baixo em comparação aos equipamentos classificatórios e não classificatórios encontrados no

mercado. Sendo que foi necessário 350 reais para a compra de todos os materiais necessários, onde foram facilmente encontrados no comércio local da cidade onde foi desenvolvida o trabalho.

Foram coletados os dados de fluxo manualmente e com o protótipo para a validação, mas só foi possível realizar a comparação das duas para o contador não classificatório, visto que para classificatório não foi possível coletar dados de contagem.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se como expansão deste trabalho o desenvolvimento de um algoritmo mais sofisticado visto que os dispositivos utilizados são eficientes.

Além disso, outra proposta é o melhoramento do método adotado para classificação dos veículos. Sendo necessária a utilização da tabela com as silhuetas de todos os veículos, e combinações de veículos existentes, com seus respectivos limites de peso e distâncias entre eixo encontrado no DNIT (2006).

Por fim, propõe-se a utilização de dois sensores de pressão independentes cada um para uma mangueira de combustível, para que possa identificar a passagem de eixo sobre as mangueiras.

REFERÊNCIAS

4HOBBY. **Sensor transdutor pressão mpx5700 ar gas água.** Disponível em: <<https://4hobby.com.br/inicio/224-sensor-transdutor-pressao-mpx5700dp-ar-gas-agua-.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Engenharia de tráfego: Terminologia – NBR 7032.** Rio de Janeiro, ABNT, 1983.

ALIEXPRESS. **1 metro azul mangueira tubo 12*8 tubo pu.** Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/1-meter-blue-Hose-Tube-12-8mm-air-pipe-PU-tube-pneumatic-hose-ID-8mm-OD-12mm/32800625501.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

ARDUINO. **Arduino uno rev 3.** Disponível em: <<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 16/06/2018.

AURELIANO, A. **Protoboard.** Disponível em: <<https://fiozera.com.br/protoboard-e51fe4a7f8f4>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

BOTSHOP. **Arduino uno case enclosure – acrylic clear (transparent) colour.** Disponível em: <<https://www.botshop.co.za/product/arduino-uno-case-enclosure-acrylic/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

CARROSNWEB. **Maior entre-eixos.** Disponível em: <<https://www.carrosnaweb.com.br/rankinglista.asp?ordem=48>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

CIMSANEAMENTO. **Contagem classificatória de veículos por eixos com tubos pneumáticos.** Disponível em: <<http://www.cimsaneamento.com.br/Contagem.php>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

COELHO, Alexandre Hering; GOLDNER, Lenise Grando. **ECV5129 - Engenharia de Tráfego: Módulo I - Conceitos básicos.** 2016. Disponível em: <<http://pet.ecv.ufsc.br>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

CORRADI, W., TÁRSIA R. D., OLIVEIRA W. S., VIEIRA S. L. A., NEMES M. C., BALZUWEIT K. **Fundamentos de Física 1.** Editora UFMG, Belo horizonte - MG, 2010. Disponível em <<http://www.mat.ufmg.br/ead/acervo/livros/Fundamentos%20de%20Fisica%20I.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Anuário estatístico das rodovias federais 2010 – acidentes de trânsito e ações de enfrentamento ao crime.** Brasília, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Plano Nacional de Contagem de Trânsito**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/contagem-de-trafego>>. Acesso em 16 abr. 2018

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Diretoria de infra-estrutura rodoviária, coordenação geral de operações rodoviárias**. Quadro de fabricantes de veículos, 2008. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/Pesagem/sis_sgpv/QFV/QFV%202008%20Divulga%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 18 abr. 18.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Plano Nacional de Contagem de Trânsito**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/contagem-de-trafego>>. Acesso em 16 abr. 2018

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Projetos de Interseções 2ed**. Rio de Janeiro, 2005. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisa Rodoviárias.

DIAMONDTRAFFIC. **Road tube**. Disponível em: <<http://diamondtraffic.com/>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Classificação funcional do sistema rodoviário do Brasil**. [S.l.]: M.T. DNER, 1974.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro, 1999. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capacitação Tecnológica.

EVANS, M., NOBLE, J., HOCHENBAUM, J. **Arduino em ação**. São Paulo, SP, 2013.

FILIPEFLOP. **Módulo cartão micro sd**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-cartao-micro-sd/>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

HOEL, LESTER A.; GARBER, NICHOLAS J.; SADEK, ABEL W. **Engenharia de infraestrutura de transportes: uma interação multimodal**. p.75, 134-135, revisor técnico Guimarães, Carlos A. B., tradução All Taks, São Paulo, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Evolução demográfica dos municípios das regiões metropolitanas brasileiras, segundo a base territorial de 1997**. Rio de Janeiro, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Perfil dos municípios brasileiros**. Brasília, 2005.

LEROYMERLIN. **Espigão fixo macho 1/4"x3/8" ce4 arprex**. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/espigao-fixo-macho-1-4x3-8-ce4-arprex_89239962>. Acesso em: 16 jun. 2018.

LIDER SEGURADORA – DPVAT. **Boletim Estatístico** n. 8, Janeiro a Dezembro de 2012. Disponível em <www.seguradoralider.com.br>. Acesso em 16 abr. 2018.

LUCIFLEX. **Mangueira de combustível.** Disponível em: <<http://luciflex.com.br/Artigo.aspx?CCO=32>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

MARTINS, E. **O que são jumpers?** Disponível em: <<https://m.tecmundo.com.br/placa-mae/1385-o-que-sao-jumpers-.htm>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

MARTIN, P. T., FENG Y., WANG X. **Detector technology evaluation.** Utah Department of Transportation, November 2003. Disponível em <<https://www.mountain-plains.org/pubs/pdf/MPC03-154.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

MERCADOLIVRE. **Conexão para mangueira pu 8mm rosca fêmea 1/4 - push-in.** Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-709378272-conexo-para-mangueira-pu-8mm-rosca-fmea-14-push-in-_JM>. Acesso em: 16 jun. 2018.

METAQUIMICA. **Mangueira silicone ref. 201 (ø externo 8mm - ø interno 4mm).** Disponível em: < <https://www.metaquimica.com/mangueira-silicone-ref-201-o-externo-8mm-o-interno-4mm.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

MIMBELA, L. E. Y., KLEIN, L. A., KENT, P., HAMRICK, J. L., LUCES, K. M., HERRERA, S. **Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems.** Federal Highway Administration s (FHWA) Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, November 2000. Disponível em: < <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/pubs/vdstits2007/vdstits2007.pdf>>. Acesso em 23 abr. 2018.

MOTOSPACE. **Especificações Técnicas.** Disponível em: <<http://www.motospace.com.br/Yamaha/Jog-Teen/>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

O'FLAHERTY, Coleman A. **Transport Planning and Traffic engineering.** Britain, UK, 1997.

OLIVEIRA, Sergio Ferreira de. **Sensor de presença para semáforo inteligente de baixo custo.** 2012. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2012.

PRODANOV, Cleber C., FREITAS, Ernani C., **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** Universidade FEEVALE, Novo Hamburgo, RS, 2013.

REPARES. **Tapon copa galv. 1/2.** Disponível em: <<http://repares.com/productos/4411-tapon-copa-galv-1-2-004411.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

ROBOCORE. **Como utilizar uma protoboard.** Disponível em: <<https://www.robocore.net/tutoriais/como-utilizar-uma-protoboard.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

SIMONI, Leonardo. **Contagem de Eixos de Veículos com Sensores Indutivos.** 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TOSAVE. **Diy starter kit mini circuitos led arduino uno r3 jumper wire testado para.** Disponível em: <<http://www.tosave.com/br/p/DIY-Starter-Kit-Mini-Breadboard-LED-Jumper-Wire-Tested-for-Arduino-UNO-R3-123422.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway capacity manual.** Washington, TRB, 2000.

VASCONCELLOS, EDUARDO ALCÂNTARA DE. **Política de Transporte no Brasil: a construção da mobilidade excludente.** Baurer, SP, 2013.

APÊNDICE A – Teste 2 mangueiras.

CODIGO CLASSIFICATÓRIO – Parte 1

```

1 #include <SdFat.h>
2
3 int sensorValue = 0;
4 float averageValue = 0;
5 int count=0;
6 int moto=0;
7 int carro=0;
8 int cam=0;
9 int neixol ;
10 long ta; //tempo do 1 eixo na 1 mangueira
11 long tb; // tempo do 1 eixo na 2 mangueira
12 long tc; //tempo do 2 eixo na 1 mangueira
13 long td; //tempo do 2 eixo na 2 mangueira
14 float tv; // tempo para calcular a velocidade
15 float te; //tempo entre os eixos
16 float v; //velocidade
17 float distance = 1; //em m
18 float eixo; //distancia entre eixo
19 const int chipSelect = 4; // Pino do modulo do SD
20 SdFat sdCard;
21 SdFile meuArquivo;
22
23 void setup() {
24   Serial.begin(9600);
25   pinMode(A5, INPUT);
26   if(!sdCard.begin(chipSelect,SPI_HALF_SPEED))sdCard.initErrorHalt(); |
27   if (!meuArquivo.open("dados_contador_duas.txt", O_RDWR | O_CREAT | O_AT_END))
28   {
29     sdCard.errorHalt("Erro na abertura do arquivo DADOS.TXT!");
30   }

```

Fonte: Aatoria própria (2018).

CODIGO CLASSIFICATÓRIO – Parte 2

```
31 meuArquivo.println("Inicializou");
32 }
33
34 void loop() {
35   sensorValue = analogRead(A5);
36   Serial.print("sensor: ");
37   Serial.println(sensorValue);
38
39   if (millis() < 5000) {
40     averageValue += ((float)sensorValue - averageValue) / 10.f;
41     Serial.print("média: ");
42     Serial.println(averageValue);
43   } else {
44     neixol = 0;
45     while (neixol == 0) {
46       sensorValue = analogRead(A5);
47       if (sensorValue < 20) {
48         // Interrompe o processo e fecha o arquivo
49         Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
50         meuArquivo.close();
51         while (1) {}
52       }
53       while (neixol == 0) {
54         sensorValue = analogRead(A5);
55
56         if (sensorValue < 20) {
57           // Interrompe o processo e fecha o arquivo
58           Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
59           meuArquivo.close();
60           while (1) {}
```

Fonte: Autoria própria (2018).

CODIGO CLASSIFICATÓRIO – Parte 3

```
61 }
62   sensorValue = analogRead(A5);
63   if (sensorValue > averageValue + 25) {
64     Serial.print("sensor: ");
65     Serial.println(sensorValue);
66     Serial.print("média: ");
67     Serial.println(averageValue);
68
69     ta = millis();
70     Serial.println(ta);
71     Serial.println("entrou!");
72     sensorValue = analogRead(A5);
73
74   if (sensorValue < 20) {
75     // Interrompe o processo e fecha o arquivo
76     Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
77     meuArquivo.close();
78     while (1) {}
79   }
80
81     neixol++;
82   }
83 }
84 while(neixol == 1) {
85   sensorValue = analogRead(A5);
86
87   if (sensorValue < 20) {
88     // Interrompe o processo e fecha o arquivo
89     Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
90     meuArquivo.close();
```

Fonte: Autoria própria (2018).

CODIGO CLASSIFICATÓRIO – Parte 4

```

91   while (1) {}
92 }
93   sensorValue = analogRead(A5);
94
95   if (sensorValue < averageValue - 20) {
96     Serial.print("sensor: ");
97     Serial.println(sensorValue);
98     Serial.print("média: ");
99     Serial.println(averageValue);
100    tb = millis();
101    Serial.println(tb);
102    Serial.println("entrou2");
103    sensorValue = analogRead(A5);
104
105    if (sensorValue < 20) {
106      // Interrompe o processo e fecha o arquivo
107      Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
108      meuArquivo.close();
109      while (1) {}
110    }
111    neixol++;
112    // }
113  }
114 }
115
116   if (neixol > 1) {
117     while (neixol == 2) {
118       sensorValue = analogRead(A5);
119     }
120   if (sensorValue < 20) {

```

Fonte: Autoria própria (2018).

CODIGO CLASSIFICATÓRIO – Parte 5

```

121 // Interrompe o processo e fecha o arquivo
122 Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
123 meuArquivo.close();
124 while (1) {}
125 }
126   sensorValue = analogRead(A5);
127   if (sensorValue > averageValue + 25) {
128     Serial.print("sensor: ");
129     Serial.println(sensorValue);
130     Serial.print("média: ");
131     Serial.println(averageValue);
132
133     tc = millis();
134     Serial.println(tc);
135     Serial.println("entrou3");
136     sensorValue = analogRead(A5);
137
138   if (sensorValue < 20) {
139     // Interrompe o processo e fecha o arquivo
140     Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
141     meuArquivo.close();
142     while (1) {}
143   }
144     neixol++;
145   }
146 }
147
148 while (neixol == 3 ) {
149   sensorValue = analogRead(A5);
150

```

Fonte: Autoria própria (2018).

CODIGO CLASSIFICATÓRIO – Parte 6

```
151  if (sensorValue <20) {
152    // Interrompe o processo e fecha o arquivo
153    Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
154    meuArquivo.close();
155    while (1) {}
156  }
157    sensorValue = analogRead(A5);
158
159
160    if (sensorValue<averageValue -20){
161      Serial.print("sensor: ");
162      Serial.println(sensorValue);
163      Serial.print("média: ");
164      Serial.println(averageValue);
165      td = millis();
166      Serial.println(td);
167      Serial.println("entrou4");
168      sensorValue = analogRead(A5);
169
170  if (sensorValue <20) {
171    // Interrompe o processo e fecha o arquivo
172    Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
173    meuArquivo.close();
174    while (1) {}
175  }
176    neixol++;
177
178  }
179  }
180 }
```

Fonte: Autoria própria (2018).

CODIGO CLASSIFICATÓRIO – Parte 7

```

181     sensorValue = analogRead(A5);
182     Serial.println(sensorValue);
183     if (sensorValue <20) {
184         // Interrompe o processo e fecha o arquivo
185         Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
186         meuArquivo.close();
187         while (1) {}
188     }
189 }
190 //     Serial.print("sensor: ");
191 //     Serial.println(sensorValue);
192 //     Serial.print("média: ");
193 //     Serial.println(averageValue);
194     tv = (float)(tb-ta))*0.001; //transformacao para segundos
195
196     v = ((distance/tv))*(3.6); //em km/h
197     Serial.print("velocidade: ");
198     Serial.print(v,2);
199     Serial.println(" km/h");
200     meuArquivo.print("velocidade: ");
201     meuArquivo.print(v,2);
202     meuArquivo.println(" km/h");
203
204     te = float(tc-ta)*0.001;
205     //Serial.println(te);
206     eixo = (v/3.6)*te; //em metros
207     Serial.print("eixo: ");
208     Serial.print(eixo,2);
209     Serial.println(" m");
210     meuArquivo.print("eixo: ");

```

Fonte: Aatoria própria (2018).

CODIGO CLASSIFICATÓRIO – Parte 8

```

211 meuArquivo.print(eixo,2);
212 meuArquivo.println(" m");
213 count++;
214
215 // Serial.print("quantidade: ");
216 // Serial.println(count);
217 if (eixo < 1.800){
218     moto++;
219     meuArquivo.print("moto: ");
220     meuArquivo.println(moto); }
221 if (1.800 < eixo && eixo < 3.200){
222     carro++;
223     meuArquivo.print("car: ");
224     meuArquivo.println(carro); }
225 if (eixo > 3.200){
226     cam++;
227     meuArquivo.print("cam: ");
228     meuArquivo.println(cam);
229 }
230 sensorValue = analogRead(A5);
231 if (sensorValue <20) {
232     // Interrompe o processo e fecha o arquivo
233     Serial.println("Processo de gravacao interrompido. Retire o SD!");
234     meuArquivo.close();
235     while (1) {}
236 }
237 }

```

Fonte: Autoria própria (2018).