



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

VANESSA LUCENA VIDAL DE NEGREIROS

**APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO POR
RADIOFREQUÊNCIA A SISTEMAS SEGUIDORES DE
TRAJETÓRIA**

Campina Grande, Paraíba
Novembro de 2015

VANESSA LUCENA VIDAL DE NEGREIROS

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO POR
RADIOFREQUÊNCIA A SISTEMAS SEGUIDORES DE
TRAJETÓRIA

*Trabalho de Conclusão de Curso 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.*

Área de Concentração: Telecomunicações

Orientador:

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Novembro de 2015

VANESSA LUCENA VIDAL DE NEGREIROS

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO POR
RADIOFREQUÊNCIA A SISTEMAS SEGUIDORES DE
TRAJETÓRIA

*Trabalho de Conclusão de Curso 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.*

Área de Concentração: Telecomunicações

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Edmar Candeia Gurjão, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Aos meus pais, pois sem eles, nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à UFCG, por ter proporcionado o ambiente necessário à minha formação acadêmica.

Agradeço à minha família, pelo apoio desde a escolha do curso de Engenharia Elétrica anos atrás. Pela compreensão, carinho e dedicação em todos os momentos dessa longa jornada. Em particular ao meu pai, Saulo, pelo exemplo de engenheiro eletricista competente, pai paciente e inspirador serviram de modelo de pessoa por toda minha vida. À minha mãe, Jussara, cujo exemplo de mulher independente e trabalhadora, sempre me motivaram a perseguir meus sonhos, pois seu apoio emocional me deu forças para continuar, mesmo quando tudo parecia impossível. Aos meus irmãos, Saulo, Felipe e Lucas, que partilharam desde sempre o entusiasmo dos desafios da vida e do curso. Em especial, ao meu irmão Saulo, cujo apoio, compreensão, cumplicidade, experiência e orientação me guiaram por todos os anos de curso.

Agradeço ao meu namorado, Lucas, cujo apoio, compreensão, ajuda, dedicação incondicional e, principalmente, amor, carinho e paciência, deram-me forças para enfrentar todos os desafios e contratempos da vida e do curso.

Agradeço aos amigos de curso, que compartilharam de todos os momentos, bons e difíceis, ao longo de todos os anos de graduação.

Agradeço ao professor e orientador Edmar Candeia Gurjão, por acreditar nas minhas ideias e me dar as condições necessárias para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram, de todas as formas, para a realização do sonho de me tornar Engenheira Eletricista.

*“Arte sem Engenharia é sonho.
Engenharia sem arte é cálculo.”*

Steven Roberts.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo aplicar a tecnologia de identificação por radiofrequência como método de controle de direção a sistemas veiculares autônomos. Inicialmente, foi feito um estudo sobre os sistemas Auto-ID (identificação automática), em especial da tecnologia de identificação por radiofrequência. Ressalta-se os diferentes tipos de aplicações para esta técnica, assim como a descrição de todos os seus componentes fundamentais. Em seguida, é feita uma análise dos sistemas veiculares autoguiados (AGVs), contendo as características principais deste método e suas aplicações. Depois, uniu-se os princípios destes dois tipos de sistemas para a introdução de uma nova aplicação contendo os elementos fundamentais dos dois modelos. O funcionamento do novo sistema é implementado por meio do desenvolvimento de um protótipo baseado na plataforma Arduino, para validação dos critérios do projeto e desenvolvimento futuro de novos tipos de aplicações.

Palavras-chave: Veículos autoguiados, radiofrequência, Arduino, controle de direção.

ABSTRACT

This Project has the objective of apply the radio frequency identification technology as a direction controlling method for autonomous vehicular systems. Inicialy, a study of Auto-ID (authomatic identification) systems was made, specially about the radio frequency identification technology. The different types of applications for this technique is highlighted, as well as a description of all the fundamental components. Then, it is made an analysis about the autoguided vehicles (AGVs) systems, with the main characteristics of this method and its applications. Later, the principles of these two types of systems are joined to introduce a new approach that contains both fundamental elements of the two models. The operation of the new system is implemented by the construction of a prototype based on the Arduino plataform, to validate the project criteria and future development of new applications.

Keywords: Autoguided vehicles, radio frequency, Arduino, direction control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Componentes e funcionamento de um sistema RFID.	23
Figura 2. Componentes fundamentais de uma tag RFID.	23
Figura 3. Típico formato de uma tag do tipo disco ou moeda.	26
Figura 4. Tag do tipo involucro de vidro.	27
Figura 5. Tag no formato de chaveiro.	27
Figura 6. Tag do tipo cartão.	28
Figura 7. Tag RFID do tipo rótulo.	28
Figura 8. a) Detalhe da instalação do cabo condutor sob o piso; b) AVG filo guiado em operação.	31
Figura 9. Exemplo de um AGV com sistema de direção de faixa óptica. .. Error! Bookmark not defined.	
Figura 10. Modelo de um AGV com laser como método de direção.	33
Figura 11. Componentes de uma placa ArduinoMega2560.	35
Figura 12. Configuração do Motor Shield L293D.	36
Figura 13. Diagrama do circuito ponte H.	37
Figura 14. Circulação da corrente nos dois sentidos controlados pela ponte H.	37
Figura 15. a) Módulo MFRC522; b) exemplos de tags compatíveis com o MFRC522.	38
Figura 16. Kit Chassi 2WD.	39
Figura 17. Exemplos de caixas de redução: a) com roldanas; b) com rodas dentadas.	40
Figura 18. Roda esférica.	41
Figura 19. Ligações dos motores DC ao Motor Shield.	42
Figura 20. Pino de acesso ao terminal de alimentação 3.3V.	43
Figura 21. Protótipo montado.	44
Figura 22. Lógica básica do código.	45
Figura 23. Diagrama exemplificando as disposições das etiquetas para que o protótipo siga uma determinada trajetória.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparação entre tags ativas, passivas e semi-passivas.	24
Tabela 2. Lista de padrões de radiofrequências.	25
Tabela 3. Especificações técnicas do Arduino Mega 2560.	35
Tabela 4. Especificações do módulo MFRC522.	38
Tabela 5. Especificações do Kit Chassi 2WD.	40
Tabela 6. Ligações do módulo MFRC522 à placa do Arduino Mega.	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Auto-ID - Automatic Identification - Identificação Automática

AGV - Autoguided Vehicle - Veículo Autoguiado

RFID - Radio Frequency Identification - Identificação por Radiofrequência

OCR - Optical Character Recognition - Reconhecimento Óptico de Caracteres

ICC - Integrated Circuit Card - Cartão de Circuito Integrado

ISO - International Organization for Standardization - Organização Internacional de Padronização

IFF - Identify Friend or Foe - Identificar Amigo ou Inimigo

EUA - Estados Unidos da América

RF - Rádio Frequência

LF - Low Frequency - Baixa Frequência

HF - High Frequency - Alta Frequência

UHF - Ultra High Frequency - Frequência Ultra Alta

NFC - Near Field Communication - Comunicação de Campos Próximos

IEC - International Electrotechnical Commission - Comissão Internacional Eletrotécnica

PVC - Policloreto de Vinila

CLP - Controlador Lógico Programável

PWM - Pulse Width Modulation - Modulação de Largura de Pulso

UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter - Receptor/Transmissor Universal Assíncrono

USB - Universal Serial Bus - Barramento Serial Universal

IDE - Integrated Development Environment - Ambiente de Desenvolvimento Integrado

SPI - Serial Peripheral Interface - Interface Serial Priférica

MISO - Master In Slave Out - Mestre Entrada Escravo Saída

MOSI - Master Out Slave In - Mestre Saída Escravo Entrada

SCK - Serial Clock - Relógio Serial

SS - Slave Select - Seleção de Escravo

SUMÁRIO

1	Introdução.....	13
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivos	14
1.3	Estrutura do Trabalho	15
2	Sistemas Auto-ID	16
2.1	Código de barras	16
2.2	Reconhecimento Óptico de Caracteres	16
2.3	Biometria	17
2.3.1	Reconhecimento de Voz	17
2.3.2	Impressões Digitais.....	18
2.4	Cartões Inteligentes.....	18
2.5	Sistemas RFID	19
3	Identificação por Radiofrequência.....	19
3.1	História do RFID.....	20
3.2	Componentes de um Sistema RFID	22
3.2.1	Tags	23
3.2.2	Leitores RFID.....	28
3.2.3	Sistemas de banco de dados.....	29
4	Sistemas Veiculares Autoguiados	29
4.1	Sistema Filoguiado.....	31
4.2	Visão Computacional.....	32
4.3	Sensores Ópticos.....	32
4.4	Sistema a Laser	33
5	Protótipo	33
5.1	Componentes utilizados no protótipo.....	34
5.1.1	Arduino Mega.....	34
5.1.2	Motor Shield.....	35
5.1.3	Módulo RFID MFRC522	37
5.1.4	Kit Chassi	39
5.1.5	Roda Esférica.....	41
5.2	Montagem	41
5.3	Desenvolvimento do Código Fonte.....	44
6	Testes e Resultados.....	47
7	Conclusões.....	48
	Bibliografia.....	50
	APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE	52

1 INTRODUÇÃO

Recentemente, modelos de identificação automática (Auto-ID, do inglês *automatic identification*) tornaram-se bastante populares em vários setores da indústria, especialmente em serviços de logística, manufatura, vendas e em sistemas de fluxo de materiais. Processos Auto-ID podem ser aplicados na identificação de pessoas, mercadorias, animais e produtos em trânsito, tendo como principal representante os modelos baseados em códigos de barra. Apesar de terem desencadeado uma revolução nos sistemas de identificação por terem um baixo custo, os códigos de barra vêm se mostrando inadequados em um número crescente de aplicações devido à necessidade de uma linha de visão direta do leitor com a etiqueta, e à baixa capacidade de armazenamento de dados.

A tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) é um dos sistemas que fazem parte do leque de tecnologias Auto-ID, e vêm se mostrando como uma substituta à altura dos seus predecessores, especialmente devido à evolução nas técnicas de produção de componentes eletrônicos em larga escala, tornando os custos de fabricação desses sistemas significativamente menores. Este tipo de técnica baseia-se no princípio de que um objeto pode ser identificado de forma automática por uma etiqueta fixada nele, e cujas informações são lidas por um leitor em ressonância com a antena da etiqueta e armazenadas em uma unidade de processamento de dados.

Outra tecnologia que promove a automatização de processos são os sistemas que utilizam os veículos autoguiados (AGVs, do inglês *autoguided vehicles*), idealizados para movimentar mercadorias e produtos dentro de estabelecimentos, como fábricas e armazéns, ligando equipamentos diferentes, e permitindo a economia de tempo, energia, espaço e auxiliando na logística empresarial. Os AGVs locomovem-se de maneira autônoma, sem a necessidade de um operador humano, ou de obras fixas no pavimento. Essa característica permite um alto nível de flexibilidade neste sistema, permitindo eventuais desenvolvimentos futuros no estabelecimento. Os veículos autoguiados podem comunicar-se com outros sistemas, ou robôs, automatizados para que o gerenciamento do fluxo produtos seja feito de maneira eficiente.

Este trabalho apresenta uma proposta de um sistema que une os conceitos e fundamentos dos modelos de identificação por radiofrequência e dos modelos de veículos autoguiados, com a construção de um protótipo baseado na plataforma Arduino como unidade de processamento.

1.1 MOTIVAÇÃO

A necessidade por sistemas de locomoção automáticos vem crescendo com o passar dos anos. Atualmente, várias linhas de pesquisa vêm desenvolvendo modelos aplicados no transporte de mercadorias, pessoas e animais, visando a diminuição de custos e maior eficiência nos processos.

Recentemente, a empresa Google desenvolveu um veículo de condução autônoma para o transporte do dia-a-dia de pessoas em cidades. O projeto tem como objetivo reduzir o número de acidentes causados por imprudência ou imperícia de motoristas, além de permitir que pessoas impossibilitadas de utilizar carros comuns também tenham acesso ao transporte privado. Este é apenas um exemplo de modelos de AGVs em desenvolvimento; existem vários sistemas para veículos autoguiados, baseados em tecnologias diversas: leitores ópticos, sonoros, processamento de imagens, etc.

Neste trabalho, é apresentada uma alternativa a esses métodos no que diz respeito ao controle da direção de veículos, utilizando as técnicas de identificação por radiofrequência.

1.2 OBJETIVOS

Este projeto tem como objetivo principal desenvolver um protótipo de um sistema veicular autoguiado utilizando a tecnologia de identificação por radiofrequência, capaz de completar um circuito variável determinado por etiquetas RFID lidas por um sensor RFID acoplado à parte inferior do protótipo.

Deve ser desenvolvido um sistema que utiliza a plataforma Arduino como unidade de processamento principal, etiquetas do tipo MIFARE 1k e um sistema de motores para locomoção do veículo. As etiquetas devem ser dispostas de modo a formar um circuito com uma trajetória pré-definida.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho está estruturado da seguinte forma: no Capítulo 2 é feita uma introdução aos sistemas Auto-ID e uma descrição das principais tecnologias que utilizam estes conceitos; no Capítulo 3, apresenta-se uma visão geral das técnicas RFID, sua história, funcionamento, componentes e aplicações; no Capítulo 4, introduz-se os sistemas com base em AGVs, seu funcionamento e exemplos de aplicações; no Capítulo 5, detalham-se todos os componentes utilizados no projeto, a montagem do protótipo e o desenvolvimento do código fonte; no Capítulo 6, apresentam-se os testes realizados e os resultados obtidos; e no Capítulo 7 são feitas as considerações finais e conclusões sobre o projeto.

2 SISTEMAS AUTO-ID

A identificação por radiofrequência, em termos de aplicações comerciais, pode ser considerada apenas uma parte de uma classe mais abrangente: a dos sistemas de identificação automática (“Auto-ID”), que, em essência, anexam a um objeto um nome, ou outro tipo de identificação, de modo que possa ser lido automaticamente [1].

A seguir, estão descritos os principais sistemas Auto-ID.

2.1 CÓDIGO DE BARRAS

Um código de barras nada mais é do que um código binário, com uma série de barras pretas e espaços brancos entre elas, cuja variação das larguras é impressa de modo a identificar um objeto de forma única, por meio de um escâner com laser que mede a luz refletida pelo código de barras e, assim, é capaz de traduzir o código em letras e números.

Os sistemas baseados em códigos de barras começaram a revolucionar a indústria de Auto-ID nos setores de vendas, rastreamento de objetos e controle de inventário. Foram responsáveis pela diminuição de erros de identificação, tempo de aquisição de dados e custos, além de aumentar a precisão e facilitar o gerenciamento. Atualmente, esses modelos têm sido cada vez mais aperfeiçoados para incluir aplicações mais sofisticadas, como tempo de permanência, controle de qualidade, classificação e rastreamento de documentos [4].

Apesar de todas essas vantagens, o código de barras vem se mostrando inadequado em um número crescente de casos. Mesmo sendo extremamente baratos, o fato de não possuírem uma maior capacidade de armazenamento, não poderem ser reprogramados, e necessitarem de uma linha visual direta com a etiqueta os leva a perder a praticidade em várias situações.

2.2 RECONHECIMENTO ÓPTICO DE CARACTERES

O *optical character recognition* (OCR), ou reconhecimento óptico de caracteres, foi inicialmente usado nos anos de 1960, e trata-se de um sistema que reconhece

automaticamente as letras de documentos digitalizados. A grande vantagem desse modelo é a alta densidade de informação e a possibilidade de os dados serem lidos visualmente pelo olho humano, no caso de defeitos ou emergências [5].

OCR é amplamente utilizado em setores administrativos, em bancos, recibos computadorizados, correspondências, e várias aplicações de registro de dados. É um método comum de digitalização de textos impressos que podem ser editados e pesquisados eletronicamente, disponibilizados virtualmente e usados em traduções automáticas.

No começo, foram desenvolvidas fontes de textos especiais para que pudessem ser lidas tanto por pessoas quanto por máquinas automaticamente. Essas máquinas precisavam ser treinadas com imagens de cada caractere e distinguiam uma fonte de cada vez. Atualmente, sistemas mais avançados possuem um nível bem mais alto de reconhecimento e precisão, pois a maioria das fontes se tornaram comuns ao sistema, além de também serem capazes de reconhecer outros tipos de componentes de um documento, como imagens, colunas e outros elementos não-textuais.

2.3 BIOMETRIA

As tecnologias de biometria são métodos automáticos de reconhecimento de pessoas baseados na aquisição e armazenamento de características biológicas e comportamentais. Amostras são coletadas de cada indivíduo para checagem das similaridades com amostras previamente coletadas e arquivadas em um banco de dados.

Assim como as outras tecnologias de Auto-ID, a biometria está presente no mercado há muitos anos, pois as pesquisas relacionadas a esse tópico estão em desenvolvimento há décadas. Outrossim, como em muitas outras áreas, os avanços em tecnologias computacionais também aceleraram a capacidade e a qualidade da tecnologia de biometria [6].

2.3.1 RECONHECIMENTO DE VOZ

Nos sistemas de biometria por reconhecimento de voz, o usuário é requisitado a falar em um microfone conectado a um computador. O equipamento, então, converte as palavras ditas em sinais digitais, que são analisados por um programa de computador.

Podem ser distinguidos três principais tipos de aplicações que fazem uso da tecnologia de biometria por voz:

- verificação do locutor: confere se o locutor é um usuário cadastrado;
- identificação do locutor: compara a voz do locutor com um banco de dados, decidindo a identidade daquela pessoa, ou concluindo que ela não se encontra no banco de dados;
- identificação forense: os métodos acima são aplicados para auxiliar em investigações criminais.

Apesar disso, a biometria por identificação de voz apresenta problemas, como a variação do modo de falar dos seres humanos, a sensibilidade ao ruído e interferências de sons externos.

2.3.2 IMPRESSÕES DIGITAIS

A impressão digital é única para cada indivíduo e, de todos os sistemas de biometria, é a mais estudada, com aplicações na área de segurança datando desde o século XIX.

É um dos tipos de biometria mais populares, baseado na identificação de pessoas por meio da análise das irregularidades nas dobras da pele encontradas em um ou mais dedos. Contudo, a verificação das impressões digitais possui algumas desvantagens: desgastes nas minúcias dos dedos, secura nas mãos e sujeira podem gerar erros e deformidades que impedem a exata identificação da pessoa [7].

2.4 CARTÕES INTELIGENTES

Os primeiros cartões inteligentes, ou cartões de chip, ou ainda cartões de circuito integrado (ICC), foram implementados em 1984 na forma de cartões telefônicos pré-pagos. A *International Standard Organization* (ISO) especifica a estrutura física do cartão (ISSO 7816/3), composta de três elementos principais: cartão plástico, circuito impresso e um chip de circuito integrado. O cartão é colocado em um leitor que, através de uma conexão galvânica com a superfície de contato, é suprido com energia e um pulso

de clock pelo leitor. Os dados são transferidos entre o leitor e o cartão através de uma interface com uma porta serial bidirecional (porta I/O).

Uma das principais vantagens do cartão inteligente é o fato de que os dados contidos nele podem ser protegidos contra acessos e manipulações indesejáveis, o que explica o grande número de aplicações em serviços financeiros. Apesar disso, algumas desvantagens em sistemas baseados em cartões inteligentes podem ser observadas, como a vulnerabilidade nos contatos devido a desgastes, corrosão e sujeiras; além do que os leitores desse modelo possuem uma manutenção mais cara que os outros sistemas devido à tendência a defeitos.

2.5 SISTEMAS RFID

Os sistemas de radiofrequência (RFID) estão mais relacionados aos sistemas de cartões inteligentes descritos anteriormente, pois da mesma maneira que eles, dados são armazenados em um dispositivo específico para este fim, os *transponders*. Entretanto, a comunicação entre o cartão RFID não se dá por meio de um contato galvânico, como ocorria com os cartões inteligentes, e sim por meio campos magnéticos ou eletromagnéticos.

No Capítulo 3, a seguir, a tecnologia de identificação por radiofrequência é analisada desde suas características históricas até seus aspectos operacionais.

3 IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA

A identificação por radiofrequência (RFID) é uma tecnologia que tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Segundo um estudo realizado pela IDTechEx, em 2015, o mercado total de RFID vale cerca de 10.1 bilhões de dólares, com uma projeção para 13.2 bilhões de dólares em 2020 [20].

O principal motivo desse crescimento acelerado é que essa técnica permite uma maior automatização de diversos processos e vem sendo utilizada principalmente na área industrial, mas também em uma ampla variedade de outras aplicações, em diversos setores. Podemos encontrar a técnica de RFID desde sistemas de controle de acesso de pessoas até em implantes sob a pele para identificação de animais, passando também por

modelos que fazem o controle de documentos, produtos em supermercados e fábricas, bagagens em aeroportos, na agricultura e em sistemas que auxiliam na acessibilidade de pessoas com algum tipo de deficiência.

Apesar de apenas recentemente ter atingido o mercado em grande escala, essa tecnologia possui aplicações há décadas implementadas, documentadas desde a época da Segunda Guerra Mundial. Mas foi graças à constante evolução das técnicas de produção em massa de chips e micro-chips que houve uma considerável redução nos custos de implementação e manutenção dos sistemas baseados em RFID, o que provocou um notável impacto nas indústrias de todo o mundo.

3.1 HISTÓRIA DO RFID

A partir do século XIX, a tecnologia de identificação por radiofrequência começou a dar seus primeiros passos devido aos avanços significativos no campo do eletromagnetismo, que compõem os fundamentos para as comunicações de rádio modernas. Os principais estudos nessa área foram: o estudo da indutância eletrônica por Michael Faraday, as equações de James Maxwell descrevendo as leis do eletromagnetismo, e os experimentos de Rudolf Hertz que comprovaram as previsões de Faraday e de Maxwell [1].

Os sistemas de detecção automática de objetos foram os precursores da identificação automática por radiofrequência. Uma das patentes mais famosas é a do escocês Robert Watson-Watt de 1935 para um sistema chamado de *Radio Detection and Ranging*, ou RADAR. Esse sistema foi utilizado pioneiramente na segunda guerra mundial e podia detectar objetos distantes, como aviões e navios, por meio pulsos de ondas de rádio enviadas às áreas desejadas; em seguida, media-se o sinal refletido pelos objetos e calculava-se a distância em que eles se encontravam do ponto de referência.

Uma das primeiras aplicações de sistemas de identificação por radiofrequência propriamente dito foi também durante a Segunda Guerra Mundial, com o sistema *Identify Friend or Foe* (IFF), implementado pela Força Aérea Britânica, que permitia aos pilotos e aos operadores de radar distinguir de forma automática os inimigos (*foe*) dos aliados (*friend*). Esse tipo de sistema ajudou na diminuição dos incidentes de “fogo amigo” e na detecção das aeronaves inimigas [2].

Logo após o fim da guerra, foi publicado o trabalho engenheiro Harry Stockman, *Communication by Means of Reflected Power*, que introduziu os conceitos dos sistemas passivos de RFID.

Os sistemas de RFID, como são conhecidos atualmente, começaram a ser desenvolvidos em meados da década de 1970. A patente *inductively coupled transmitter-responder arrangement*, de Kriofsky e Kaplan de 1972, descreveu um modelo que usava duas bobinas separadas: uma para receber a energia, e a outra para transmitir o sinal de resposta. Apenas em 1979 foi registrada uma nova aplicação para um dispositivo de identificação que combinou as duas antenas, considerado um marco nas aplicações de RFID.

A década de 1980 tornou-se a década em que a implementação completa das técnicas de RFID virou realidade. Diferentes tipos de aplicações se espalharam pelo mundo: nos Estados Unidos, foi utilizada principalmente em transporte, acesso de pessoal e identificação de animais; na Europa, os interesses se concentraram em sistemas de curto alcance para animais, comércio industrial e na área de estradas com pedágios automáticos, inicialmente na Noruega (1987) e, logo em seguida, acompanhada pelos EUA (1989). Nessa mesma época, os estados de New York e New Jersey iniciaram a implementação de sistemas RFID no transporte público de ônibus [8].

A década de 1990 foi uma década significativa para as técnicas de RFID devido a produção em larga escala que baratearam os custos de fabricação e manutenção dos componentes de diversos sistemas eletrônicos. A implementação de sistemas de pedágios automáticos se desenvolveu rapidamente, com as primeiras autoestradas nos EUA em 1991 cujos pedágios não necessitavam que o veículo diminuísse a velocidade para que fossem cobrados [3].

No início do século XXI, o desenvolvimento da tecnologia de identificação por radiofrequência sofreu um grande avanço especialmente no que diz respeito à composição das etiquetas dos sistemas RFID, tornando-se cada vez menores, mais simples e menos custosas. Atualmente, a implantação dessas técnicas se dá nas mais variadas aplicações, algumas das quais estão listadas abaixo:

- Rastreamento e identificação:
 - Grandes ativos, como containers de navios e vagões de trens
 - Animais de estimação com etiquetas implantadas
 - Gerenciamento de cadeias de fornecimento

- Controle de inventário
 - Reciclagem e despejo de detritos
- Sistemas de pagamento e estoque de valores:
 - Sistemas de pedágio eletrônico
 - Cartões de crédito sem contato
 - Passes de ônibus e metrô
 - Ingressos de concertos
- Controle de acesso
 - Acesso a edifícios com cartões de proximidade
 - Entrada em eventos de entretenimento
 - Sistemas de ignição de automóveis
- Antifurto
 - Fichas de cassinos
 - Produtos de altos valores em lojas de luxo
 - Medicamentos que necessitam de prescrição médica

3.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA RFID

Nesta seção, será detalhado como um sistema baseado na identificação por radiofrequência funciona, assim como seus componentes fundamentais de operação, seus custos e sua eficiência.

Essencialmente, sistemas RFID possuem três componentes principais:

- *Transponders*, ou *tags*, ou etiquetas RFID;
- Leitores, ou transceptores RFID;
- Unidade de processamento com banco de dados.

As *tags* normalmente estão localizadas nos objetos que deverão ser identificados [2]; os leitores RFID tem a função de ler os dados contidos nos transponders, ou escrever dados novos; e a unidade de processamento recebe, armazena e manipula os dados obtidos para que alguma ação seja efetuada em resposta aos dados coletados como mostrado na Figura 1.

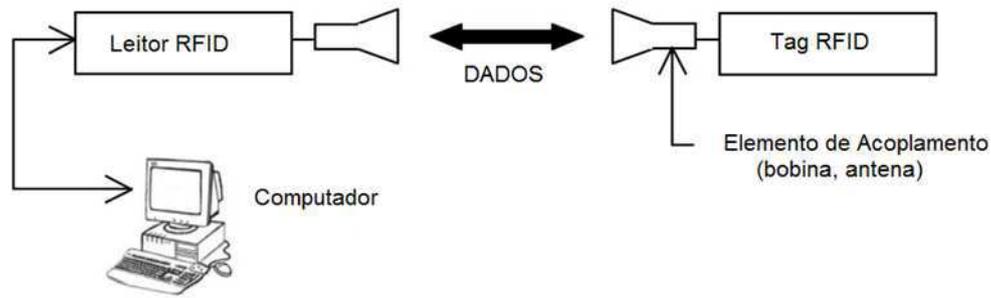


Figura 1. Componentes e funcionamento de um sistema RFID.

3.2.1 TAGS

Uma etiqueta RFID tem tipicamente dois componentes fundamentais: uma antena, ou componente de acoplamento, e um circuito integrado, como mostra a Figura 2.

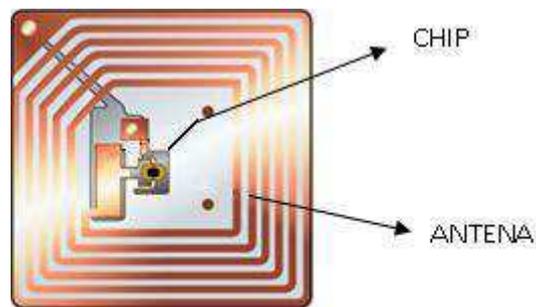


Figura 2. Componentes fundamentais de uma tag RFID.

3.2.1.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FONTE DE ENERGIA

As etiquetas RFID podem possuir diferentes fontes de energia, o que influencia no alcance, formato, custo, vida útil e os tipos de funcionalidades que podem ser oferecidas.

Existem três categorias principais de *tags* em relação ao seu tipo de fonte de alimentação:

- ativa,
- semi-passiva
- e passiva.

As etiquetas ativas possuem sua própria fonte de alimentação, como uma bateria; consequentemente, possuem um alcance muito maior que as *tags* passivas, além de poderem iniciar a comunicação com os leitores RFID, ou com outras *tags* ativas.

Quando os objetos a serem identificados são de grande valor monetário e tem espaço físico para que etiquetas volumosas possam ser afixadas, é comum o uso desta classe de *tag*, como em navios carregadores de mercadorias, em que os containers precisam ser rastreados.

Há ainda casos em que esses *containers* caem dos navios e ficam perdidos no mar até o fim da viagem, quando é feita a contagem da carga. Nesses casos, uma *tag* ativa com um sensor de movimento, como um acelerômetro, pode ser utilizada para detectar o momento em que o *container* cai do navio, emitindo, então, um sinal de alerta.

No caso de *tags* semi-passivas, ou semiativas, a etiqueta possui uma fonte de energia interna, o que também configura um alcance maior que as *tags* passivas, mas não são capazes de iniciar uma comunicação com o leitor RFID, assegurando que esse tipo de *tag* apenas seja ativada quando for solicitada. Uma aplicação bastante comum para *tags* semi-passivas é em pedágios eletrônicos em rodovias, pois oferecem um alcance maior e como a *tag* só envia sua identificação quando solicitada, permanecendo inativa o restante do tempo, pode poupar energia [3].

Tags passivas não possuem uma fonte de energia própria e nem a capacidade de iniciar uma comunicação com leitores RFID. A energia utilizada pela etiqueta passiva é coletada de um sinal em RF (radiofrequência), portanto, elas não podem operar sem a presença de um leitor RFID [9].

Apesar de possuírem o menor alcance das três classes, as *tags* passivas possuem o menor custo, pois não utilizam uma bateria como componente, e podem ser incorporadas em um maior número de objetos devido à sua flexibilidade quanto à forma e à composição, por isso são as mais utilizadas no mercado.

A Tabela 1 compara os três tipos de *tags* em relação à fonte de energia, tipo de comunicação, alcance máximo e custo relativo.

Tabela 1. Comparação entre *tags* ativas, passivas e semi-passivas.

Tipo de Tag	Passiva	Semi-Passiva	Ativa
Fonte de Energia	Coleta energia de sinais RF	Bateria	Bateria
Tipo de Comunicação	Apenas Resposta	Apenas Resposta	Resposta ou Inicia Comunicação

Alcance Máximo	20 metros	> 100 metros	> 100 metros
Custo Relativo	Menor custo	Médio custo	Maior custo

3.2.1.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO

Para cada tipo de sistema com base em identificação por radiofrequência, existe uma faixa de frequência definida de operação. Cada faixa de frequência, por sua vez, determina o tipo de performance, alcance de operação e requerimentos de energia do modelo utilizado.

A frequência de operação também influencia na construção da *tag*, pois tamanhos e formas diferentes operam em frequências diferentes. A Tabela 2 lista os padrões de radiofrequências com seus respectivos alcances.

Tabela 2. Lista de padrões de radiofrequências.

	Faixa de Frequência	Distância Passiva de Leitura
Baixa Frequência (LF)	120 - 140 kHz	10 - 20 cm
Alta Frequência (HF)	13.56 MHz	> 10 cm
Frequência Ultra Alta (UHF)	300 MHz - 1 GHz	2 - 6 m

As *tags* de baixa frequência fornecem um alcance curto, geralmente entre 10 e 20 centímetros, e possuem uma taxa de leitura menor do que frequências maiores, mas não é tão sensível a interferências de ondas de rádio. Este tipo de *tag* consegue operar com proximidade de poeira, metais e líquidos. São amplamente aplicadas em sistemas de controle de acesso, na ignição de veículos automotivos e no rastreamento de animais na pecuária. O espectro de baixas frequências não é considerado uma aplicação global, pois pequenas diferenças na frequência e nos níveis de energia são verificadas.

As *tags* de alta frequência (HF) sofrem uma sensibilidade moderada em relação a interferência. Geralmente são utilizadas em sistemas de ingressos, pagamentos, controle de acesso e aplicações de transferência de dados.

Existem vários padrões de RFID HF atualmente em vigor, como a ISO 15693 para rastreamento de itens, e a ECMA- 340 e ISO / IEC 18092, padrões para Comunicações em Campos Próximos (NFC), uma tecnologia de curto alcance que é comumente usada para transmissão de dados entre dispositivos. Outras normas IC incluem a ISO / IEC 14443 A e ISO / IEC 14443, padrões para a tecnologia MIFARE, que são usados em cartões inteligentes e cartões de proximidade, e do JIS X 6319-4 para FeliCa, que é um sistema de cartão inteligente comumente usado em moeda eletrônica cartões.

Tags passivas RFID com UHF possuem uma taxa de transmissão maior que LF ou HF, mas é a mais sensível a interferências. Este tipo de etiqueta é mais fácil e mais barata de produzir do que as com LF e HF. As tags UHF são usadas em uma ampla variedade de aplicações, desde a gestão de inventário de varejo, a indústria farmacêutica e na área de anti-falsificação. A maior parte dos novos projetos de RFID com UHF está usando essa faixa de frequência em oposição a LF e HF, tornando UHF o segmento de mais rápido crescimento do mercado de RFID, apesar do custo do leitor ser mais elevado.

3.2.1.3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO FORMATO DE CONSTRUÇÃO

Existem inúmeros tipos de formatos de etiquetas para aplicação de identificação por radiofrequência construído para aplicações específicas, e a cada dia, mais modelos surgem no mercado para suprir as necessidades dos consumidores. Alguns desses formatos estão exemplificados a seguir.

- Discos e Moedas

De forma circular, com diâmetro de alguns milímetros até 10 centímetros e comumente com uma cavidade no meio para afixação de parafusos (Figura 3). São muito empregadas no gerenciamento de armazéns e rastreamento de produtos, podendo ser fixadas em embalagens, máquinas e *pallets*, por isso são bastante resistentes e à prova d'água.

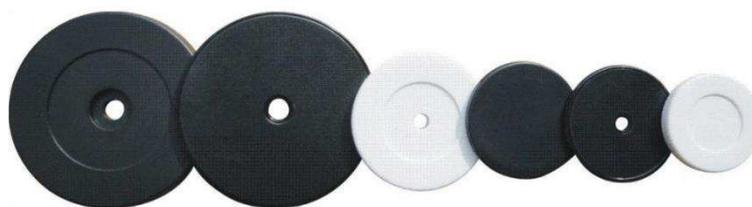


Figura 3. Típico formato de uma tag do tipo disco ou moeda.

- Involucro de vidro

Transponders de vidro foram desenvolvidos para que pudessem ser injetados sob a pele de animais para identificação, funcionando tanto para baixas e altas frequências. O invólucro da etiqueta é de 12mm em média e feito de vidro para proteger os componentes internos, como podemos ver na Figura 4.



Figura 4. Tag do tipo involucro de vidro.

- Chaveiros

Este tipo de *tag* é uma solução mais conveniente e elegante para controle de acesso e aplicações de identificação pessoal. Feitas de um material resistente, tipicamente policarbonato, e com acabamento por ultrassom, tornam essa etiqueta impermeável e à prova de poeira, como observado na Figura 5.



Figura 5. Tag no formato de chaveiro.

- Cartões inteligente sem contato

Amplamente usados para controle de acesso, identificação e controle de transporte público, são constituídos de material plástico (lâminas de PVC) e possuem a vantagem de ter uma antena maior devido às suas dimensões em formato de cartão, como mostrado na Figura 6.

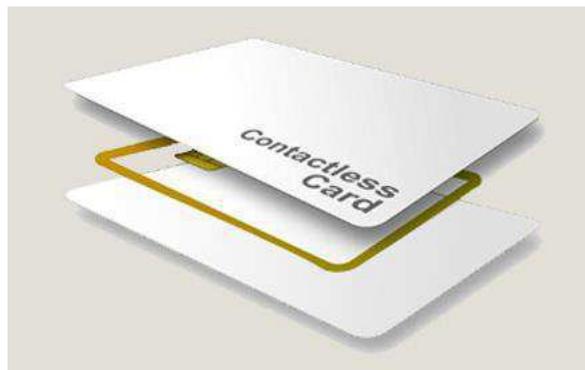


Figura 6. Tag do tipo cartão. Fonte: [9].

- Rótulos inteligentes

São as etiquetas mais finas, com espessura de uma folha de papel, desenvolvidas para simplificar a logística de produtos, identificação, rastreamento e gerenciamento. Muito utilizadas no rastreamento de bagagens em trânsito nos aeroportos, como apresentado na Figura 7.



Figura 7. Tag RFID do tipo rótulo. Fonte: [10].

3.2.2 LEITORES RFID

Os leitores RFID se comunicam com as *tags* com a finalidade de obter as informações armazenadas nelas. No caso de haverem várias etiquetas ao alcance do leitor, protocolos de anticollisao são implementados, permitindo ao dispositivo de leitura se comunicar rapidamente com múltiplas *tags* serialmente.

Quando o transponder é passivo, é função dos leitores fornecer a energia necessária para a ativação da *tag*, através de sinais de radiofrequência. Os leitores funcionam em frequências diferentes e podem oferecer uma grande variedade de funcionalidades. Além disso, podem ter sua própria capacidade de processamento,

armazenamento de dados e conectividade com a rede; mas também podem ser componentes simples ligados a um sistema externo.

Outra aplicação bastante comum ultimamente é a integração de leitores a dispositivos móveis celulares, permitindo uma vasta coleção de aplicações.

3.2.3 SISTEMAS DE BANCO DE DADOS

Os bancos de dados atrelados aos sistemas de identificação por radiofrequência podem conter inúmeras informações a respeito dos objetos identificados nas *tags*. Esses registros podem conter informações dos produtos, registros de rastreamento, dados de venda, datas de validade e fabricação, lista de acessos permitidos, informações do destino de bagagens e muitas outras.

Portanto, para poder armazenar todas essas informações, os bancos de dados devem ser seguros e de acesso restrito.

4 SISTEMAS VEICULARES AUTOGUIADOS

Um AGV (*Auto Guided Vehicle*) é um veículo capaz de se locomover de forma automática, usado principalmente em ambientes industriais, recebe e envia instruções, segue uma trajetória e transporta materiais. Para realizar tais funções, as instruções que um AGV recebe designam para onde o veículo deverá se dirigir, qual caminho deve percorrer e o que ele deverá fazer ao chegar no destino.

A utilização de sistemas veiculares autoguiados vem crescendo desde a sua introdução no mercado: tradicionalmente, os AVGs eram usados em sistemas de manufatura, mas atualmente, suas aplicações abrangem tarefas repetitivas, armazenagem e sistemas de transporte interno e externo.

Geralmente, um sistema de baterias transportado pelo próprio AVG fornece a potência necessária para movimentar estes veículos durante longos períodos de tempo (8 a 16 horas, para AGVs industriais). Os modelos mais modernos utilizam tecnologias computacionais e eletrônicas, permitindo o uso de sistemas de navegação sensorial, controle inteligente, sistema de segurança e gerenciamento total do sistema.

Anteriormente ao aparecimento da robótica móvel, o manuseio e o transporte de materiais nos ambientes fabris era realizado com uma forte intervenção humana, o que levava a erros de operação, maior tempo gasto nas tarefas e menor controle dos processos. A introdução dos robôs móveis em sistemas de manufatura trouxe algumas vantagens, como: aumento do grau automação e flexibilidade, o que facilita a integração e controle geral, otimizando o sistema; aumento da produtividade através do aperfeiçoamento do fluxo de materiais; e a eliminação da presença humana em ambientes críticos, agressivos ou perigosos à saúde.

Apesar destas vantagens significativas, alguns desafios tecnológicos também foram criados com o avanço deste tipo de técnica: sistemas de navegação autônomos, seguros, flexíveis, eficientes e tolerantes a erros; alimentação a partir de baterias recarregáveis, para dar ao robô uma maior duração do tempo de trabalho; controle eficiente das frotas de vários robôs móveis, dentre outros.

Deste modo, o desenvolvimento de robôs móveis autônomos relaciona áreas da tecnologia diversas, como eletrônica de potência, sensores, gerenciamento de energia, projeto mecânico, cinemática, dinâmica, telecomunicações, sistemas de informação, teoria de controle, etc.

A nível internacional, os AGVs são usados em várias outras aplicações diferentes da industrial: logística (distribuição e armazenagem), exploração subaquática e oceanográfica, exploração planetária e aplicações militares.

Existem três tipos de tecnologias usadas em sistemas AGVs comerciais:

- cabo guiado;
- caminhos desenhados no chão;
- fita magnética;
- e veículos auto guiados.

Das quatro, a tecnologia de veículos autoguiados é a mais moderna e sofisticada, diferenciando-se dos outros dois métodos no sentido de que não operam com caminhos contínuos e definidos. Em vez disso, utilizam uma combinação de sistemas que estimam a posição sem referência externa com sinais artificiais distribuídos pela planta que podem ser identificados pelos sensores do veículo. O processamento dos dados é feito por um computador instalado no próprio veículo.

Sinais localizados estrategicamente na indústria estabelecem as posições conhecidas. Existem diversos tipos de sinais usados em sistemas AGV, tais como código de barras, que podem ser captados por um laser scanner instalado no veículo, processando tarefas de navegação e usando triangulação para atualizar as posições; ou sinais magnéticos colocados no chão da planta ao longo dos caminhos. Isso evidencia a maior vantagem destes tipos de sistemas autoguiados em relação aos com caminhos fixos, a flexibilidade.

Os caminhos da rede podem ser alterados dependendo dos requerimentos, além de também poderem ser expandidos com a introdução de novos sinais ao longo da indústria. A determinação de caminhos fixos ou dinâmicos é função dos custos de instalação, dos requisitos de flexibilidade e da necessidade de ampliação futura do sistema.

A seguir estão descritos algumas das principais tecnologias utilizadas pelos AGVs para o controle de trajetória.

4.1 SISTEMA FILOGUIADO

O sistema filo guiado é um exemplo de um método de caminhos fixos, usado em grande escala devido à sua simplicidade e robustez. Um campo magnético gerado por condutores percorridos por uma corrente elétrica senoidal e implantados no solo, permite que antenas captem a frequência correspondente ao caminho que deverá ser seguido (Figura 8).



Figura 8. a) Detalhe da instalação do cabo condutor sob o piso; b) AVG filo guiado em operação. Fonte: [11].

Esse tipo de sistema pode contar com uma alimentação elétrica por baterias, ou poderão ser alimentados por indução, em que o próprio cabo instalado no piso é modificado a fim de gerar um campo magnético que é captado pelo veículo e transformado em eletricidade.

4.2 VISÃO COMPUTACIONAL

Neste caso, o controle de direção é feito pelo rastreamento de linhas através da visão computacional, conjunto de métodos e técnicas através dos quais sistemas computacionais são capazes de interpretar imagens. A navegação é feita através da captura de informação visual obtida de marcas artificiais pré-existentes, mais especificamente, linhas ou sinais colocados no ambiente de trabalho do AGV.

4.3 SENSORES ÓPTICOS

Nessa aplicação, o AGV possui um conjunto de sensores ópticos que identificam a presença de uma fita-guia, e com o auxílio de um CLP (controlador lógico programável), a trajetória é imediatamente corrigida para permanecer sempre sobre a linha-guia.

4.4 FAIXA MAGNÉTICA

Neste tipo de aplicação, o veículo é guiado por uma faixa adesiva feita de um material magnético pintada no chão. Um sistema de controle normalmente complementa esse sistema de forma que o veículo sempre se mantenha no centro da faixa. A Figura 9 mostra um exemplo deste tipo de sistema.



Figura 9. Exemplo de um agv guiado por uma faixa magnética. Fonte: [12].

4.5 SISTEMA A LASER

De todos os métodos de controle de direção para AGVs, o sistema de navegação por laser é o que vem sendo implementado com mais frequência, com tendências a substituir o sistema filo guiado rapidamente.

Neste método, o AGV é equipado com um laser scanner que realiza constantemente uma varredura da região ao redor do veículo, detectando a posição de painéis refletores espalhados ao longo da planta. A posição do AGV é calculada através de uma triangulação dos feixes refletidos pelos painéis, como mostra a Figura 10.

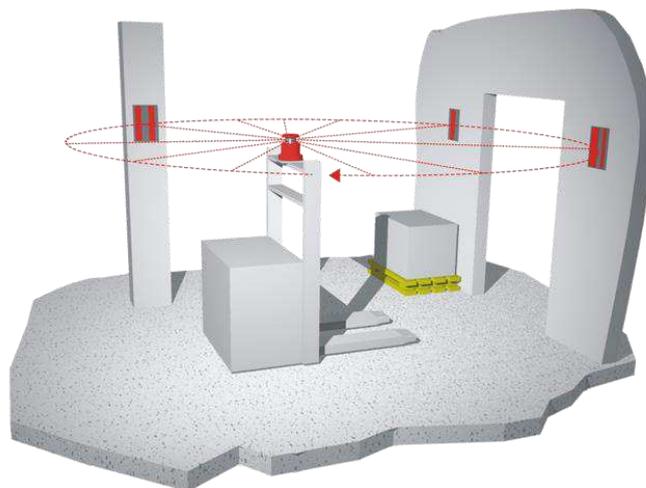


Figura 10. Modelo de um AGV com laser como método de direção. Fonte: [13].

5 PROTÓTIPO

Neste trabalho, foi desenvolvida uma aplicação integrando as técnicas de sistemas autoguiados à tecnologia de identificação por radiofrequência, apresentada como uma alternativa para novos sistemas de transporte, automação de processos e acessibilidade. Foi desenvolvido um protótipo de um veículo autônomo guiado por etiquetas RFID, utilizando a plataforma Arduino como unidade de processamento.

A seguir, são descritos os componentes utilizados para a confecção do protótipo, a montagem e os testes efetuados.

5.1 COMPONENTES UTILIZADOS NO PROTÓTIPO

Nesta seção, são apresentados os componentes que fazem parte do sistema desenvolvido para o veículo autoguiado por etiquetas RFID, com a descrição detalhada do funcionamento e sua aplicação do projeto.

5.1.1 ARDUINO MEGA

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de fonte livre (*open source*), desenvolvido em 2005 na região de Ivrea, Itália, para desenvolvimento de projetos educacionais simples, populares e acessíveis com eletrônica e programação embarcada de alto nível.

A versão da placa do Arduino utilizada no desenvolvimento deste projeto foi Arduino Mega 2560, desenvolvida para projetos um pouco mais complexos do que os para a placa base, Arduino Uno.

O Mega 2560 é uma placa baseada no micro controlador ATmega2560, que possui 54 pinos digitais de entrada e saída (*I/O*), dois quais 15 podem ser usados como saídas de PWM (*Pulse Width Modulation*), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (*hardware serial ports*), um oscilador de cristal de 16MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, uma conexão ICSP (*In-Circuit Serial Programming*) e um botão de reset [16]. A Figura 11, mostra os componentes do Arduino Mega utilizado.

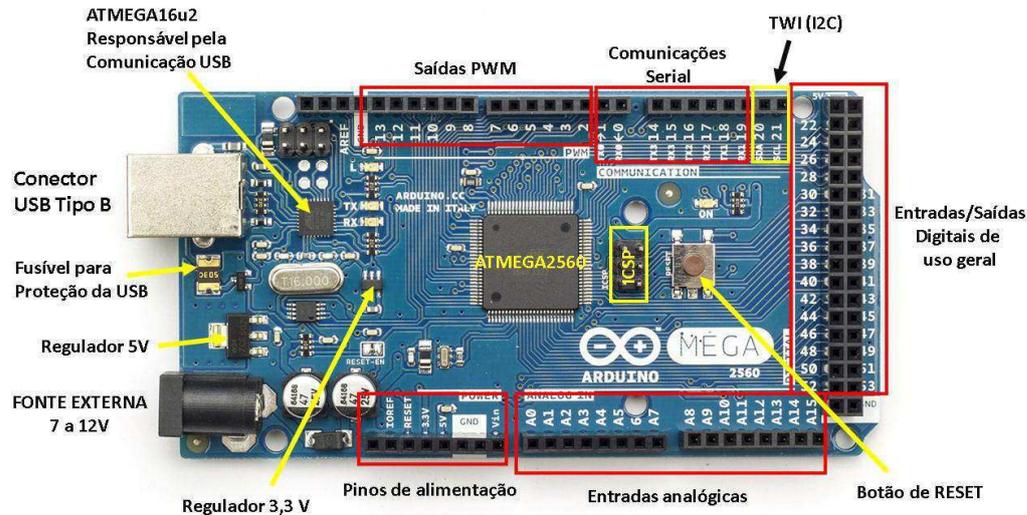


Figura 11. Componentes de uma placa ArduinoMega2560.

E a Tabela 3 contém uma listagem das especificações técnicas do Arduino Mega 2560.

Tabela 3. Especificações técnicas do Arduino Mega 2560.

Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de Operação	5V
Tensão de Entrada	7-12V
Pinos digitais I/O	54 (sendo que 15 são saídas PWM)
Pinos de entrada analógicos	16
Corrente DC por pino I/O	20mA
Corrente DC para o pino 3.3V	50mA
Frequência do Clock	16MHz
Comprimento	101.52mm
Largura	53.3mm
Peso	37g

Além da placa, o Arduino utiliza uma IDE (ambiente de desenvolvimento integrado - *Integrated Development Environment*) que pode ser adquirida gratuitamente, permitindo a programação em linguagem C/C++ do dispositivo e o carregamento na plataforma. Nesse ambiente, é possível a criação dos chamados *sketches*, arquivos contendo o código do projeto para futura compilação na placa através da conexão USB. Como o ambiente é de fonte aberta, existem várias bibliotecas acessíveis, assim como os esquemáticos da parte física.

5.1.2 MOTOR SHIELD

Uma característica importante da plataforma Arduino é o fato dela ser de caráter modular, ou seja, a placa é compatível com diversos circuitos específicos que podem ser acoplados à placa do Arduino, aumentando suas capacidades.

Existem vários modelos dos chamados *shields*, que são de fácil acoplamento e baixo custo de produção, como Xbee, que permite a comunicação do Arduino de maneira sem fio, e o Bluetooth *shield*, que possibilita uma comunicação por meio da tecnologia Bluetooth [17].

Como neste projeto serão usados dois motores DC, foi utilizado o Motor Shield L293D, compatível com Arduino Mega e Arduino Uno, e que integra alta tensão, altas correntes e controle de quatro canais em um único circuito, facilitando a elaboração de projetos que envolvem mais de um motor. A Figura 12 mostra os componentes do Motor Shield utilizado.

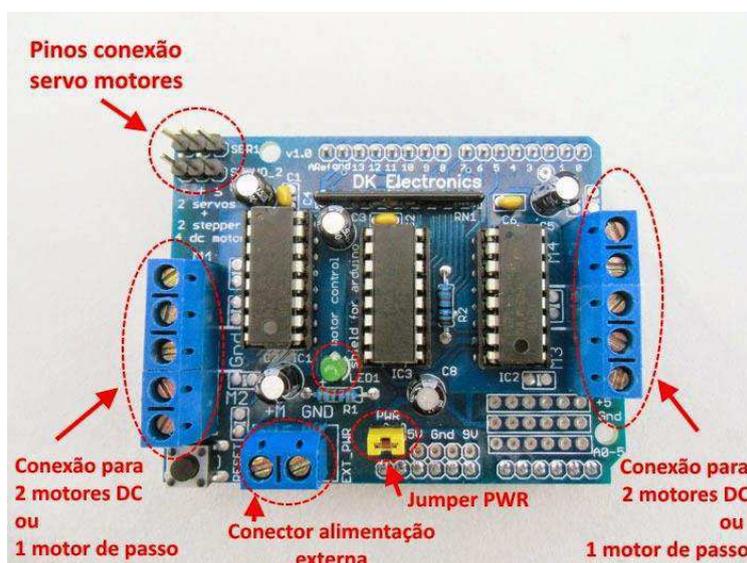


Figura 12. Configuração do Motor Shield L293D.

Com este *shield* é possível controlar ao mesmo tempo até quatro motores DC, ou dois motores do tipo servo, ou ainda dois motores de passo, graças aos dois circuitos integrados L293D e ao registrador de deslocamento 74HC595 presentes na placa.

Os chips L293D são compostos de duas pontes H, cada. Uma ponte H é um circuito que permite ao micro controlador fornecer a corrente necessária para o funcionamento de um motor de corrente contínua, pois o micro controlador funciona com uma tensão de operação de apenas 5V e baixas correntes ($\sim 20\text{mA}$) e um motor opera com uma corrente cerca de dez vezes mais alta.

Além de promover a proteção do Arduino das altas tensões e correntes dos motores acoplados, as pontes H também são utilizadas para permitir a circulação de

corrente em sentidos opostos, de maneira controlada pelo programador. A Figura 13 mostra o esquema do circuito da ponte H.

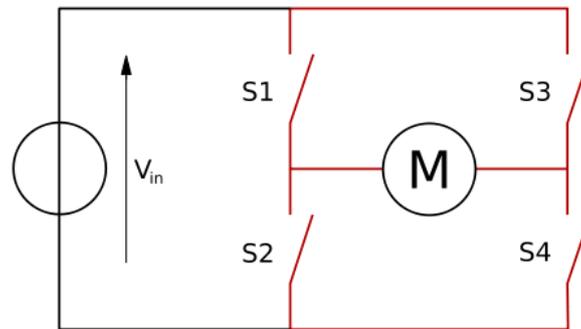


Figura 13. Diagrama do circuito ponte H.

Quando as chaves S1 e S4 estão acionadas (fechadas), o sentido a corrente que passa pelo motor (M) se dá da esquerda para a direita. Já quando as chaves S2 e S3 estão fechadas, o sentido da corrente que passa pelo motor é da direita para a esquerda, como mostrado na Figura 14. Essa possibilidade na mudança do sentido da corrente faz com que o motor possa ser acionado tanto para frente quanto para trás.

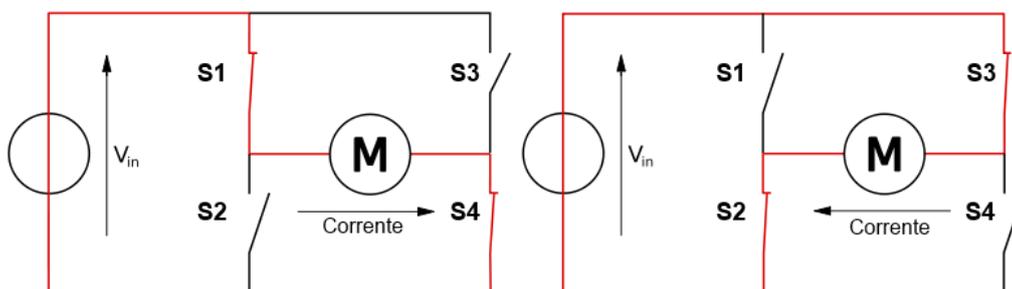


Figura 14. Circulação da corrente nos dois sentidos controlados pela ponte H.

Dessa maneira, o circuito L293D utiliza outros componentes, como diodos e transistores, para realizar o chaveamento da ponte. E como cada chip possui duas pontes H, ele é capaz de controlar até dois motores.

5.1.3 MÓDULO RFID MFRC522

Além dos *shields*, a plataforma Arduino também permite o acoplamento de outros tipos de circuitos modulares. O MFRC522 é um módulo de um leitor sem contato baseado no chip MFRC522 da empresa NXP, que utiliza a tecnologia RFID para comunicação

com as *tags*, e cuja frequência de funcionamento é 13,56 MHz. A Figura 15 mostra o módulo MFRC522 e modelos de *tags* compatíveis [18].

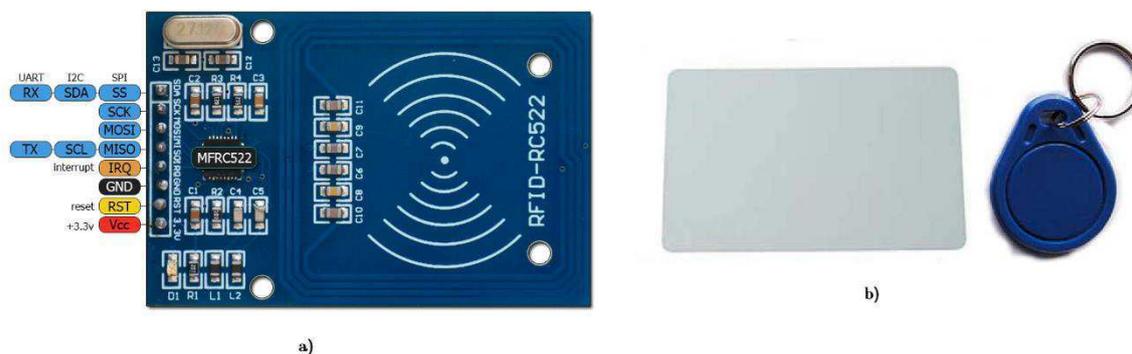


Figura 15. a) Módulo MFRC522; b) exemplos de *tags* compatíveis com o MFRC522.

Compatível com cartões e *transponders* ISSO/IEC 14443 A/MIFARE, suportando todas as variantes dos protocolos de identificação: MIFARE Mini, MIFARE 1K, MIFARE 4K, MIFARE Ultralight, MIFARE DESFire EV1 e MIFARE Plus RF. Este leitor suporta comunicações sem fio e usa altas velocidades de transferências MIFARE de até 848 kBd (Bd = *baud*, taxa de símbolos) nas duas direções, e possui um alcance de até 50 milímetros. As etiquetas escolhidas para serem utilizadas no projeto foram as do tipo cartão MIFARE 1k, como mostrado na Figura 15b.

Em relação ao módulo MFRC522, na Tabela 4 estão mostradas as especificações do circuito integrado.

Tabela 4. Especificações do módulo MFRC522.

Tensão de alimentação	3.3/5 V
Corrente de trabalho	13 - 26 mA
Corrente ociosa	10 - 13 mA
Frequência de operação	13.56 MHz
Temperatura de operação	20 a 80°C
Temperatura ambiente	-40 a 85°C
Interfaces suportadas	SPI/UART/SDA
Taxa de transferência	10 Mbits/s
Dimensões	8,5 x 5,5 x 1,0 cm
Peso	21g

A interface SPI (*Serial Peripheral Interface*) é um protocolo de dados serial síncrono usado por micro controladores para a comunicação com um ou mais dispositivos periféricos de maneira rápida através de distâncias curtas, podendo também ser usada para comunicação entre dois micro controladores.

Neste tipo de conexão, há sempre um dispositivo mestre (geralmente, o próprio micro controlador) que controla os dispositivos periféricos (escravos). Usualmente, existem três linhas de comunicação comuns a todos os dispositivos:

- MISO (*Master In Slave Out*): conexão do dispositivo controlado (slave, escravo) para mandar dados para o mestre;
- MOSI (*Master Out Slave In*): conexão do dispositivo mestre para envio de dados para os dispositivos periféricos;
- SCK (*Serial Clock*): pulso de clock para sincronização da transmissão de dados gerada pelo mestre;

e uma linha de conexão específica para cada dispositivo:

- SS (*Slave Select*): pino em cada dispositivo periférico que o mestre poderá utilizar para habilitar ou desabilitar cada dispositivo. É a única conexão que não pode ser compartilhada entre todos os dispositivos periféricos. Em nível alto, o dispositivo escravo ignora as informações vindas do mestre; em nível baixo, a comunicação é estabelecida entre os dispositivos.

5.1.4 KIT CHASSI

Para auxiliar na montagem do protótipo, foi escolhido um kit de montagem educacional, como mostra a Figura 16.

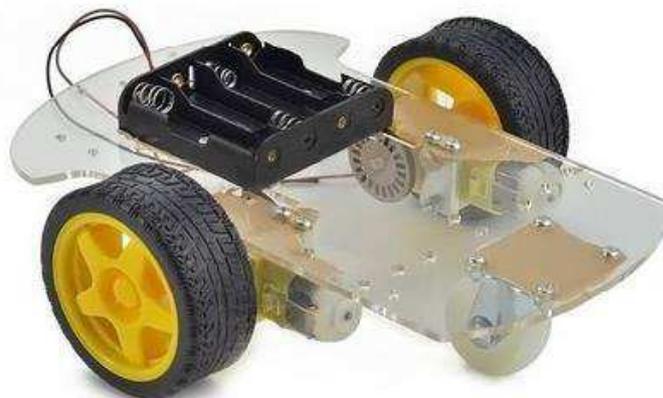


Figura 16. Kit Chassi 2WD.

O kit chassi 2WD foi especialmente desenvolvido para aplicações robóticas e educacionais. Composto de: dois motores DC (3~6V) com caixa de redução, chassi de acrílico, duas rodas de borracha encaixáveis nos motores, suporte para quatro pilhas (para alimentação dos motores), e uma roda universal. A Tabela 5 contém as especificações dos componentes do kit.

Tabela 5. Especificações do Kit Chassi 2WD.

Corrente do motor sem carga	≤ 200 mA (6V) e ≤ 150 mA (3V)
Velocidade do motor sem carga	200 RPM (6V) e 90 RPM (3V)
Taxa de redução dos motores	1: 48
Dimensões do chassi	22 x 14.7 cm
Dimensões das rodas	7 x 7 x 2.6 cm

Os motores encontrados no mercado são motores de alta rotação e de pequeno torque, o que não satisfaz a maior parte das aplicações na robótica. Caso seja acoplada uma roda propulsora diretamente ao eixo de um motor DC, duas situações resultantes e desagradáveis podem ocorrer: se o robô for suficientemente leve, ele irá “disparar” com alta velocidade; ou o motor não irá gerar a força necessária para que o motor se movimente.

Portanto, para que um motor DC possa ser utilizado em aplicações robóticas, faz-se necessário o uso de uma caixa redutora, capaz de reduzir a velocidade e aumentar o torque exercido. Isto é alcançado por meio do acoplamento de um sistema mecânico, como mostra a Figura 17.

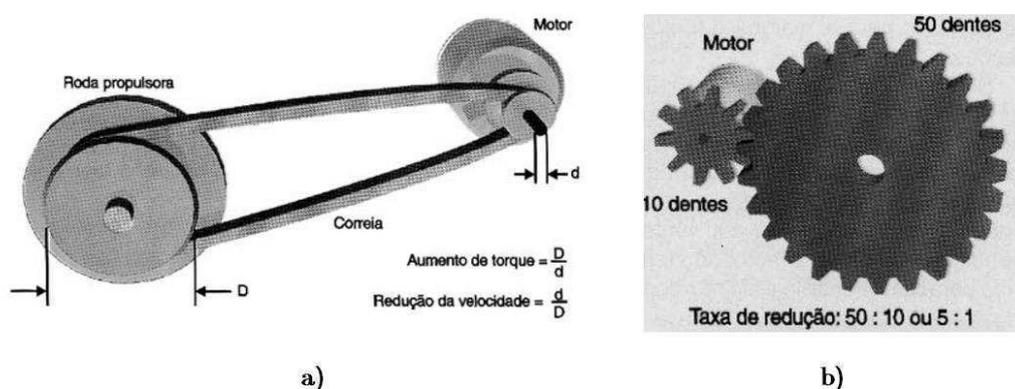


Figura 17. Exemplos de caixas de redução: a) com roldanas; b) com rodas dentadas.

A relação entre o diâmetro do eixo do motor e o diâmetro da roda propulsora indica a proporção em que a velocidade é reduzida ($\frac{d}{D}$) e em que o torque é aumentado

$\left(\frac{D}{d}\right)$, como mostra a Figura 17a. No caso da Figura 17b, a roda propulsora acoplada tem o diâmetro cinco vezes maior que o eixo do motor, assim, a velocidade exercida pela roda será cinco vezes menor que a velocidade do motor, e o torque da roda será cinco vezes menor que o do motor. No caso dos motores DC escolhidos neste projeto, a taxa de redução é de 1:48.

5.1.5 RODA ESFÉRICA

Apesar do Kit Chassi acompanhar uma roda universal livre, esta foi substituída por uma roda esférica (Figura 18), pois foi observada uma elevada taxa de erro na trajetória do robô devido à instabilidade na direção da roda universal.



Figura 18. Roda esférica.

5.2 MONTAGEM

Para validar o modelo do sistema do veículo autoguiado por RFID, foi desenvolvido um protótipo contendo todos os componentes descritos na seção 5.1.

Inicialmente, foi feita apenas a montagem do módulo RFID à placa do Arduino Mega, para que fosse verificado o alcance máximo que o leitor RFID consegue ler uma tag com sucesso. As ligações que foram efetuadas entre os pinos do módulo e os do Mega estão descritas na Tabela 6.

Tabela 6. Ligações do módulo MFRC522 à placa do Arduino Mega.

Módulo MFRC522	Arduino Mega
RST/Reset	49
SPI SS	53
SPI MOSI	51
SPI MISO	50
SPI SCK	52
3.3 V	3.3 V

Para testar o funcionamento do módulo RFID, foi necessária a utilização de duas bibliotecas no desenvolvimento do código teste: a SPI.h e a MFRC522.h (disponibilizadas gratuitamente no site do Arduino), e são responsáveis por fazer a conexão entre o módulo RFID com o Arduino Mega, e configurar e programar as rotinas do MFRC522, respectivamente. Como a biblioteca MFRC522.h vem equipada com códigos teste, foi utilizado o exemplo DumpInfo para a verificação do alcance máximo de leitura do módulo RFID. Constatou-se que há uma distância de no máximo, 3.5 cm, as informações contidas nas tags RFID puderam ser lidas sem problemas.

Em seguida, o Motor Shield foi acoplado à placa do Arduino Mega, e foram feitas as ligações dos motores ao módulo, como mostradas na Figura 19.

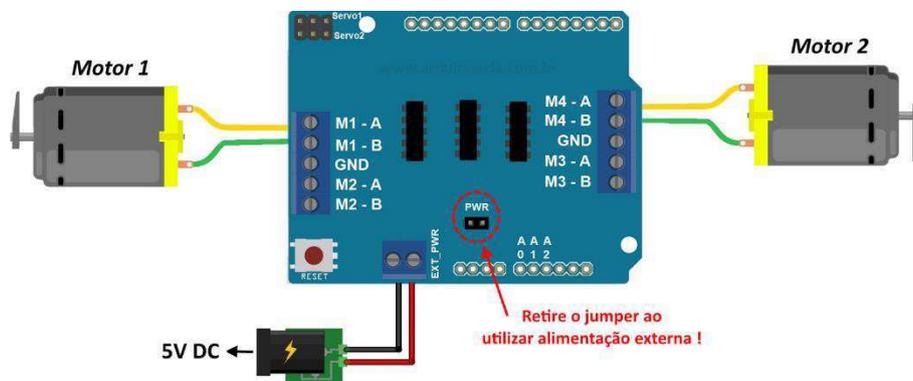


Figura 19. Ligações dos motores DC ao Motor Shield.

Entretanto, quando feito o acoplamento do *shield*, o pino 3.3V utilizado na montagem do sistema RFID foi encoberto pelo *shield*. Mas, como foi verificado que este pino não faz nenhuma conexão na placa do *shield*, foi soldado um pino que permitiu o acesso ao pino 3.3V do Arduino pelos terminais do *shield*, como mostra a Figura 20.

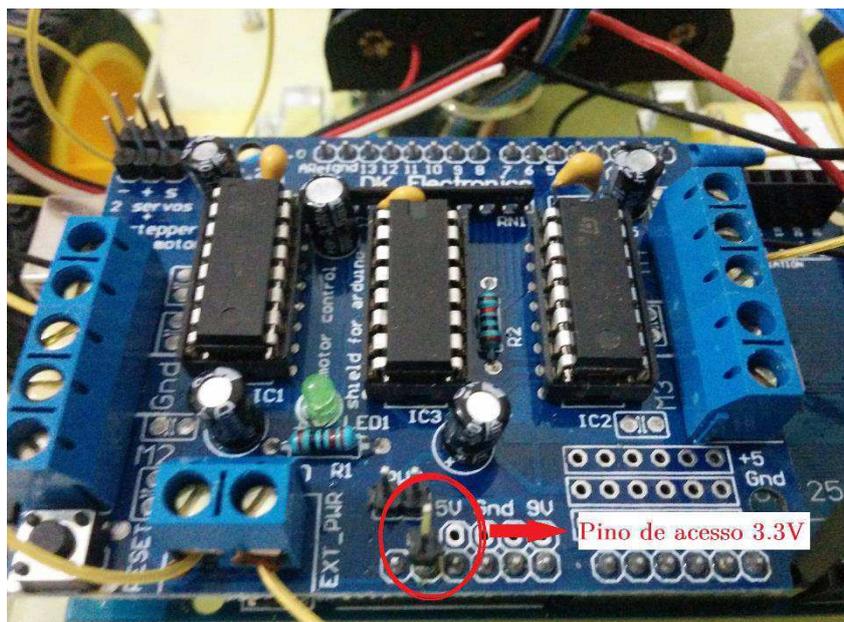


Figura 20. Pino de acesso ao terminal de alimentação 3.3V.

Para poder testar o funcionamento dos motores foram feitas as ligações como mostram a Figura 19, além disso, utilizou-se a biblioteca AFMotor.h, que também pode ser adquirida gratuitamente, para elaboração do código de funcionamento dos motores.

Com o módulo RFID e o *Motor* Shield em funcionamento, o protótipo pode ser montado, de maneira que o leitor RFID se encontrasse na parte de baixo do chassi do robô, de maneira que toda vez que o protótipo passar por uma tag RFID, ela estará dentro do alcance do leitor; e o Arduino Mega e o Motor Shield na parte superior. Além disso, foram utilizadas duas baterias: uma de 9V para alimentação externa do Arduino Mega, e uma de 6V (junção de quatro pilhas de 1.5V) para alimentar os motores, ambas também fixadas na parte superior do chassi, como mostrado na Figura 21.

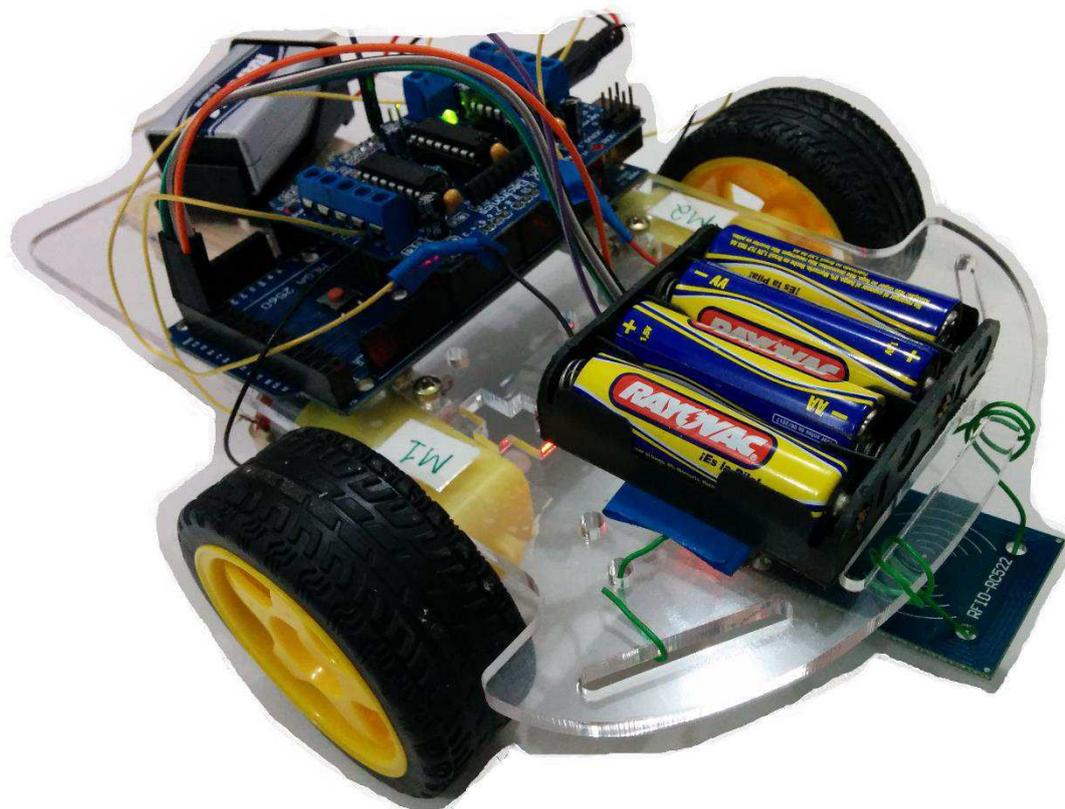


Figura 21. Protótipo montado.

Com o protótipo montado, foi possível gerar um código na IDE do Arduino que permitisse o funcionamento de um robô autoguiado por tags de identificação por radiofrequência. O código na íntegra está no Apêndice A.

5.3 DESENVOLVIMENTO DO CÓDIGO FONTE

Para composição do código fonte empregado no controlador do protótipo, foi utilizada a Arduino IDE, uma aplicação em Java multiplataforma derivada dos projetos *Processing* e *Wiring* (*framework* de código aberto para micro controladores), pode ser utilizada em qualquer placa Arduino (ou Genuino - placas vendidas fora dos Estados Unidos), e é suportada pelos sistemas operacionais Windows, Mac OS X, e Linux [19].

Essa IDE foi idealizada para usuários não familiarizados com o ambiente de desenvolvimento de software. Possui um editor de textos para desenvolvimento do código, uma área de mensagens, um consolo de texto, uma barra de tarefas com botões para funções comuns e uma série de menus.

Os programas escritos usando a IDE do Arduino são chamados de *sketches*, escritos no editor de texto e salvos com a extensão de arquivo “.ino”. A estrutura básica de um sketch pode ser dividida em duas funções principais: *setup()* e *loop()*.

A função *setup()* é chamada apenas uma vez quando o sketch é iniciado, depois que a placa é ligada ou quando o botão de reset é pressionado. Usada para inicializar as variáveis, estados dos pinos, e para as bibliotecas. Depois de iniciada a função *setup()*, a função *loop()* repete um bloco de comandos indefinidamente, ou até que seja desligada.

Antes de desenvolver o código para controlar o protótipo, algumas considerações foram feitas:

- O robô deve funcionar de forma autônoma;
- Cada tag deverá conter um comando de direção;
- O protótipo deve seguir um caminho variável determinado pelas tags RFID.

Com estes objetivos em mente, foi desenvolvida uma lógica básica para o funcionamento do veículo (Figura 22).

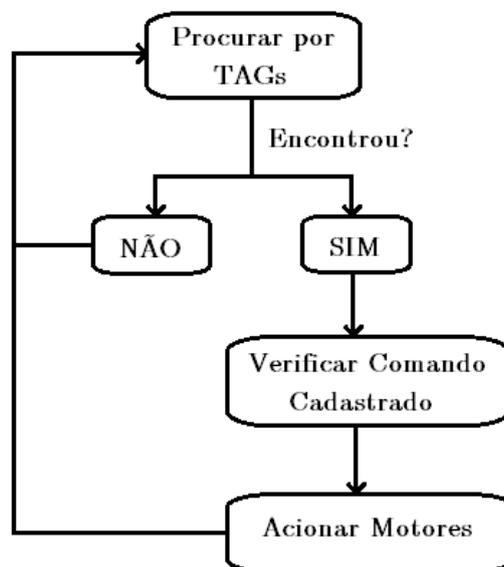


Figura 22. Lógica básica do código.

Assim, foi necessário o cadastramento de todas as tags utilizadas em uma das seguintes funções:

- Mover o robô para frente;
- Mover o robô para a direita;
- Mover o robô para a esquerda;
- Parar o robô.

Para mover o robô para frente, ambos os motores são acionados para girar para frente ao mesmo tempo e com a mesma velocidade até que uma nova etiqueta entre no alcance do leitor.

Para mover o protótipo para a direita, o motor da direita é acionado para frente, e o motor da esquerda é acionado na direção reversa durante um determinado intervalo de tempo, em seguida, os dois motores são parados durante um pequeno intervalo de tempo e depois os dois são acionados para girar as duas rodas para frente na mesma velocidade, permitindo que o protótipo chegue à próxima *tag*.

No caso de o robô virar à esquerda, os comandos anteriores são repetidos, com a exceção de que, inicialmente, o motor da esquerda é acionado para frente enquanto o motor da direita é acionado reversamente.

A título de exemplificação, a Figura 23 mostra uma trajetória que o protótipo deve percorrer. Inicialmente, a primeira *tag* (T1) ao ser lida, envia o comando de seguir em frente ao protótipo. A segunda etiqueta (T2) envia ao carrinho o comando de virar à direita e seguir em frente até a próxima *tag* ser lida. A terceira etiqueta (T3), envia ao carrinho o comando de virar à esquerda e seguir em frente até a próxima *tag*. A quarta etiqueta (T4), envia ao carrinho os mesmos comandos de T2, e a quinta etiqueta (T5) envia os mesmos comandos que T3. Assim, o protótipo chega a sexta e última *tag* que envia o comando de desligar os motores, fazendo com que o carrinho pare no destino.

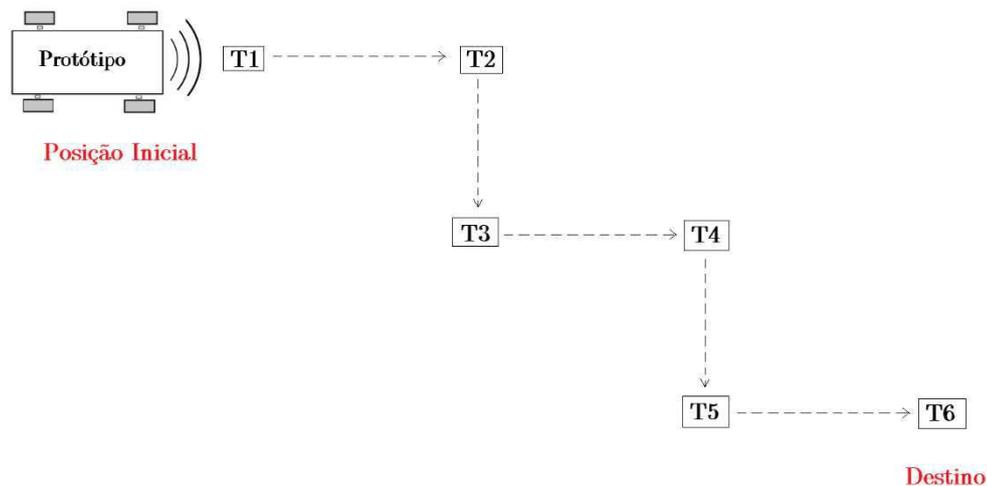


Figura 23. Diagrama exemplificando as disposições das etiquetas para que o protótipo siga uma determinada trajetória.

Em seguida, o código fonte, foi compilado à placa do protótipo já montado, e testes foram feitos para verificar se o robô atendeu a todos os objetivos determinados. Os testes e ajustes realizados estão descritos no Capítulo 6, a seguir.

6 TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo, estão descritos os testes realizados com o protótipo em funcionamento, assim como os ajustes que precisaram ser realizados para garantir os requisitos mínimos do projeto.

Foram realizados testes para diversos trajetos variáveis, mudando-se apenas as disposições das etiquetas RFID. Verificou-se que, dependendo do tipo do piso em que o protótipo seja acionado, existe um erro na trajetória devido à sensibilidade da roda esférica na parte traseira do protótipo. Assim, para garantir que o robô realize as tarefas determinadas sem erros que comprometam a trajetória pré-determinada, ele deve funcionar em ambientes de piso plano, liso e sem objetos, ou sujeira, que possam alterar a direção do protótipo.

Além disso, os testes iniciais também mostraram que quando o protótipo era acionado para mover-se para frente, um erro de trajetória ocorria, fazendo com que o carrinho “puxasse” levemente para a direita. Isso se deu, pois o motor da esquerda estava sendo acionado com uma velocidade um pouco maior que o motor da direita. Esse

problema foi contornado através de alterações no código fonte, na parte da função de inicialização das velocidades dos motores, que é ajustada por meio do nível de tensão aplicado a cada motor:

```
motor1.setSpeed(NivelTensao1);
```

```
motor2.setSpeed(NivelTensao2);
```

As constantes *NivelTensao1* e *NivelTensao2* podem ser ajustadas entre 0-255 para enviar ao motor as tensões 0-6V. Mas como a configuração dos motores indica que a tensão de operação deles é 3~6V, essas variáveis não podem ser ajustadas com menos que 128, que equivale a 3V.

Outro fator que precisou de um ajuste fino, foram as funções de virar à esquerda e à direita, pois, dependendo do tipo de piso, o torque exercido pela rotação das rodas em sentido contrário pode variar, variando o ângulo de rotação na trajetória do protótipo. Este parâmetro é ajustado alterando-se a função *delay()* logo após o acionamento dos motores em sentido reverso.

Em relação às interferências na comunicação do sistema de identificação por radiofrequência, verificou-se que dispositivos que contém a tecnologia NFC, como *smartphones*, podem interferir no funcionamento do protótipo, comprometendo o desempenho do protótipo. Assim, para que ele opere com sucesso, é necessário que, no ambiente, não hajam dispositivos com a tecnologia NFC ao alcance do leitor RFID.

Verificou-se ainda que, dependendo do nível das baterias de alimentação, tanto dos motores quanto do Arduino Mega, o desempenho do veículo pode variar, especialmente no que diz respeito à velocidade exercida pelos motores. Portanto, para garantir um funcionamento adequado, os níveis de bateria não devem ser inferiores à aproximadamente 86% da carga total (9V para alimentação do Arduino, e 6V para alimentação dos motores).

Desta maneira, para que todos os objetivos pre-definidos para este projeto sejam alcançados, devem ser levados esses fatores externos e internos que podem prejudicar o desempenho de funcionamento do protótipo.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi realizado um projeto que uniu os conceitos de veículos autônomos com a tecnologia de identificação por radiofrequência, utilizando um Arduino Mega como a unidade de processamento em conjunto com circuitos modulares periféricos (leitor RFID e Motor Shield).

Foi desenvolvido um protótipo para que os princípios elaborados durante o projeto proporcionassem uma validação do sistema, cujo objetivo foi criar um veículo que se locomovesse de forma autônoma, seguindo uma trajetória que pode ser alterada com facilidade, apenas com a mudança das posições das etiquetas de identificação por radiofrequência.

Como o protótipo atendeu às especificações de funcionar de forma autônoma e automática, e ser capaz de seguir caminhos variáveis determinados por etiquetas RFID, pode-se afirmar que se obteve êxito em todo o processo de desenvolvimento, contemplando todos os pontos críticos de requisitos do projeto.

O trabalho introduziu uma nova forma de controle de direção para veículos autônomos capaz de ser aplicada em situações diversas, tais como: na área industrial, com a realização de tarefas de transporte e gerenciamento de materiais pesados, ou perigosos; na acessibilidade de pessoas com deficiência de locomoção, ou visual, com o desenvolvimento de veículos ou equipamentos capazes de transportar pessoas de forma automática; no transporte de pessoas, no deslocamento através de estradas e rodovias; dentre outras aplicações.

Verificou-se que o protótipo desenvolvido atendeu às expectativas de funcionamento, seguindo os pré-requisitos de projeto estabelecidos. Foram abordados diversos aspectos de um projeto de engenharia elétrica, desde conceitos mecânicos de deslocamento, até temas como eletrônica e microeletrônica, telecomunicações e programação de processadores. Além disso, foram contempladas concepções de montagens experimentais, no desenvolvimento do protótipo de testes que poderá ser usado como modelo para elaboração de outros tipos de produtos. Todos esses aspectos contribuem de forma importante para o crescimento e formação de um profissional de engenharia elétrica.

BIBLIOGRAFIA

[1] FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2010.

[2] AHSON, S. A, ILYAS, M. **RFID Handbook: Applications, Technology, Security, and Privacy**. Hardcover ed. Boca Raton: Taylor & Francis. 2008.

[3] WEISS, S. A. **RFID(Radio Frequency Identification): Principles and Applications**. MIT CSAIL. 2007. Disponível em: <<http://www.eecs.harvard.edu/cs199r/readings/rfid-article.pdf>>. Acesso em 02/10/2015

[4] Datalogic Scanning, Inc.. **All About Bar Codes**. Disponível em: <http://www.ahearn.com/pdf/WP/WP_All_About_Bar_Codes_Datalogic_Scanning.pdf>. Acesso em: 02/10/2015

[5] FLANAGAN, R. et. al. **Auto-ID-Bridging the physical and the digital on construction projects**. The Chartered Institute of Building, University of Reading. Disponível em: <<http://www.ciob.org/sites/default/files/Auto-ID%20Book.pdf>>. Acesso em: 10/10/2015

[6] SILVA, M. S; FILHO, V. S. Biometria através de Impressão Digital. **Cadernos UniFOA**. Volta Redonda, Ano VI, n. 15, abril 2011. Disponível em: <<http://web.unifoa.edu.br/cadernos/edicao/15/19.pdf>>. Acesso em: 11/10/2015.

[7] MAZI, R. C, PINTO JÚNIOR, A. D. **Identificação Biométrica Através da Impressão Digital Usando Redes Neurais Artificiais**. Anais do XIV ENCITA 2008, ITA, Outubro, 19-22, 2009

[8] AHSAN, K. **RFID Components, Applications and Systems Integration with Healthcare Perspective**, Deploying RFID - Challenges, Solutions, and Open Issues, Dr. Cristina Turcu (Ed.), ISBN: 978-953-307-380-4, In Tech. Disponível em: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/17854/InTech-Rfid_components_applications_and_system_integration_with_healthcare_perspective.pdf>. Acesso em: 11/10/2015.

[9] CHARRINGTON, D. **The Curious Case of The Translink Go Card**. Disponível em: <<http://ilikekillnerds.com/2015/02/the-curious-case-of-the-translink-go-card/>> Acesso em: 08/09/2015.

[10] **LAS Expansion Features RFID Technology To Track Baggage**. Vanderlande Industries. Disponível em: http://www.aviationpros.com/press_release/10761995/las-expansion-features-rfid-technology-to-track-baggage> Acesso em: 08/09/2015.

[11] Mecalux Logismarket. **Vehículo Filoguiado**. Disponível em: <https://www.logismarket.com.mx/dta/vehiculo-filoguiado/1720661149-1179565811-p.html>> Acesso em: 09/09/2015.

[12] **What are automated guided vehicles?** Disponível em: <https://www.emaze.com/@AIWLICFR/What-Are-Automated-Guided-Vehicle>> Acesso em: 08/09/2015.

[13] **Laser Scanner for Navigation**. Catálogo Cotting. Disponível em: <<http://www.goetting-agv.com/components/43600>> Acesso em: 10/09/2015.

[14] WISANMONGKOL, J., SANPECHUDA, T., KEPTRON, U. Automatic Vehicle Identification with Sensor-Integrated RFID System. **Proceedings of ECTI-CON 2008**.

[15] ARBAIN, N. et. al. LAS: Web-based Laboratory Attendance System by integrating RFID-ARDUINO Technology. **International Conference on Electrical, Electronics and Systems Engineering (ICEESE)**, 2014.

[16] **Arduino Mega**. Disponivel em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>>. Acesso em: 05/06/2015.

[17] **Arduino Motor Shield**. Disponivel em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoMotorShieldR3>>. Acesso em: 17/06/2015.

[18] NXP Semicondutores. **MFRC522 Standard 3V MIFARE reader solution datasheet**. 2014.

[19] **Language Reference**. Disponivel em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>>. Acesso em: 03/06/2015.

[20] DAS, R., HARROP, P. **RFID Forecasts, Players and Opportunities 2016-2026: the completely analysis of the global RFID industry**. IDTechEx. Outubro, 2015.

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE

```

/* Universidade Federal de Campina Grande
 * Centro de Engenharia Elétrica e Informática
 * Departamento de Engenharia Elétrica
 * TCC - Trabalho de Conclusão de Curso
 * Aluna: Vanessa Lucena Vidal de Negreiros -112110504
 *
 * Sistema Veicular Autoguiado Utilizado a Tecnologia RFID
 *
 * Descrição: Constantemente é feita uma varredura a procura de tags
 * caso uma tag seja encontrada, uma ação é enviada aos motores
 * com comandos de direção específicos: para frente, esquerda, direita, ou parar.
 */

//Bibliotecas
#include <SPI.h> //Comunicação entre o Arduino e o MFRC522
#include <MFRC522.h> //Acionamento do MFRC522
#include <AFMotor.h> //Acionamento dos motores

//Atribuição de cada motor a um slot no Motor Shield
AF_DCMotor motor1(1);
AF_DCMotor motor2(4);

//Pinos utilizados no MFRC522
#define RST_PIN 49
#define SS_PIN 53

//Criação da instância MFRC522
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);

//Função de Setup: dados que são rodados apenas uma vez
void setup() {

  Serial.begin(9600); // Inicializa uma comunicação serial com o computador (para testes)
  while (!Serial);
  SPI.begin(); // Inicia comunicações SPI

```

```
mfr522.PCD_Init(); // Inicia comunicações com MFRC522
```

```
// Ajuste de velocidade máxima dos motores
```

```
motor1.setSpeed(180);
```

```
motor2.setSpeed(188);
```

```
}
```

```
//Rotina de Repetição
```

```
void loop() {
```

```
  //Procurar por Tags
```

```
  if ( ! mfr522.PICC_IsNewCardPresent() ) {
```

```
    return;
```

```
  }
```

```
  //Selecionar uma das tags
```

```
  if ( ! mfr522.PICC_ReadCardSerial() ) {
```

```
    return;
```

```
  }
```

```
  //Mover os motores para frente
```

```
  if(mfr522.uid.uidByte[0] == 148 ||
```

```
     mfr522.uid.uidByte[0] == 45 ||
```

```
     mfr522.uid.uidByte[0] == 29)
```

```
  {
```

```
    motor1.run(RELEASE);
```

```
    motor2.run(RELEASE);
```

```
    delay(1000);
```

```
    motor1.run(FORWARD);
```

```
    motor2.run(FORWARD);
```

```
  }
```

```
  //Mover protótipo para a esquerda
```

```
  else if (mfr522.uid.uidByte[0] == 133 ||
```

```
           mfr522.uid.uidByte[0] == 253){
```

```
    motor1.run(RELEASE);
```

```
motor2.run(RELEASE);

delay(1000);

motor1.setSpeed(255);
motor2.setSpeed(255);

motor1.run(BACKWARD);
motor2.run(FORWARD);;

delay(420);

motor1.setSpeed(180);
motor2.setSpeed(188);

motor1.run(RELEASE);
motor2.run(RELEASE);

delay(1000);

motor1.run(FORWARD);
motor2.run(FORWARD);

}

//Mover o protótipo para a direita
else if (mfr522.uid.uidByte[0] == 4 ||
        mfr522.uid.uidByte[0] == 13){

motor1.run(RELEASE);
motor2.run(RELEASE);

delay(1000);

motor1.setSpeed(255);
motor2.setSpeed(255);

motor2.run(BACKWARD);
motor1.run(FORWARD);;
```

```
delay(420);

motor1.setSpeed(180);
motor2.setSpeed(188);

motor1.run(RELEASE);
motor2.run(RELEASE);

delay(1000);

motor1.run(FORWARD);
motor2.run(FORWARD);

}
//Parar o protótipo
else if (mfr522.uid.uidByte[0] == 116 ||
        mfr522.uid.uidByte[0] == 237){

    motor1.run(RELEASE);
    motor2.run(RELEASE);

}

mfr522.PICC_HaltA();
}
```