

Clarisse Pétua Bosman Barros

Desenvolvimento da instrumentação e comunicação para um veículo autoguiado

Campina Grande - Paraíba

Maio de 2016

Clarisse Pétua Bosman Barros

Desenvolvimento da instrumentação e comunicação para um veículo autoguiado

Relatório de Estágio submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia Elétrica e Informática

Orientador: Péricles Rezende Barros

Campina Grande - Paraíba

Maio de 2016

Clarisse Pétua Bosman Barros

Desenvolvimento da instrumentação e comunicação para um veículo autoguiado

Relatório de Estágio submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora. Campina Grande - Paraíba, 10 de junho de 2016:

Péricles Rezende Barros
Orientador

Professor
George Acioli Junior

Campina Grande - Paraíba
Maio de 2016

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados aos meus pais, Péricles e Heliante, bem como aos meus irmãos, Fabrícia e Pedro, por todo o incentivo e apoio, seja profissional ou emocional, que sempre me deram. Não existem palavras que descrevam minha gratidão à vocês.

Agradeço ao meu querido namorado, Ítalo Dominique, por ter estado comigo nesta reta final do curso, sempre dando suporte e carinho. À você, minha gratidão e meu amor.

Agradeço aos mestres desta jornada, em especial: Péricles Barros, por ter estado comigo por tanto tempo e ter aceitado de imediato realizar este trabalho; George Acioli, por ter aceitado compor a banca de avaliação deste trabalho. Agradeço também a todos os outros professores, por toda a paciência que tiveram para passar, não apenas os conhecimentos dos livros, mas também suas experiências profissionais e de vida.

Agradeço também ao coordenador do curso, Damásio Fernandes, e aos funcionários do departamento, Adail Ferreira e Tchaikowsky Oliveira, que auxiliaram imensamente em todas as questões burocráticas da faculdade.

Agradeço ao técnico Simões Soares por ter me ajudado em atividades práticas.

Por fim, agradeço imensamente aos meus queridos amigos, por todos os momentos de conquistas, bem como pelos de derrotas, que, juntos, superamos. Sem vocês este curso não teria graça.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.”
(Einstein)

Resumo

Este relatório apresenta os resultados das atividades executadas no estágio supervisionado realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC). A principal atividade desenvolvida foi a construção de um veículo autoguiado, para que o mesmo seja utilizado pelo laboratório para projetos futuros. Consiste na apresentação dos estudos de veículos de condução automática em geral, incluindo modelos de diferentes fabricante, dos princípios físicos e técnicos de cada sensor e atuador utilizado, dos sistemas implementados e dos testes realizados com cada sistema. Foram implementados os sistemas de ativação de motores, leitura de encoders, identificação de faixa, identificação de obstáculos e comunicação sem fio.

Palavras-chave: AGV. Veículo autoguiado.

Abstract

This report presents the results of the activities performed in a supervised internship held in Electronics and Instrumentation Laboratory Control (LIEC). The major activity was the development and construction of a self-guided vehicle, so that it can be used by the laboratory for future projects. It consists of the presentation of the automatic driving vehicle studies in general, including models of different manufacturer, the physical and technical principles of each sensor and actuator used, the implemented systems and the tests performed on each system. The engine activation's system, encoders' read system, track identification's system, obstacle identification's system and wireless communication system were implemented.

Keywords: AGV. Self-guided vehicle.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Foto da frente do LIEC	16
Figura 2 – INDEVA® TUGGER AGV	19
Figura 3 – AGV - Light	19
Figura 4 – FlexTruck Vehicles	20
Figura 5 – Single Conveyor	21
Figura 6 – AGV Standard	21
Figura 7 – Desenho dos elementos do sensor TCRT5000(L)	22
Figura 8 – Encoder óptico	24
Figura 9 – Encoder óptico	27
Figura 10 – Arquitetura simplificada do AGV	31
Figura 11 – Foto do AGV	32
Figura 12 – Arduino MEGA 2560	32
Figura 13 – Foto da Estrutura da Base do Carro	34
Figura 14 – Driver Dual VNH2SP30 para Motor com Suporte MD03A	35
Figura 15 – Motor 34:1 Metal 25Dx52L mm HP 6V com Encoder 48 CPR	35
Figura 16 – Roda Dagu Wild Thumper (12060mm chrome) com Motor Pololu 25D mm metal	36
Figura 17 – Visualização Aproximada do Encoder - Motor 25D mm Metal com Encoder 48 CPR	37
Figura 18 – Buffer Dual de Encoder de Quadratura LS7366R	37
Figura 19 – Foto da estrutura do Sistema de Identificação de Linha	39
Figura 20 – Foto do sensor TCRT5000	40
Figura 21 – Circuito de cada TCRT5000	40
Figura 22 – Sensor HC-SR04	41
Figura 23 – Ilustração da disposição dos sensores Sensor HC-SR04 no veículo	42
Figura 24 – SparkFun WiFly GSX Breakout	43
Figura 25 – Placa para a conexão Arduino - WiFly GSX Breakout	44
Figura 26 – Circuito para a conexão Arduino - WiFly GSX Breakout	45
Figura 27 – Janela principal do software de comunicação com o AGV	46
Figura 28 – Gráfico das leituras dos sensores e dos valores de posicionamento real da faixa	47
Figura 29 – Gráfico das leituras dos sensores e dos valores de posicionamento real do obstáculo	48
Figura 30 – Gráfico das leituras dos sensores e dos valores de posicionamento real do obstáculo	48
Figura 31 – Gráfico do Experimento 01	51

Figura 32 – Gráfico do Experimento 02	51
Figura 33 – Gráfico do Experimento 03	52
Figura 34 – Gráfico do Experimento 04	52
Figura 35 – Gráfico do Experimento 05	53
Figura 36 – Gráfico do Experimento 06	53
Figura 37 – Circuito com conexões ao Arduino A	57
Figura 38 – Circuito com conexões ao Arduino B	58
Figura 39 – Circuito do sistema de acionamento dos motores	59
Figura 40 – Circuito do sistema de leitura de encoders	60
Figura 41 – Circuito do sistema de comunicação Wifi	61
Figura 42 – Circuito do sistema de comunicação serial entre Arduinos	62
Figura 43 – Circuito do sistema de Identificação de linha	63
Figura 44 – Circuito do sistema de Identificação de obstáculos	64

Lista de tabelas

Tabela 1 – Pinos do arduino utilizados para cada motor	35
Tabela 2 – Comportamento dos motores de acordo com a saída dos pinos digitais .	36
Tabela 3 – Encoder - Cores dos fio e funções	38

Lista de abreviaturas e siglas

AGV	Automated Guided Vehicle (veículo autoguiado)
LIEC	Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle
LED	Light Emitting Diode (diodo emissor de luz)
SPI	Serial Peripheral Interface (interface serial periférica)
I2C	Inter-Integrated Circuit (circuito inter-integrado)
MISO	Master In Slave Out (entrada de mestre e saída de escravo)
MOSI	Master Out Slave In (saída de mestre e entrada de escravo)
SCK	Serial Clock (relógio serial)
SS	Slave Select (Seleciona escravo)
CC	Corrente Contínua
DC	Direct Current (corrente contínua)
PWM	Pulse Width Modulation (modulação de largura de pulso)
GND	Ground (terra)

Lista de símbolos

Ω Ohm - unidade de resistência, equivalente a (Volt/Ampère)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Motivação do Estágio	15
1.2	Objetivos do Estágio	15
1.3	O Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle(LIEC)	16
1.4	Estrutura do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Veículos Guiados Automaticamente	18
2.2	Instrumentação Eletrônica	21
2.3	Comunicação Serial	25
2.4	Comunicação Sem Fio	27
3	ATIVIDADES REALIZADAS	30
3.1	Arquitetura Geral do AGV	31
3.2	Sistema de Acionamento dos Motores	33
3.2.1	Componentes e Circuitos Utilizados	33
3.2.2	Conexões do Sistema	34
3.2.3	Funcionamento do Sistema	34
3.2.4	Biblioteca Motor	36
3.3	Sistema de Leitura dos Encoders dos Motores	36
3.3.1	Componentes e Circuitos Utilizados	36
3.3.2	Conexões do Sistema	37
3.3.3	Funcionamento do Sistema	38
3.3.4	Biblioteca Encoder	38
3.4	Sistema de Identificação de Linha	38
3.4.1	Componentes e Circuitos Utilizados	39
3.4.2	Conexões do Sistema	39
3.4.3	Funcionamento do Sistema	40
3.4.4	Biblioteca IdentificadorFaixa	41
3.5	Sistema de Identificação de Obstáculos	41
3.5.1	Componentes e Circuitos Utilizados	41
3.5.2	Conexões do Sistema	42
3.5.3	Funcionamento do Sistema	42
3.5.4	Biblioteca SensorHCSR04	42
3.6	Sistema de Comunicação Wifi	43
3.6.1	Componentes e Circuitos Utilizados	43

3.6.2	Conexões do Sistema	44
3.6.3	Funcionamento do Sistema	44
3.7	Estação de trabalho: Computador	44
4	RESULTADOS	47
4.1	Teste do Sistema de Identificação de Linha	47
4.2	Teste do Sistema de Detecção de Obstáculos	47
4.3	Testes dos Sistemas de Acionamento dos Motores, de Leitura dos Encoders e da Comunicação Wifi	49
5	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICES	56
	APÊNDICE A – CIRCUITOS DO PROJETO	57

1 Introdução

O estágio supervisionado, cujas atividades são descritas neste relatório, teve duração de 180 horas e foi realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), durante o período de 18 de janeiro de 2016 até 27 de maio de 2016, sob a supervisão do professor e engenheiro eletricitista Péricles Rezende de Barros.

O estágio supervisionado tem como objetivo o cumprimento das exigências da disciplina Estágio Curricular, integrante da grade curricular do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Essa disciplina é indispensável para a formação profissional, visto que consolida os conhecimentos adquiridos durante o curso de forma prática.

Nesse estágio foram realizadas atividades referentes ao projeto, construção, instrumentação e implementação da comunicação de um veículo autoguiado.

1.1 Motivação do Estágio

Para libertar-se do trabalho de origem muscular, animal e das tarefas pesadas, rotineiras, perigosas, repetitivas e pouco precisas, o ser humano procura desenvolver estratégias, mecanismos e máquinas. Através da automação, tem-se conseguido, simultaneamente com esta libertação, maiores velocidades na execução das tarefas, menores tempo de parada, menor número de acidentes e produtos com cada vez mais qualidade.

Para o transporte das matérias primas e produtos em ambientes industriais, sem a necessidade da intervenção humana, foram criados os veículos autoguiados, também conhecidos como AGVs (Automated Guided Vehicles).

É esperado que o mercado de AGVs atinja USD 2.81 bilhões até 2022, com uma taxa composta de crescimento anual de 10.2% entre 2016 e 2022. Avanços na automação, melhoras na segurança no local de trabalho, redução dos custos operacionais e melhoras no desempenho geral da produção são os principais motivos do crescimento deste mercado. (PRNewswire - Londres, 18 de Abril de 2016)

Assim, a concepção de um veículo autoguiado é de interesse para o laboratório, sendo o aprendizado e participação neste projeto a maior motivação para o estagiário.

1.2 Objetivos do Estágio

O estágio supervisionado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC) teve por objetivo principal a construção de um “Veículo Guiado Automaticamente”

(do inglês, “Automated Guided Vehicles – AGV”), para que o mesmo seja utilizado pelo laboratório para projetos futuros.

Os objetivos específicos do estágio foram a construção do veículo autoguiado, o desenvolvimento e implementação de seus sistemas de comunicação e a sua instrumentação.

1.3 O Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle(LIEC)

O Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), localizado no Setor C da Universidade Federal de Campina Grande, é um laboratório do Departamento de Engenharia Elétrica cujos integrantes trabalham nas áreas de Controle, Automação e Eletrônica.

Figura 1 – Foto da frente do LIEC



Fonte: Autor

Com uma área de aproximadamente $600 m^2$, possui oito Laboratórios de desenvolvimento, duas salas de apoio técnico, uma moderna sala de apresentação de trabalhos, salas para a pós-graduação e professores. As principais áreas de pesquisa e desenvolvimento dos laboratórios são: Aplicações Wireless, Controle e Otimização, Instrumentação Eletrônica, Redes Industriais, RFID e UltraSom.

1.4 Estrutura do Trabalho

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica utilizada para a realização das atividades. Posteriormente, no capítulo 3, são apresentadas as atividades realizadas

durante o estágio e, no capítulo 4, faz-se a exposição dos resultados obtidos. Para finalizar, o capítulo 5 apresenta as conclusões e considerações finais.

2 Fundamentação Teórica

Para a construção do veículo autoguiado, inicialmente foi feita uma pesquisa sobre exemplares presentes no mercado e, em seguida, um estudo sobre as tecnologias relacionadas aos dispositivos utilizados no mesmo.

2.1 Veículos Guiados Automaticamente

Veículos guiados automaticamente, veículos de condução automática, veículos autoguiados ou simplesmente AGVs (do inglês, Automated Guided Vehicles), são as denominações utilizadas na literatura para a caracterização de veículos que trafegam de forma autônoma e com trajetórias pré-definidas.

Em geral, os AGVs têm a função de transporte de carga, sendo suas aplicações típicas o transporte de matérias primas, produtos em processamento e produtos terminados, em linhas de produção de manufatura, bem como o armazenamento/recuperação de pacotes em aplicações de armazenagem e distribuição. As principais indústrias que utilizam veículos autoguiados são a automotiva e a alimentícia.

A forma autônoma mencionada diz respeito à ausência de operador humano para a condução. A movimentação destes veículos é controlada por meio de softwares e sistemas de direcionamento baseados em sensores.

As trajetórias a serem seguidas são conhecidas, podendo ser demarcadas por meio de diferentes técnicas, a depender dos tipos de sensores presentes no robô. As técnicas de demarcação mais comuns são as feitas com cabos que transmitem sinais de radio, faixas guias (magnéticas ou coloridas) ou alvos detectáveis por lasers, tendo os sensores a função de detectar a posição relativa do AGV, para que este seja direcionado de modo a seguir estas demarcações.

Os principais benefícios na utilização de veículos guiados automaticamente estão na redução dos custos com mão de obra, maior flexibilidade no manuseamento e transporte dos materiais, melhor organização da programação do processo, melhor utilização do espaço disponível, maior segurança dos sistemas, aumento da produção e controle de inventários mais eficaz (KIM; TANCHOCO, 1999).

A seguir são apresentados exemplares de AGVs de diferentes fabricantes.

Modelo: INDEVA® TUGGER AGV

Fabricante: INDEVA®

Tipo de tração: Diferencial

Demarcação da trajetória: Faixas guias magnéticas

Site do fabricante: <http://www.indevagroup.com/products/tugger-and-tunnel-agvs/>

Outras características: Existem variados acessórios, feitos pelo fabricante, que podem ser acoplados aos AGVs, de modo a adicionar funcionalidades aos mesmos.

Figura 2 – INDEVA® TUGGER AGV



Fonte: <http://www.indevagroup.com/products/tugger-and-tunnel-agvs/>

Modelo: Light

Fabricante: Electronic solutions

Tipo de tração: Ackerman

Demarcação da trajetória: Faixas guia coloridas

Site do fabricante: <http://electronics-solution.vn/Xe-tu-hanh-GRN-AGV-G1-p10.html>

Outras características: Apresenta sensores que identificam obstáculos, parando se os mesmos estiverem em seu caminho.

Figura 3 – AGV - Light



Fonte: <http://electronics-solution.vn/Xe-tu-hanh-GRN-AGV-G1-p10.html>

Modelo: FlexTruck Vehicles

Fabricante: DEMATIC

Tipo de tração: Diferencial

Demarcação da trajetória: Alvos detectáveis por laser

Site do fabricante: <https://www.dematic.com/en-us/supply-chain-solutions/by-technology/transport-systems/agvs/>

Figura 4 – FlexTruck Vehicles



Fonte: <https://www.dematic.com/en-us/supply-chain-solutions/by-technology/transport-systems/agvs/>

Modelo: Single Conveyor

Fabricante: Transbotics

Tipo de tração: Diferencial

Demarcação da trajetória: Alvos detectáveis por laser

Site do fabricante: <https://www.transbotics.com/products/automatic-guided-vehicles/automated-conveyor-vehicles>

Modelo: AGV Standard

Fabricante: Swisslog

Tipo de tração: Ackerman

Demarcação da trajetória: Alvos detectáveis por laser

Site do fabricante: <http://www.swisslog.com/en/Products/WDS/Automated-Guided-Vehicles/AGV-Standard>

Outras características: Apresenta pára-choques com lasers que identificam obstáculos, parando se os mesmos estiverem em seu caminho. Comunicação feita ??? authentic server - WLAN

Figura 5 – Single Conveyor



Fonte: <https://www.transbotics.com/products/automatic-guided-vehicles/automated-conveyor-vehicles>

Figura 6 – AGV Standard



Fonte: <http://www.swisslog.com/en/Products/WDS/Automated-Guided-Vehicles/AGV-Standard>

2.2 Instrumentação Eletrônica

Os princípios físicos relacionados aos sensores e atuadores utilizados no projeto do AGV são apresentados nesta seção.

Sensor de distância

Sensores ultrassônicos foram utilizados no projeto para a medição de distâncias. Seu princípio de funcionamento é o seguinte: um pequeno sinal acústico, com duração de cerca de 0.2 ms e frequência ultrassônica de 40 KHz , é emitido e o tempo entre a

transmissão e o retorno do eco para o sensor é medido (BRÄUNL, 2006, p.23).

O tempo de "voo" medido é proporcional a duas vezes a distância do obstáculo mais próximo no cone de percepção do sensor, ou seja, a distancia é calculada dividindo-se o tempo decorrido por 2, e multiplicando pela velocidade do som (em torno de 340 m/s). Se nenhum sinal é recebido em um certo limite de tempo, nenhum obstáculo é detectado na distância correspondente.

Apesar de baixo custo e fácil utilização, existem dois fenômenos principais que ocasionam erros nas leituras: reflexão e interferência. Na reflexão, por exemplo, a leitura de distância pode ser maior que a correta se o sinal acústico emitido for refletido por mais de um obstáculo antes de retornar ao sensor.

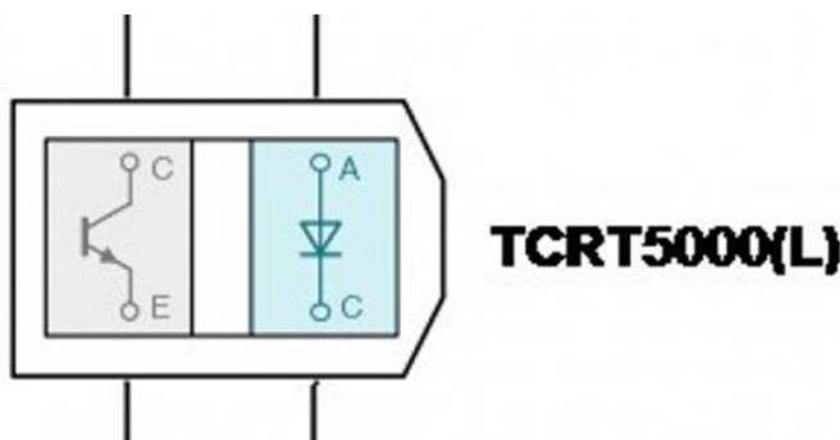
A interferência pode ocorrer, por exemplo, quando vários sonares operam ao mesmo tempo. Se um dos sensores detectar o sinal acústico emitido por outro, tem-se uma leitura de distância de obstáculo menor do que a correta.

Os sensores ultrassônicos utilizados foram do tipo HCSR04, capazes de medir distâncias de 2cm a 4m com excelente precisão. Tomando-se cuidado com os fenômenos relatados, este tipo de sensor apresenta leituras satisfatórias.

Sensor TCRT5000(L)

Os sensores TCRT5000(L) são estruturas compactas que reúnem uma fonte emissora de infravermelho e um fototransistor detector de infravermelho, como mostrado na Figura 7. Os componentes do TCRT5000(L) estão alinhados de tal forma que o sinal emitido, se refletido pela superfície à frente do mesmo, é captado pelo fototransistor.

Figura 7 – Desenho dos elementos do sensor TCRT5000(L)



Fonte: <http://www.futureelectronics.com/en/technologies/semiconductors/optoelectronics/optical-sensors-switches/Pages/9988056-TCRT5000.aspx?IM=0>

Um fototransistor é um transistor bipolar, encapado em uma capa transparente, que

permite que luz possa atingir a base coletora da junção. Este dispositivo funciona baseado no fenômeno da fotocondutividade e de maneira similar a um fotodiodo, apresentando uma sensibilidade muito maior à luz, pois os elétrons gerados pelos fótons na junção base-coletora são aplicados na base do transistor, de modo que sua corrente é amplificada pela operação do transistor.

O fototransistor possui dois terminais, correspondendo ao coletor e emissor do transistor. A base é ativada pela luz: quando uma quantidade suficiente de luz é captada, o transistor conduz, permitindo a passagem de corrente do coletor para o emissor. Sem a luz, o transistor não conduz, ficando o coletor e emissor isolados.

A fonte emissora de infravermelho é um diodo emissor de luz infravermelha, ou seja, um LED (do inglês, Light Emitting Diode). O LED é um diodo semiconductor (junção P-N) que, quando energizado, emite luz.

O fenômeno da emissão de luz acontece devido a liberação da energia, possuída pelos elétrons, que ocorre na recombinação de lacunas e elétrons em uma junção P-N polarizada diretamente, feita na forma de fótons. O comprimento da onda e a cor da luz emitida dependem do material utilizado no diodo.

Encoder

Os encoders são equipamentos eletromecânicos utilizados para conversão de movimentos rotativos ou deslocamentos lineares em impulsos elétricos de onda quadrada. São principalmente utilizados como sensores de realimentação para o controle de motores ou para a localização de um veículo por meio da técnica de odometria.

Existem variadas técnicas para a construção destes dispositivos, sendo, contudo, apresentada neste documento apenas a presente em encoders ópticos.

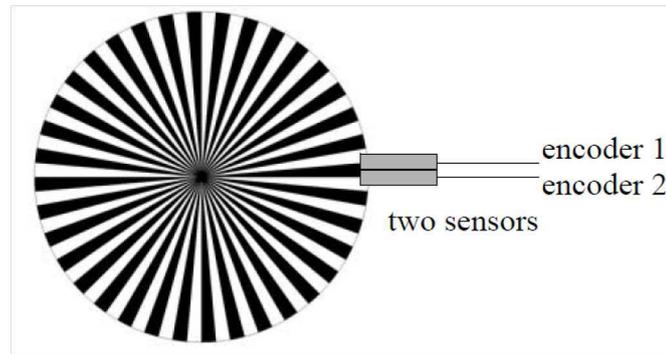
Encoders ópticos utilizam um disco marcado com segmentos pretos e brancos, alternados, como mostrado na [Figura 8](#), juntamente com um LED e um fotodiodo. O fotodiodo detecta a luz refletida durante a passagem de um segmento branco, mas não durante a de um segmento preto, fazendo com que o sensor receba um número de pulsos igual à quantidade de pares de segmentos preto/branco do disco para cada revolução do motor ([BRÄUNL, 2006](#), p.20-22).

Para se ter uma melhor resolução das leituras, normalmente os encoders são construídos diretamente no eixo do motor.

Um único sensor óptico pode apenas fazer a contagem do número de segmentos que passam, não sendo capaz de distinguir se o movimento do motor é no sentido horário ou anti-horário.

Como a distinção da direção de rotação é importante para aplicações como robôs móveis e veículos, que têm a capacidade de mover em ambos os sentidos, encoders

Figura 8 – Encoder óptico



Fonte: [Bräunl \(2006, p.21\)](#)

geralmente são equipados com dois sensores ópticos, posicionados com um pequeno deslocamento de fase entre eles. Com este arranjo é possível determinar a direção de rotação do motor, posto que é salvo qual dos dois sensores recebe primeiro o pulso para um novo segmento. Na [Figura 8](#), se o encoder1 recebe o sinal primeiro, então o movimento ocorre no sentido horário; se o encoder2 recebe o sinal primeiro, o movimento ocorre no sentido anti-horário.

Motor CC

Os motores de corrente contínua (CC) ou motores DC (Direct Current), como também são chamados, são os mais utilizados em métodos para a locomoção de robôs móveis e AGVs.

Além de serem motores limpos e silenciosos, são mais fáceis de serem controlados do que atuadores pneumáticos e, em geral, produzem torque suficiente para uma variedade de aplicações.

No mercado existe uma variedade de combinações de motores e caixas de engrenagem disponíveis, requerendo a escolha da combinação correta uma análise de requisitos de potência, apresentada em [Bräunl \(2006, p.41-48\)](#).

O funcionamento dos motores CC baseia-se no princípio do eletromagnetismo clássico que afirma que um condutor percorrido por corrente elétrica e submetido à presença de um campo magnético fica submetido a uma força eletromagnética.

De forma resumida, para motores CC de dois polos, o enrolamento de campo (estator) é dividido em duas partes, ligadas em série, que produzem um fluxo magnético constante. A armadura (rotor) é formada por várias espiras enroladas em um núcleo ferromagnético, cujos terminais são conectados nos dois segmentos do comutador.

O comutador é um dispositivo mecânico no qual estão conectados os terminais das

espiras da armadura. Consistem em um tubo de cobre axialmente segmentado e seu papel é inverter sistematicamente o sentido da corrente contínua que circula na armadura.

A corrente que circula pelas espiras da armadura, fornecida por uma fonte de corrente contínua por meio de duas escovas de grafite (que se conectam ao comutador), estabelece forças eletromagnéticas na parte lateral destas espiras, criando um torque eletromecânico e fazendo com que a armadura gire.

Mais informações sobre o funcionamento deste tipo de motor e sua modelagem matemática estão disponíveis em [Fitzgerald, Kingsley e Umans \(2006, p.342-381\)](#)

A alimentação no motor de corrente contínua é, muitas vezes, feita utilizando-se uma ponte H. Ponte H é um circuito de eletrônica de potência do tipo chopper de classe E, ou seja, que opera nos quatro quadrantes, de modo a poder converter o sinal de uma fonte de corrente contínua de sentido fixo e tensão com polaridade fixa em um sinal com corrente de sentido variável e tensão com polaridade variável. Assim, pode-se determinar o sentido da corrente, a polaridade da tensão e a tensão aplicados aos terminais do motor.

O controle do funcionamento do motor de corrente contínua pode se dar pelo chaveamento de componentes eletrônicos, para a escolha do sentido da corrente que chega aos motores, e utilizando do método de PWM, para a escolha da tensão que chega aos mesmos. Com isso, faz-se o controle do sentido e velocidade dos motores.

2.3 Comunicação Serial

Para a troca de dados entre circuitos, os mesmos devem possuir um protocolo de comunicação em comum, que pode ser classificado nas seguintes categorias: serial ou paralela.

Na comunicação paralela, ocorre a transferência de múltiplos bits ao mesmo tempo, sendo esta uma transmissão de dados mais custosa e complexa e que requer mais de um canal de comunicação, apresentando a vantagem de ter maior velocidade de transmissão. Neste documento não será apresentada esta categoria.

Na comunicação serial, os dados são transferidos bit-a-bit, um de cada vez, sequencialmente, num canal de comunicação ou barramento. É o tipo de transmissão de dados mais simples, utilizando apenas um canal de comunicação, que apresenta menores velocidades de transmissão. A comunicação serial pode ser síncrona ou assíncrona.

Pois bem, a interface síncrona, como o nome indica, sempre sincroniza os dados a serem transmitidos com um sinal de clock. Este deve ser comum aos dispositivos que se comunicam e, para isto, é necessário pelo menos um fio extra entre os mesmos, para a sincronização. Em geral, para este tipo de interface, a velocidade de comunicação é maior.

Exemplos de protocolos de comunicação serial síncrona são o SPI (do inglês,

Serial Peripheral Interface) e o I2C (do inglês, Inter-Integrated Circuit), sendo o primeiro detalhado neste documento.

A comunicação serial síncrona SPI (Serial Peripheral Interface) é utilizada para a comunicação entre dispositivos com pequenas distâncias. Neste tipo de protocolo, existe sempre um dispositivo mestre, que controla outros dispositivos periféricos (chamados escravos). Normalmente existem três fios comuns a todos os dispositivos presentes na rede:

- MISO (do inglês, Master In Slave Out) - canal de envio de dados do escravo para o mestre;
- MOSI (do inglês, Master Out Slave In) - canal de envio de dados do mestre para os escravos;
- SCK (do inglês, Serial Clock) - Pulsos de clock, gerados pelo mestre, para a sincronização da transmissão de dados.

Além destas, existem as específicas para cada escravo: SS (do inglês, Slave Select). Estas são responsáveis pela escolha dos escravos que recebem os dados, permitindo com que múltiplos dispositivos compartilhem as mesmas linhas MISO, MOSI, e CLK. Se o pino SS do escravo estiver em nível lógico 0, o mesmo comunica-se com o mestre; se estiver em nível lógico 1, o mesmo ignora as mensagens enviadas pelo mestre.

Por sua vez, a interface assíncrona apresenta uma menor necessidade de fios e pinos de entrada e saída; por outro lado, necessita de um "esforço" extra para transferir e receber dados de forma confiável. Para este tipo de interface, ambos os dispositivos que se comunicam devem ter, além de mesmo protocolo de comunicação, as mesmas configurações.

O esforço extra mencionado diz respeito a utilização de regras e mecanismos para ajudar a garantir a transferência de dados livre de erros. Estas regras e mecanismos estão relacionados à taxa de transmissão de dados entre os dispositivos e à partição e encapsulamento dos dados a serem enviados.

A taxa de transmissão dos dispositivos é mais conhecida como Baud Rate, do inglês, e normalmente é dada em bits por segundo (bps). Todos os dispositivos que se comunicam devem apresentar a mesma taxa.

Na partição e encapsulamento, tem-se que os dados a serem transmitidos são particionados, em tamanhos fixos, formando blocos de dados, de modo que cada bloco é encapsulado juntamente com bits de sincronização e de verificação de erro, formando os pacotes que são enviados.

Os bits de sincronização consistem em dois ou três bits especiais, que são transferidos juntamente com os blocos de dados. Eles são os bits de início (do inglês, start bit) e de parada (do inglês, stop bit). Como o nome dos mesmos indicam, estes bits são as

marcações de início e de fim de um pacote, o primeiro sempre apresentando apenas um bit e o segundo, um ou dois. Em geral, enquanto não há comunicação entre os dispositivos, o canal permanece em nível lógico 1, tendo o bit de início nível lógico 0. O(s) bit(s) de parada farão a transição de volta para o estado de repouso, mantendo o canal em 1.

Para a verificação de erro, que é opcional, existem variados métodos, sendo a utilização de bits de paridade o mais comum. A paridade é uma forma simples e de baixo nível para a verificação de erro. Pode ser do tipo par ou ímpar, e é tal que a soma de todos os bits enviados e do valor que encontra-se no bit de paridade tem valor par ou ímpar, dependendo do tipo. Assim, se na transmissão ocorrer a troca de uma quantidade ímpar de bits, o erro é detectado.

A estrutura geral de pacotes de dados da comunicação serial assíncrona é apresentado na Figura 9. O site <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication> apresenta, de forma detalhada, as funcionalidades e características gerais de cada tipo de bit.

Figura 9 – Encoder óptico



Fonte: Autor

A configuração da comunicação serial assíncrona utilizada no projeto foi: 9600 8N1 (baud rate de 9600 bps, blocos de dados de 8 bits, sem paridade e com apenas 1 bit de parada).

2.4 Comunicação Sem Fio

A comunicação sem fio, também conhecida por wireless (do inglês, sem fio), é qualquer tipo de conexão com a transmissão de informações sem o uso de fios ou cabos. Podem ser feitas, por exemplo, via ondas de rádio, satélite ou infravermelho.

Tecnologias como o Wifi, InfraRed, Bluetooth e Wimax, fazem a comunicação sem fio seguindo protocolos específicos. Posto que o veículo autoguiado construído no estágio supervisionado apresenta a tecnologia Wifi, para a comunicação com uma estação de trabalho, apenas esta será apresentada.

A tecnologia Wifi transmite dados entre dispositivos por meio de ondas de rádio, seguindo algum dos protocolos IEEE 802.11, sendo os mais utilizados os IEEE 802.11b,

802.11a e 802.11g. Cada padrão apresenta vantagens e desvantagens, tendo como principais critérios para a escolha o alcance, a estrutura do local e os custos (implantação e manutenção) (POZZEBON, 2016).

IEEE 802.11a

Frequência de operação: 5 GHz

Velocidade máxima: 54 Mbps

Alcance: 30 metros

Observação: Por operar numa frequência de 5GHz, frequência menos utilizada, oferece grande confiabilidade.

IEEE 802.11b

Frequência de operação: 2.4 GHz

Velocidade máxima: 11 Mbps

Alcance: 100 metros (ambientes fechados)

Observação: é o tipo de rede wireless mais popular. Por sua frequência de operação ser de 2.4 Ghz, podem aparecer problemas de interferência com sinais de telefones sem fio ou fornos de microondas.

IEEE 802.11g

Frequência de operação: 2.4 GHz

Velocidade máxima: 54 Mbps

Alcance: 100 metros (ambientes fechados)

Observação: É compatível com o padrão IEEE 802.11b.

Existe também o padrão IEEE 802.11n, que está se popularizando, tendo sido aprovado oficialmente apenas em 2009. Apresenta taxas de transferências disponíveis de 65 Mbps a 300 Mbps e faixa de frequência de 2,4 GHz e/ou 5 GHz. Por ser recente e alguns produtos terem sido lançados no mercado apenas com base em um rascunho (draft) deste padrão, há a possibilidade de estes equipamentos IEEE 802.11n que chegaram ao mercado antes do lançamento do padrão oficial serem incompatíveis com a sua versão final.

O dispositivo utilizado no projeto, módulo RN 131C Wifly GSX, apresenta os protocolos de comunicação 802.11b e 802.11g.

Neste capítulo são apresentados as características básicas presentes em veículos de condução automática, alguns modelos de AGVs de diferentes fabricantes, e os princípios físicos e técnicos relacionados aos sensores, atuadores e tipos de comunicação presentes no veículo autoguiado construído ao longo do estágio supervisionado.

Os sensores de distância são utilizados para a identificação de obstáculos. Por sua vez, os sensores TCRT5000(L) são utilizados para a identificação do posicionamento da faixa guia colorida. Tem-se que os encoders são utilizados para o controle das velocidades exercidas por cada motor e os motores de corrente contínua são responsáveis pela movimentação do veículo.

A comunicação serial assíncrona é aplicada na transferência de dados entre os Arduinos MEGA presentes no veículo, a comunicação SPI é utilizada para a obtenção dos dados dos encoders que ficam armazenados em um módulo apropriado e a comunicação sem fio faz a transferência de dados entre o AGV e uma estação de trabalho (computador).

3 Atividades Realizadas

A principal atividade designada ao estagiário foi o projeto e a construção de um veículo autoguiado. Para a isto, inicialmente foi feita uma análise dos AGVs existentes no mercado.

Em seguida, levando em consideração que o veículo a ser construído tem a finalidade de simular a funcionalidade em ambiente industrial, observou-se que os mínimos requisitos necessários são um mecanismo de locomoção e outro para a definição da trajetória a ser seguida.

Ademais, é interessante a comunicação remota com o veículo para a obtenção de dados sobre o funcionamento do mesmo, bem como a presença de sensores de identificação de obstáculos, com o intuito de evitar colisões.

Para o controle das velocidades exercidas por cada motor, foi adicionado o sistema de leitura de encoders. Outra funcionalidade que pode ser exercida por este sistema é a localização do AGV.

Sendo assim, os seguintes sistemas foram construídos para a realização de cada uma das funcionalidades descritas:

- locomoção: sistema de acionamento e controle dos motores;
- definição de trajetória: sistema de identificação de linha;
- comunicação: sistema de comunicação Wifi;
- localização e controle de velocidade: sistema de leitura de encoders;
- segurança: sistema de identificação de obstáculos.

O sistema de identificação de linha faz a localização de faixas guias coloridas, sendo esta a técnica utilizada para a demarcação da trajetória.

Para cada sistema, o seguinte passo a passo foi executado:

- estudo das tecnologias existentes;
- escolha dos dispositivos a serem utilizados;
- projeto da arquitetura e das conexões entre dispositivos;
- construção e montagem;

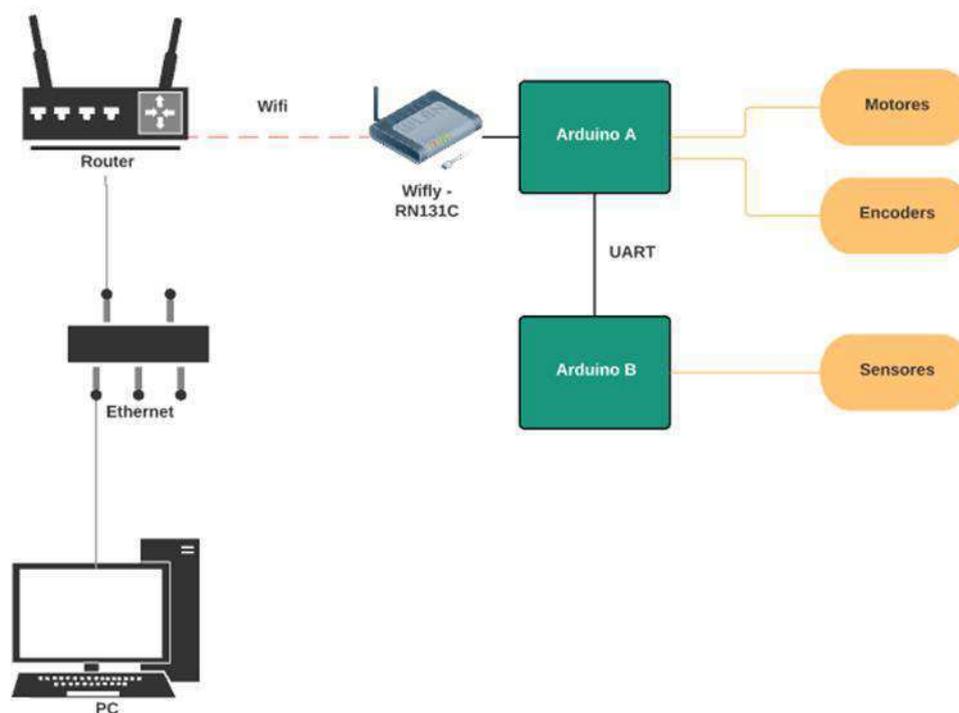
- estudo das linguagens de programação necessárias;
- elaboração e concepção dos programas e bibliotecas;
- testes.

Abaixo são apresentadas, de forma resumida, as estruturas finais dos sistemas concebidos ao longo do estágio. Todos foram testados e funcionaram.

3.1 Arquitetura Geral do AGV

A arquitetura geral do sistema está apresentado na [Figura 10](#). As conexões gerais dos circuitos e dos Arduinos é apresentada no [Apêndice A](#), bem como as conexões de cada sistema em separado.

Figura 10 – Arquitetura simplificada do AGV



Fonte: Autor

A [Figura 11](#) é uma foto do AGV construído. O sistema de alimentação de todos os sistemas e componentes foi feito por outro estagiário e não é apresentado neste relatório.

Para este projeto, foram utilizados dois microcontroladores do tipo Arduino MEGA 2560 ([Figura 12](#)), que efetuam todas as operações de controle do AGV. Estes tipo de microcontrolador foi escolhido por satisfazer aos requisitos de processamento necessários

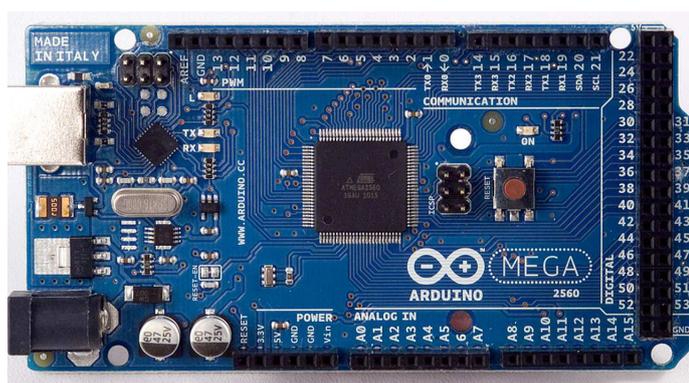
Figura 11 – Foto do AGV



Fonte: Autor

para a aplicação e por apresentar uma grande quantidade de pinos de entrada e saída, tanto digitais quanto analógicos, bem como quatro portas de comunicação serial.

Figura 12 – Arduino MEGA 2560



Fonte: Autor

Lista completa de materiais:

- 2 motores 34:1 Metal 25Dx52L mm HP 6V
- 2 motores 34:1 Metal 25Dx52L mm HP 6V com Encoder 48 CPR de quadratura
- 2 drivers Dual VNH2SP30 para Motor com Suporte MD03A

- 4 Rodas Dagu Wild Thumper (120x60 mm - cromo)
- 2 Encoders 48 CPR de quadratura (acoplados a dois dos motores do Sistema de Acionamento de Motores)
- 1 Buffer Dual de Encoder de Quadratura LS7366R
- 12 sensores TCRT5000(L)
- 12 resistores de 150 Ω
- 12 resistores de 10k Ω
- 1 led
- 1 botão
- 6 sensores HC-SR04
- Módulo SparkFun WiFly GSX Breakout
- Placa de conexão Arduino - WiFly GSX Breakout
- Fios condutores
- Ferro de solda

Na especificação de cada sistema implementado é mostrado onde e com que funcionalidade cada componente e material foi utilizado.

3.2 Sistema de Acionamento dos Motores

O sistema de acionamento dos motores consiste em um conjunto de motores dispostos na estrutura da base do carro, como mostrado na [Figura 13](#), com a função de fazer a locomoção do robô.

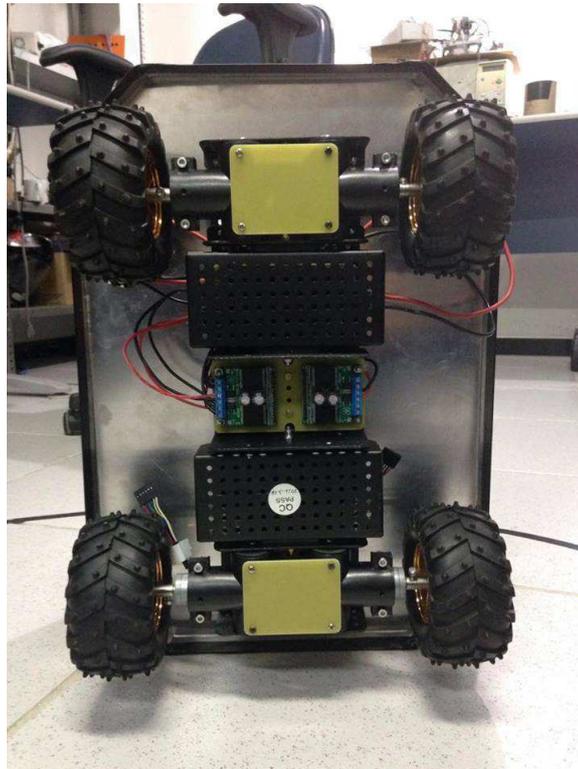
Para este sistema, foram utilizados quatro motores, dos quais dois contém encoders, e circuitos para a alimentação e o acionamento dos mesmos.

3.2.1 Componentes e Circuitos Utilizados

Para a construção do sistema de acionamento dos motores, foram utilizados os seguintes componentes:

- 2 motores 34:1 Metal 25Dx52L mm HP 6V
- 2 motores 34:1 Metal 25Dx52L mm HP 6V com Encoder 48 CPR de quadratura

Figura 13 – Foto da Estrutura da Base do Carro



Fonte: Autor

- 2 drivers Dual VNH2SP30 para Motor com Suporte MD03A
- 4 Rodas Dagu Wild Thumper (12060mm chrome)

Os motores são do tipo DC de baixa potência, combinados com uma caixa de câmbio de metal de 34:1. A estrutura cilíndrica, também de metal, tem um diâmetro de 25mm. Operando-se em 6V e livremente, tem-se uma velocidade de 170 rpm e uma corrente de 250mA.

3.2.2 Conexões do Sistema

As conexões feitas entre os motores, os drivers e o arduino estão mostrados na [Figura 39](#) (Apêndice A) e na [Tabela 1](#).

3.2.3 Funcionamento do Sistema

Para cada motor, são necessários 3 pinos para o seu controle. Um dos pinos, que deve ter capacidade de emissão de sinais PWM, faz o controle da tensão aplicada no motor e, conseqüentemente, da velocidade de rotação do mesmo. Os outros dois pinos, digitais, indicam a direção de rotação do motor - [Tabela 2](#).

Figura 14 – Driver Dual VN2SP30 para Motor com Suporte MD03A



Fonte: <https://www.pololu.com/product/708>

Figura 15 – Motor 34:1 Metal 25Dx52L mm HP 6V com Encoder 48 CPR



Fonte: <https://www.pololu.com/product/2273>

Tabela 1 – Pinos do arduino utilizados para cada motor

Motor	Pinos Digitais	Pino PWM
1	40 e 41	45
2	43 e 42	44
3	22 e 23	11
4	24 e 25	12

Fonte: Produzido pelos autores.

Entre o arduino e os motores, existe o shield Driver Dual VN2SP30 para Motor com Suporte MD03A, que nada mais é do que dois circuitos ponte H, um para cada motor, em uma única placa.

Figura 16 – Roda Dagu Wild Thumper (12060mm chrome) com Motor Pololu 25D mm metal



Fonte: <https://www.pololu.com/product/2273>

Tabela 2 – Comportamento dos motores de acordo com a saída dos pinos digitais

Pino Digital 1	Pino Digital 2	Comportamento
Baixo	Baixo	Parado
Baixo	Alto	Sentido horário
Alto	Baixo	Sentido anti-horário
Alto	Alto	Parado

Fonte: Produzido pelos autores.

3.2.4 Biblioteca Motor

Para o controle dos quatro motores presentes no AGV, foi criada uma biblioteca para o ambiente de programação Arduino. A biblioteca é denominada Motor, composta por dois arquivos, Motor.cpp e Motor.h, e permite o controle da velocidade de cada motor de forma simplificada.

3.3 Sistema de Leitura dos Encoders dos Motores

O sistema de leitura dos encoders dos motores consiste em um sistema para a aquisição da quantidade de pulsos dados pelos encoders acoplados a dois dos motores do veículo. Para este sistema, foram utilizados os dois encoders (cada um presente em um motor) e um circuito para armazenamento da quantidade de pulsos dados.

3.3.1 Componentes e Circuitos Utilizados

Para a construção do sistema de leitura dos encoders dos motores, foram utilizados os seguintes componentes:

- 2 Encoders 48 CPR de quadratura (acoplados a dois dos motores do Sistema de Acionamento de Motores)
- 1 Buffer Dual de Encoder de Quadratura LS7366R

Figura 17 – Visualização Aproximada do Encoder - Motor 25D mm Metal com Encoder 48 CPR



Fonte: <https://www.pololu.com/product/2284>

Figura 18 – Buffer Dual de Encoder de Quadratura LS7366R



Fonte: <http://www.superdroidrobots.com/shop/item.aspx/dual-ls7366r-quadrature-encoder-buffer/1523/>

O encoder promove aproximadamente 1632 pulsos por revolução e necessita de uma tensão de entrada, V_{cc} , entre 3.5V e 20V, com uma corrente máxima de 10mA. As saídas A e B são ondas quadradas de 0V a V_{cc} e com uma diferença de fase de aproximadamente 90 graus. A frequência das transições das saídas indicam a velocidade do motor e a ordem da transição (saída A em relação a saída B) indica a direção.

A descrição da funcionalidade ds fios saem do encoder estão descritos na [Tabela 3](#).

3.3.2 Conexões do Sistema

As conexões feitas entre os encoders, o buffer e o arduino estão mostrados na [Figura 40](#) (Apêndice A).

Tabela 3 – Encoder - Cores dos fio e funções

Cor	Função
Vermelho	Alimentação do motor (descrita no Sistema de Acionamento dos Motores)
Preto	Alimentação do motor (descrita no Sistema de Acionamento dos Motores)
Verde	Terra(GND) do Encoder
Azul	Vcc do Encoder (3.5-20V)
Amarelo	Saída A do Encoder
Branco	Saída B do Encoder

Fonte: Produzido pelos autores.

3.3.3 Funcionamento do Sistema

Ao rotacionar o pneu, o shield Buffer Dual de Encoder de Quadratura LS7366R recebe pulsos enviados pelo encoder, e os "traduz" de modo a fazer com que se some pulsos em uma direção e se subtraia pulsos da quantidade total se o pneu rotacionar na outra direção, armazenando assim a quantidade líquida de pulsos ocorridos em sua memória. Este shield apresenta a capacidade de ler dois encoder e armazenar os valores das quantidades líquidas de contagem de pulsos em memórias separadas.

O arduino, por meio de comunicação SPI com o shield Buffer Dual de Encoder de Quadratura LS7366R, pode solicitar a quantidade de pulsos ocorridos armazenados para cada encoder e pode zerar as contagens.

3.3.4 Biblioteca Encoder

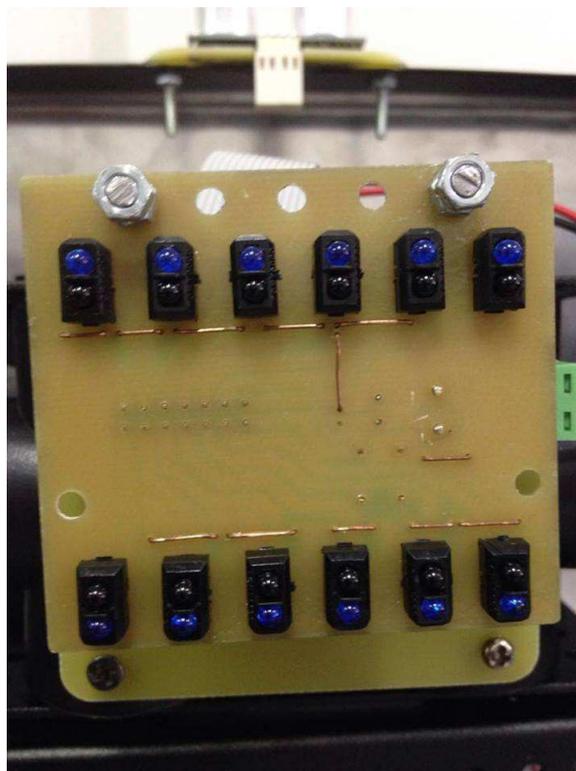
Para o recebimento da informação das quantidades de pulsos dados por cada encoder e para se zerar as contagens, foi criada uma biblioteca para o ambiente de programação Arduino. A biblioteca é denominada Encoder, composta por dois arquivos, Encoder.cpp e Encoder.h. Esta biblioteca contém funções que simplificam a utilização do sistema de leitura de encoders.

3.4 Sistema de Identificação de Linha

O sistema de identificação de linha consiste em um conjunto de sensores TCRT5000, dispostos um ao lado do outro, com o intuito de detectar a presença de uma faixa de cor escura e localizá-la em sua região de análise. Como foram dispostas duas faixas de sensores, o sistema não apenas identifica a posição da faixa, mas também o ângulo que a mesma faz com a estrutura.

Para este sistema, foram utilizados doze sensores TCRT5000, dispostos em duas fileiras, como mostrado na [Figura 19](#). A faixa utilizada para ser detectada é da cor preta.

Figura 19 – Foto da estrutura do Sistema de Identificação de Linha



Fonte: Autor

3.4.1 Componentes e Circuitos Utilizados

Para a construção do sistema de identificação de linha, utilizamos os seguintes componentes:

- 12 sensores TCRT5000(L) ([Figura 20](#))
- 12 resistores de 150Ω
- 12 resistores de $10k\Omega$
- 1 led
- 1 botão

O circuito utilizado na montagem de cada sensor é o apresentado na [Figura 21](#).

3.4.2 Conexões do Sistema

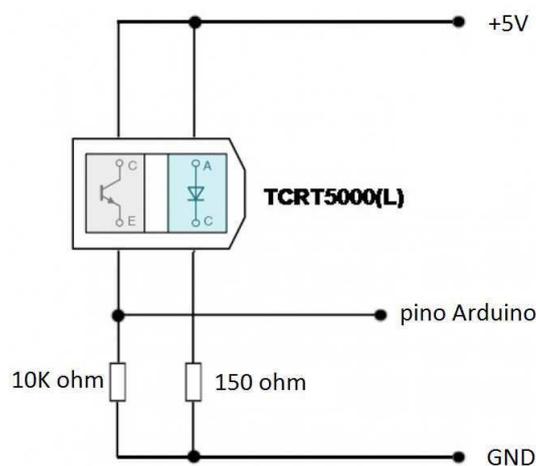
As conexões feitas entre os sensores TCRT5000, o led, o botão e o Arduino estão mostrados na [Figura 43](#) (Apêndice A).

Figura 20 – Foto do sensor TCRT5000



Fonte: <http://www.futureelectronics.com/en/technologies/semiconductors/optoelectronics/optical-sensors-switches/Pages/9988056-TCRT5000.aspx?IM=0>

Figura 21 – Circuito de cada TCRT5000



Fonte: Autor

3.4.3 Funcionamento do Sistema

Os sensores TCRT5000(L) são lidos pelas portas analógicas do Arduino, de modo que um pino analógico é reservado para cada sensor.

Quanto mais escura for a superfície a frente do sensor, mais o sinal infravermelho emitido é absorvido pela superfície (e não refletivo), fazendo com que o fototransistor detector de infravermelho receba menos sinal infravermelho e conduza menos corrente. Conseqüentemente, quanto mais escura a superfície, maior será a leitura feita pelo pino analógico (devido a configuração do circuito - Figura 21).

A utilização de sensores TCRT5000(L) alinhados faz com que seja possível a identificação do grau de claridade (ou obscuridade) do conjunto de pontos formado pela leitura de cada sensor, de modo que é possível fazer a identificação do posicionamento de uma faixa escura (sob superfície clara) que se encontra abaixo dos sensores. Foram utilizadas duas linhas de sensores nesta estrutura com a finalidade de identificação, não

apenas do posicionamento da faixa em relação a estrutura, mas também da inclinação que a mesma faz.

O acionamento do led e funcionalidade do botão que encontram-se na estrutura dos sensores pode ser definida pelo programador. A ideia é utilizar estes dispositivos para a calibragem dos sensores do sistema identificador de linha, de modo que o botão aciona a calibragem e o led indica se o sistema está calibrando ou calibrado.

3.4.4 Biblioteca IdentificadorFaixa

Para o recebimento do posicionamento da faixa guia colorida, foi criada uma biblioteca para o ambiente de programação Arduino. A biblioteca é denominada IdentificadorFaixa, composta por dois arquivos, IdentificadorFaixa.cpp e IdentificadorFaixa.h, e permite o recebimento, de forma simplificada, do posicionamento cada as faixas presentes na estrutura do sensor.

3.5 Sistema de Identificação de Obstáculos

O sistema de identificação de linha consiste em um conjunto de sensores de distância distribuídos ao redor do veículo, de modo a serem identificados obstáculos que apareçam ao seu redor.

Figura 22 – Sensor HC-SR04



Fonte: <http://buildbot.com.br/blog/como-utilizar-o-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>

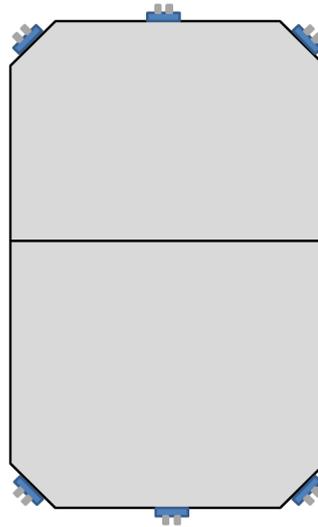
Para este sistema, foram utilizados seis sensores HC-SR04 - Figura 22, dispostos como mostrado na Figura 23

3.5.1 Componentes e Circuitos Utilizados

Para a construção do sistema de identificação de linha, utilizamos os seguintes componentes:

- 6 sensores HC-SR04

Figura 23 – Ilustração da disposição dos sensores Sensor HC-SR04 no veículo



Fonte: Autor

3.5.2 Conexões do Sistema

As conexões feitas entre os sensores HC-SR04 e o Arduino estão mostrados na [Figura 44](#) (Apêndice A).

3.5.3 Funcionamento do Sistema

Os sensores HC-SR04 possuem 4 pinos : Vcc (alimentação 5V), Trigger, Echo e GND. Seu funcionamento consiste basicamente em enviar um sinal que, ao atingir um objeto, volta para o sensor e com base nesse tempo entre o envio e recebimento, é calculada a distância entre o sensor e o objeto.

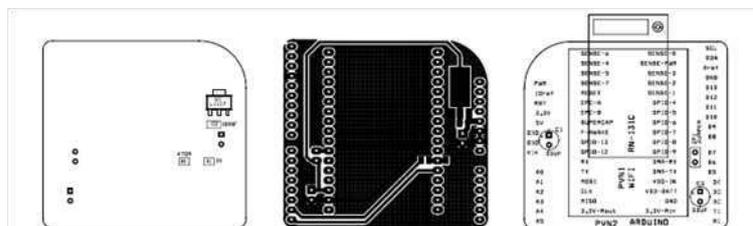
Para este tipo de sensor em específico, é enviado um sinal com duração de 10 us (microsegundos) ao pino trigger, indicando que a medição terá início. Automaticamente, o sensor envia 8 pulsos de 40 KHz e aguarda o retorno do sinal pelo receptor. Caso haja um retorno de sinal (em nível HIGH), determina-se a distância entre o sensor e o obstáculo, utilizando a seguinte equação:

$$\text{Distancia} = [(\text{tempo de duração do pulso em nível alto (s)} \times \text{velocidade do som (340m/s)})/2] \text{ metros.}$$

3.5.4 Biblioteca SensorHCSR04

Para a leitura da distância de obstáculos detectada por cada um dos sensores HC-SR04 presentes no AGV, foi criada uma biblioteca para o ambiente de programação Arduino. A biblioteca é denominada SensorHCSR04, composta por dois arquivos, SensorHCSR04.cpp

Figura 25 – Placa para a conexão Arduino - WiFly GSX Breakout



Fonte: Autor

conexões (+Vcc, Rx, Tx e GND) para a criação de uma conexão sem fio para a transmissão de dados.

A configuração e programação do módulo é feita por meio da comunicação serial, utilizando uma linguagem, baseada em ASCII, de controles próprios (porém simples). O guia com esta linguagem pode ser encontrado no site do fabricante.

3.6.2 Conexões do Sistema

As conexões feitas entre o shield SparkFun WiFly GSX Breakout, placa de conexão criada e um Arduino (genérico) estão mostradas na [Figura 26](#). A porta serial do Arduino Mega utilizada foi a TX1/RX1, como mostrado na [Figura 41](#) (Apêndice A).

3.6.3 Funcionamento do Sistema

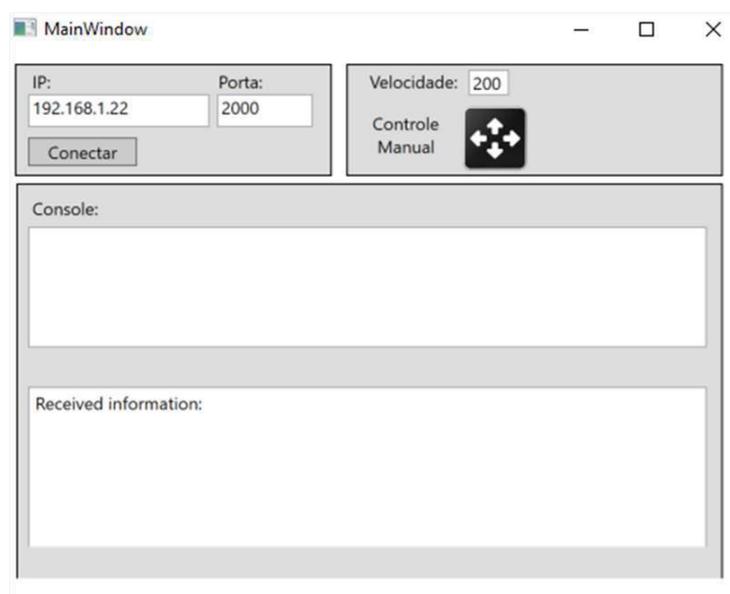
O funcionamento do sistema de comunicação Wifi entre a estação de trabalho(computador) e o carro é simples: Os sinais são enviados de forma serial pelo pino Tx do Arduino para o pino Rx do modulo RN-131C WiFly GSX, e recebidos de forma serial pelo pino Rx do Arduino conectado ao pino Tx do modulo RN-131C WiFly GSX.

A priori, a comunicação ocorre de forma assíncrona, podendo apresentar ruídos. Uma solução para o problema de confiabilidade dos dados recebidos é a adição de protocolos de comunicação na camada de aplicação (software).

3.7 Estação de trabalho: Computador

Para a comunicação com o veículo autoguiado, foi desenvolvido um programa com interface gráfica para o usuário. O programa foi feito utilizando-se a ferramenta *Windows Forms Application* (para a interface gráfica) do Visual Studio, juntamente com a linguagem de programação C Sharp.

Figura 27 – Janela principal do software de comunicação com o AGV



Fonte: Autor

de como for feita a implementação dos programas que os controlam. O sistema de identificação de obstáculos, por exemplo, também pode ser utilizado para o mapeamento do ambiente de trabalho.

4 Resultados

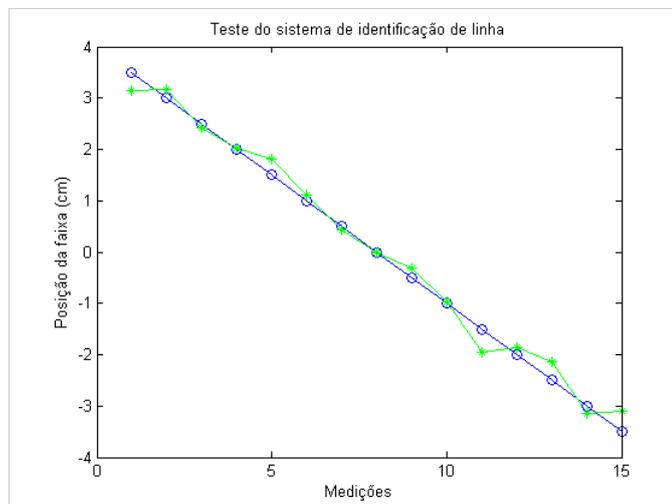
Para a verificação do funcionamento e desempenho dos sistemas implementados, foram realizados diferentes testes e os principais, juntamente com seus resultados, são apresentados nesta seção.

4.1 Teste do Sistema de Identificação de Linha

Para a verificação das leituras feitas pelo sistema de identificação de linha, variou-se o posicionamento de uma faixa preta (3cm de largura) de 0,5 em 0,5 centímetros, da posição 3,5cm a -3,5cm.

Os resultados das leituras e do posicionamento real estão mostrados na [Figura 28](#). Em verde estão as leituras feitas pelo sensor e em azul o posicionamento real da faixa.

Figura 28 – Gráfico das leituras dos sensores e dos valores de posicionamento real da faixa



Fonte: Autor - software MATLAB

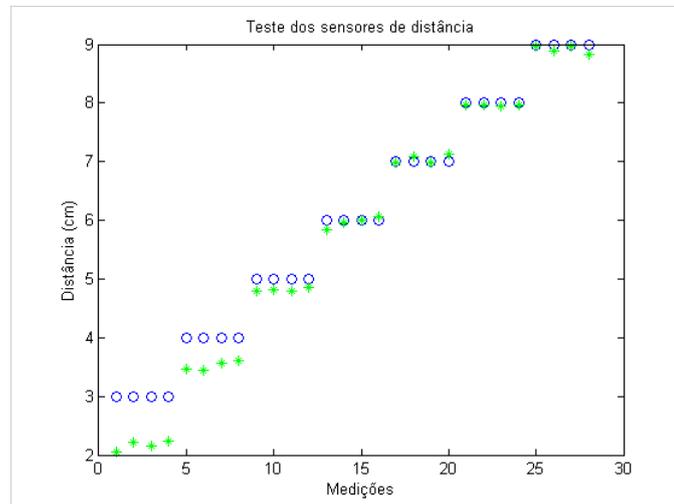
Observa-se que o sistema apresenta leituras próximas dos valores reais.

4.2 Teste do Sistema de Detecção de Obstáculos

Para a verificação das leituras feitas pelo sistema de identificação de obstáculos, variou-se, inicialmente, o posicionamento de um obstáculo de 1 em 1 centímetros, da posição 2cm a 9cm.

Os resultados das leituras e do posicionamento real estão mostrados na [Figura 29](#). Em verde estão as leituras feitas pelo sensor e em azul o posicionamento real da faixa.

Figura 29 – Gráfico das leituras dos sensores e dos valores de posicionamento real do obstáculo

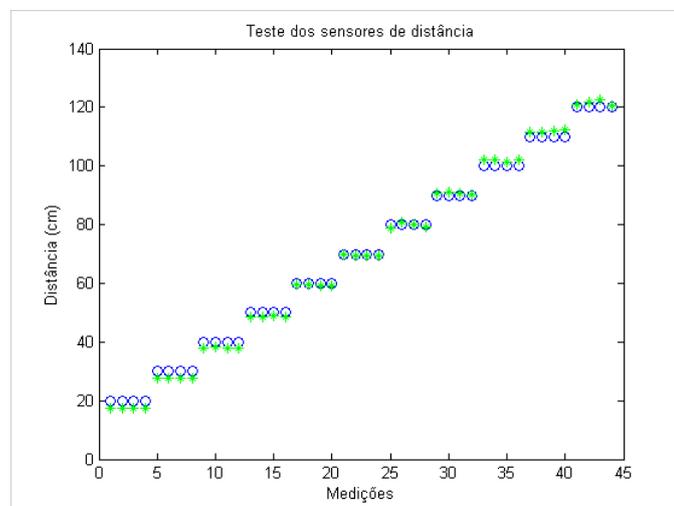


Fonte: Autor - software MATLAB

Em seguida, variou-se o posicionamento de um obstáculo de 10 em 10 centímetros, da posição 20cm a 120cm.

Os resultados das leituras e do posicionamento real estão mostrados na [Figura 30](#). Em verde estão as leituras feitas pelo sensor e em azul o posicionamento real da faixa.

Figura 30 – Gráfico das leituras dos sensores e dos valores de posicionamento real do obstáculo



Fonte: Autor - software MATLAB

Apesar de distâncias abaixo de 5cm não serem obtidas com precisão, para outras distâncias observa-se que o sistema apresenta leituras próximas dos valores reais.

4.3 Testes dos Sistemas de Acionamento dos Motores, de Leitura dos Encoders e da Comunicação Wifi

Para a verificação do funcionamento dos sistemas de acionamento dos motores, de leitura dos encoders e da comunicação Wifi, foi aplicado um único teste, descrito a seguir. Este teste foi aplicado de formas diferentes, compondo um total de seis experimentos.

O teste consiste na aplicação de uma velocidade inicial nos quatro motores do veículo e, após um certo intervalo de tempo, a aplicação de uma nova velocidade. Para isto, foi utilizado o sistema de acionamento dos motores. Os valores de tensão aplicados aos motores variam de 0 a 6 volts, que são equivalentes a PWMs de 0 e 255, respectivamente.

Para a verificação do comportamento dos motores, foi utilizado o sistema de leitura de encoders, o qual indica a distância percorrida por cada um. Como, a cada leitura de distância, também foi feita a leitura dos intervalos de tempo, obtêm-se a velocidade exercida por cada motor.

Para a obtenção dos dados do teste, o sistema de comunicação wifi fez a transmissão dos mesmos logo após cada experimento.

Experimento 01:

Motor com rotação livre

Velocidade inicial: 0 PWM

Velocidade aplicada: 200 PWM - após 50 leituras

Delay entre leituras: 1 ms

Experimento 02:

Motor com rotação livre

Velocidade inicial: 100 PWM

Velocidade aplicada: 200 PWM - após 50 leituras

Delay entre leituras: 20 ms

Experimento 03:

Motor com rotação livre

Velocidade inicial: 200 PWM

Velocidade aplicada: 0 PWM - após 50 leituras

Delay entre leituras: 20 ms

Experimento 04:

Motor com rotação livre

Velocidade inicial: 200 PWM

Velocidade aplicada: 0 PWM - após 50 leituras

Delay entre leituras: 1 ms

Experimento 05:

Motor com atrito (com carro no chão)

Velocidade inicial: 0 PWM

Velocidade aplicada: 200 PWM - após 100 leituras

Delay entre leituras: 20 ms

Experimento 06:

Motor com atrito (com carro no chão)

Velocidade inicial: 100 PWM

Velocidade aplicada: 200 PWM - após 100 leituras

Delay entre leituras: 20 ms

Após cada experimento, foi necessário apenas o tempo de aproximadamente 1 segundo para o recebimento dos dados via Wifi. Os gráficos obtidos a partir destes dados apresentam uma boa resolução, permitindo a análise e uma futura modelagem matemática, baseada em experimentos, para os motores.

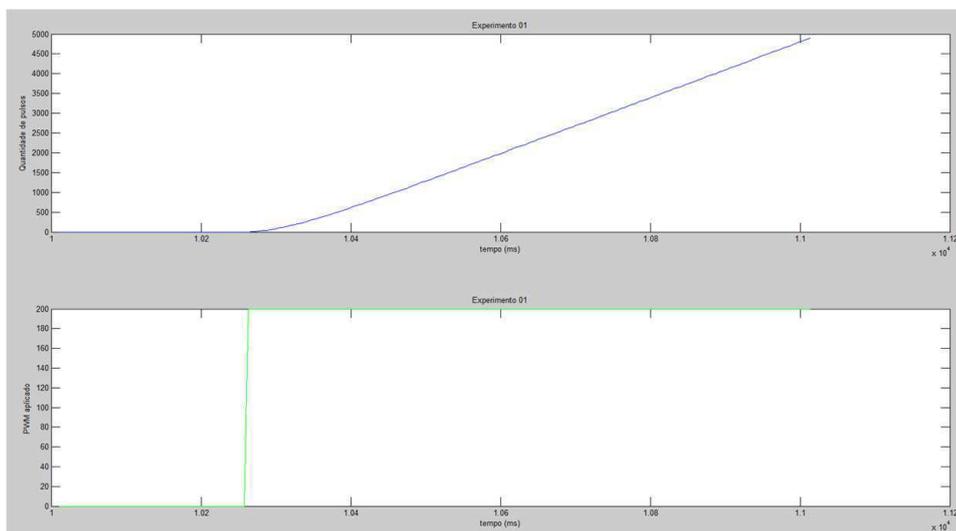
A partir dos gráficos, observa-se que a resposta dos motores à aplicação de novas velocidades é rápida, principalmente quando os motores tem rotação livre. Para o caso em que o veículo está no chão e partindo de velocidade nula, como no experimento 05, os motores encontram certas resistências para atingir um equilíbrio na nova velocidade, que não são observadas para o caso da mudança de velocidade de 100 PWM para 200 PWM (experimento 06).

Neste capítulo são apresentados os teste realizados para a verificação de funcionamento dos sistemas implementados. A partir dos resultados obtidos, comprova-se e conclui-se que os sistemas implementados no AGV, ao longo do estágio, apresentam comportamento satisfatório e de acordo com o necessário, tendo o sistema de identificação de faixa um erro absoluto máximo de 0.45 cm e o sistema de identificação de obstáculos um erro absoluto máximo de 2.45 cm.

Tem-se também que os motores, com rotação livre, levam em torno de 0.4 segun-

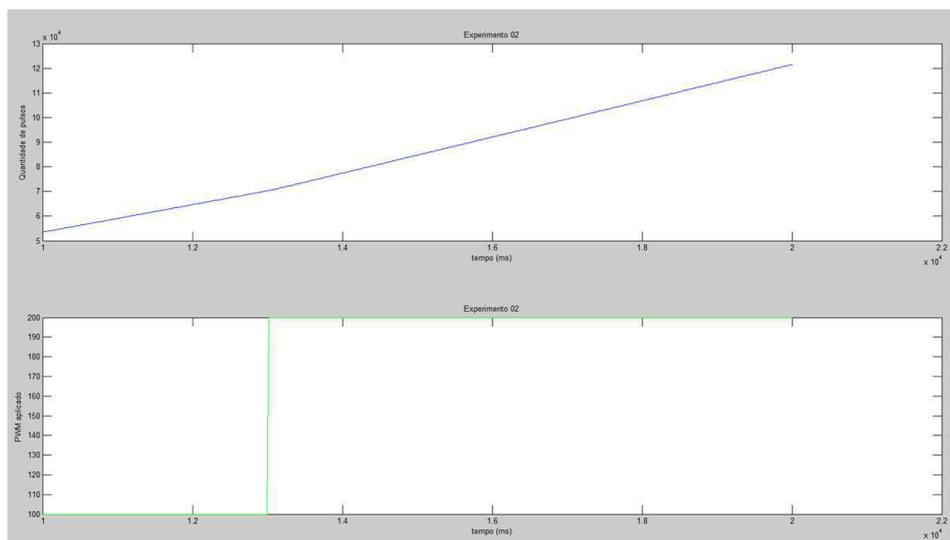
dos para atingir novas velocidades de equilíbrio e o sistema de comunicação Wifi faz a transferência de todos os dados obtidos em cada experimento dos motores em menos de 1 segundo.

Figura 31 – Gráfico do Experimento 01



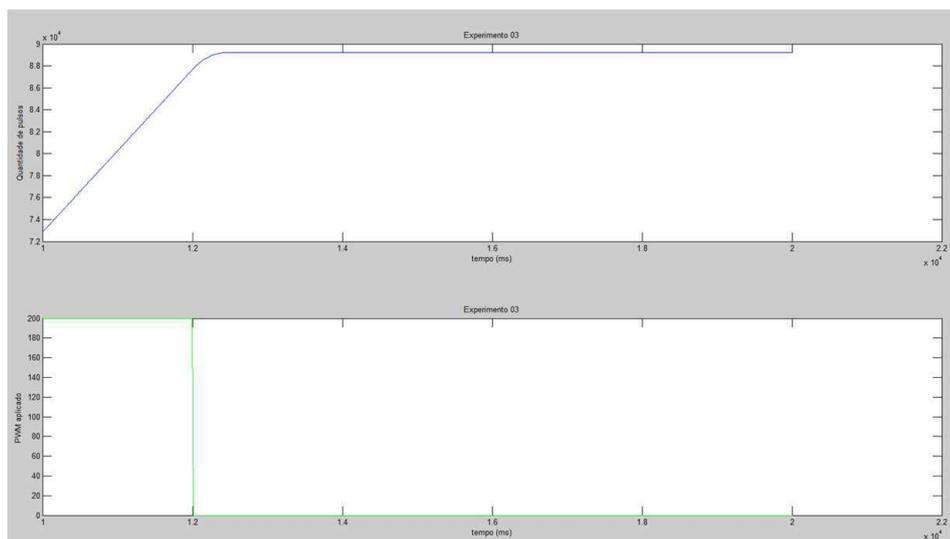
Fonte: Autor - software MATLAB

Figura 32 – Gráfico do Experimento 02



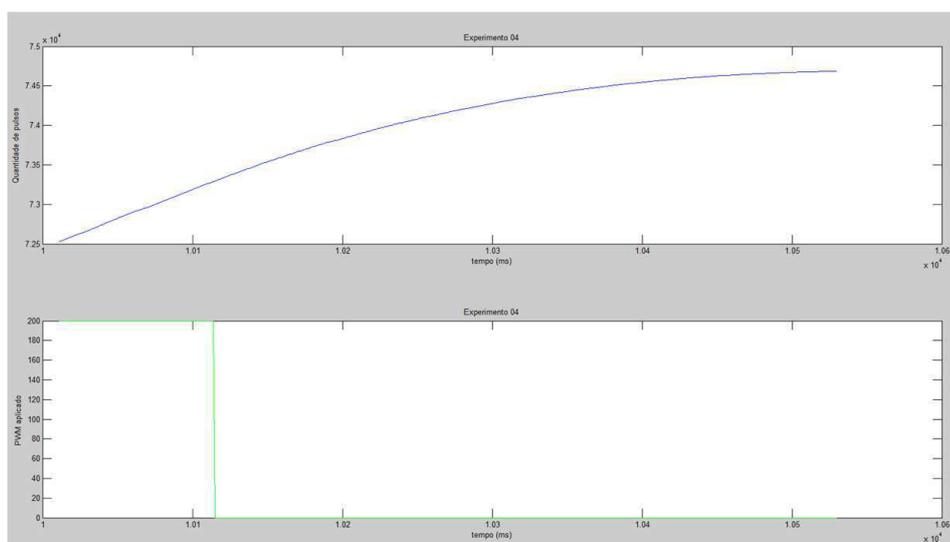
Fonte: Autor - software MATLAB

Figura 33 – Gráfico do Experimento 03



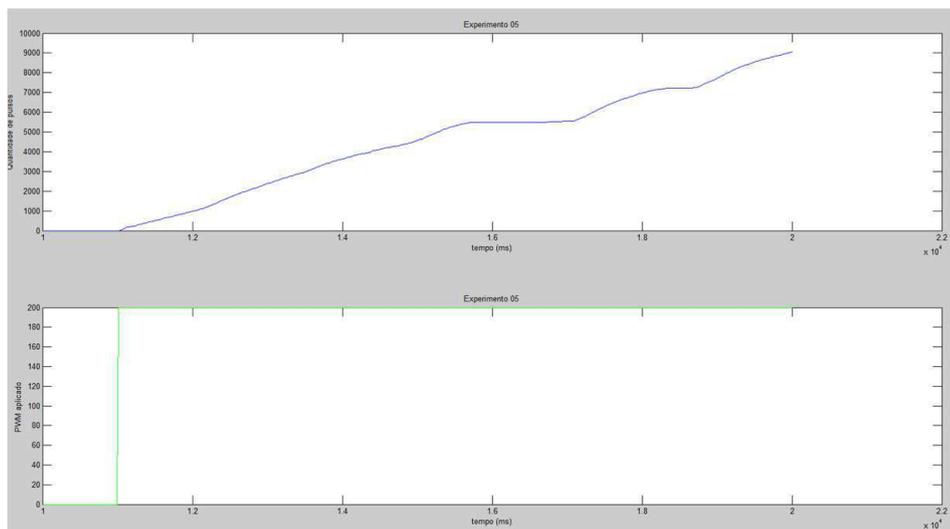
Fonte: Autor - software MATLAB

Figura 34 – Gráfico do Experimento 04



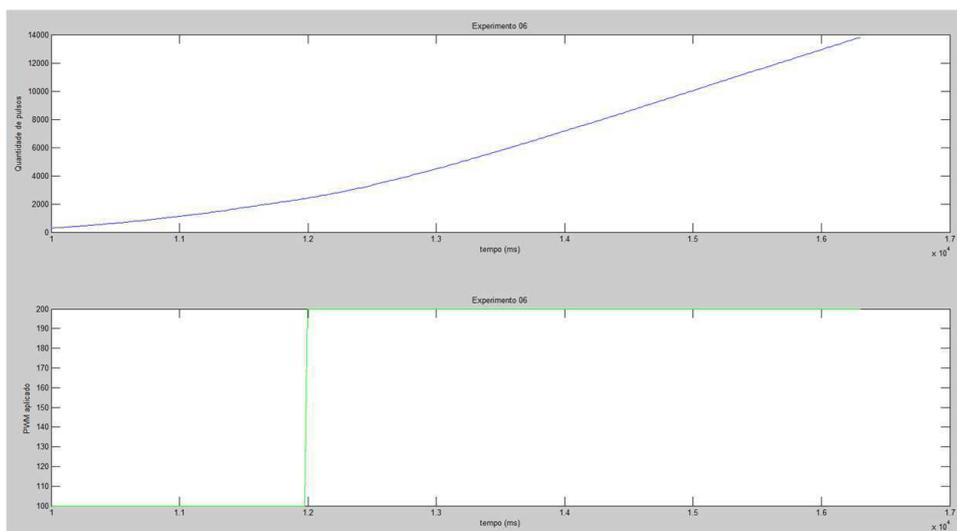
Fonte: Autor - software MATLAB

Figura 35 – Gráfico do Experimento 05



Fonte: Autor - software MATLAB

Figura 36 – Gráfico do Experimento 06



Fonte: Autor - software MATLAB

5 Conclusão

O presente documento teve como objetivo apresentar as atividades realizadas durante o estágio supervisionado, disciplina exigida para a conclusão do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. O resultado do estágio foi a construção de um veículo autoguiado e de seus sistemas básicos para o funcionamento, incluindo a sua instrumentação e a comunicação com uma base de trabalho (computador).

A partir dos testes realizados, tem-se que leituras do sistema de identificação de faixa apresentam um erro absoluto máximo de 0.45 cm e, do sistema de identificação de obstáculos, um erro absoluto máximo de 2.45 cm. Além disto, tem-se que os motores, com rotação livre, levam em torno de 0.4 segundos para atingir novas velocidades de equilíbrio e que o sistema de comunicação Wifi faz a transferência de todos os dados obtidos em cada experimento dos motores em menos de 1 segundo.

O programa de estágio contribuiu substancialmente para o desenvolvimento do caráter prático do aluno, por ter fornecido a experiência do dia-a-dia do trabalho em um laboratório e por ter abordado todas as etapas de um projeto de engenharia.

Como trabalho futuro, é sugerida a implementação de diferentes técnicas de controle para a locomoção do veículo, ao longo de faixas adicionadas ao chão, o desenvolvimento de um sistema de localização para o mesmo, utilizando técnicas como odometria, e o desenvolvimento de um sistema de controle de velocidades em malha fechada.

Referências

BRÄUNL, T. *Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems*. 2. ed. [S.l.]: Springer, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 24.

FITZGERALD, A.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. *Máquinas Elétricas - 6.ed.: Com Introdução à Eletrônica de Potência*. BOOKMAN COMPANHIA ED, 2006. ISBN 9788560031047. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=zsH5FZYJhb4C>>. Citado na página 25.

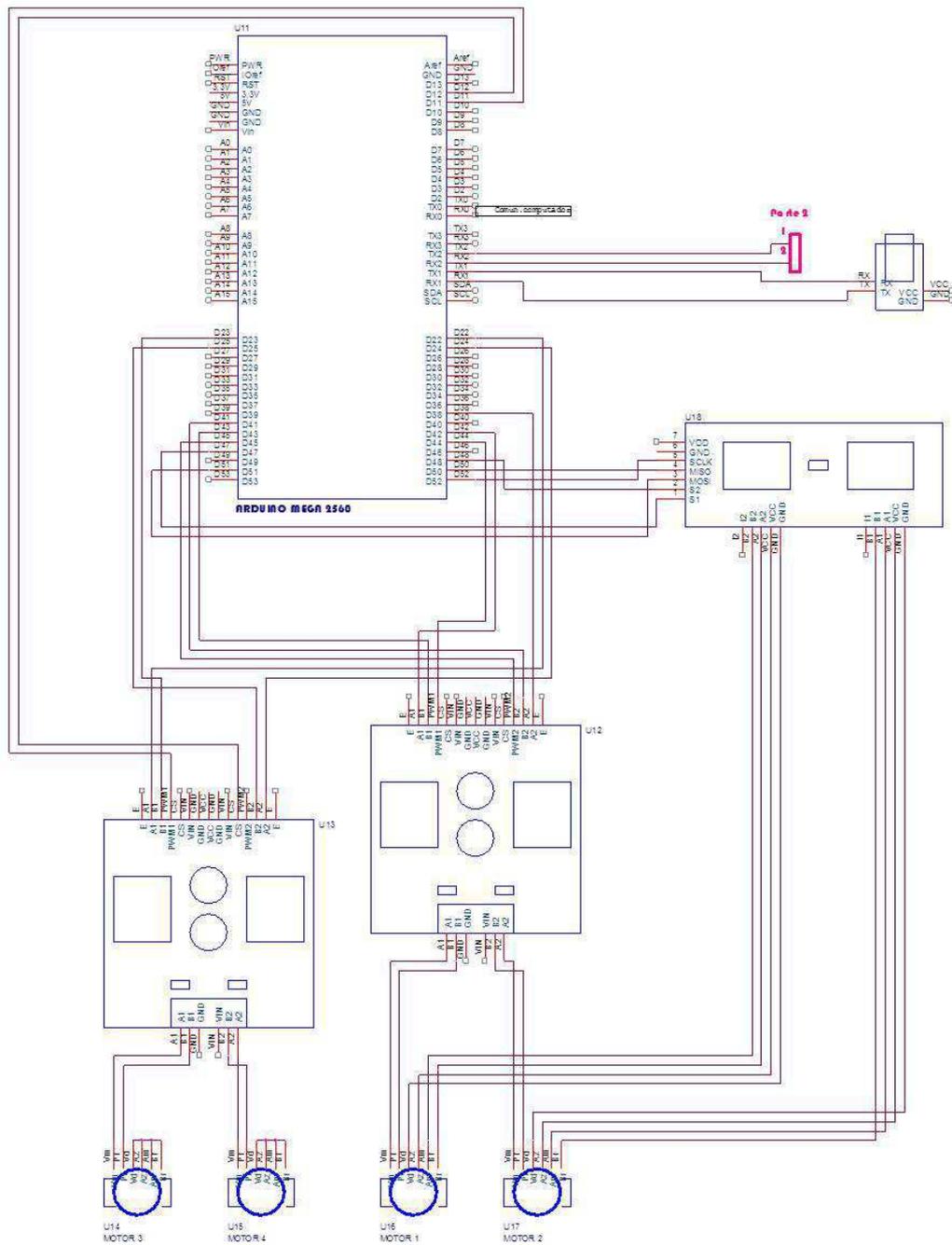
KIM, W. C.; TANCHOCO, J. M. A. *AGV dispatching based on workload balancing*. 27. ed. [S.l.]: International Journal of Production Research, 1999. Citado na página 18.

POZZEBON, R. *O que é wireless e como funciona?* 2016. Disponível em: <<https://www.oficinadnet.com.br/post/2961-o-que-e-wireless-e-como-funciona>>. Acesso em: 01 de junho de 2016. Citado na página 28.

Apêndices

APÊNDICE A – Circuitos do Projeto

Figura 37 – Circuito com conexões ao Arduino A



Fonte: Autor - OrCAD Lite

Figura 38 – Circuito com conexões ao Arduino B

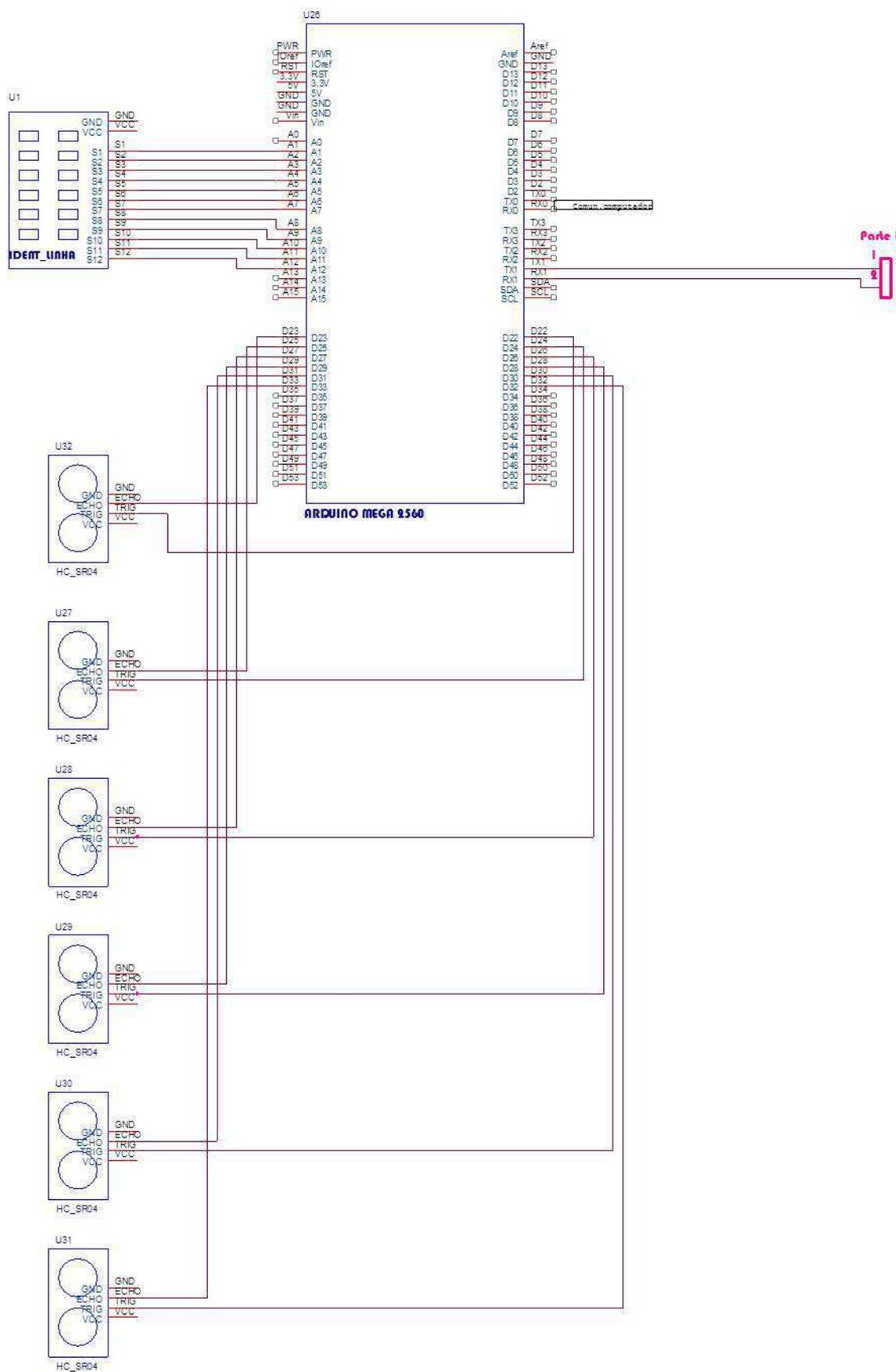
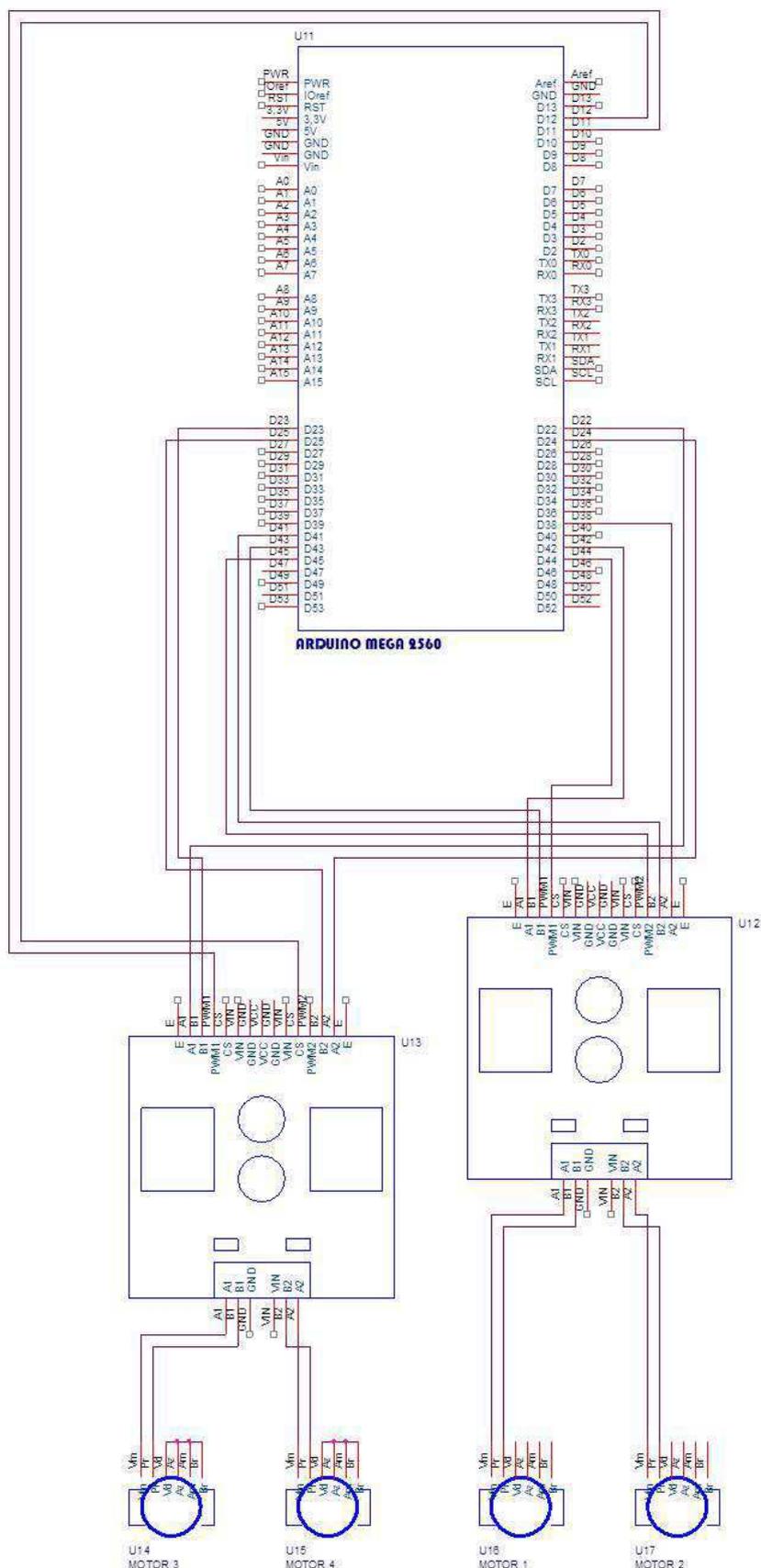


Figura 39 – Circuito do sistema de acionamento dos motores



Fonte: Autor - OrCAD Lite

Figura 40 – Circuito do sistema de leitura de encoders

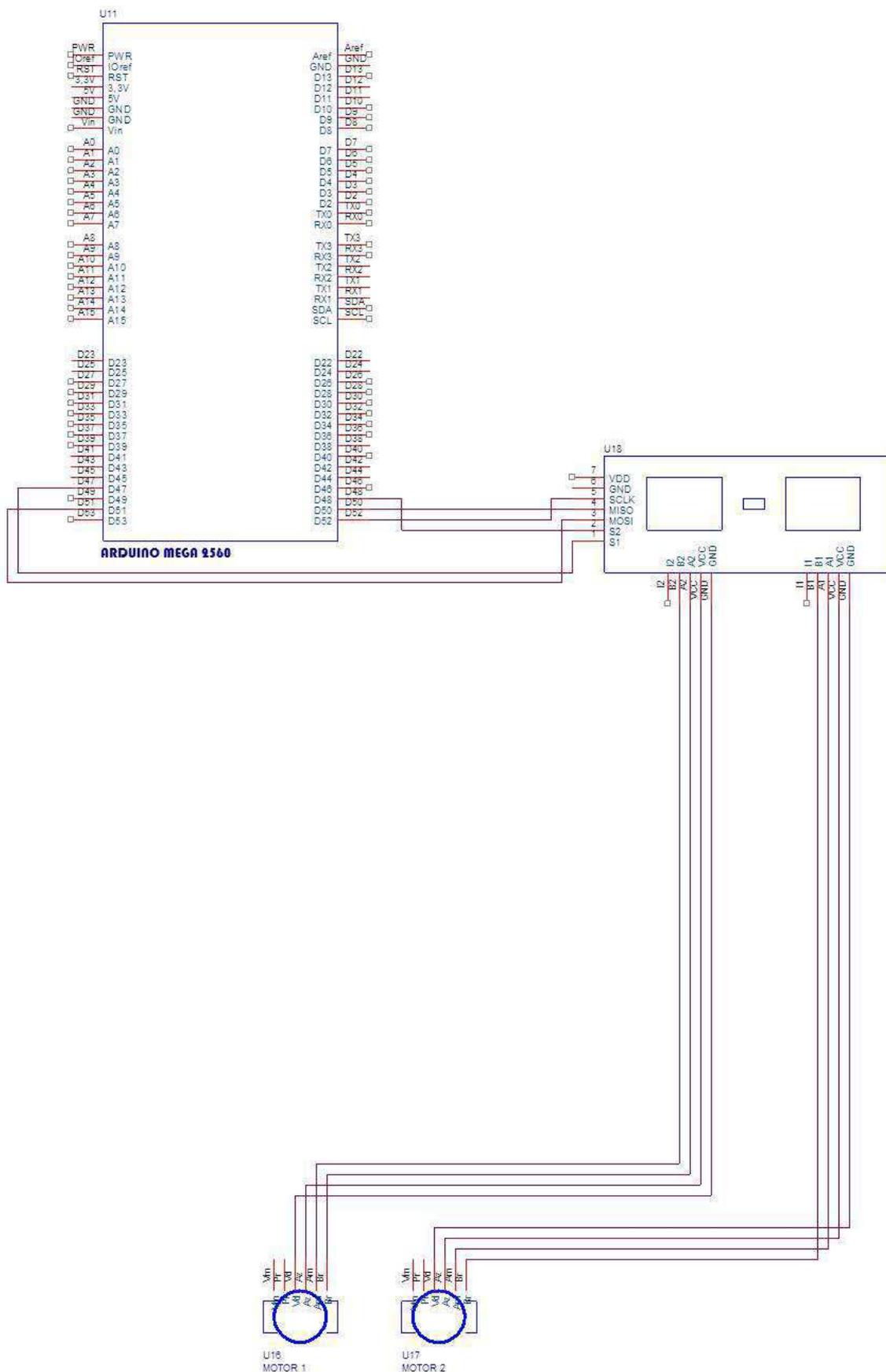
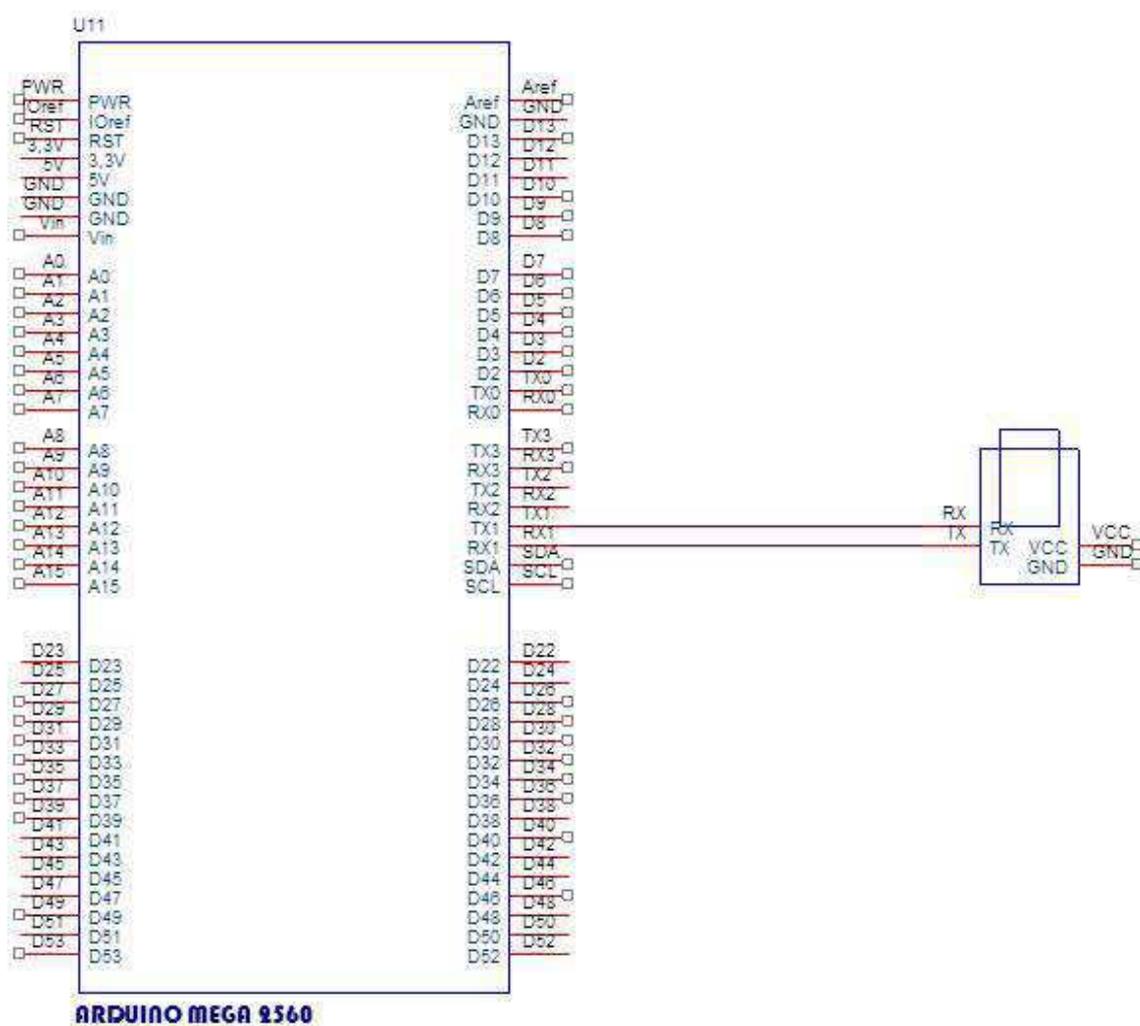
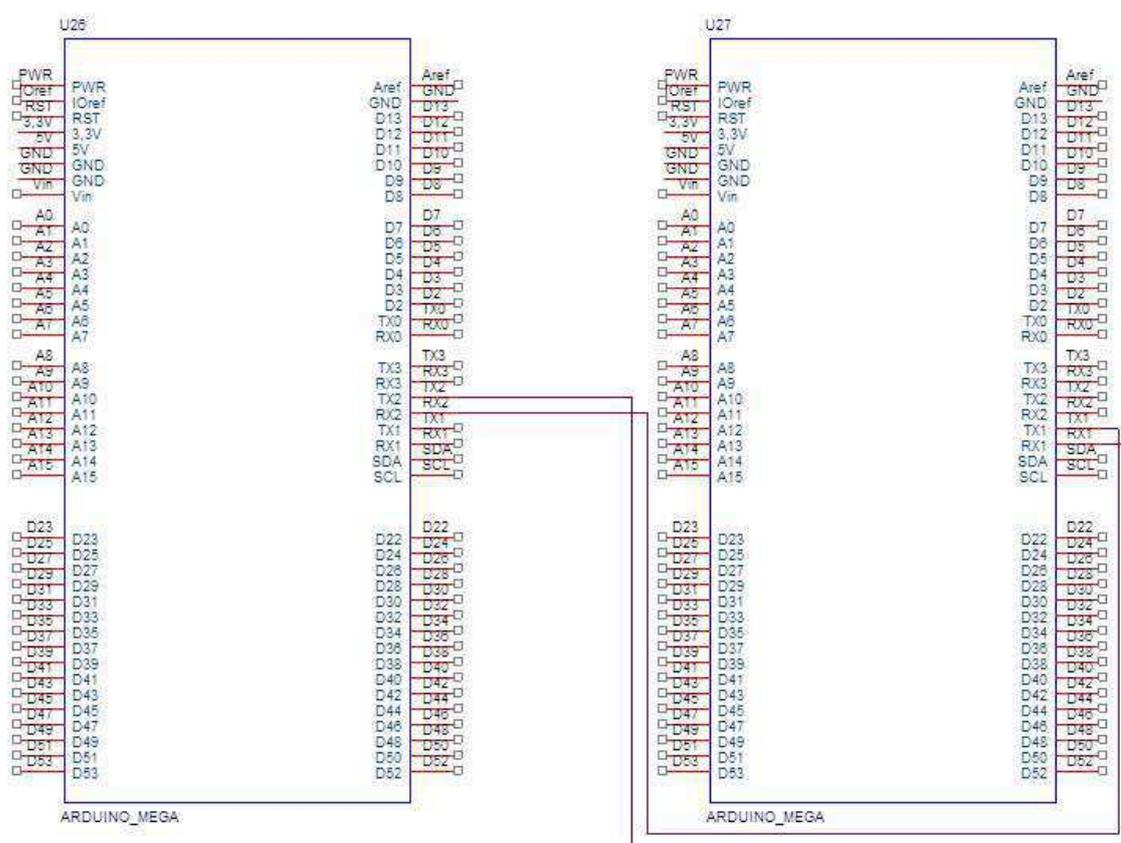


Figura 41 – Circuito do sistema de comunicação Wifi



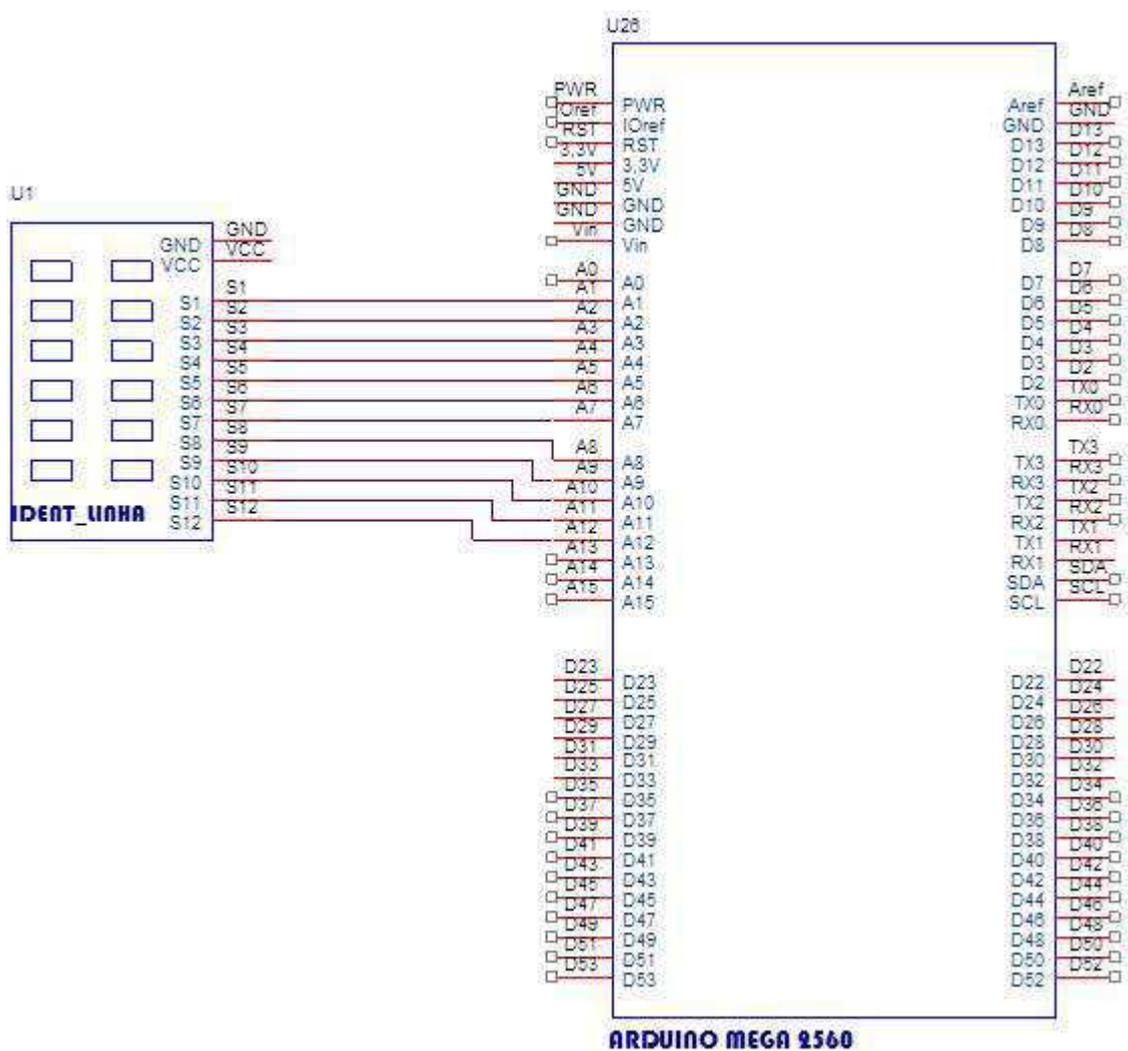
Fonte: Autor - OrCAD Lite

Figura 42 – Circuito do sistema de comunicação serial entre Arduinos



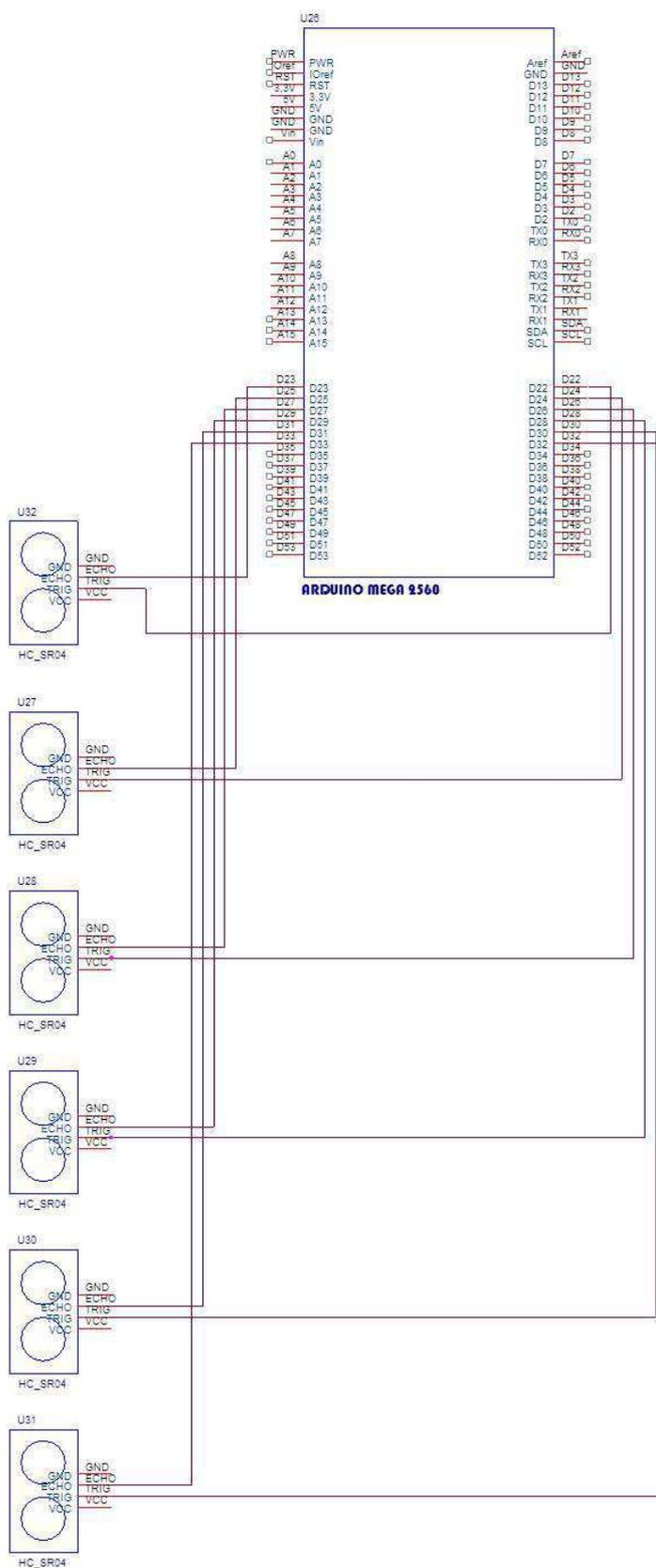
Fonte: Autor - OrCAD Lite

Figura 43 – Circuito do sistema de Identificação de linha



Fonte: Autor - OrCAD Lite

Figura 44 – Circuito do sistema de Identificação de obstáculos



Fonte: Autor - OrCAD Lite