**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC**

Trabalho de Graduação

Caio Poschardt Antunes Mello

# Carro autônomo para medição de potência de sinal através de tecnologia SDR

Santo André

2022

Caio Poschardt Antunes Mello

# Carro autônomo para medição de potência de sinal através de tecnologia SDR

Trabalho de graduação do curso de Engenharia de Informação da Universidade Federal do ABC

**Orientador:** Profº Drº Marcelo Bender Perotoni

Santo André

2022

**RESUMO**

O trabalho a seguir apresenta um estudo a respeito da medição da potência de sinais de radiofrequência. Foi proposta a utilização de um receptor SDR de baixo custo e o desenvolvimento de um carro autônomo para a coleta dos valores da potência dos sinais em um ambiente predefinido. Para o desenvolvimento do carro, foi utilizado um *Raspberry Pi* como controlador, sensores infravermelho para o controle da rota e um encoder para o controle da distância percorrida. Também foram coletados dados no mesmo ambiente com um modelo comercial de analisador de espectro para fins de comparação. A partir das coletas de dados concluiu-se que o modelo proposto é uma boa alternativa de baixo custo a modelos comerciais, pois apresenta dados confiáveis e a forma de medição é prática.

**Palavras-chave:** radiofrequência; SDR; carro autônomo; *Raspberry Pi*; sensores; analisador de espectro

**ABSTRACT**

The following work presents a study regarding the measurement of the power of radiofrequency signals. It was proposed the use of a low cost SDR receiver and the development of an autonomous car to collect the values of the power of the signals in a predefined environment. For the development of the car, a Raspberry Pi was used as a controller, infrared sensors to control the route and an encoder to control the distance traveled. Data were also collected in the same environment with a commercial spectrum analyzer model for comparison purposes. From the data collection, it was concluded that the proposed model is a good low-cost alternative to commercial models, as it presents reliable data and the measurement method is practical.

**Keywords:** radiofrequency; SDR; autonomous car; Raspberry Pi; sensors; spectrum analyzer

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do funcionamento do sistema.....8
Figura 2 - Arquitetura do RTL-SDR em diagramas.....11
Figura 3 - Componentes de um sistema embarcado.....12
Figura 4 - Esquema do funcionamento do sistema.....14
Figura 5 - Esquema de Funcionamento do Motor DC.....15
Figura 6 - Diagrama de blocos do driver L298N .....16
Figura 7 - Reflexão da luz em duas superfícies distintas.....17
Figura 8 - Módulo sensor Fotoresistor.....18
Figura 9 - Esquema da utilização do Encoder.....19
Figura 10 - Esquema de funcionamento do carro autônomo.....21
Figura 11 - Novo esquema de funcionamento do carro.....22
Figura 12 - Sensores montados no carro.....23
Figura 13 - Pista montada para testes.....24
Figura 14 - Fluxograma do algoritmo associado ao encoder.....25
Figura 15 - Montagem do carro sem a antena e SDR.....27
Figura 16 - Montagem final do carro.....29
Figura 17 - Circuito do carro para coleta de dados.....29
Figura 18 - Montagem do gerador de sinais.....31
Figura 19 - Analisador de Espectro.....32
Figura 20 - Medição a partir do analisador de espectro.....32
Figura 21 - Gráfico da potência coletada pelo robô.....34
Figura 22 - Medição da potência no sentido inverso do percurso.....35
Figura 23 - Potência medida com o Carro e o Analisador de Espectro.....35
Figura 24 - Diferença entre as medidas realizadas pelo carro e pelo analisador.....36
Figura 25 - Diferença entre as medidas realizadas pelo carro e pelo analisador.....37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Raspberry.....13
Tabela 2 - Custos dos materiais.....39

**SUMÁRIO**


**1. INTRODUÇÃO** 7
**1.1 Contextualização** 7
**1.2 Objetivo** 8
**2. REFERENCIAL TEÓRICO** 9
**2.1 Faixa UHF** 9
**2.2 Rádio e SDR** 9
**2.3 Carro Autônomo** 12
2.3.1 Robótica e Sistemas Embarcados 12
2.3.2 Raspberry Pi 13
2.3.3 Motor DC 14
2.3.4 Ponte H 15
2.3.5 Sistema de Navegação 17
2.3.5.1 Navegação por sensor LDR 17
2.3.5.2 Navegação por câmera 19
2.3.6 Sistema de Posicionamento 19
2.3.6.1 Encoder 19
**3. METODOLOGIA** 21
**3.1 Construção do Carro Autônomo** 21
3.1.1 Navegação 21
3.1.2. Alimentação 25
3.1.3. Medição da velocidade 25
**3.2 Coleta de Dados** 28
**4. RESULTADOS E DISCUSSÃO** 34
4.1 Análise dos Dados 34
4.2 Custos Envolvidos 38
**5. CONCLUSÃO** 40
**6. REFERÊNCIAS** 41

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O avanço das tecnologias de comunicação tem permitido cada vez mais que diferentes tipos de dispositivos se conectem à internet. Segundo Nascimento (2021), até a segunda metade de 2022, a tecnologia 5G estará disponível em todas as capitais do Brasil. Uma das maiores vantagens da rede 5G é a interconexão de diferentes dispositivos em tempo real. Além disso, Nascimento (2021) afirma ainda que “A previsão é que 60% dos municípios com menos de 30 mil habitantes estejam atendidos até dezembro de 2027, meta que sobe para 90% até dezembro de 2028 e 100% até dezembro de 2029“.

A partir dessa premissa, um fator relevante a se estudar é a propagação de sinais em diferentes ambientes, permitindo a análise de diferentes aspectos como por exemplo, as interferências sofridas pelo sinal e a área de cobertura para um dado local.

Com base nisso, este trabalho propõe a utilização de um equipamento medidor de intensidade sinal portátil acoplado a um carro autônomo seguidor de linha para mapear a propagação de sinal em ambientes indoor, como prédios corporativos ou shoppings centers. O resultado final do processo é um gráfico, indicando a potência do sinal recebido em cada ponto no trajeto realizado pelo carro. Em posse destes dados, os responsáveis pelo ambiente serão capazes de tomar as melhores decisões relacionadas à distribuição de roteadores e extensores no local.

O trabalho proposto é a complementação do mestrado de Silva (2021), no qual foi construído o equipamento medidor de intensidade de sinal. No caso do trabalho original, a posição de cada medida foi obtida através de sinal GPS[1]. Essa característica o tornava ideal para realizar medidas em ambientes *outdoor*, porém, as medidas poderiam não ser precisas em ambientes *indoor* devido à falta de sinal GPS e à baixa distância de deslocamento percorrida entre cada medição.

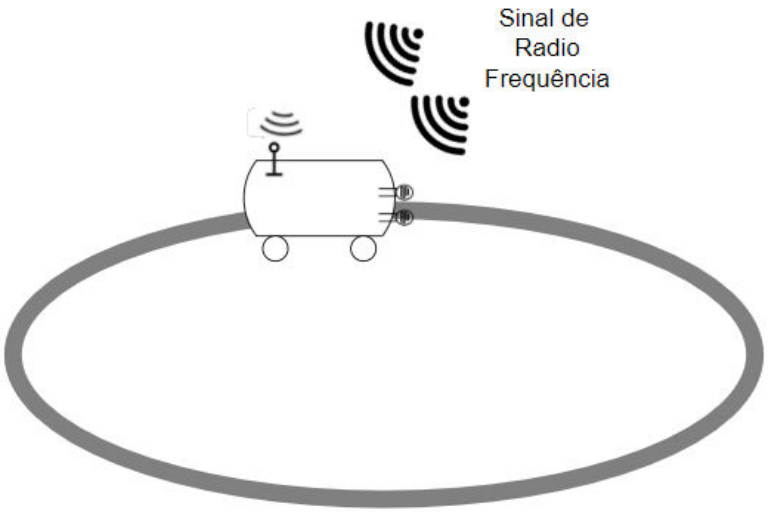
[1] *Global Position System*

## 1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo estudar a propagação de ondas UHF[2] em ambientes indoor, através da utilização de um sistema de medidas de potência RF[3] de baixo custo e de um carro autônomo. O trabalho consiste no desenvolvimento de um carro e no tratamento dos dados coletados, com o intuito final de gerar um mapa do ambiente com as potências medidas pelo sistema.

O carro autônomo conta com um par de sensores infravermelho para realizar o controle de direção e uma antena para captar a potência de sinal; o controlador utilizado é um Raspberry, onde scripts desenvolvidos em Python controlam o funcionamento do robô e armazenam os dados para uma análise posterior. A figura 1 ilustra o sistema final.

**Figura 1** - Esquema do funcionamento do sistema




Fonte: Própria, 2021.

[2] *Ultra High Frequency*
[3] Radiofrequência

# 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção do trabalho apresenta o referencial teórico dos diferentes conceitos abordados no projeto. Inicialmente, a respeito da faixa de frequências utilizada, a UHF e também conceitos base sobre rádio. A partir dos conceitos de rádio, será introduzido o conceito de rádio definido por software (SDR), tecnologia utilizada no trabalho para a recepção e medição da potência dos sinais.

Após a discussão a respeito dos sinais, inicia-se o referencial teórico abordando o carro autônomo. A seção se inicia com uma descrição do conceito de carro autônomo e a sua importância e utilização.

Por fim, serão apresentados os conceitos de hardware e software envolvidos na construção do carro utilizado neste projeto. Em relação ao hardware, serão descritos os sensores, microcontroladores e principais circuitos integrados utilizados. Para o software, serão abordados os conceitos utilizados para a navegação e geração do mapa.

## 2.1 Faixa UHF

A faixa UHF, ou *Ultra High Frequency*, é a faixa de frequências entre 300 MHz e 3 GHz. No Brasil, essa faixa de frequência é usada por serviços de televisão e de telefonia móvel, além de aplicações na indústria, pesquisa e medicina. Outro fator relevante é a alta utilização destas frequências em dispositivos IoT (HANTHEQUESTE et al, 2019).

## 2.2 Rádio e SDR

Antes de se definir o conceito de rádio definido por software (SDR), é necessário definir o que é um rádio. Uma possível definição de rádio é a de dispositivo usado para trocar informações entre dois pontos A e B distintos. No contexto deste trabalho, pode-se ainda estreitar um pouco essa definição, tratando como rádio um dispositivo que realiza essa troca de informações sem fio, através de antenas. As antenas, por sua vez, têm um papel essencial ao se projetar rádios, uma vez que estas definem a performance a faixa de atuação dos rádios (GRAYVER, 2012).

Uma das limitações do rádio envolve justamente a sua faixa de atuação. Historicamente, os rádios foram projetados para operar em uma única faixa de

frequência pré-estabelecida. Esse tipo de operação satisfaz algumas aplicações específicas, como por exemplo, travas automáticas de carros ou portões automáticos; porém, cada vez mais é necessário que um mesmo dispositivo seja capaz de se comunicar em diferentes faixas de frequência, assim como um celular com conexão Wi-Fi e 4G (GRAYVER, 2012).

A partir desse problema, passou-se a buscar maneiras de alterar a faixa de operação de rádios de uma maneira prática. Uma solução encontrada foi denominada de Rádio Definido por Software (SDR). Esse tipo de rádio se caracteriza pela sua habilidade de suportar diferentes tipos de modulações e frequências de ondas através de modificações exclusivamente em seu software, sem a necessidade de alterar quaisquer componentes físicos. Dessa forma, o software do rádio é capaz de definir e alterar seu funcionamento interno, configurando filtros, moduladores e demoduladores a fim de abranger uma vasta gama de frequências (GRAYVER, 2012).

O sistema SDR utilizado neste projeto tem como premissas base a portabilidade e o baixo custo, por isso, em seu desenvolvimento foi utilizado um tipo específico de SDR chamado RTL-SDR, uma variação do rádio que utiliza o chip RTL2832U. Este chip era comumente utilizado em TVs digitais, até que em 2012 um grupo independente descobriu um modo especial em sua operação o permitindo operar como um SDR (Laufer, 2015). Sua principal vantagem é a redução de custo, visto que SDRs normalmente custam de centenas a milhares de dólares e este modelo custa em média 15 dólares (STEWART *et al.*, 2015). Por outro lado, a performance do chip não será similar à de SDR dedicados, porém, sendo suficiente para o projeto apresentado.

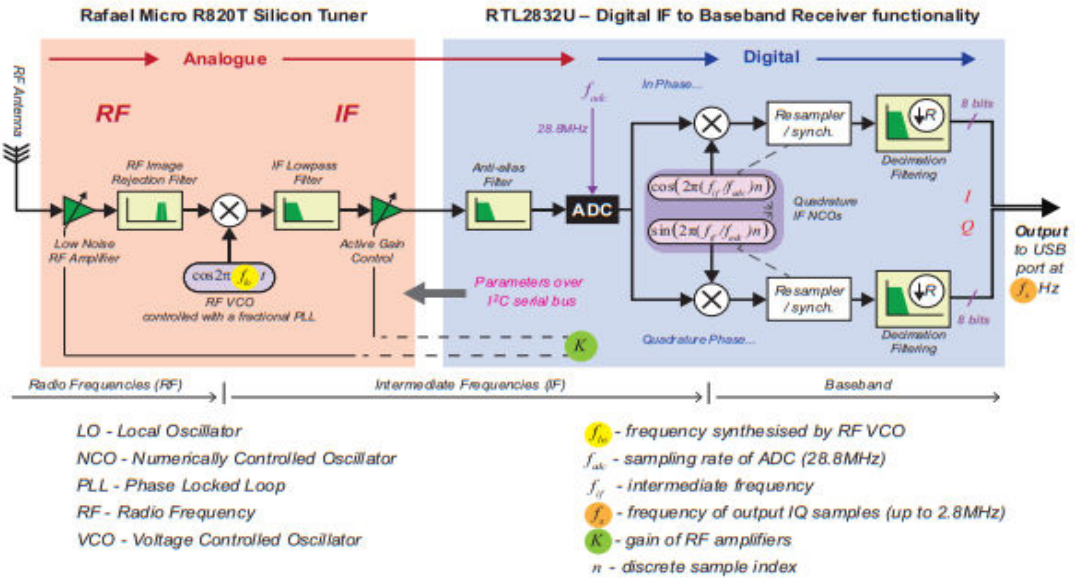
Um exemplo de SDR dedicado é o Universal Software Radio Peripheral (USRP) , que possui a arquitetura composta por duas partes principais, sendo elas: a placa-mãe, que realiza o processamento digital do sinal em banda-base; e por placas-filhas que fazem a implementação do front-end RF do SDR. A placa-mãe contém quatro conversores analógico digital (ADC) de 12 bits com taxa de amostragem de 64 MS/s e quatro conversores digital analógico (DAC) de 14 bits com velocidade de até 128 MS/s (MARWANTO *et al.*, 2009).

A faixa de operação dos RTL-SDR pode variar de 25 MHz até 1,75 GHz e sua configuração permite apenas a recepção de sinal (STEWART *et al.*, 2015). Este

último fator não é um impedimento para seu uso neste projeto, uma vez que o sistema projetado contempla apenas recepção.

Por fim, vale destacar de maneira simplificada o funcionamento do RTL-SDR utilizado no projeto. A arquitetura interna de um RTL-SDR é mostrada na Figura 2:

**Figura 2** - Arquitetura do RTL-SDR em diagramas




Fonte: STEWART *et al.*, 2015.

O sinal de radiofrequência (RF) entra no sintonizador e é convertido para um sinal de frequência intermediária (IF) utilizando-se um oscilador controlado por tensão (VCO). O VCO é controlado pelo chip interno do SDR, o RTL2832U. Em seguida, a amplitude do sinal é ajustada através de um um processo de controle de ganho ativo (AGC), tal ajuste é necessário para que o sinal de entrada no dispositivo possua a mesma faixa de operação do próprio dispositivo. Após esse processo, o sinal passa por um filtro e por um conversor Analógico-Digital (ADC), sendo convertido para banda base usando osciladores controlados numericamente em quadratura (NCOs) (STEWART *et al.*, 2015). Ressalta-se ainda que a recepção do sinal é coerente em módulo e fase, o que difere o RTL-SDR de um analisador de espectro comum, que possui somente informações de amplitude.

## 2.3 Carro Autônomo

A proposta deste projeto, como mostrado anteriormente, é a construção de um carro autônomo seguidor de linha capaz de transportar o equipamento medidor de potência de sinal e armazenar os dados coletados pelo mesmo. Os subtópicos a seguir trazem uma revisão bibliográfica dos temas envolvidos no desenvolvimento deste carro, passando pela robótica, até os sensores e conceitos de softwares propostos.

### 2.3.1 Robótica e Sistemas Embarcados

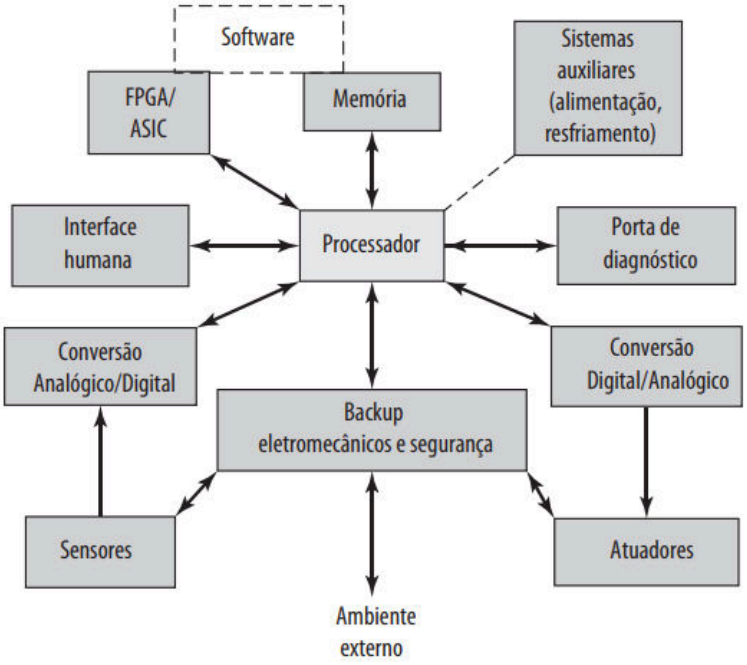
A robótica é o campo de conhecimento que se refere ao estudo dos robôs. E um robô é descrito segundo Pazos (2002, p.6) como “um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais em movimentos variáveis programados para a realização de uma variedade de tarefas”. Esta definição se adequa ao robô construído para este projeto, uma vez que se trata de um carro autônomo que transportará um dispositivo de medição a partir de uma programação pré-definida.

Uma subclasse dos robôs são os sistemas embarcados. Tais robôs são sistemas compactos e que possuem algum objetivo específico. Em geral,

> A arquitetura de um sistema embarcado tem como base um microcontrolador, que possui uma CPU, memória e dispositivos de E/S, como periféricos de interface com usuário, comunicação, sensores, atuadores e subsistemas. Dentre os exemplos de sistemas embarcados pode-se citar sistemas internos de carros e aviões, sistemas de controle, sistemas relacionados à IoT (*Internet of Things*), sistemas de uso doméstico como aspiradores de pó autônomos e até mesmo brinquedos. Um microcontrolador muito conhecido utilizado em variados projetos como sistema embarcado é a Raspberry Pi (RIBEIRO, 2019 p.17)

A figura 3 ilustra os diferentes componentes presentes em um sistema embarcado

**Figura 3** - Componentes de um sistema embarcado




Fonte: STALLINGS, 2009.

Características marcantes de sistemas microprocessados que os diferem de sistemas completos (como PCs, por exemplo) são a variedade de interfaces que possibilitam a captação de dados externos, a interface humana que pode ser tão simples quanto uma luz piscando ou tão complexa quanto o stream de dados em tempo real e também o fato de o software normalmente ser fixo e específico para uma aplicação (STALLINGS, 2009).

### 2.3.2 Raspberry Pi

O Raspberry Pi é um microcomputador compacto desenvolvido pela Raspberry Pi Foundation capaz de suportar diferentes sistemas operacionais, funcionando como um computador de baixo custo e alta portabilidade.

Existem diversas versões do Raspberry, sendo que elas se diferem em vários aspectos, como: velocidade de processamento, capacidade da memória RAM, quantidade de entradas USB, presença de conexão Bluetooth e WiFi. A tabela 1, baseada nos dados da documentação do site oficial da Raspberry Pi Foundation mostra alguns dos tipos mais comuns de Raspberry:

**Tabela 1** - Tipos de Raspberry

| Versão | Velocidade (MHz) | RAM | USB | Wireless | Bluetooth |
|---|---|---|---|---|---|
| Raspberry Pi Modelo A+ | 700 | 512 MB | 1 | Não Possui | Não Possui |
| Raspberry Pi Model B+ | 700 | 512 MB | 4 | Não Possui | Não Possui |
| Raspberry Pi 2 Modelo B | 900 | 1 GB | 4 | Não Possui | Não Possui |
| Raspberry Pi 3 Modelo B | 1200 | 1 GB | 4 | 802.11n | 4.1 |
| Raspberry Pi 3 Model B+ | 1400 | 1 GB | 4 | 802.11ac/n | 4.2 |
| Raspberry Pi Zero | 1000 | 512 MB | 1 | Não Possui | Não Possui |
| Raspberry Pi Zero W | 1000 | 512 MB | 1 | 802.11n | 4.1 |
| Raspberry Pi Zero WH | 1000 | 512 MB | 1 | 802.11n | 4.1 |

Fonte: Raspberry Pi Foundation, 2021.

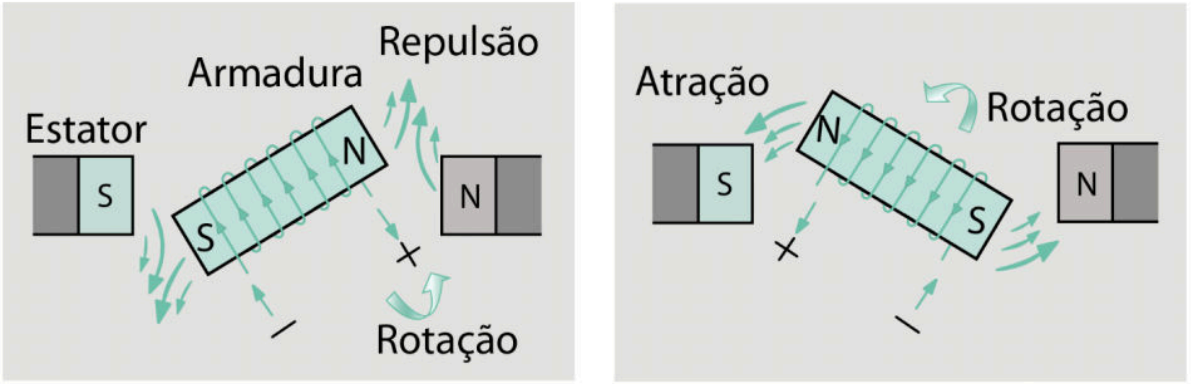
Para esse projeto, foi escolhido o uso do Raspberry Pi 3 Modelo B, devido à sua capacidade de comunicação WiFi, quantidade de portas USB e quantidade de memória RAM. O preço do modelo escolhido, em 2021, estava na faixa de R$300 a R$350.

### 2.3.3 Motor DC

A força motriz do carro autônomo será proveniente de um motor DC. O modelo de motor escolhido para o projeto apresenta caixa de redução (1:48) e alimentação de 3 a 6V.

Esse tipo de motor é definido por Ribeiro (2019, p.21) como “um motor que funciona alimentado por uma corrente contínua e tem sua rotação gerada pela interação entre dois campos magnéticos”. A figura 4 demonstra o funcionamento de um motor DC.

**Figura 4** - Esquema de Funcionamento do Motor DC




Fonte: PETRUZELLA, 2013.

Nessa figura, pode-se observar o modo de operação do motor. Uma corrente elétrica é fornecida tanto ao estator (a parte fixa) quanto à armadura (a parte móvel) gerando campos magnéticos a cada uma das partes. Na primeira parte da imagem, observa-se que os pólos iguais estão próximos, causando uma força de repulsão entre as partes do motor e causando a rotação da armadura. Quando os pólos opostos ficam próximos e se atraem, o sentido da corrente é alternada, causando novamente a repulsão dos pólos e a rotação da armadura (Ribeiro, 2019). A repetição do processo causa a rotação contínua do motor

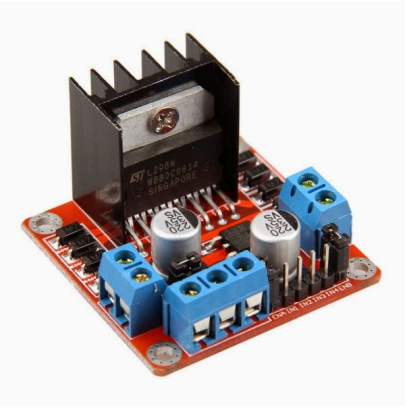
### 2.3.4 Ponte H

Para controlar o motor DC, é necessário um componente eletrônico capaz de fornecer a corrente elétrica de maneira adequada, permitindo ainda inversões e controle de amplitude, via *PWM*[4], a fim de controlar o sentido de rotação do motor. Para isso, será utilizada uma ponte H, um circuito eletrônico que possui exatamente essa função.

Mais especificamente, para esse projeto, será utilizado o driver L298N, que é um driver capaz de suportar até dois motores de corrente contínua, e pode operar com tensões de 4 a 35V, potência de 25W e correntes de até 2A por canal, totalizando 4A (VELOSO, 2019). Na Figura 5 é mostrado um driver L298N.

**Figura 5** - Driver de ponte H L298N

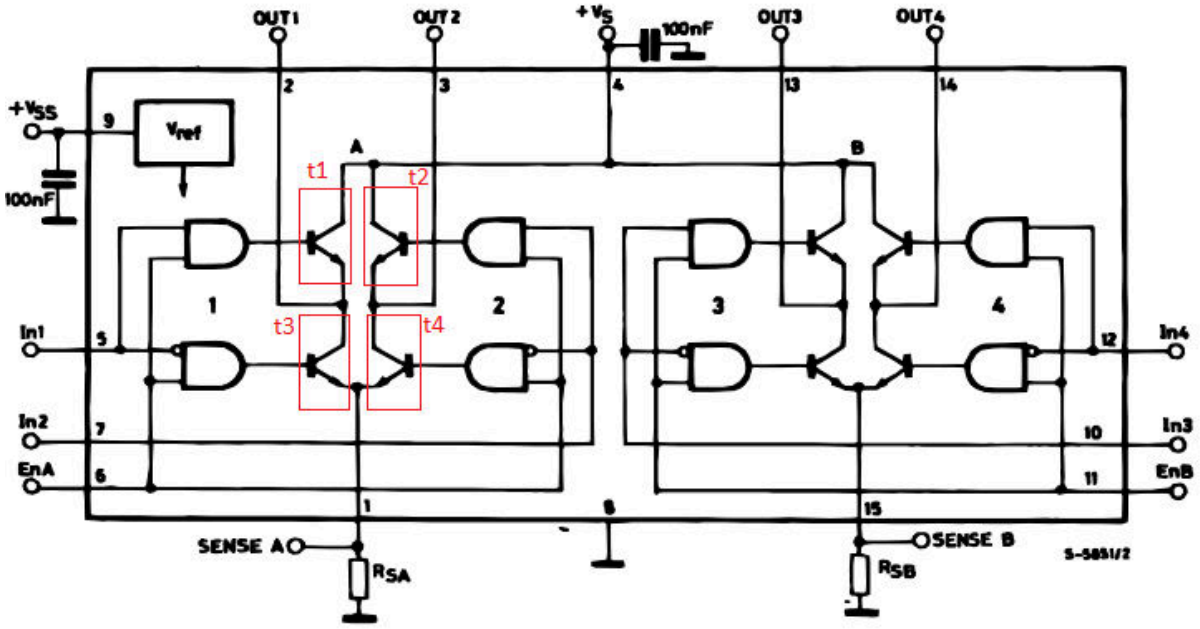
[4] Pulse Width Modulation



Fonte: Arduino e Cia, 2014.

O driver L298N contém duas pontes H. Cada ponte H é composta por quatro transistores BJT, sendo dois deles PNP e os outros dois sendo NPN. A figura 6 mostra o diagrama de blocos do driver L298N, ressaltando os transistores em uma das pontes H. Para que o motor seja acionado, é necessário que os transistores $t_1$ e $t_4$ estejam operantes, dessa forma, há corrente passando entre os pontos OUT1 e OUT2. O mesmo princípio se aplica no caso em que $t_2$ e $t_3$ são acionados, porém, girando o motor no sentido inverso. Há ainda um mecanismo de segurança no driver que impede o acionamento dos 4 transistores ao mesmo tempo. (STMICROELECTRONICS, 2000).

**Figura 6** - Diagrama de blocos do driver L298N



Fonte: STMicroelectronics, 2000 (Adaptado).

### 2.3.5 Sistema de Navegação

Todos os componentes descritos acima são essenciais para a construção de robôs, uma vez que tratam de controladores e fornecimento de energia. Porém, neste projeto será desenvolvido um carro autônomo, então há uma particularidade que diz respeito ao sistema de navegação do veículo.

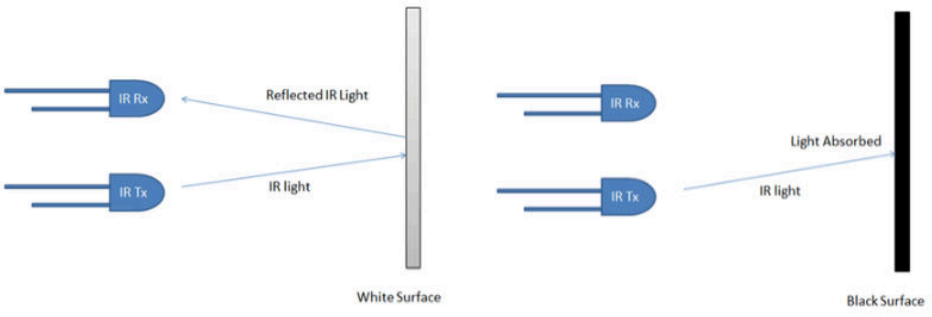
A partir desse ponto, as fontes de referência divergem quanto à melhor maneira de se construir um carro seguidor de linha. Nesta seção, serão mostradas duas diferentes abordagens de navegação para carros seguidores de linha: a primeira utilizando de um LED e um sensor LDR para identificar a linha e a segunda utilizando uma câmera e decodificação de imagem via software. Serão exibidos os detalhes de cada abordagem, com suas vantagens e desvantagens.

#### 2.3.5.1 Navegação por sensor LDR

Uma maneira comum de se construir carros seguidores de linha é através da utilização de uma fonte de luz e um sensor LDR.

Sensores LDR, ou *Light Dependent Resistor*, são componentes eletrônicos cuja resistência varia de acordo com a luz incidente no mesmo. Dessa forma, é possível acoplar sensores LDR à base do carro junto de uma fonte de luz apontados para baixo; a luz emitida pelo emissor irá refletir na superfície imediatamente abaixo da estrutura do carro, o sensor então capta essa luz refletida e, com base na sua intensidade, é capaz de distinguir superfícies claras e escuras. A figura 7 ilustra esse fluxo:

**Figura 7** - Reflexão da luz em duas superfícies distintas




Fonte: Pandit, 2019 (Adaptado).

O sensor então capta a intensidade luminosa e, como saída, retorna um sinal analógico com base nessa intensidade. Quando o emissor incide em uma superfície branca, o valor da resistência do LDR diminui, ao passo que ao incidir em uma superfície preta, a sua resistência aumenta. A saída do sensor é usada para regular a intensidade da corrente no motor DC através de um circuito lógico e regular a velocidade e direção do carro. Dentre as vantagens da abordagem por LDR, destacam-se o baixo custo de materiais e alta velocidade de resposta. (Hasan; Nahid; Mamun, 2012).

Outras vantagens incluem a existência de módulos de LED e sensor LDR juntos em um mesmo circuito por um baixo custo e também a extensa gama de projetos similares presentes na internet, inclusive com bibliotecas e códigos prontos. A figura 8 apresenta um módulo que contém o emissor e o sensor já acoplados.

**Figura 8** - Módulo sensor Fotoresistor



Fonte: Baú da eletrônica, 2021.

#### 2.3.5.2 Navegação por câmera

Outra possível abordagem ao se desenvolver um carro autônomo é a utilização de uma ou mais câmeras para se identificar o caminho a ser seguido.

Um exemplo desse modelo é o trabalho de Spaniol (2018), onde o autor utiliza uma webcam acoplada ao carro e ligada diretamente ao Raspberry Pi. Esta abordagem possui um grau mais elevado de complexidade durante o processamento e tratamento dos dados. Por outro lado, existem bibliotecas prontas, como o OpenCV (para a linguagem Python) que auxiliam no processamento de imagens.

Uma vantagem na utilização de câmeras é a sua versatilidade, podendo-se inserir diversos elementos no trajeto, como marcações de distância percorrida e sinais de pare. Por outro lado, Spaniol (2018) destaca também algumas

desvantagens, dentre elas o elevado custo de câmeras em relação a sensores mais simples, como é o caso do LDR.

Para o sistema proposto por este relatório, há ainda outra desvantagem na utilização da navegação por câmera que é a necessidade de programar o percurso previamente. A complexidade de se programar o trajeto através da decodificação de imagens não se justificaria, uma vez que o trajeto é conhecido e sem necessidade de alterações dinâmicas.

### 2.3.6 Sistema de Posicionamento

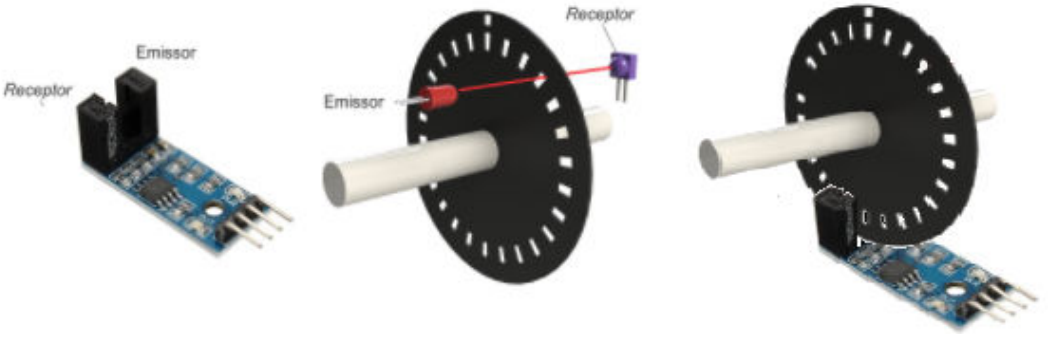
Além de se mover por uma trajetória pré-definida, o carro proposto neste projeto também deve ser capaz de reconhecer seu posicionamento ao longo do trajeto, a fim de gerar gráficos com os dados do ambiente e das potências de sinal recebidas em cada ponto. Independentemente da forma de navegação escolhida, o posicionamento pode ser definido a partir dos sensores e técnicas descritos nos sub tópicos desta seção.

#### 2.3.6.1 Encoder

O encoder é composto por uma fonte de luz e um fotorreceptor, a saída gerada ao controlador é digital e indica se o receptor está ou não recebendo o sinal da fonte de luz.

Para realizar a medição da velocidade, normalmente acopla-se o encoder a um disco com uma quantidade conhecida de fissuras, sendo esse disco associado à rotação das rodas carro. Assim, é possível contabilizar a quantidade de voltas que o disco realizou em um dado intervalo de tempo e determinar a velocidade. A figura 9 é dividida em três partes e mostra respectivamente: o encoder utilizado; um esquema da medição do encoder; o encoder acoplado ao disco com fissuras.

**Figura 9** - Esquema da utilização do Encoder




Fonte: Almeida (2017) Adaptado.

# 3. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho será dividida em duas partes principais, sendo elas: a construção do carro e a coleta de dados .Esta seção irá detalhar cada uma das duas partes.

## 3.1 Construção do Carro Autônomo

A partir dos materiais levantados na pesquisa teórica, optou-se por seguir o modelo de construção baseado nos sensores LDR. Esta escolha se baseou principalmente no baixo custo dos componentes e no fato de o local de testes ser conhecido de antemão. Por esses motivos, a navegação simplificada através dos sensores seria suficiente.

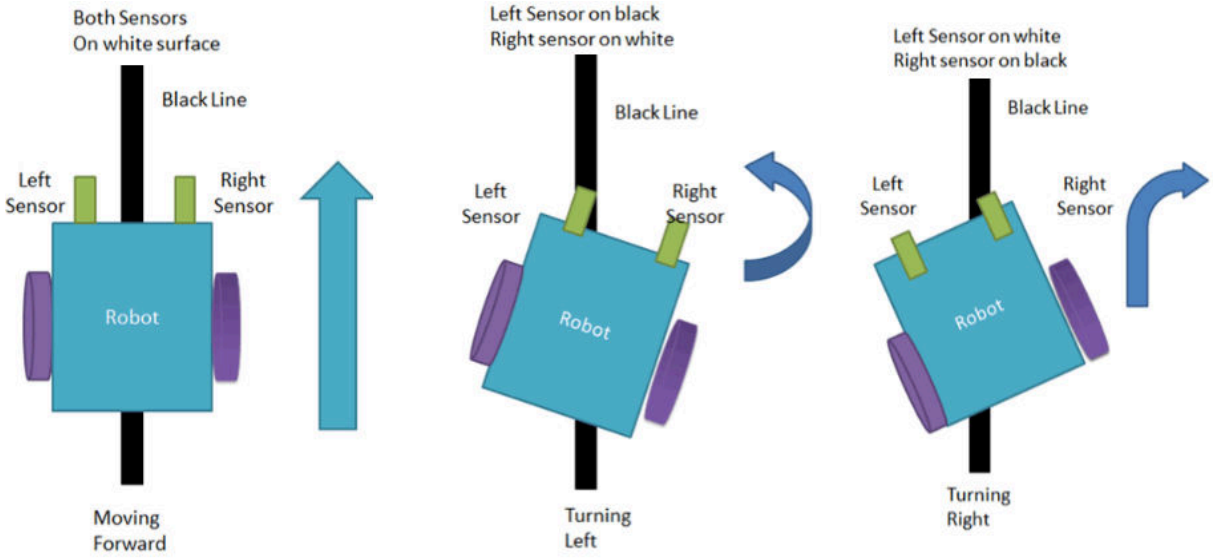
A fim de simplificar a construção do carro, foram realizados testes nos módulos responsáveis pela alimentação, navegação e medição de velocidade separadamente. As subseções que seguem mostram em detalhes o processo de desenvolvimento e teste de cada um dos módulos.

### 3.1.1 Navegação

Inicialmente, foi desenvolvido o módulo de navegação do carro. Para isso, foram utilizados dois módulos de LED + sensor LDR, sendo que ambos os sensores deveriam apontar para o chão buscando a linha de orientação.

A ideia original era posicionar os sensores de modo que ambos ficassem fora da linha de orientação, dessa forma, seria fácil marcar o ponto de início e fim do circuito. O controle dos motores foi realizado de tal forma que, caso algum dos sensores se encontre com a linha de orientação, as velocidades de rotação dos pneus devem se alterar para que o mesmo volte a apontar para o chão. A figura 10 ilustra um esquema do funcionamento carro:

**Figura 10** - Esquema de funcionamento do carro autônomo

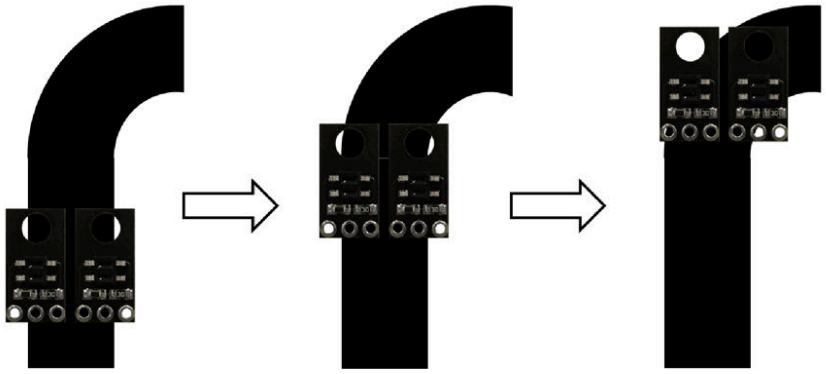



Fonte: Garg, 2018.

Diversos testes foram realizados utilizando esta configuração, porém, os resultados obtidos não foram satisfatórios. Muitas vezes, o *delay* entre a recepção do sinal pelo sensor e a resposta dos motores fazia com que a tentativa de correção do carro ocorresse fora do tempo e o mesmo se perdesse. Durante os testes, foram aplicadas diversas abordagens: primeiro, durante as curvas, o motor oposto era desligado, mas a velocidade de rotação do era mantida; depois, além de parar o motor oposto, a velocidade de rotação foi diminuída; em outro teste, ao invés de parar o motor oposto, foi invertido o seu sentido de rotação, acelerando a retomada à linha, mas girando o carro em seu próprio eixo. Algumas hipóteses que poderiam explicar a falta de sucesso da abordagem incluem o elevado *delay* entre o sensor e o motor e o fato do sensor escolhido ser digital e não analógico, possuindo apenas uma resposta binária.

Uma vez que o esquema original não funcionou, foi necessário pensar em uma outra abordagem. Assim, a lógica de funcionamento do carro foi invertida; desta vez ambos os sensores deveriam apontar para a linha preta de orientação. Quando algum dos sensores ficasse fora da linha, os motores alterariam suas rotações a fim de corrigir o curso. A lógica de funcionamento é mostrada na figura 11.

**Figura 11** - Novo esquema de funcionamento do carro



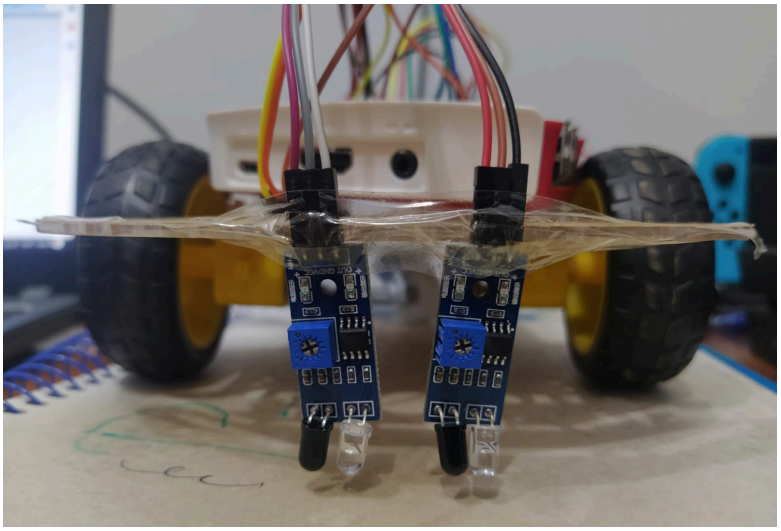
Fonte: Robocore, 2018.

A partir da nova lógica de funcionamento, todos os testes foram realizados novamente. Foi perceptível a melhoria no desempenho do robô, se comparado à abordagem anterior. O funcionamento final ficou definido da seguinte maneira: Há uma variável de controle, indicando se o último ajuste realizado foi para a direita ou para a esquerda, na sequência o loop segue a lógica mostrada na sequência de passos a seguir:

1. Caso os dois sensores estejam encontrando a linha, ambos permanecem ligados;
2. Caso o sensor direito deixe de encontrar a linha, o motor esquerdo é desligado e o motor direito diminui sua velocidade de rotação; além disso, a variável de controle assume o valor “direita”;
3. Caso o sensor esquerdo deixe de encontrar a linha, o motor direto é desligado e o motor esquerdo diminui sua velocidade de rotação; além disso, a variável de controle assume o valor “esquerda”;
4. Caso ambos os sensores deixem de encontrar a linha, o programa verifica o valor da variável de controle. Caso seja “esquerda” o carro segue o padrão definido em 3., caso seja “direita”, o carro segue o padrão definido em 2.

A figura 12 mostra a posição final dos sensores no carro.

**Figura 12** - Sensores montados no carro

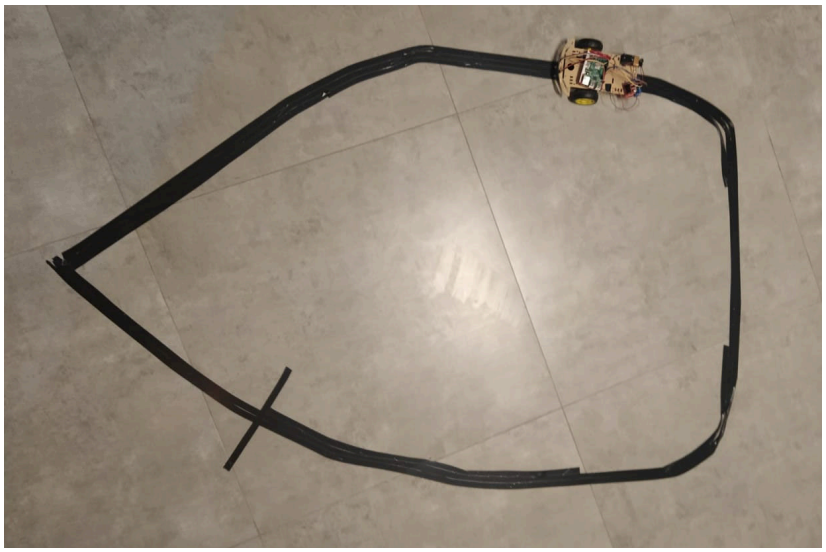


Fonte: Própria, 2021.

Foram realizados testes com a nova configuração e o carro teve boa performance, mantendo-se dentro do trilho predefinido, sendo capaz de realizar curvas bruscas e se adaptar a variações na espessura da pista.

A pista montada para teste está mostrada na figura 13, e possui espessuras de 4 cm e 6 cm. A linha transversal no canto inferior esquerdo da imagem foi utilizada como uma condição de parada do carro durante a primeira configuração dos sensores. Quando ambos os sensores detectavam a linha preta, o sistema finalizava. Na configuração final, a linha não foi mais utilizada.

**Figura 13** - Pista montada para testes



Fonte: Própria, 2021.

### 3.1.2. Alimentação

Outro fator essencial na construção do carro foi a alimentação do Raspberry, da ponte H e controle de velocidade dos motores. Para alimentar o Raspberry, foi utilizado uma *power bank* com 10000 mAh de capacidade.

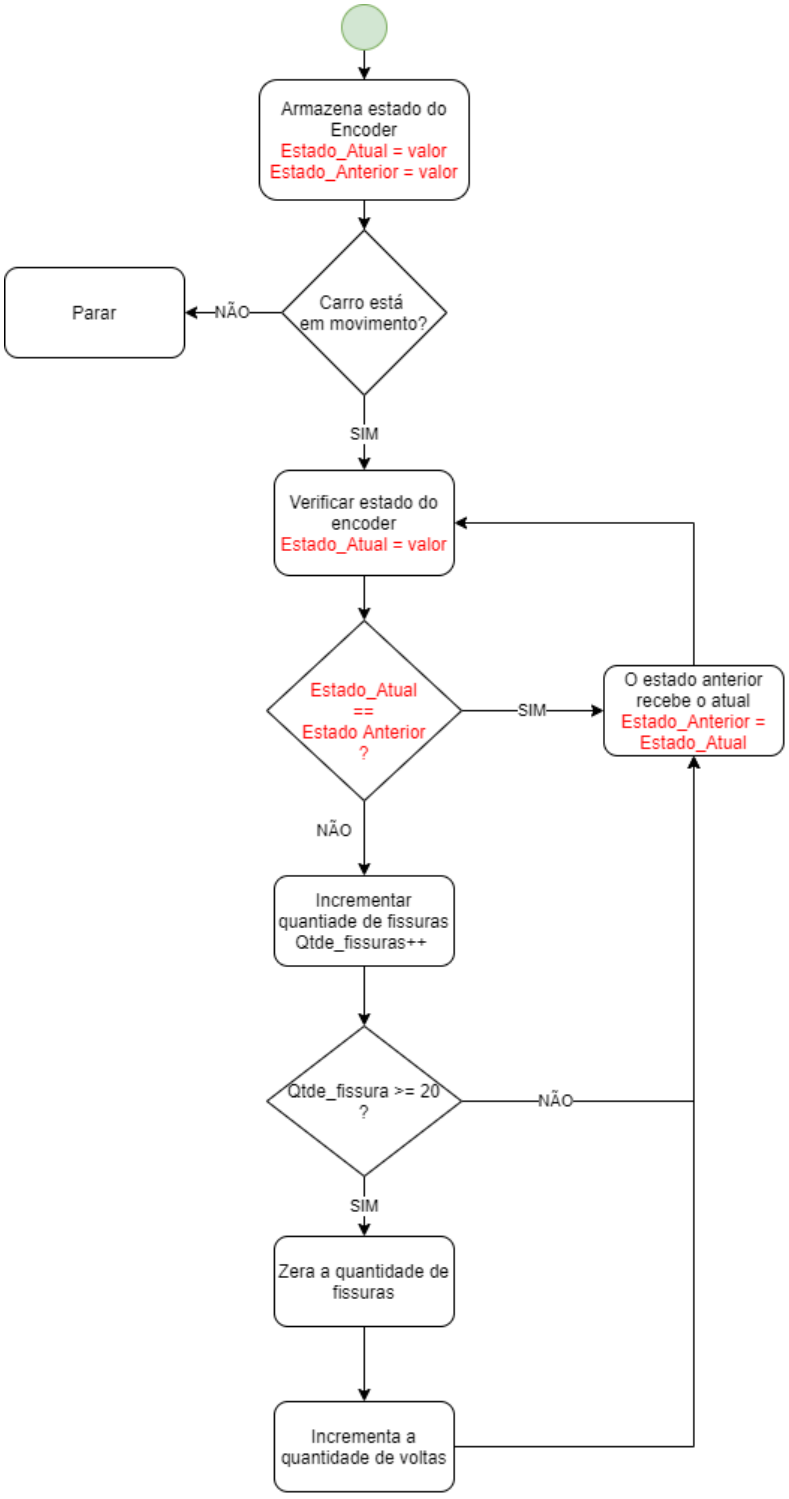
Para a alimentação da ponte H (e consequentemente, dos motores), foi utilizada uma bateria de 9V devido ao seu tamanho compacto. Os 9V de tensão foram suficientes para alimentar o sistema, porém, não foi possível extrair a velocidade máxima dos motores. O ideal para o sistema seria utilizar uma bateria que pudesse fornecer mais potência, mas também é necessário considerar o peso dessa bateria e o seu tamanho.

Com relação à alimentação dos motores, os primeiros testes foram realizados sem utilizar o controle PWM da ponte H, porém, percebeu-se que o controle de velocidade seria necessário para o bom funcionamento do carro. Assim, os 6 pinos da ponte H foram utilizados, permitindo o controle de sentido de rotação e velocidade de ambos os motores.

### 3.1.3. Medição da velocidade

Para medir a velocidade do carro, foi utilizado um encoder e um disco com 20 fissuras acoplado ao eixo do pneu para medir sua rotação. Para o cálculo da velocidade, é utilizado o mesmo script em Python que controla a navegação do carro. A figura 14 ilustra o fluxo de como o valor do encoder é utilizado para calcular a quantidade de voltas do pneu.

**Figura 14** - Fluxograma do algoritmo associado ao encoder



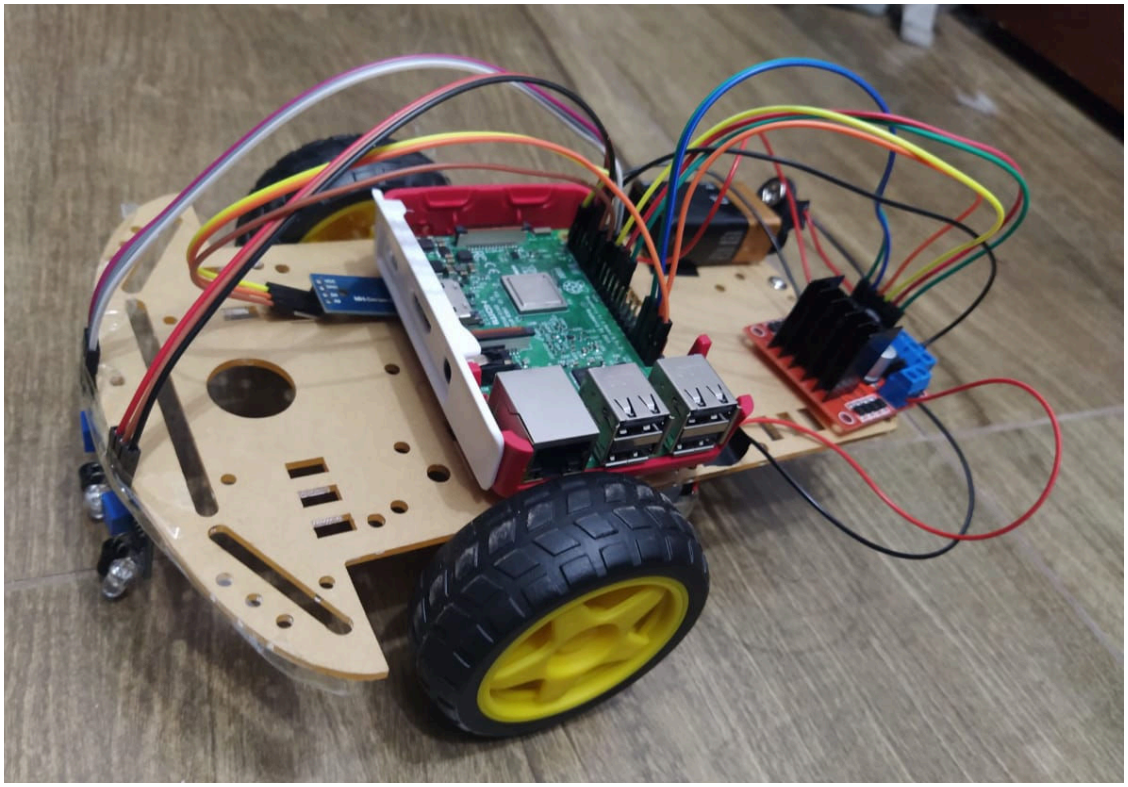

Fonte: Própria, 2021.

A partir da quantidade de voltas, conhecendo-se o tamanho do pneu, é possível encontrar a distância total percorrida. O algoritmo também armazena o tempo decorrido, assim, foi possível encontrar a velocidade média do carro no circuito.

Todos os componentes do carro foram acoplados a uma base de acrílico própria para a montagem deste tipo de robô. A base possui espaço para carros de 3 ou 4 rodas, sendo que há espaço para os motores das duas rodas dianteiras. O suporte dos motores veio junto com a base. Outro ponto positivo deste layout de base é a presença de dois vãos na altura dos motores, permitindo a montagem do encoder de forma simples. Este modelo de chassi é muito utilizado em carros com finalidade de estudo; é possível ainda expandir a base, acoplando mais andares ao carro, utilizando para isso os furos já presentes no molde.

A montagem dos 3 sistemas do carrinho resultou no que é mostrado na figura 15.

**Figura 15** - Montagem do carro sem a antena e SDR



Fonte: Própria, 2021

Na imagem não aparece a *power bank* utilizada para energizar o Raspberry para evidenciar a presença do encoder ligado ao pneu direito do carro.

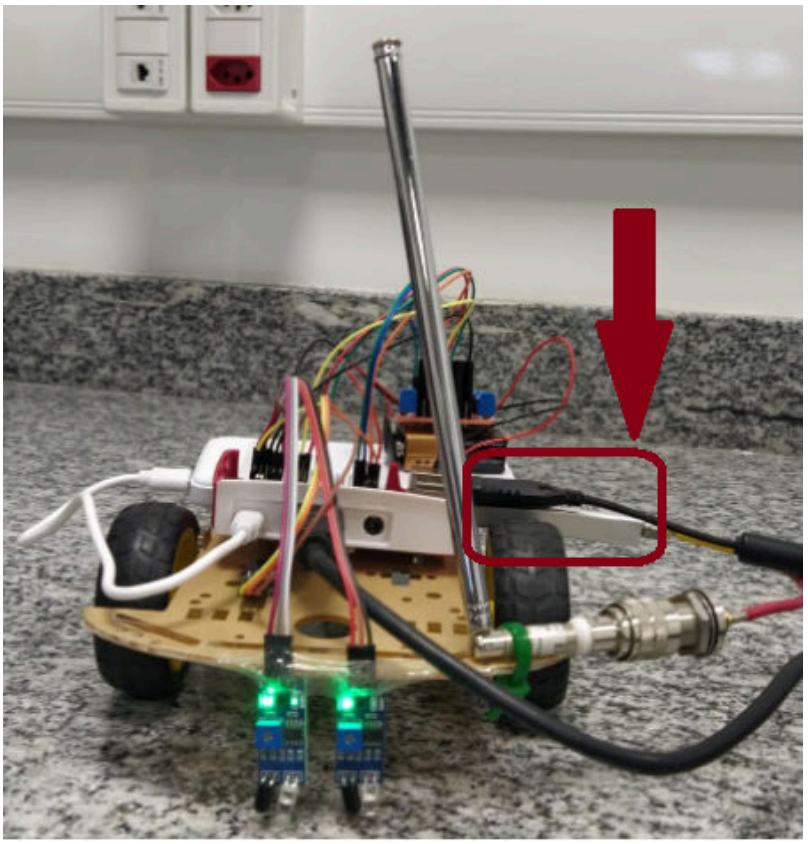
### 3.2 Coleta de Dados

O propósito do carro é realizar medidas de potência de sinal a partir do SDR de forma autônoma. O controle de navegação e obtenção de medidas referentes à distância e velocidade foram discutidos na subseção anterior. Nesta subseção, são mostrados os hardwares e softwares utilizados pelo SDR.

A antena utilizada foi a antena comercial  modelo J2043 produzida pela JDM Instrumentos. O software utilizado para a medição foi desenvolvido em *Python* e baseado no GNU Radio Companion. Este software foi escolhido devido à sua portabilidade entre diferentes sistemas. Outra vantagem é o fato de que o GNU Radio roda nativamente no sistema operacional do Raspberry Pi, permitindo ainda modificações para fins de *debug*; tais alterações não seriam permitidas em softwares comerciais como o Matlab (SILVA, 2021). O software também é gratuito e *open source*, o que, como dito anteriormente, permite modificações e também conta com uma forte comunidade *online* que contribui para o aprimoramento do sistema.

Para a captação da potência do sinal, foi utilizado um módulo RLT-SDR conectado à uma porta USB do Raspberry e uma antena conectada a esse módulo. A figura 16 mostra o resultado final da montagem do carro, com os equipamentos de medição e também o *power bank*. Está destacada na figura a conexão do RLT-SDR no Raspberry.

**Figura 16** - Montagem final do carro



Fonte: Própria, 2021.

Uma vez com o protótipo finalizado, foi realizada a medição da potência do sinal em um laboratório do 7° andar do bloco L da Universidade Federal do ABC. A medição ocorreu através de um circuito previamente montado de aproximadamente 11 metros de comprimento. A figura 17 mostra o circuito preparado.

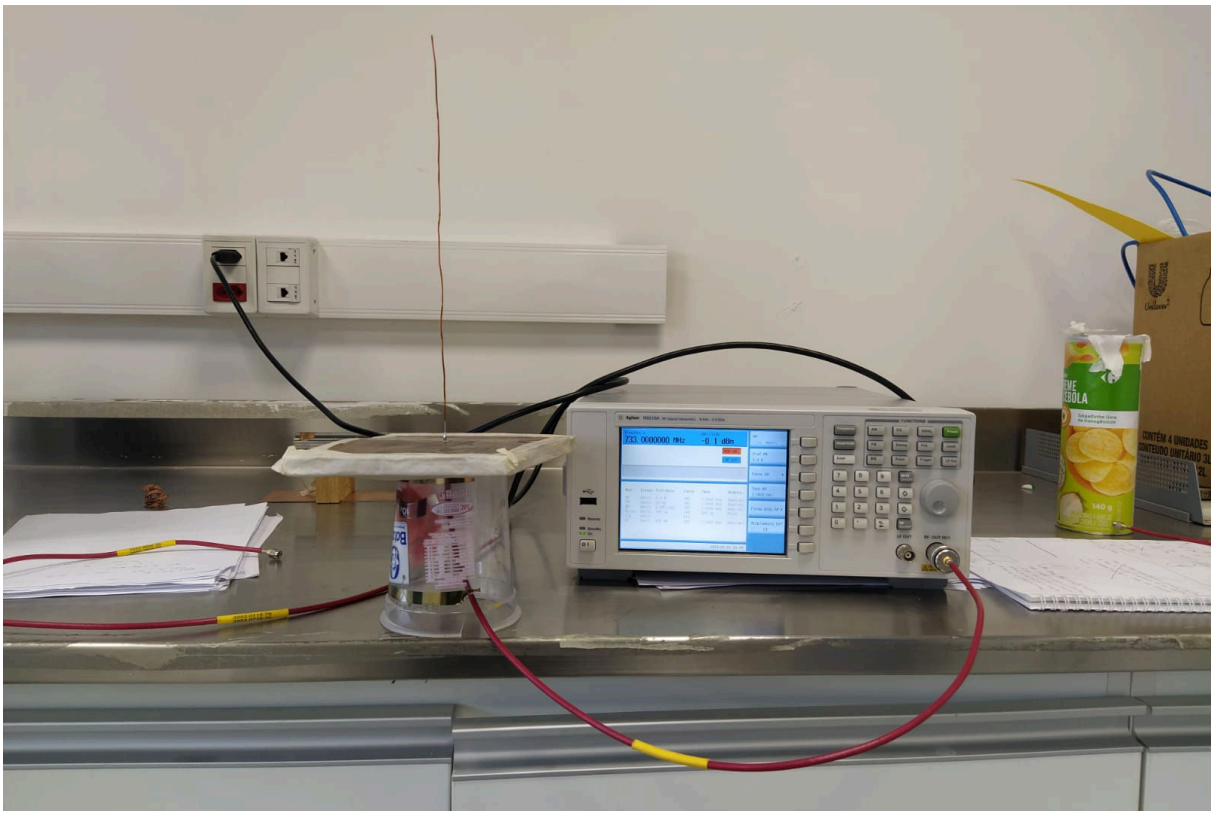
**Figura 17** - Circuito do carro para coleta de dados



Fonte: Própria, 2021.

Além do circuito, foi necessário configurar um gerador de sinais para emitir o sinal de alta frequência que seria captado pela antena posicionada no carro. Foi gerado um sinal de 733 MHz e -0,1 dBm de amplitude. O gerador foi posicionado em uma sala lateral do laboratório, a poucos metros do circuito. A figura 18 mostra o gerador de sinais configurado com sua antena.

**Figura 18** - Montagem do gerador de sinais



Fonte: Própria, 2021.

Para realizar as medições, o carro foi liberado do repouso no início do trajeto e pôde percorrer livremente o mesmo até o fim, sendo que a potência do sinal era obtida e registrada a cada volta do pneu. O mesmo trajeto foi realizado 4 vezes e mais 1 vez no sentido inverso. O tempo médio necessário para o carro percorrer o trajeto foi de 1 minuto e 30 segundos.

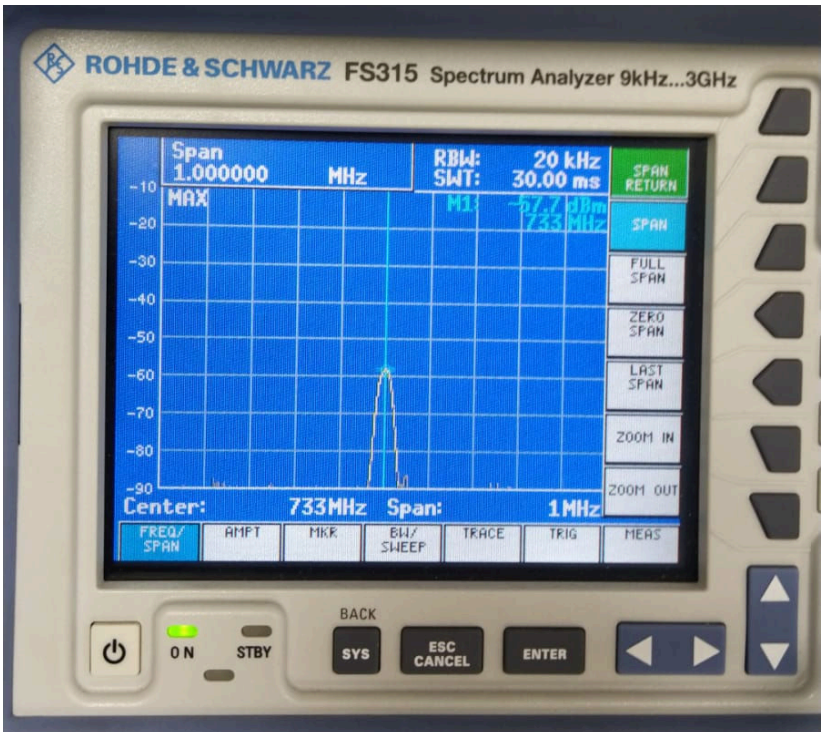
Considerando-se que o pneu do carro possui um diâmetro de 6,5 cm, foi possível calcular a distância percorrida entre cada medição da potência:

$$l = \pi \cdot d \Rightarrow l = \pi \cdot 6,5\ cm \Rightarrow$$
$$\Rightarrow l \approx 20,4\ cm$$

Assim, foram realizadas medidas da potência do sinal a cada 20,4 cm dentro do percurso de 11 m.

Além das medidas realizadas pelo carro, foi utilizado também um analisador de espectro disponível no laboratório. A figura 19 mostra o modelo e configuração do analisador:

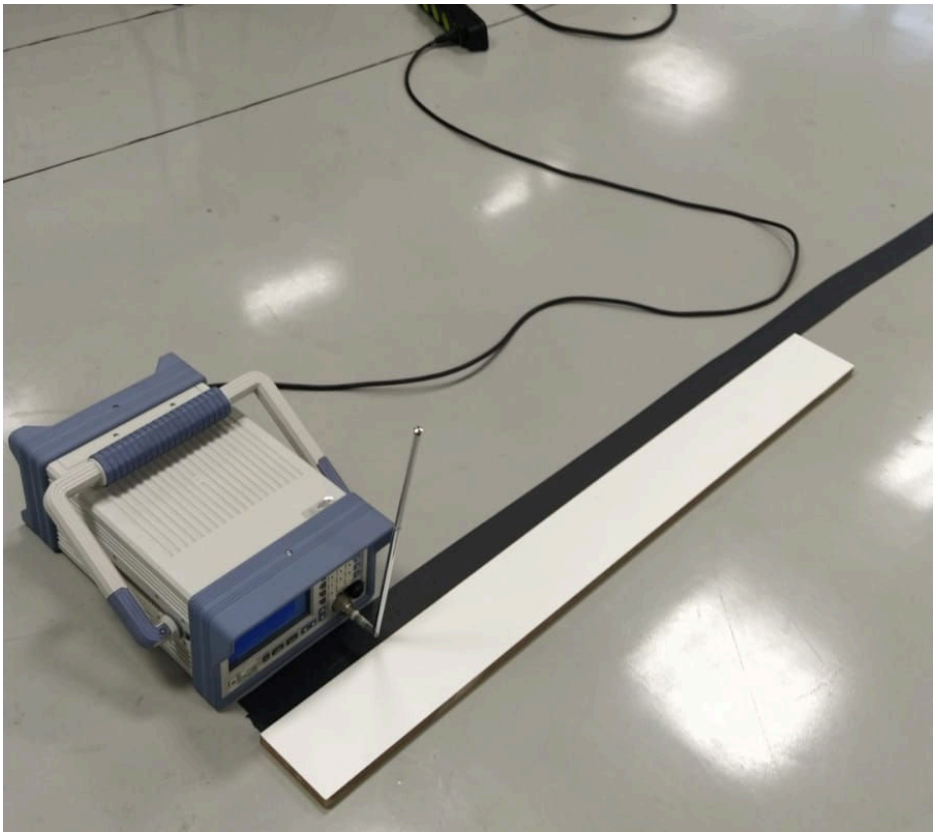
**Figura 19** - Analisador de Espectro




Fonte: Própria, 2021.

O analisador de espectro foi utilizado para medir a potência de sinal ao longo do percurso, realizando medições a cada 1 m. A figura 20 mostra como foi realizada a medição utilizando o analisador de espectro. Note que o aparelho foi posicionado horizontalmente, para que a antena tivesse aproximadamente a mesma altura tanto no analisador quanto no carro.

**Figura 20** - Medição a partir do analisador de espectro



Fonte: Própria, 2021.

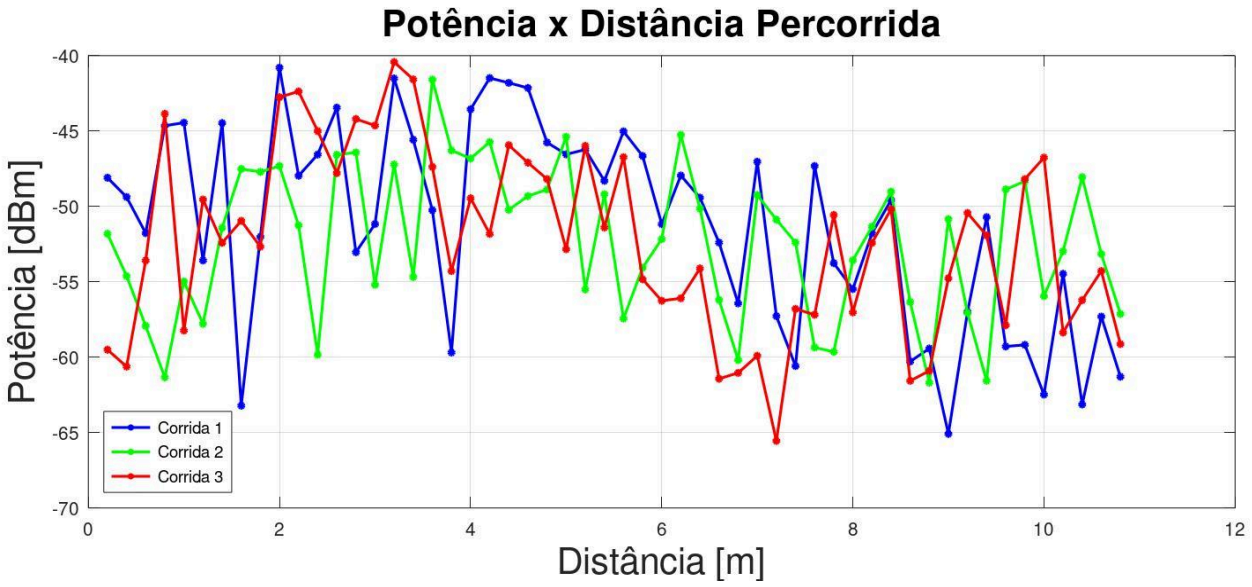
# 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção discute os resultados obtidos tanto pela coleta dos dados a partir do carro, quanto a partir do analisador de sinais. Além disso, traz também a geração dos mapas e os custos envolvidos no projeto.

## 4.1 Análise dos Dados

Como mostrado na seção de Metodologia, inicialmente, o carro autônomo percorreu o percurso 3 vezes no mesmo sentido, coletando o valor da potência do sinal a cada volta do pneu (o que ocorria a cada 20 cm). A figura 21 apresenta um gráfico com as 3 corridas realizadas pelo robô.

**Figura 21** - Gráfico da potência coletada pelo robô




Fonte: Própria, 2022.

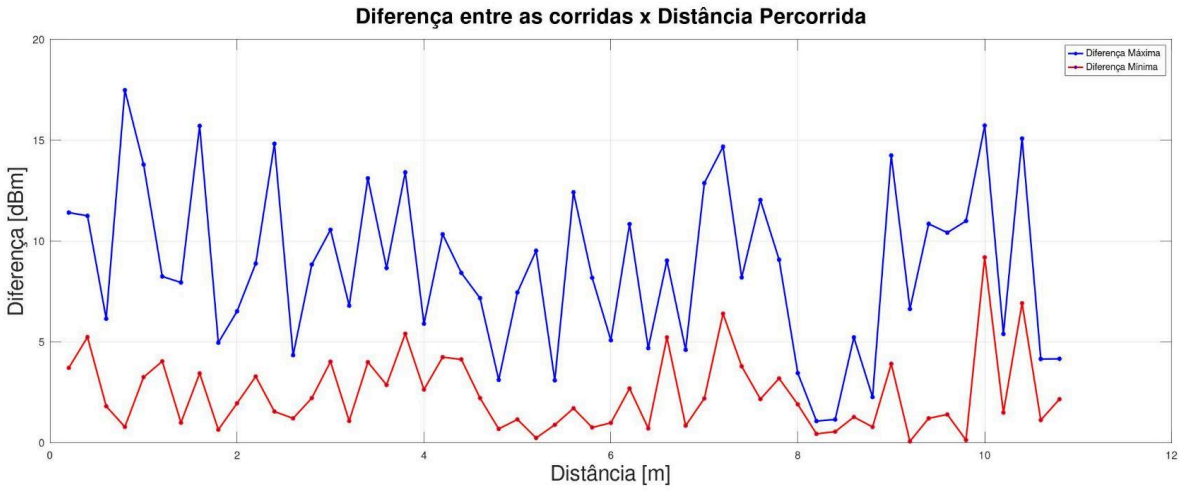
É possível observar que ao longo de todo o percurso, a potência do sinal se manteve numa faixa entre -60 dBm e -40 dBm. Os picos de potência foram semelhantes nas 3 corridas e é possível perceber que da metade para o fim do percurso os valores caem, isso se explica devido à maior distância do gerador e a presença da bancada de trabalho como obstáculo, como foi possível observar nas imagens da metodologia.

Apesar de os picos coincidirem, é possível perceber variações consideráveis entre as medidas. Uma das causas dessas variações foi a presença de pessoas se

movimentando na sala ao longo da captura dos dados. Uma maneira de buscar equalizar os resultados seria isolando o ambiente durante a coleta.

Para analisar visualmente as diferenças entre as medidas do carro, foi gerado o gráfico representado na figura 22. Cada um dos pontos foi calculado utilizando a maior diferença entre as corridas.

**Figura 22** - Diferença entre as medidas




Fonte: Própria, 2022.

Também foram tiradas medidas percorrendo o circuito no sentido contrário. A figura 23 apresenta um gráfico similar ao da figura 21, mas para a medida no sentido contrário.

**Figura 23** - Medição da potência no sentido inverso do percurso



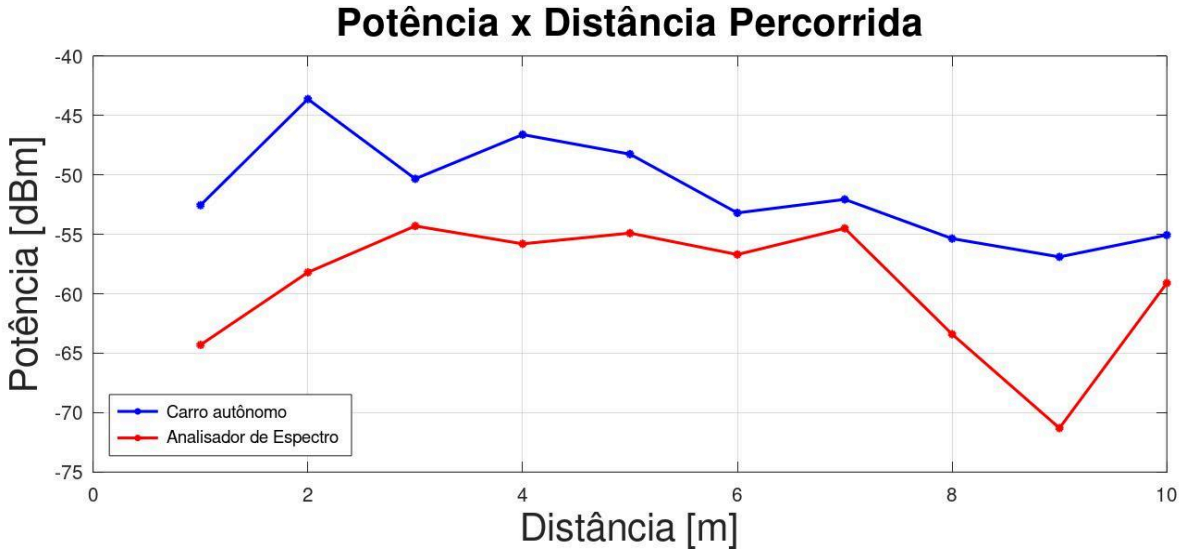

Fonte: Própria, 2022.

Neste gráfico é possível observar a mesma tendência de queda da potência do sinal devido à distância do gerador, mas dessa vez ela se apresenta nas voltas iniciais. Também é possível observar uma forte oscilação nas voltas finais; essa oscilação também ocorre na figura 21, e é observada nas voltas iniciais. A existência da oscilação pode ser explicada pelo efeito de *fading* que se faz evidente na posição do início do percurso. Apesar de estar mais próximo do gerador de sinais, o início do percurso estava posicionado de forma que haviam duas paredes entre o início da pista e o equipamento.

O efeito de *fading* é inerente a qualquer sistema de comunicação sem fio e é caracterizado pela atenuação do sinal; essa atenuação pode ser causada por diversas variáveis. No caso de ambientes *indoor*, fontes de atenuação são paredes e móveis. A atenuação causada por tais obstáculos causa o que é chamado de *multipath fading* e as medidas de potência de sinal sofrem variações consideráveis (PU; CHUNG, 2008).

Para fins comparativos, também foi realizada uma medição utilizando um analisador de espectro, como foi mostrado na seção de metodologia. Porém, ao contrário do carro, que realizava, em média, uma medição a cada 20 cm, a medição com o analisador de espectro foi realizada com o espaçamento de 1 m. Assim, para comparar os dados obtidos em ambas as coletas, foram utilizados somente os dados referentes às distâncias de metro em metro. Além disso, foi tirada uma média entre os valores das 3 coletas feitas pelo robô. A figura 24 apresenta um gráfico com as comparações entre os dois métodos de medição.

**Figura 24** - Potência medida com o Carro e o Analisador de Espectro

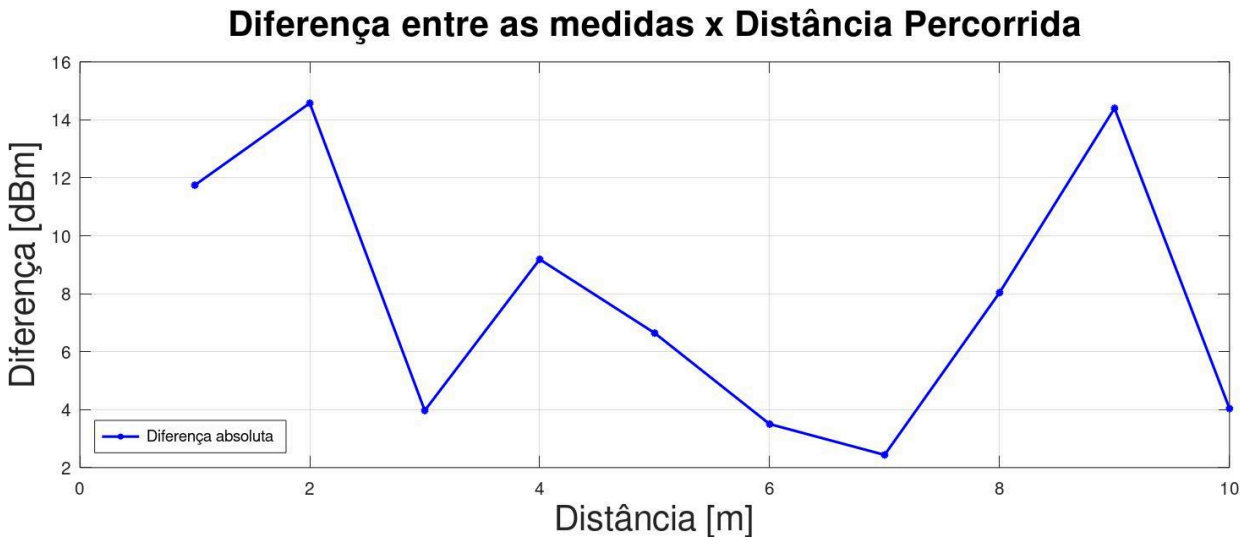



Fonte: Própria, 2022.

A partir das curvas geradas, é possível observar que houve uma proximidade significativa nos dados obtidos pelos dois métodos, principalmente na zona central do percurso. As discrepâncias no início e fim do trajeto podem ser explicadas pelos mesmos motivos apresentados anteriormente. Há ainda outros fatores relevantes na comparação entre as medidas: Um deles é a própria estrutura de cada equipamento; as medidas não poderiam ser idênticas, pois a estrutura dos equipamentos afeta o campo magnético próximo, influenciando no valor processado. Outro fator é a altura da antena em cada medição; a altura da antena do analisador de espectro foi posicionada alguns centímetros mais alta do que a antena do carro.

Além disso, nota-se que no fim do percurso, o carro autônomo apresentou uma performance melhor, já que os valores apontados pelo analisador de espectro superaram o fundo de escala de -68 dBm. A figura 25 apresenta um gráfico com a diferença entre as medidas em cada ponto, reforçando a ideia de que a zona central apresentou maior consistência.

**Figura 25** - Diferença entre as medidas realizadas pelo carro e pelo analisador




Fonte: Própria, 2022.

Apesar dos dados encontrados terem sido consistentes e próximos aos valores obtidos pelo analisador de espectros comercial, o carro apresentou dificuldades em percorrer o circuito no momento da coleta de dados. O carro havia sido testado previamente, mas sem a presença da antena e o do adaptador plugado no mesmo; ao adicionar esses dois novos componentes, o carro ficou pesado e desbalanceado. Na composição final, o carro estava com aproximadamente 775 g. Durante a coleta de dados no laboratório, em alguns momentos foi necessário empurrar o carro para que o mesmo saísse da inércia e pudesse rodar livremente. Porém, mesmo com as pausas, como o carro realizava a coleta de dados baseado na distância percorrida e não no tempo, os valores foram obtidos nos mesmos pontos e puderam ser comparados.

Durante a construção do carro e a coleta dos dados, foram registrados vídeos do processo. O link a seguir mostra um vídeo compilado com um trecho de teste do carro em um circuito fechado e com uma das corridas de coleta de dados no laboratório da UFABC.

Link: Demonstração Carro Autônomo - TG - YouTube

### 4.2 Custos Envolvidos

Os materiais utilizados para construir o projeto foram listados e discutidos nas seções anteriores, porém, sem entrar no mérito de seus custos. A tabela 2 detalha o preço e a quantidade de todos os componentes utilizados. O gerador de sinais, o

adaptador RTL-SDR e a antena foram fornecidos pelo laboratório da universidade e não constam na tabela de preços.

**Tabela 2** - Custos dos materiais

| Material | Quantidade | Valor Unitário | Valor Total |
|---|---|---|---|
| Raspberry 3 Modelo B | 1 | R$300,00 | R$300,00 |
| Chassi | 1 | R$20,00 | R$20,00 |
| Motor DC | 2 | R$10,00 | R$20,00 |
| Pneu | 2 | R$5,00 | R$10,00 |
| Driver Ponte H | 1 | R$29,00 | R$29,00 |
| Módulo LDR + LED | 2 | R$8,00 | R$16,00 |
| Encoder | 1 | R$15,00 | R$15,00 |
| Jumper | 50 | R$0,30 | R$15,00 |
| Power Bank (10000 mAh) | 1 | R$50,00 | R$50,00 |
| Bateria 9V | 1 | R$21,00 | R$21,00 |
| **Total** | | | **R$496,00** |

Fonte: Própria, 2021

## 5. CONCLUSÃO

A partir do projeto realizado, foi possível perceber a eficácia da utilização do adaptador RTL-SDR para a medição de potência de sinais RF. A utilização de um carro autônomo para realizar a medição também se mostrou eficiente, garantindo um elevado valor de amostras e permitindo observar a variação da recepção do sinal ao longo de um trajeto pré-definido.

Algumas limitações devem ser destacadas. A necessidade de se traçar a linha preta no trajeto pode ser um inconveniente, uma vez que pela configuração do carro, a mesma necessitaria de ao menos 4 cm de largura, o que pode consumir um grande volume de material. Além disso, é necessário avaliar a relação entre a carga do carro e o fornecimento de energia; como comentado na seção de resultados, a montagem final ficou muito pesada para a bateria de 9V que foi utilizada, porém, utilizar uma bateria mais potente também envolveria maior peso no sistema.

De forma geral, o carro autônomo cumpriu seu papel e foi capaz de coletar os dados de forma consistente; a utilização do SDR se mostrou confiável, como também concluído pelo trabalho de Silva (2021). Um aspecto positivo a se considerar quando se compara a medição de potência de sinal RF proposto por este trabalho em comparação com os modelos tradicionais é a praticidade. A coleta dos dados utilizando o analisador de espectro se mostrou mais complicada, devido à dependência de uma tomada como fonte de energia, além disso, foi necessário outro aparato para medir a distância entre cada ponto de medição, enquanto o carro o fazia automaticamente.

Como considerações para trabalhos futuros, pode-se escolher um modelo de chassi maior e que comporte a antena sem que a mesma interfira na distribuição de carga. Outra possibilidade de melhoria seria utilizar mais sensores infravermelho, e com isso passar informações ao carro com base na espessura do marcador de percurso, por exemplo. Existem módulos de 5 sensores infravermelhos acoplados disponíveis no mercado, podendo tornar a navegação do carro mais precisa e diminuir a espessura mínima da faixa.

## 6. REFERÊNCIAS

NASCIMENTO, Luciano. **Tecnologia 5G estará disponível em todas as capitais até julho de 2022**. **Agência Brasil.** Brasília, p. 1-1. 26 fev. 2021. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-02/tecnologia-5g-estara-disponivel-em-todas-capitais-ate-julho-de-2022. Acesso em: 15 jul. 2021.

HANTHEQUESTE, Ruan; MOTA, Vitor L. G.; MAGRI, Vanessa P.R.; CASTELLANOS, Pedro V.G. **Antena Loop em UHF com banda tripla no FR-4**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS, 37., 2019, Petrópolis.

GRAYVER, Eugene. What is a Radio? In: GRAYVER, Eugene. **Implementing Software Defined Radio**. California: Springer, 2012. p. 1-4.

GRAYVER, Eugene. What Is a Software-Defined Radio?? In: GRAYVER, Eugene. **Implementing Software Defined Radio**. California: Springer, 2012. p. 5-8.

LAUFER, Carl. INTRODUCTION. In: LAUFER, Carl. **THE HOBBYIST'S GUIDE TO THE RTL-SDR**: really cheap software defined radio. 3. ed. Usa: Createspace Independent Publishing Platform, 2015. p. 11-23.

STEWART, Robert W. *et al*. **Software Defined Radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR**. Glasgow: Strathclyde Academic Media, 2015. 674 p.

PAZOS, Fernando. Robótica. In: PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica**. Rio de Janeiro: Axcel, 2002. Cap. 2. p. 1-12.

RIBEIRO, Lays Cavalcante. **DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ AUTÔNOMO PARA EXPLORAR E MAPEAR UM LOCAL DESCONHECIDO**. 2019. 50 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia da Computação, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

STALLINGS, William. **ARQUITETURA E ORGANIZAÇÃO DE COMPUTADORES**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2009. Disponível em: http://www.telecom.uff.br/orgarqcomp/arq/arquitetura-e-organizacao-computadores-8a.pdf. Acesso em: 05 jul. 2021.

FOUNDATION, Raspberry Pi. **FAQs**. Disponível em: https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/#hardware. Acesso em: 15 jul. 2021.

PETRUZELLA, Frank D.. Motores Elétricos. In: PETRUZELLA, Frank D.. **MOTORES ELÉTRICOS E ACIONAMENTOS**. Porto Alegre: Amgh, 2013. p. 113-174.

VELOSO, Pedro Henrique Oliveira. **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA VEÍCULOS AUTÔNOMOS COM LOCALIZAÇÃO E MAPEAMENTO SIMULTÂNEOS**. 2019. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Instituto Federal Minas Gerais, Formiga, 2019.

PANDIT, Abhiemanyu. **Line Follower Robot using AVR Microcontroller ATmega16**. 2019. Disponível em: https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/line-follower-robot-using-avr-microcontroller-atmega16. Acesso em: 16 mai. 2021.7

K. M. Hasan, Abdullah-Al-Nahid and A. Al Mamun, "**Implementation of autonomous line follower robot**," 2012 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), 2012, pp. 865-869, doi: 10.1109/ICIEV.2012.6317486.

SPANIOL, Luis Fernando Fontoura. **Robô seguidor de linha com controle automático via processamento de imagem**. 2018. 12 f. TCC (Graduação) - Instituto de Ciências Exatas e Geociências, Universidade Passo Fundo, Passo Fundo, 2018. Disponível em: http://repositorio.upf.br/bitstream/riupf/1598/1/PF2018Luis%20Fernando%20Fontoura%20Spaniol.pdf. Acesso em: 20 maio 2021.

ROCHA, Fábio Saraiva da; MARANGHELLO, Guilherme Frederico; LUCCHESE, Márcia Maria. Acelerômetro eletrônico e a placa Arduino para ensino de física em tempo real. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 98, 25 nov. 2013. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n1p98.

ALMEIDA, Fernanda. **O que é Encoder? Para que serve? Como escolher? Como interfacear?**. Hi Tecnologia, 2017. Disponível em: <O que é Encoder? Para que serve? Como escolher? Como interfacear? | HI Tecnologia>. Acesso em: 20 outubro 2021.

GARG, Aarav. **How to Make Line Follower Robot Using Arduino**. Instructables Circuits, 2018. Disponível em: <How to Make Line Follower Robot Using Arduino : 5 Steps - Instructables>. Acesso em: 18 setembro 2021.

RoboCore. **Robô Seguidor de Linha**. RoboCore, 2018. Disponível em: <Robô Seguidor de Linha - Tutoriais - RoboCore>. Acesso em: 03 outubro 2021.

SILVA, Felipe Augusto Anon da. **SISTEMA DE MEDIÇÃO DE RF DE BAIXO CUSTO BASEADO EM SDR**. 2021. 90 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia da Informação, Universidade Federal do Abc, Santo André, 2021

STMICROELETRONICS. **Datasheet do driver L298N**. STMicroelectronics, 1999. Disponível em:<Dual full-bridge driver (st.com)> . Acesso em: 23 fevereiro 2022.

PU, Chuan-Chin; CHUNG, Wan-Young (2008). **Mitigation of Multipath Fading Effects to Improve Indoor RSSI Performance**. IEEE Sensors Journal, 8(11), 1884–1886. doi:10.1109/jsen.2008.2006453

MARWANTO, Arief et al (org.). **Experimental Study of OFDM Implementation Utilizing GNU Radio and USRP - SDR**. Proceedings Of The 2009 Ieee 9Th Malaysia International Conference On Communications. Skudai, p. 1-3. dez. 2009.