

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS - CAMPUS BAURU

DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

GABRIEL DE SOUZA ALVES

**DISPOSITIVO PARA ADQUIRIR, APRESENTAR E GUARDAR OS
DADOS NO VEÍCULO DO FEB RACING**

BAURU

Novembro/2019

GABRIEL DE SOUZA ALVES

**DISPOSITIVO PARA ADQUIRIR, APRESENTAR E GUARDAR OS
DADOS NO VEÍCULO DO FEB RACING**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso
de Bacharelado em Ciência da Computação
da Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências,
Campus Bauru.

Orientador: Prof. Dr. Renê Pegoraro

BAURU

Novembro/2019

Gabriel de Souza Alves Dispositivo para Adquirir, Apresentar e Guardar os Dados no Veículo do Feb Racing/ Gabriel de Souza Alves. – Bauru, Novembro/2019-36 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Renê Pegoraro

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Ciências

Bacharelado em Ciência da Computação, Novembro/2019.

1. Automobilismo 2. Sensores 3. Dados 4. Dispositivo 5. *Arduino* 6. *Raspberry Pi*

Gabriel de Souza Alves

Dispositivo para Adquirir, Apresentar e Guardar os Dados no Veículo do Feb Racing

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de
Bacharelado em Ciência da Computação da Uni-
versidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita
Filho", Faculdade de Ciências, Campus Bauru.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Renê Pegoraro

Orientador

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"

Faculdade de Ciências

Departamento de Ciência da Computação

**Prof^a. Dr^a. Simone das Graças
Domingues Prado**

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"

Faculdade de Ciências

Departamento de Ciência da Computação

Prof. Dr. Wilson Massashiro Yonezawa

Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"

Faculdade de Ciências

Departamento de Ciência da Computação

Bauru, _____ de _____ de _____.

Agradecimentos

Agradeço à minha família, me apoiando para que eu alcance meus sonhos, não importa onde eu tenha que ir para realiza-los.

Agradeço a todos os meus amigos que durante todo esse ano, me apoiaram e me ajudaram a passar por essa fase.

Sou grato a todos os professores que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente ao orientador Prof. Dr. Renê Pegoraro por acreditar que eu conseguiria desenvolver esse trabalho, pela ajuda e apoio desde o começo, também ao Prof. Dr. Wilson Massashiro Yonezawa, por ter emprestado o Raspberry Pi, que sem ele, não teria sido possível ter feito o dispositivo e a Prof^a. Dr^a. Simone das Graças Domingues Prado pela ajuda e pela compreensão ao longo do desenvolvimento do trabalho, desde o começo do ano.

Agradeço ao Vitor Marchi, que faz parte do Sagui Lab, que em parceria com a Mousta Impressoras 3D, cedeu a impressora 3D pra usar no evento Feira Maker no Interdesigners, que é a semana de Design da UNESP Bauru. Ele ajudou com a parte de impressão 3D, desde a geração do arquivo para colocar na impressora até em particularidades da mesma e ainda imprimiu para mim duas vezes a caixa do *Arduino* e a base que desenvolvi, uma vez para validação e a segunda, com mais resolução, já com algumas correções.

Agradeço ao Prof. Dr. Dorival Campos Rossi por incentivar a cultura *maker*, inclusive o fundador do Sagui Lab, um laboratório destinado a cultura *maker* e que, graças a uma palestra que ele ministrou em 2015 sobre o tema, num evento de computação, me inspirou a fazer meu trabalho nesse ramo.

Agradeço a Prof^a. Dr^a. Ana Beatriz Pereira de Andrade, professora de fotografia do Departamento de Design, que permitiu que eu utiliza-se espaço no laboratório de foto e ao Henry Santana, assessor técnico de fotografia do Estúdio Fotográfico FotoLab, do departamento de design, pelo acesso ao laboratório e pela ajuda para tirar as fotos dos equipamentos no laboratório.

Agradeço pela parceria com a equipe da FEB Racing, em especial o capitão, que acreditaram e aceitaram fazer parte do desenvolvimento do dispositivo, fazendo a parte de delimitação e aquisição dos sensores, além de o terem emprestado para os testes durante o desenvolvimento.

*Quem não é humilde – o que é diferente de ser subserviente – acaba perdendo demais, porque
fica aprisionado dentro de si.*

Mário Segio Cortella

Resumo

Com o avanço da tecnologia, cada vez mais é visto aplicações de computação em diversas áreas e com o automobilismo não é diferente. O uso de sensores para adquirir os dados é útil para comprovação de cálculos e uso no refinamento dos ajustes em um carro. Para tal aplicação de tecnologia nos veículos, pode-se utilizar microcontroladores e até mesmo computadores com tamanho reduzido, para não somente trazer e gravar esses dados, mas também mostra-los para quem dirige e transmiti-los para algum lugar para um melhor entendimento do que está acontecendo, permitindo uma utilização melhor do veículo. O trabalho mostra o desenvolvimento de um dispositivo, utilizando um *Arduino* e um *Raspberry Pi*, para adquirir, gravar e mostrar os dados em uma tela sensível ao toque.

Palavras-chave: Automobilismo, sensores, dados, dispositivo, *Arduino*, *Raspberry Pi*.

Abstract

With the advance of technology, it's seem more and more computer applications on various areas and with motorsports it's not different. The use of sensors to acquire data is useful to testify calculation and tweaking the car's adjustments. To such application of technology on vehicles, it's possible to use microcontrollers and even smaller computers, not only to collect and store these data, but show them to the driver and send them elsewhere to a better understanding on what's happening, leading to a better usage of the vehicle. This piece of work shows the development of a device, using a *Arduino* and a *Raspberry Pi*, to collect, store and show the data on a touch screen.

Keywords: Motorsport, sensors, data, device, *Arduino*, *Raspberry Pi*.

Lista de figuras

Figura 1 – Foto do carro da FEB Racing, que será aplicado o dispositivo.	13
Figura 2 – Foto da equipe FEB Racing.	13
Figura 3 – Foto do <i>Arduino Mega 2560</i> utilizado no dispositivo.	14
Figura 4 – Foto do <i>Raspberry Pi</i> Utilizado no Dispositivo.	16
Figura 5 – Foto de um MLX90614 com a placa, já pronto para ser ligado diretamente num <i>Arduino</i> , por exemplo.	17
Figura 6 – Foto de um MPU6050 com a placa, já pronto para ser ligado diretamente num <i>Arduino</i> , por exemplo.	18
Figura 7 – Foto de um KY003 com a placa, já pronto para ser ligado diretamente num <i>Arduino</i> , por exemplo.	19
Figura 8 – Foto de um potenciômetro com acionador por rotação.	19
Figura 9 – Figura com a tabela verdade retirada do Datasheet com a Tabela Verdade da família CD405X.	21
Figura 10 – Foto do multiplexador CD4052 utilizado no dispositivo com terminais soldados para facilitar a ligação com os jumpers.	22
Figura 11 – Tela 3,5" sensível ao toque que será utilizada no <i>Raspberry Pi</i>	23
Figura 12 – AutoDesk Fusion 360, software utilizado para desenvolver a placa do suporte para o <i>Arduino</i> , MCP2515 e CD4052.	26
Figura 13 – <i>Raspberry Pi</i> somente com a tela sensível ao toque.	27
Figura 14 – <i>Raspberry Pi</i> com a tela sensível ao toque, dentro da capa.	28
Figura 15 – Todas as peças da base e capa impressos em 3D.	29
Figura 16 – <i>Arduino</i> montado na capa e base, juntamente com a placa do MCP2515 e o multiplexador CD4052.	29
Figura 17 – Conjunto <i>Arduino</i> , com o acelerômetro giroscópio MPU 6050 ligado a ele, e <i>Raspberry Pi</i> ligado ao <i>Arduino</i> pelo cabo USB.	30
Figura 18 – Dispositivo montado, com <i>Arduino</i> e <i>Raspberry Pi</i> ligados, juntamente com o acelerômetro giroscópio MPU6050 utilizado para testes.	32
Figura 19 – GUI do dispositivo vista no Windows.	33
Figura 20 – GUI do dispositivo vista no Raspbian.	33

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela exemplo de um conversor analógico digital de 10 bits com a conversão de um sinal analógico, entre 0V e 5V, para um sinal digital entre 0 e 1023. Os valores da tensão de entrada estão aproximados	15
Tabela 2 – Tabela Verdade Multiplexador CD4052 aplicado no Dispositivo.	22

Lista de abreviaturas e siglas

ECU	Unidade de Controle Eletrônico do inglês Engine Control Unit
ABS	Sistema de Frenagem Anti Travamento do inglês Anti-lock Braking System
FEB	Faculdade de Engenharia de Bauru
GUI	Interface Gráfica com o Usuário do inglês Graphical User Interface
CI	Circuito Integrado
GND	Terra, Potencial elétrico zero do inglês Ground
E/S	Entrada ou Saída
PWM	Modulação por Largura de Pulso do inglês Pulse Width Modulation

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	CONCEITOS E MATERIAIS ENVOLVIDOS	14
2.1	Arduino	14
2.2	Raspberry Pi	15
2.3	Sensor de Temperatura MLX90614	16
2.4	Sensor Acelerômetro Giroscópio MPU6050	17
2.5	Sensor de Campo Magnético KY003	18
2.6	Potenciômetro	19
2.7	Protocolo I2C	20
2.8	Multiplexador CD4052	20
2.9	Tela 3,5" sensível ao toque	22
2.10	Thread	23
2.11	Conversão de Dados de Sensores	23
3	METODOLOGIA	25
3.1	Ferramentas Envolvidas	25
3.2	Visual Studio 2015	25
3.3	Mono	25
3.4	Fusion 360	25
3.5	Impressão 3D	26
4	CARACTERÍSTICAS DO DISPOSITIVO	27
4.1	Hardware do Dispositivo	27
4.2	Software do Dispositivo	30
5	RESULTADOS	32
5.1	Endereços Virtuais para Contribuição com o Dispositivo	33
6	CONCLUSÃO	35
6.1	Futuro do Dispositivo	35
	REFERÊNCIAS	36

1 Introdução

Como visto em (PRASAD; BROY; KRUEGER, 2010) os carros evoluíram muito com o passar do tempo e os softwares começaram a fazer parte desse processo a partir do fim de 1960 e o começo de 1970. A sua aplicação inicialmente era um simples controle de ignição e esse começo lento da aplicação de softwares no mundo automotivo se deve ao controle de custos que faz parte da indústria automobilística, dado o custo de computadores e coisas do gênero naquela época, como pode ser lido também em (PRASAD; BROY; KRUEGER, 2010) e também (BEREISA, 1983). É possível observar também em (BEREISA, 1983) que logo em 1978 já começou a ser lançados modelos de carros que tinham funções, controladas por microcontroladores, de entretenimento, conforto, conveniência e do painel de instrumentos.

Com o passar do tempo, os carros começaram a ganhar mais funcionalidades, como sistema de airbags e sistema anti travamento do freio (ABS), todas controladas por micro-computadores e, juntamente, os softwares neles instalados para tais controles e funções, como citado no (PRASAD; BROY; KRUEGER, 2010). O nome dado para esses micro-controladores que controlam alguma função é Unidade de Controle Eletrônico ou, no inglês, *Electronic Central Unit (ECU)*. Algumas dessas centrais utilizam o protocolo *CAN* como pode ser visto em (SEO; LEE; HWANG; JEON, 2006).

Os carros não são utilizados somente no nosso dia a dia, a fim de ser um meio de ir do ponto A ao ponto B, mas também em competições, como o carro da Fórmula 1 e da FEB Racing, que pode ser observado na figura 1. Para estas competições, dedica-se tempo com estudos e desenvolvimento com o objetivo de ter o melhor carro, mais acertado, com melhor desempenho nas curvas, que consiga chegar mais rapidamente em sua velocidade final, que nas frenagens consiga diminuir a sua velocidade no menor distância possível sem travar as rodas, que tenha a melhor aerodinâmica para fazer as curvas na maior velocidade possível sem perder muita velocidade final, isso dentro das regulamentações de determinada categoria.

Figura 1 – Foto do carro da FEB Racing, que será aplicado o dispositivo.



Fonte: Cedida pelo capitão da equipe FEB Racing

Um dos meios de se atingir esse objetivo é utilizando a telemetria, que é a coleta e envio de um aglomerado de informações em tempo real para a equipe, desde o que está acontecendo no motor, até o que acontece com o piloto e também o *log* (que é a coleta dos dados e a gravação deles em um arquivo no dispositivo que fica no carro com os dados durante um período, para posterior análise). De acordo com (WALDO, 2005) os carros de Fórmula 1, e os pilotos, são os objetos mais instrumentados do planeta e uma corrida gerava, em 2005, mais de 1 gigabyte de dados.

O objetivo deste trabalho é construir um sistema de medição, apresentação em tempo real e salvamento dos dados obtidos durante cada prova da equipe FEB Racing, que pode ser observada na figura 2, fornecendo dados para que a equipe possa tentar identificar situações a serem tratadas para melhorar o desempenho do carro nas próximas competições.

Figura 2 – Foto da equipe FEB Racing.



Fonte: Cedida pelo Luis Barbosa da equipe FEB Racing

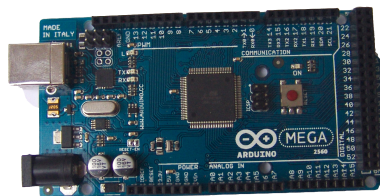
2 Conceitos e Materiais Envolvidos

Neste capítulo será abordado os materiais envolvidos no desenvolvimento do dispositivo de auferir dados do carro da FEB Racing, que envolvem os dispositivos utilizados, *Arduino*, *Raspberry Pi*, um multiplexador CD4052, quatro sensores de temperatura MLX90614, quatro sensores de campo magnético KY003, quatro potenciômetros, três acelerômetros/giroscópios MPU6050 e os conceitos envolvidos para o dispositivo funcionar, a transmissão de dados por barramento I2C, uso de *thread*, conversão de dados vindo de sensores e impressão 3D para o alojamento e fixação dos controladores no carro.

2.1 Arduino

Arduino é uma linha de placas, de desenvolvimento aberto, ou seja, o processo de produção delas é aberto e qualquer um pode replica-las e produzi-las, desde que de acordo com as políticas do registro da mesma e uma IDE para desenvolvimento de programas para serem executados nessas placas. A figura 3 mostra a placa *Arduino* que será utilizada no dispositivo.

Figura 3 – Foto do *Arduino Mega 2560* utilizado no dispositivo.



Fonte: Produzido pelo autor

De acordo com o ([INTRODUCTION, 2019](#)):

Arduino é uma plataforma eletrônica de desenvolvimento aberto baseada no hardware e software fácil de usar. As placas *Arduino* conseguem ler entradas - luz em um sensor, um dedo num botão, ou uma mensagem no Twitter - e torna-lo numa saída - ativar um motor, ligar um LED, publicar algo online. Você pode dizer para sua placa o que fazer mandando um conjunto de instruções para o micro-controlador na placa. Para fazer isso você utiliza a linguagem de programação *Arduino* (baseada no *Wiring*), e o programa *Arduino* (IDE), baseada no *Processing*. [Introduction \(2019\)](#), tradução nossa.

A placa, constituída por um microcontrolador, é de fácil desenvolvimento de protótipos, que são projetos em processo de desenvolvimento, que envolvam lidar com componentes de

baixo nível, como sensores e atuadores, com possibilidade de fácil mudanças de ligações e reprogramações para testes e validações.

O *Arduino* ATmega2560, utilizado no dispositivo, contém pinos Entrada/Saída (E/S) analógicas, ou seja, que tem um conversor de analógico para digital interno. Os conversores analógico digital transformam um sinal analógico, que é um sinal contínuo que varia entre 0V e 5V, para valores discretos, definidos no conversor, por exemplo, um conversor analógico digital de 10 bits, ao ler um valor analógico, irá transforma-lo num número binário entre 0 à 1023, como está exemplificado na tabela 1, que é o caso do conversor presente nos pinos E/S analógicos do *Arduino*. O *Arduino* também contém pinos E/S digitais, ou seja, que sua entrada ou saída é sensível ou pode assumir os valores de 5V ou 0V. Há também pinos E/S para aplicações mais específicas, como os pinos para comunicação I2C, no caso, pinos de Dados Serial (SDA) e de Clock Serial (SCL).

Tabela 1 – Tabela exemplo de um conversor analógico digital de 10 bits com a conversão de um sinal analógico, entre 0V e 5V, para um sinal digital entre 0 e 1023. Os valores da tensão de entrada estão aproximados

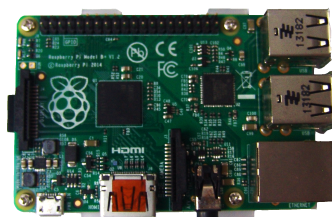
Intervalo de tensões de entrada analógicas contínuas	Valores digitais de saída
0V à 0,00487V	00000 00000
0,00488V à 0,00975V	00000 00001
0,00976V à 0,01463V	00000 00010
0,01464V à 0,01951	00000 00011
0,01952V à 0,02439	00000 00100
0,02440V à 0,02927	00000 00101
...	...
4,99223V à 5,00000	11111 11111

Arduino é ideal para prototipagem, dado sua fácil manipulação tanto do hardware tanto do software, que utiliza C++, baseado no *Wiring*, para o controle do mesmo. *Wiring* é um *framework* de programação de microcontroladores de código aberto, que qualquer um pode contribuir e usá-lo em seus projetos, o software para fazer os programas no *Arduino* se baseia nele.

2.2 Raspberry Pi

Raspberry Pi envolve todo um grande projeto para espalhar o uso dos computadores. Ele é um computador completo, em um tamanho reduzido, que pode ser usado de várias formas, inclusive como um computador embarcado. Ele pode ser observado na figura 4.

Figura 4 – Foto do *Raspberry Pi* Utilizado no Dispositivo.



Fonte: Produzido pelo autor

De acordo com o texto encontrado no site do *Raspberry Pi*:

Raspberry Pi é a terceira marca de computador mais vendida no mundo. O *Raspberry Pi* é um computador do tamanho de um cartão de crédito que se pluga na sua TV ou tela, e um teclado e *mouse*. Você pode usa-lo para aprender a codar e construir projetos eletrônicos, e para a maior parte que seu computador pessoal pode fazer, como planilhas, trabalhos com textos, pesquisar na internet e jogar. Ele também reproduz vídeos em alta definição. O *Raspberry Pi* é utilizado por adultos e crianças por todo o mundo para aprender a programar e fazer projetos digitais. [FAQs \(2019\)](#), tradução nossa.

O *Raspberry Pi* é ideal para protótipos com aplicações de alto nível (algo como aplicações com banco de dados, aplicações que utilizam protocolos de rede, programas com interfaces gráficas como as que temos no computador, caso ele esteja ligado a uma tela). Ele tem acesso a internet nativo via cabo, portas USB para conectar dispositivos para serem utilizados nas aplicações ou mesmo para um *mouse* e teclado. Por ter um poder de processamento maior, pode fazer cálculos mais complexos e até mesmo possível usar seus pinos E/S, parecidos com o *Arduino*. Ele utiliza sistema operacional Raspbian, baseado em Linux, que possibilita a disponibilidade maior de ferramentas de desenvolvimento de *software*.

2.3 Sensor de Temperatura MLX90614

O sensor MLX90614 funciona lendo, por infra vermelho, sem a necessidade de contato, a temperatura do objeto.

Ele utiliza comunicação I2C para transmitir, sem parar, os valores das duas temperaturas o tempo todo, com uma precisão padrão de 0,02°C utilizando esse protocolo. Sua tensão de funcionamento pode ser 5V ou 3,3V.

O sensor pode ser observado na figura 5, no qual nota-se os dois pinos de alimentação VIN, que é ligado no positivo da fonte de alimentação e GND, ligado no negativo da bateria ou no 0V. Também estão presentes os pinos de comunicação pelo barramento I2C, SCL e SDA.

Figura 5 – Foto de um MLX90614 com a placa, já pronto para ser ligado diretamente num *Arduino*, por exemplo.



Fonte: Site de venda ImagingSys ¹

2.4 Sensor Acelerômetro Giroscópio MPU6050

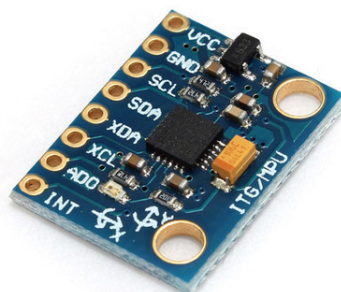
O sensor MPU6050 oferece muitos recursos, mas para o projeto serão utilizados um giroscópio de 3 eixos e um acelerômetro de 3 eixos, os dados são obtidos a partir de um conversor analógico digital de 16 bits para o giroscópio e um para o acelerômetro.

Ele utiliza comunicação I2C para transmitir, sem parar, os valores vindos dos conversores, com a precisão, para o giroscópio, de ± 250 , ± 500 , ± 1000 e $\pm 2000^\circ/\text{s}$ e para o acelerômetro, de ± 2 , ± 4 , ± 8 e $\pm 16\text{g}$ (gravidade). Para o dispositivo será utilizado a precisão de $\pm 250^\circ/\text{s}$ para o giroscópio e $\pm 2\text{g}$ para o acelerômetro. Sua tensão de funcionamento pode ser 5V ou 3.3V. Para controlar seu endereço, ele tem o pino AD0 para selecionar.

O sensor pode ser observado na figura 6, no qual nota-se os pinos de alimentação do sensor VCC e GND, onde serão ligados, respectivamente, o 5V e o 0V. Além deles, observa-se os pinos de comunicação que serão utilizados no dispositivo para liga-lo ao barramento I2C, sendo eles o SCL e SDA e o pino AD0 que controla que controla o endereço que o dispositivo assume no barramento I2C.

¹<https://www.imagingsys.com/hiletgo-mlx90614-to-39-ir-infrared-thermometer-non-contact/>

Figura 6 – Foto de um MPU6050 com a placa, já pronto para ser ligado diretamente num *Arduino*, por exemplo.



Fonte: Site FlípeFlop ²

2.5 Sensor de Campo Magnético KY003

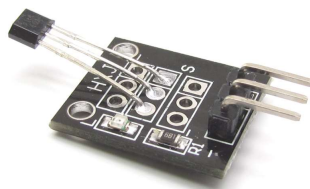
O sensor KY003 mede a presença ou não de um campo magnético próximo à ele utilizando o efeito hall. Quando próximo à um campo magnético, ele envia sinal, através de uma saída analógica que também pode ser lida como digital pela característica do sensor pois varia entre 0V até a tensão que o alimenta, que pode ser entre 4,5V e 5V.

Apesar de seu funcionamento simples, ele será utilizado para medir a velocidade da roda, sendo contado quantas vezes o sensor variou sua entrada em determinado intervalo de tempo, assim calculando a velocidade da roda de acordo com a frequência de acionamento do sensor.

O sensor pode ser observado na figura 7, os pinos são, da esquerda para a direita, GND, 5V e o sinal de saída. O sinal de saída, um valor de 5V, indica a presença do campo eletromagnético.

²<https://www.flipeflop.com/produto/acelerometro-e-giroscopio-3-eixos-6-dof-mpu-6050/>

Figura 7 – Foto de um KY003 com a placa, já pronto para ser ligado diretamente num *Arduino*, por exemplo.



Fonte: Site de Venda Tecnotronic ³

2.6 Potenciômetro

O potenciômetro é um resistor variável, que tem um acionador, dependendo de sua posição, modifica a resistência entre os seus terminais. Se percorrido por uma corrente elétrica, quando varia sua resistência, também varia a tensão sobre ele.

O potenciômetro pode ser observado na figura 8, no qual nota-se os pinos, no qual liga-se o terminal central no 5V e o outro, em qualquer um dos lados, na entrada do conversor A/D do *Arduino*.

Figura 8 – Foto de um potenciômetro com acionador por rotação.



Fonte: Site de Venda Bau da Eletrônica ⁴

Para o dispositivo, o potenciômetro será utilizado para medir o posicionamento da suspensão, pois deixando o potenciômetro preso ao chassi do carro e prendendo o acionador do potenciômetro na parte móvel da suspensão, pelo valor da tensão de saída é possível saber o posicionamento da suspensão. Utilizando uma das entradas analógicas do *Arduino* descritas

³<https://www.tecnotronics.com.br/sensor-hall-magnetico-ky003-arduino.html>

⁴<https://www.baudaeletronica.com.br/potenciometro-linear-de-10k-10000.html>

no tópico 2.1, com um conversor A/D, é possível saber a distância entre o chassis e o solo de acordo com a tensão de saída sobre o potenciômetro.

2.7 Protocolo I2C

De acordo com (SILVA; KASCHNY et al., 2012) o barramento I2C fisicamente é constituído de dois fios, sendo eles, um com o sinal de clock (SCL) e o outro que faz a comunicação serial bidirecional dos dados (SDA). No barramento, além dos fios serem ligados nos dispositivos, também são ligados no positivo da fonte de alimentação, utilizando resistores para tal. A fonte de alimentação para o barramento pode ser tanto 5V como 3.3V.

Os dispositivos do barramento são constituídos de um mestre e inúmeros escravos. O dispositivo mestre é quem começa a comunicação no barramento e ele, comumente, dita o clock do barramento.

Na comunicação de dados pela via de dados serial SDA, trafega informações de endereços, dados e comandos. Tais endereços pertencem aos dispositivos escravos e são utilizados pelo mestre para enviar e receber as informações sem que se confunda com quem ele está se comunicando.

Os endereços desses dispositivos tem certa flexibilidade, mas quem dita os endereços disponíveis e se haverá mais de um endereço disponível é o fabricante do sensor. No caso dos sensores utilizados nesse dispositivo que utilizam esse protocolo de comunicação, o MLX90614 e o MPU6050, cada um com um endereço diferente. O MLX90614, mais simples, só tem um endereço disponível para ser colocado no barramento, em notação hexadecimal, 5A, sendo definido pelo fabricante. O MPU6050, tem um pino de controle de endereço, o AD0, como mencionado na seção 2.4, com dois endereços possíveis, em hexadecimal, 68 e 69, o controle de qual endereço está sendo utilizado pelo sensor se dá pelo sinal no pino de controle, sendo o endereço 68 com AD0 em 0V e endereço 69 com AD0 em 5V/3.3V.

O dispositivo utiliza quatro dos sensores MLX90614 e três dos MPU6050, e como mencionado anteriormente, o MLX90614 tem a limitação de um endereço pré definido e o MPU6050 tem a limitação de dois endereços, assim, como será utilizado quatro MLX90614 e três MPU6050 ligados no barramento I2C no dispositivo, então foi utilizado um multiplexador para selecionar quais sensores de mesmo endereço estarão conectados ao barramento I2C.

2.8 Multiplexador CD4052

Como visto no datasheet (CORPORATION, 2002), o CI CD4052 faz parte da família dos multiplexadores CD4051, CD4052 e CD4053, no qual o CD4051 é um multiplexador único de 8 canais, ou seja, em uma saída, é possível variar entre 8 entradas diferentes, o CD4052 é um multiplexador duplo de 4 canais, ou seja, em 2 saída, em cada uma delas, é possível

escolher entre 4 entradas diferentes. Já o CD4053 é um multiplexador triplo com 2 canais, ou seja, através de 3 saídas, é possível escolher entre 2 entradas diferentes.

A seleção do canal de entrada que sairá se faz mudando os valores nos pinos seletores do multiplexador(indicados na figura 9 como *INPUT STATES*). Por exemplo, no multiplexador que será utilizado no dispositivo, há 2 canais de seleção, A e B, há 8 entradas, sendo separadas em duas, sendo X0 à X3 e Y0 à Y3.

Figura 9 – Figura com a tabela verdade retirada do Datasheet com a Tabela Verdade da família CD405X.

Truth Table

INPUT STATES				"ON" CHANNELS		
INHIBIT	C	B	A	CD4051B	CD4052B	CD4053B
0	0	0	0	0	0X, 0Y	cx, bx, ax
0	0	0	1	1	1X, 1Y	cx, bx, ay
0	0	1	0	2	2X, 2Y	cx, by, ax
0	0	1	1	3	3X, 3Y	cx, by, ay
0	1	0	0	4		cy, bx, ax
0	1	0	1	5		cy, bx, ay
0	1	1	0	6		cy, by, ax
0	1	1	1	7		cy, by, ay
1	*	*	*	NONE	NONE	NONE

*Don't Care condition.

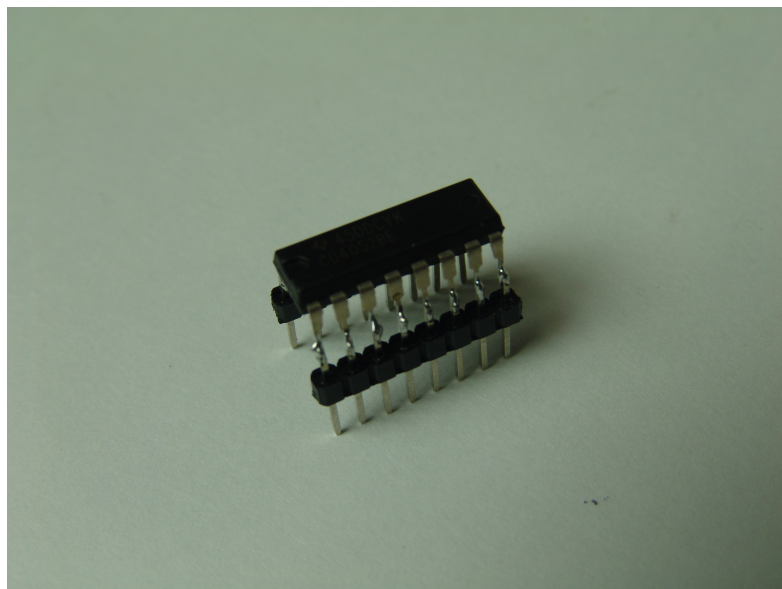
Fonte: Datasheet disponível online⁵

Como o problema em questão envolve ligar os sensores no barramento I2C, é necessário haver duas saídas, uma para o SDA e outra para o SCL. Outra necessidade do dispositivo é a quantidade de sensores por barramento e o sensor com maior limitação nessa questão é o MLX90614, que tem somente um endereço para ser ligado no barramento I2C, assim são necessárias pelo menos 4 entradas de dados no multiplexador. O sensor MPU6050, por ter a possibilidade de 2 endereços, necessita somente de duas entradas.

Logo, com as limitações acima citadas, o melhor CI a ser utilizado é o CD4052, como pode ser observado na figura 10, por ter exatamente 2 saídas e 4 duplas de entradas, como exemplificado pela tabela 2.

⁵<http://dalincom.ru/datasheet/CD4052.pdf>

Figura 10 – Foto do multiplexador CD4052 utilizado no dispositivo com terminais soldados para facilitar a ligação com os jumpers.



Fonte: Produzido pelo autor

Tabela 2 – Tabela Verdade Multiplexador CD4052 aplicado no Dispositivo.

Sinais nos Seletores	Saída X	Saída Y
A = 0, B = 0	SDA1	SCL1
A = 1, B = 0	SDA2	SCL2
A = 0, B = 1	SDA3	SCL3
A = 1, B = 1	SDA4	SCL4

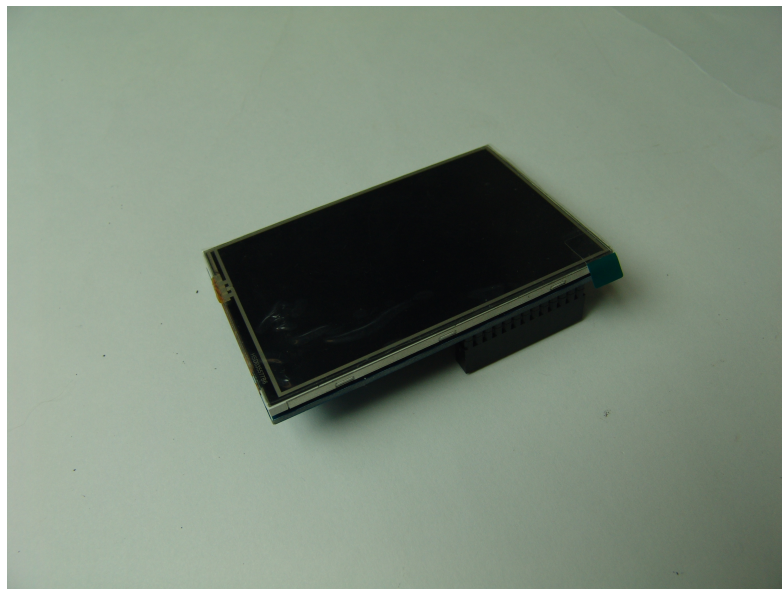
2.9 Tela 3,5" sensível ao toque

Para apresentar as informações coletadas dos sensores, será utilizada uma tela de 3,5 polegadas, que pode ser observada na figura 11, sensível ao toque, compatível com o *Raspberry Pi*. Muito simples de ser instalada e utilizada, por ter sido feita para o *Raspberry Pi* e por ser um dispositivo popular existem muitos tutoriais disponíveis online ⁶ que podem ser seguidos. A sua instalação se dá encaixando os terminais da tela nos pinos E/S do *Raspberry Pi* e pela troca de arquivos do sistema operacional por arquivos já prontos.

Ao utilizar a tela e trocar os arquivos, a saída de vídeo pelo HDMI do *Raspberry Pi* não acontece mais. Para reverter, basta baixar de novo os arquivos originais do sistema.

⁶Tutorial utilizado para a instalação da tela presente no vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=0084bZfQG3k&t=1020s>

Figura 11 – Tela 3,5" sensível ao toque que será utilizada no *Raspberry Pi*



Fonte: Produzido pelo autor

2.10 Thread

De acordo com (SAUVÉ, 2004) a *thread* é um recurso computacional para que um programa possa executar mais de uma tarefa ao mesmo tempo. Esse tipo de recurso é interessante quando tratamos de aplicações mais modernas, que contém uma interface com o usuário e que precisa executar uma tarefa enquanto a interface continua responsiva e que pode executar outras tarefas ao mesmo tempo.

Como visto, o dispositivo envolve a leitura de sensores em tempo real, sua apresentação e a gravação dos mesmos num arquivo para posterior análise. Então, para isso, o conceito de *thread* é utilizado para fazer essas atividades ao mesmo tempo num mesmo programa.

2.11 Conversão de Dados de Sensores

Como visto anteriormente nas Seções 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6 esses sensores capturam informações do mundo real e os transferem para o mundo digital, mas ao ler as informações mandadas pelo mesmo, será percebido que o valor lido não é o valor já na sua unidade entendível, por exemplo no caso do potenciômetro, explicado na Seção 2.6, não é lido o valor analógico da tensão sobre o potenciômetro, mas sim um valor inteiro entre 0 e 1023. Isso se deve pois esses sensores trabalham convertendo o valor analógico num valor digital, utilizando um conversor A/D, que depende da precisão desse sensor e também da sensibilidade ou faixa escolhida, como no caso de sensores mais complexos como o acelerômetro e giroscópio explicado na Seção 2.4.

Por isso, para que o usuário que está utilizando o equipamento entenda os valores mostrados, é necessário uma conversão prévia desses valores de cada um dos sensores envolvidos no dispositivo pois cada um tem suas características próprias para a conversão.

3 Metodologia

3.1 Ferramentas Envolvidas

Nesse capítulo será abordado as ferramentas utilizadas para fazer a parte funcional utilizando dispositivos e conceitos anteriormente citados no capítulo 2 para o funcionamento do dispositivo.

3.2 Visual Studio 2015

C# é uma linguagem de programação orientada a objeto multi paradigma, derivada do C++, com elementos que lembram Java, desenvolvida pela Microsoft.

A IDE *Visual Studio 2015*, é uma ferramenta da Microsoft para programação que utiliza a linguagem C# como principal para escrever os programas. É utilizada para fazer uma interface com o usuário (GUI) e juntamente programa-la e fazer sua parte funcional.

O *Visual Studio 2015* foi utilizado pois, oferece ferramentas muito poderosas como controle de *thread*, comunicação serial e o controle da interface, com a presença de componentes visuais padrões versáteis e de fácil uso.

A IDE tem a opção de programar em C# e o dispositivo ser compilado para ambientes .NET, necessário para poder executar no *Raspberry Pi* descrito na Seção 2.2 utilizando a ferramenta da Seção 3.3.

3.3 Mono

O Mono é uma plataforma de desenvolvimento que roda programas baseados em .NET em ambientes que utilizam um sistema operacional baseado em Unix, que é o caso do *Raspberry Pi*, descrito na Seção 2.2, que utiliza o Raspbian, sistema operacional baseado no sistema operacional Linux, que foi baseado em Unix.

Para o dispositivo, seu uso é bem simples, é necessário apenas instala-lo no Raspbian via terminal e utiliza-lo para rodar o executável da janela feita no *Visual Studio*.

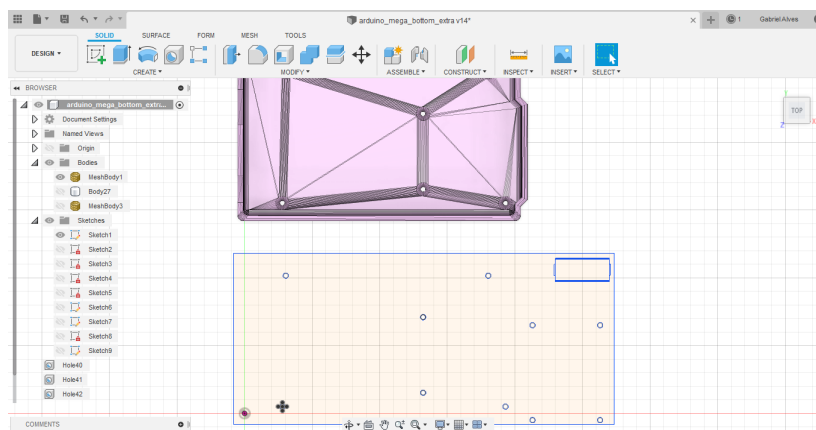
3.4 Fusion 360

O programa *Fusion 360*, pertencente aos softwares da AutoDesk, é um programa que permite modelar em 3D, fazer simulações e gerar um arquivo para ser impresso por uma

impressora 3D posteriormente. Não somente isso, mas sua interface simples, permite que alguém sem tanto conhecimento consiga fazer seu desenho para ser transformado num objeto 3D, como pode ser notado o desenho inicial antes de ser transformado no objeto 3D desenvolvido, na parte de baixo da figura 12.

Para o dispositivo, foi desenvolvido um suporte para colocar o *Arduino*, já dentro de uma caixa¹, juntamente com o CI do multiplexador e lugar para a placa MCP2515 que será utilizada posteriormente no dispositivo. Esse suporte também está pronto para ser usado como a base de uma caixa maior que irá envolver a caixa do *Arduino*, a qual as outras faces serão desenvolvidas para encaixar e proteger os componentes e ligações.

Figura 12 – AutoDesk Fusion 360, software utilizado para desenvolver a placa do suporte para o *Arduino*, MCP2515 e CD4052.



Fonte: Produzido pelo autor

3.5 Impressão 3D

Após a criação do objeto no *Fusion 360* e o arquivo exportado, é possível imprimi-lo utilizando impressoras 3D que apesar de não ser financeiramente muito acessível, existem empresas que é possível levar o arquivo e eles irão imprimi-lo. Será pago o valor do material utilizado, calculado pelo peso do produto impresso, tempo de máquina ligada e uma margem de lucro.

O processo de impressão 3D consiste no depósito de plástico, através de uma "cabeça" que se mexe em dois eixos, deposita o plástico derretido em pequena quantidade e em camadas, primeiramente numa placa de aderência e conforme a placa desce, deslocando o terceiro eixo, o depósito de plástico se faz sobre a camada já impressa. O tamanho da camada e a precisão da cabeça ao depositar o plástico são configurados no arquivo de impressão.

¹Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:1145811>

4 Características do Dispositivo

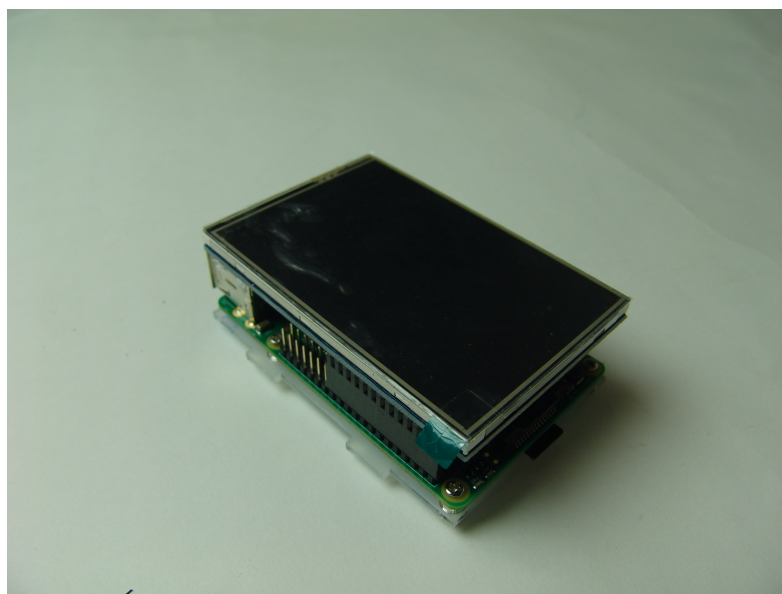
O dispositivo desenvolvido para funcionar em parceria com a FEB Racing, lê os sensores do carro, armazena os dados coletados e os mostra na tela sensível ao toque.

4.1 Hardware do Dispositivo

Os sensores presentes no carro são quatro sensores de temperatura por infra vermelho MLX90614 para os discos de freio, três acelerômetros giroscópios MPU6050, quatro sensores detectores de campo magnético por efeito hall KY003 para cálculo de velocidade das rodas e quatro potenciômetros para detectar o curso da suspensão.

A leitura dos sensores é feita por um *Arduino* Mega 2560 e para armazenar as informações e apresentá-las na tela sensível ao toque um *Raspberry Pi* B+ de 512MB de RAM, como pode ser observado na figura 13 somente com a tela e na figura 14 já com sua caixa também. A comunicação entre o *Arduino* e o *Raspberry Pi* é feita via USB, como pode-se observa-los conectados na figura 17.

Figura 13 – *Raspberry Pi* somente com a tela sensível ao toque.



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 14 – *Raspberry Pi* com a tela sensível ao toque, dentro da capa.

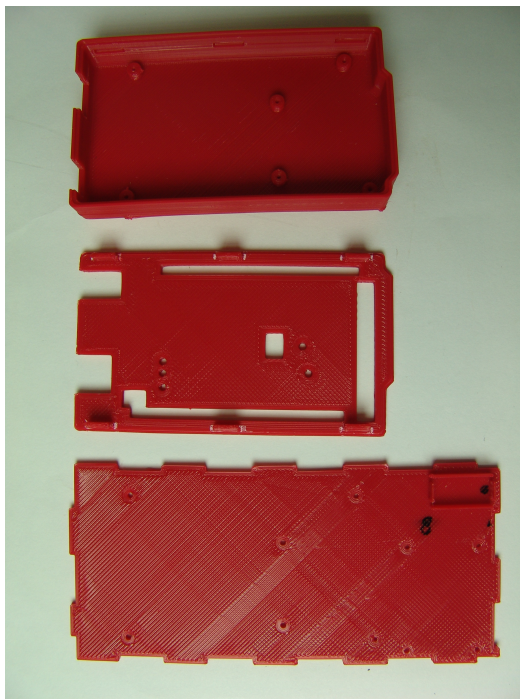


Fonte: Produzido pelo autor

Para que os quatro sensores MLX90614, que tem o mesmo endereço, pudessem ser conectados ao barramento I2C, é usado o multiplexador CD4052, que contém duas saídas para serem utilizados como SDA e SCL, que podem ser controladas pelos pinos E/S digitais do *Arduino*.

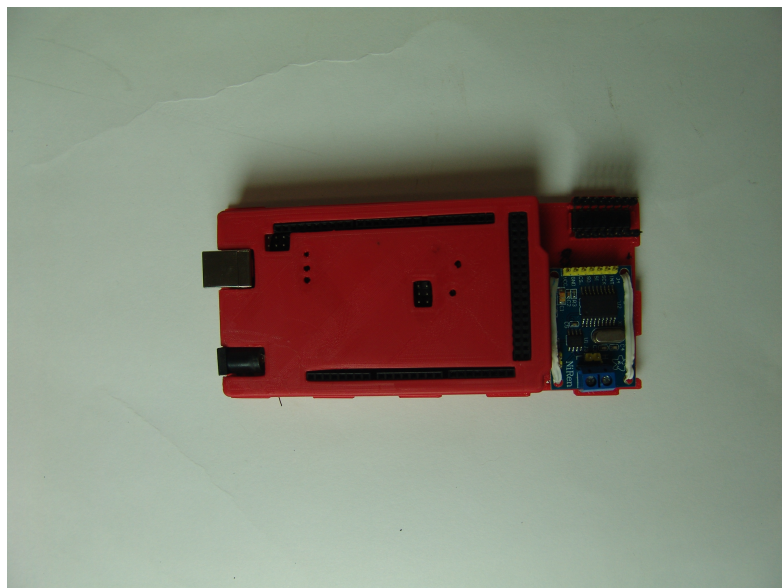
O dispositivo conta com uma base desenvolvida exclusivamente para o dispositivo, como pode ser visto na figura 15, para fixar o *Arduino* dentro de sua caixa em que ele vai, juntamente com uma tampa que tem furações para a ligação dos pinos do mesmo, além de buracos para visualizar os LEDs da placa do *Arduino*. Nela também é fixado o multiplexador e o MCP2515, como pode ser observado na figura 16.

Figura 15 – Todas as peças da base e capa impressas em 3D.



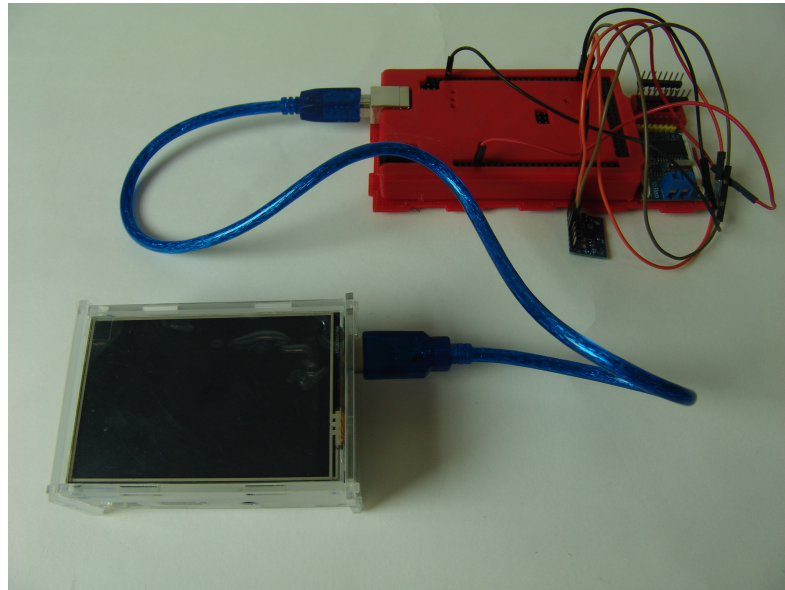
Fonte: Produzido pelo autor

Figura 16 – *Arduino* montado na capa e base, juntamente com a placa do MCP2515 e o multiplexador CD4052.



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 17 – Conjunto *Arduino*, com o acelerômetro giroscópio MPU 6050 ligado a ele, e *Raspberry Pi* ligado ao *Arduino* pelo cabo USB.



Fonte: Produzido pelo autor

4.2 Software do Dispositivo

Para o desenvolvimento do software do dispositivo utilizando o hardware foi considerado o Algoritmo [1](#):

Algoritmo 1 – ALGORITMO GERAL DO FUNCIONAMENTO DESEJADO DO DISPOSITIVO

ENTRADA: Dados vindos dos Sensores D

1. **Enquanto** carro ligado gerando dados dos sensores, **faça**
2. **Seja** Dados dos sensores D ;
3. **Seja** Arduino A recebendo D ;
4. A lê D dos potenciômetros;
5. A **verifica** o estado do sensor de velocidade de D e calcula a velocidade de acordo com a contagem
6. **Para cada** grupo de entradas do multiplexador M_i , **faça**
7. **Se** M_i é M_1 , **então**
8. Lê D do primeiro e segundo acelerômetro e giroscópio e o primeiro sensor de temperatura;
9. **Se** M_i é M_2 , **então**
10. Lê D do terceiro acelerômetro e giroscópio e o segundo sensor de temperatura;
11. **Se** M_i é M_3 , **então**
12. Lê D do terceiro sensor de temperatura;
13. **Se** M_i é M_4 , **então**
14. Lê D do quarto sensor de temperatura;
- 15.
16. **Seja** Raspberry Pi R ligado via serial por USB com A executa o software com a GUI;
17. R em sua GUI **mostra** D recebidos via USB, separados por telas com dados de D diferentes;
18. R em sua GUI tem a opção de **gravar** os dados D num arquivo de log;
- 19.

Para a comunicação serial entre o *Raspberry Pi* e o *Arduino*, é utilizado *thread* no *Raspberry Pi* para fazer a comunicação serial enquanto a janela é atualizada e espera por comandos do usuário como começar a gravar, parar armazenar os dados ou selecionar uma guia no GUI com informações diferentes que estão vindo do *Arduino*.

A GUI está dividida em alguns componentes, a maior parte da tela é composta pelas guias de informações, com uma barra com botões na parte de baixo da tela para os comandos. As guias são divididas em uma guia com os valores do acelerômetro, uma com os valores dos giroscópios, uma com os valores dos sensores de temperatura dos discos de freio, uma com os valores da velocidade das rodas e uma com a posição da suspensão. Também foi adicionada uma guia com um lista de portas seriais para seleção em que o *Arduino* se encontra conectado e alguns campos de texto para verificação se a comunicação está ocorrendo de forma correta. Os botões na parte inferior são: um para iniciar a comunicação serial, um para começar a gravar e outro para parar de gravar.

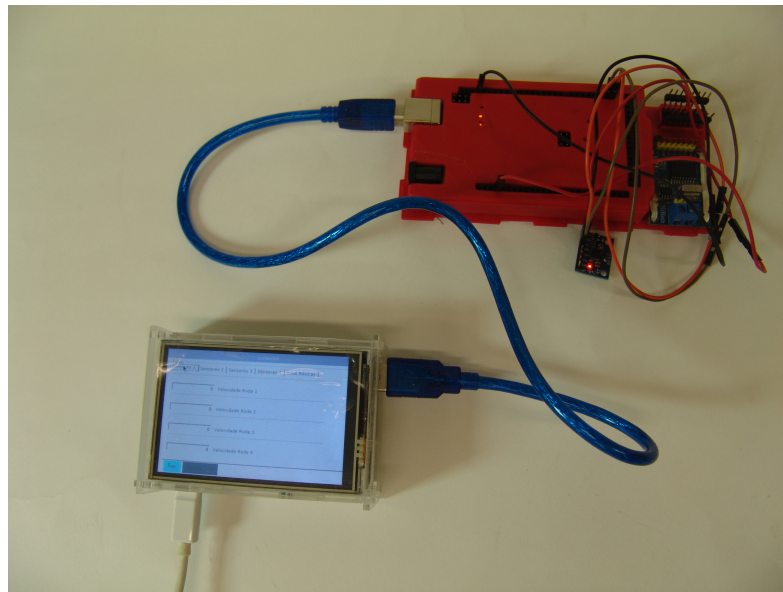
A figura 20 mostra a GUI desenvolvida executada no *Raspberry Pi*.

Já no *Arduino*, os valores são todos lidos e passados pela serial no formato de inteiros.

5 Resultados

O dispositivo montado em sua versão final para a apresentação deste trabalho está como segue na figura 18.

Figura 18 – Dispositivo montado, com *Arduino* e *Raspberry Pi* ligados, juntamente com o acelerômetro giroscópio MPU6050 utilizado para testes.

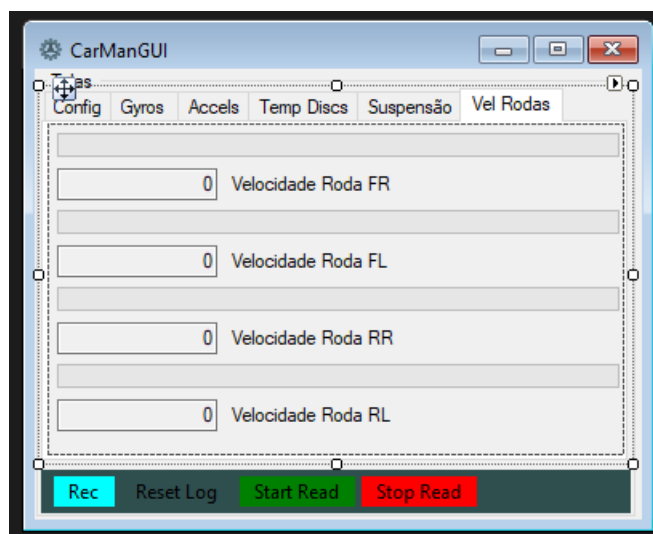


Fonte: Produzido pelo autor

A tela sensível ao toque funciona bem e acompanha uma caneta, que será mantida em algum lugar próximo ao dispositivo, para uma manipulação mais precisa.

Durante o desenvolvimento, foi possível desenvolver o programa do *Raspberry Pi* diretamente no computador com o *Arduino* conecta à ele. Com isso, foi percebido que a interface com o usuário que aparece na simulação do *Visual Studio* não tem exatamente a mesma aparência no *Raspberry Pi*, mas isso se deve ao fato do programa rodar no Raspbian, lá os componentes padrões tem sua aparência levemente diferente dos componentes padrões nativos do Windows do computador. Pode-se observar essa diferença entre a figura 19 e a figura 20, mas essas diferenças não influenciam e não mudam a experiência do usuário com a interface.

Figura 19 – GUI do dispositivo vista no Windows.



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 20 – GUI do dispositivo vista no Raspbian.



Fonte: Produzido pelo autor

O código do programa que roda no *Raspberry Pi* contém todo o funcionamento mais alto nível, lendo da serial os valores, os convertendo, gravando e mostrando na tela de acordo com a guia selecionada.

5.1 Endereços Virtuais para Contribuição com o Dispositivo

Caso haja o interesse, o dispositivo é aberto para quem quiser contribuir ou quiser acompanhar seu desenvolvimento:

<https://github.com/gabrielsouza95/CarManGUI>

Há também o link para a contribuição da base do dispositivo que foi desenvolvido no trabalho. Ela utilizou como base a capa do *Arduino* e está disponível no repositório do Github.

Link com a caixa original utilizada de referência para a base:

<https://www.thingiverse.com/thing:1145811>

6 Conclusão

O dispositivo funciona assim que o carro é ligado. Após sua inicialização, deve-se selecionar a porta serial que está conectado o *Arduino*, assim o dispositivo começa a receber as informações pelo USB. A partir desse ponto, seleciona-se a tela com as informações desejadas e pode-se começar a armazenar os dados lidos.

O dispositivo será usado para a coleta de dados e a verificação em tempo real do que está acontecendo, de acordo com as informações fornecidas pelos sensores. Utilizando a função de armazenar as informações, é possível fazer um estudo posterior do comportamento do carro em pista, como melhorá-lo e se os cálculos feitos batem com o que acontece com o carro.

6.1 Futuro do Dispositivo

O dispositivo mostrado está apenas no início de seu desenvolvimento, os planos para futura implementação no mesmo são:

- Testar o dispositivo no carro da FEB Racing;
- A leitura das informações advindas da ECU, feita através da placa MCP2515 que converse o sinal CAN, que é o protocolo mais comumente utilizado para comunicação entre os módulos dos veículos;
- Finalizar a caixa para a proteção dos componentes, que foi feita somente a base que prende a capa, a placa MCP2515 e o CI CD4052;
- Utilizar o barramento I2C do *Raspberry Pi* para a leitura dos sensores que utilizam o protocolo, para focar o uso do *Arduino* para a leitura da CAN;
- A aquisição de um *Raspberry Pi* 4 para uma maior possibilidade de desenvolvimento para fazer a interface, até mesmo utilizando aplicações web para uma melhor portabilidade;
- Implementar a comunicação sem fio no dispositivo, para o envio de dados para uma base remota, para então trabalhar com telemetria propriamente dita;
- Desenvolver uma interface utilizando componentes customizados, ao invés dos componentes padrões do sistema, para uma melhor experiência do usuário.

Referências

BEREISA, J. Applications of microcomputers in automotive electronics. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, n. 2, p. 87–96, 1983.

CORPORATION, F. S. *CD4051BC • CD4052BC • CD4053BC Single 8-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer • Dual 4-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer • Triple 2-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer*. 2002. Disponível em: <<<http://dalincom.ru/datasheet/CD4052.pdf>>>. Acesso em 27 de Outubro de 2019.

FAQS. 2019. Disponível em: <<<https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/#introduction>>>. Acesso em 27 de Outubro de 2019.

INC., A. M. *3141 THRU 3144 SENSITIVE HALL-EFFECT SWITCHES FOR HIGH-TEMP. OPERATION*. 1999. Disponível em: <<https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_Sensor_Hall.pdf>>. Acesso em 27 de Outubro de 2019.

INC., I. *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4*. 2013. Disponível em: <<<https://datasheet.octopart.com/MPU-6050-InvenSense-datasheet-21631037.pdf>>>. Acesso em 27 de Outubro de 2019.

INTRODUCTION. 2019. Disponível em: <<<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>>. Acesso em 27 de Outubro de 2019.

KERAS Documentation. 2018. Disponível em: <<<https://keras.io/>>>. Acesso em 22 de Outubro de 2018.

PRASAD, K. V.; BROY, M.; KRUEGER, I. Scanning advances in aerospace & automobile software technology. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 98, n. 4, p. 510–514, 2010.

SAUVÉ, P. J. *O que é um thread?* 2004. Disponível em: <<<http://www.dsc.ufcg.edu.br/~jacques/cursos/map/html/threads/threads1.html>>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.

SEO, S.-H.; LEE, S.-w.; HWANG, S.-H.; JEON, J. W. Development of network gateway between can and flexray protocols for ecu embedded systems. In: IEEE. *2006 SICE-ICASE International Joint Conference*. [S.l.], 2006. p. 2256–2261.

SILVA, I. S. Lima e; KASCHNY, J. R. de A. et al. Aplicações do protocolo i2c em sistemas microcontrolados. In: *VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação*. [S.l.: s.n.], 2012.

SQUILLO. *Arduino Mega 2560 Snug Case*. 2015. Disponível em: <<<https://www.thingiverse.com/thing:1145811>>>. Acesso em 06 de Outubro de 2019.

SYSTEMS, M. M. E. I. *MLX90614 family*. 2006. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614_rev001.pdf>>. Acesso em 27 de Outubro de 2019.

WALDO, J. Embedded computing and formula one racing. *IEEE Pervasive Computing*, IEEE, v. 4, n. 3, p. 18–21, 2005.