

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL JASON SCHREIBER BUTLER

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA TREINAMENTO A SECO DE
ARMA DE FOGO**

CURITIBA

2021

GABRIEL JASON SCHREIBER BUTLER

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA TREINAMENTO A SECO DE
ARMA DE FOGO**

Development of a prototype for dry fire gun practice

Trabalho de conclusão do curso de graduação em Engenharia Elétrica apresentado como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Orientador(a): Profa. Dra. Rosângela Winter

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIEL JASON SCHREIBER BUTLER

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA TREINAMENTO A SECO DE
ARMA DE FOGO**

Trabalho de conclusão do curso de graduação em
Engenharia Elétrica apresentado como requisito para
obtenção do título de Engenheiro Eletricista da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Orientador(a): Profa. Dra. Rosângela Winter

Data de aprovação: 30 de Novembro de 2021

Rosângela Winter
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Glauber Gomes de Oliveira Brantes
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Amauri Amorin Assef
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e minha irmã, porque sem eles nada disso seria possível.

Ao Eng. Victor Peck, que esteve ao meu lado durante este projeto.

Aos meus amigos que sempre me apoiam.

A todos os professores que tive durante este curso, especialmente aqueles que amam ensinar.

E, finalmente, à minha orientadora Profa. Dra. Rosângela Winter.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um protótipo do circuito eletrônico de um produto utilizado para o treinamento a seco de arma de fogo. O protótipo foi constituído de uma "arma" laser e um alvo, cuja finalidade principal é simular o funcionamento de uma arma real para o treino. Foi utilizado a premissa de que um instrumento desse tipo no contexto brasileiro poderia aprimorar a capacitação de militares, policiais e seguranças que utilizam armas de fogo como ferramenta de trabalho. Para o desenvolvimento do protótipo foi utilizado o método de prototipagem e programação oportunista. Também foi utilizado a plataforma de desenvolvimento eletrônico Arduino e o módulo de comunicação *wireless* NRF24L01. Para a comunicação entre os dispositivos é utilizada comunicação através da luz emitida pelo laser na arma e um sensor de luz no alvo, assim como comunicação *wireless* para troca de informação entre a arma e o alvo. No final do projeto, é apresentado um protótipo de dispositivo funcional, cuja arma efetua os disparos de luz através do diodo laser e o alvo registra esses disparos através do LDR (resistor dependente de luz); e o alvo é capaz de contar em um display de 7 segmentos tanto os acertos ao alvo quanto os erros.

Palavras-chave: protótipo; laser; LDR; Arduino.

ABSTRACT

This work has the main objective of developing a prototype of an electronic circuit that is intended to be eventually embedded into a commercial product used for dry fire practice. The prototype has two parts: a laser gun and a target. The main functionality of this prototype is to simulate a real gun, in such a way that it could be used by police officers and military to practice gun related skills in Brazil. For the development of the prototype, the method of opportunistic prototyping and opportunistic programming is used. The Arduino electronic development platform and the NRF24L01 wireless communication module are also used in this project. For the communication between the devices, it is used both the light emitted by the laser on the weapon and a light sensor on the target, as well as wireless communication for exchanging information between the weapon and the target. At the end of the project, a prototype of a functional device is presented, with a laser weapon that fires the light through the laser diode and a target that registers these shots through the LDR (Light Dependent Resistor) and counts both hits and misses on a 7-segment display.

Keywords: prototype; laser; LDR; Arduino.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Munições Snap Cap de diversos calibres.....	11
FIGURA 2 - Blue Gun Glock G19.....	12
FIGURA 3 - Munição laser.....	13
FIGURA 4 - Arma laser SIRT.....	13
FIGURA 5 - Arma SIRT.....	17
FIGURA 6 - Arma LaserLyte.....	17
FIGURA 7 - iTarget.....	19
FIGURA 8 - Alvos LaserLyte.....	19
FIGURA 9 - Alvos LaserLyte Quick Tyme.....	20
FIGURA 10 - Alvo Laser ammo PET 2.....	21
FIGURA 11 - Raspberry PI 3.....	26
FIGURA 12 - NodeMCU.....	26
FIGURA 13 - Arduino Uno.....	27
FIGURA 14 - Diodo <i>Laser</i>	30
FIGURA 15 - Micro Switch KW11-7-1.....	31
FIGURA 16 - NRF24L01.....	31
FIGURA 17 - Terminais do NRF24L01.....	32
FIGURA 18 - Circuito esquemático do primeiro protótipo.....	34
FIGURA 19 - Circuito eletrônico da arma com protoboard e jumpers.....	34
FIGURA 20 - Light Dependent Resistor.....	35
FIGURA 21 - Resistência de um LDR em função da iluminação.....	36
FIGURA 22 - LED.....	37
FIGURA 23 - Esquema elétrico do primeiro protótipo do alvo.....	38
FIGURA 24 - Circuito eletrônico do alvo com <i>protoboard e jumpers</i>	39
FIGURA 25 - Tempo de acionamento de 25 ms.....	43
FIGURA 26 - Tempo de acionamento de 50 ms.....	43
FIGURA 27 - Fluxograma da lógica da Arma 1.....	44
FIGURA 28 - Comportamento do LDR em modo contínuo de leitura.....	47
FIGURA 29 - Leitura do LDR no escuro (baixa luminosidade).....	48
FIGURA 30 - Leitura do LDR com luz ambiente sobre sua superfície (alta luminosidade).....	49
FIGURA 31 - Fluxograma de funcionamento da Alvo.....	51

FIGURA 32 - PLC da Industrial Shields vendido com um Arduino Embutido.....	53
FIGURA 33 - ATmega328p.....	54
FIGURA 34 - Gravação do ATMEGA328P utilizando um Arduino Uno.....	55
FIGURA 35 - Bateria 18650.....	56
FIGURA 36 - Circuito esquemático PCB da arma.....	56
FIGURA 37 - Circuito esquemático ATmega328p standalone.....	57
FIGURA 38 - Projeto da PCB da Arma.....	57
FIGURA 39 - PCB da Arma.....	58
FIGURA 40 - Circuito do segundo protótipo do alvo.....	58
FIGURA 41 - Tm1637.....	59
FIGURA 42 - Terminais tm1637.....	59
FIGURA 43 - Circuito esquemático do alvo da segundo protótipo.....	60
FIGURA 44 - Fluxograma da lógica do segundo protótipo do alvo.....	64
FIGURA 45 - Protótipo da arma.....	66
FIGURA 46 - Protótipo do Alvo.....	66
FIGURA 47 - Arma apontada em direção ao alvo.....	67
FIGURA 48 - Gatilho da arma pressionado.....	67
FIGURA 49 - Laser acerta o alvo.....	68
FIGURA 50 - Luz verde indica o acerto.....	68
FIGURA 51 - Display indica mais 1 acerto.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS

NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado

LISTA DE SIGLAS

CE	Chip Enable
CSN	Chip Select Not
CLP	Controladores Lógicos Programáveis
GND	Ground
GPIO	General Purpose Input/Output
IDE	Integrated Development Environment
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
IRQ	Interrupt Request
LDR	Light Dependent Resistor (Resistor dependente de luz)
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
MISO	Master In Slave Out
MOSI	Master Out Slave In
PCB	Printed Circuit Board (Placa de circuito impresso)
PVC	Polyvinyl Chloride
SCK	Serial Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
USB	<i>Universal Serial Bus</i> (Barramento Serial Universal)
VCC	Voltage Common Collector

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	TEMA.....	12
1.1.1	Delimitação do Tema.....	14
1.2	PROBLEMA E PREMISSAS.....	15
1.3	OBJETIVOS.....	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivos específicos.....	16
1.4	JUSTIFICATIVA.....	16
1.5	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	17
2	FUNCIONALIDADES DO PROTÓTIPO.....	18
2.1	MODELOS EXISTENTES DE ARMA.....	18
2.2	MODELOS EXISTENTES DE ALVO.....	19
2.3	FUNCIONALIDADES DESEJADAS.....	22
2.3.1	Arma.....	23
2.3.2	Alvo.....	23
2.3.3	Comunicação arma-alvo.....	23
3	PROCESSO E PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM.....	25
3.1	PROTOTIPAGEM OPORTUNISTA.....	25
3.2	PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO ELETRÔNICO.....	26
3.2.1	Opções de plataforma de desenvolvimento eletrônico "Open-Source".....	26
3.2.2	Escolha da plataforma com <i>software</i> "Open-Source" utilizada no projeto.....	28
4	DESENVOLVIMENTO DO PRIMEIRO PROTÓTIPO.....	30
4.1	CIRCUITO ELETRÔNICO DA ARMA (<i>HARDWARE</i>).....	30
4.1.1	Periféricos.....	30
<u>4.1.1.1</u>	<u>Laser.....</u>	<u>31</u>
<u>4.1.1.2</u>	<u>Gatilho.....</u>	<u>31</u>
<u>4.1.1.3</u>	<u>Comunicação sem-fio (<i>wireless</i>).....</u>	<u>32</u>
4.1.2	Circuito eletrônico da arma.....	34
<u>4.1.2.1</u>	<u>Circuito Esquemático.....</u>	<u>34</u>
<u>4.1.2.2</u>	<u>Montagem.....</u>	<u>35</u>
4.2	CIRCUITO ELETRÔNICO DO ALVO (<i>HARDWARE</i>).....	36
4.2.1	Periféricos.....	36

4.2.1.1	Sensor de luz (LDR).....	36
4.2.1.2	LED.....	38
4.2.1.3	Comunicação sem-fio (<i>wireless</i>).....	39
4.2.2	Circuito eletrônico do alvo.....	39
4.2.2.1	Circuito Esquemático.....	39
4.2.2.2	Montagem do circuito.....	40
4.3	DESENVOLVIMENTO DO CÓDIGO C (<i>firmware</i>).....	41
4.3.1	Programação oportunista.....	42
4.3.2	Desenvolvimento do <i>firmware</i> da arma.....	42
4.3.2.1	Bibliotecas.....	42
4.3.2.2	Declaração das portas utilizadas pelo NRF24L01.....	42
4.3.2.3	Declaração do endereço de comunicação do NRF24L01.....	42
4.3.2.4	Declaração dos outros GPIOs usados pelo Arduino.....	43
4.3.2.5	Declarações de variáveis utilizadas para lógica de programação.....	43
4.3.2.6	Definição da função de cada porta GPIO.....	43
4.3.2.7	Configurações do módulo NRF24L01.....	43
4.3.2.8	Lógica principal (<i>loop</i>).....	44
4.3.3	Desenvolvimento do <i>firmware</i> do alvo.....	47
4.3.3.1	Bibliotecas.....	47
4.3.3.2	Declaração das portas utilizados pelo NRF24L01.....	47
4.3.3.3	Declaração do endereço de comunicação do NRF24L01.....	47
4.3.3.4	Declaração dos outros GPIOs usados pelo Arduino.....	48
4.3.3.5	Declarações de variáveis utilizadas para lógica de programação.....	48
4.3.3.6	Definição da função de cada porta GPIO.....	48
4.3.3.7	Configurações do módulo NRF24L01.....	48
4.3.3.8	Lógica principal (<i>loop</i>).....	49
5	DESENVOLVIMENTO DO SEGUNDO PROTÓTIPO.....	54
5.1	CIRCUITO ELETRÔNICO DA ARMA (HARDWARE).....	54
5.1.1	Microcontrolador ATmega328p.....	55
5.1.2	Bateria.....	56
5.1.3	PCB.....	57
5.1.4	Montagem do circuito.....	59
5.2	CIRCUITO ELETRÔNICO DO ALVO (HARDWARE).....	60
5.2.1	<i>Display</i> de 7 segmentos.....	60

5.2.2	Montagem.....	61
5.3	DESENVOLVIMENTO DO CÓDIGO C (<i>FIRMWARE</i>).....	62
5.3.1	Desenvolvimento do <i>firmware</i> da arma.....	62
5.3.2	Desenvolvimento do <i>firmware</i> do alvo.....	62
5.3.2.1	<u>Bibliotecas.....</u>	<u>62</u>
5.3.2.2	<u>Declaração das portas utilizadas</u>	<u>62</u>
5.3.2.3	<u>Declaração do endereço de comunicação do NRF24L01.....</u>	<u>63</u>
5.3.2.4	<u>Declaração dos outros GPIOs usados pelo Arduino.....</u>	<u>63</u>
5.3.2.5	<u>Declarações de variáveis utilizadas para lógica de programação.....</u>	<u>63</u>
5.3.2.6	<u>Definição da função de cada porta GPIO.....</u>	<u>63</u>
5.3.2.7	<u>Configurações do módulo NRF24L01 e do <i>display</i> de 7 segmentos.....</u>	<u>64</u>
5.3.2.8	<u>Lógica.....</u>	<u>64</u>
5.4	FUNCIONAMENTO DO SEGUNDO PROTÓTIPO.....	67
6	CONCLUSÃO.....	71
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Uma das principais técnicas de treino com arma de fogo é o treino a seco (conhecida popularmente em inglês como *dryfire*). Este tipo de treino, caracteriza-se pela não utilização de munições reais, e/ou não utilização de uma arma real (SHIELD PERSONAL SAFETY TRAINING, 2015). A importância desse treino decorre do fato que é possível treinar praticamente todos os movimentos de manuseio de uma arma sem que haja um disparo de munição real (MAIA, 2020).

Para a prática do treinamento a seco existem alguns tipos de produtos (ou ferramentas) que auxiliam na execução do treino. O primeiro deles é o chamado "snap cap", que é um objeto que simula uma munição de fogo real, mas que não tem nenhum poder de fogo. Ou seja, ao ser inserido dentro de uma arma de fogo real e apertado o gatilho da arma, ele não efetua nenhum tipo de disparo, o que possibilita a execução de diversos tipos de treino, como o treino de pane na arma (MAIA, 2020). Esse tipo de produto foi inserido no mercado brasileiro a menos de 5 anos pela empresa NOBULLET Training Ammunition. O preço de um pacote de 5 munições está hoje em torno de R\$ 140,00 a R\$ 180,00 (29 de Novembro de 2021), dependendo do calibre. Essas munições são fabricadas em aço carbono com um pedaço de borracha na espoleta da munição para absorver o impacto no momento em que o gatilho é pressionado. Na Figura 1 estão alguns exemplos dessas munições.

Figura 1: Munições Snap Cap de diversos calibres



Fonte: Nobullet Training Ammunition (2021)

O segundo tipo de produto é chamado de *Blue Gun* (Figura 2), que é uma réplica da arma com as mesmas dimensões de uma determinada arma, mas feita

em plástico (MAIA, 2020). Geralmente, a fabricação é feita em impressoras 3D. A empresa 3D Shoot (2021) comercializa esse produto por cerca de R\$ 120,00 (29 de Novembro de 2021), não incluindo o frete.

Figura 2: *Blue Gun* Glock G19



Fonte: 3D Shoot (2021)

A última linha de produto utiliza diodos laser através de circuitos embarcados para "simular" um disparo, efetuando a emissão de luz em um determinado ponto por um certo período de tempo, o que corresponderia ao local de acerto caso fosse uma arma real. Esse produto pode ser tanto uma "munição laser" (Figura 3) que é inserida dentro de uma arma real, quanto uma "arma laser", que tem o mesmo intuito da *Blue Gun*, mencionada anteriormente, mas que ao pressionar o gatilho é efetuado o disparo do diodo laser (MAIA, 2020).

A munição laser vem sendo comercializada no Brasil, por um preço de R\$350,00 (29 de Novembro de 2021), pela empresa War Brasil. Já os produtos que seriam "armas laser" não estão ainda em circulação no mercado brasileiro, embora nos Estados Unidos e na Europa haja diversas empresas desenvolvendo e comercializando produtos desse tipo, como a Next Level Training (Figura 4) e a LaserLyte.

Figura 3: Munição laser



Fonte: War Brasil (2021)

Figura 4: arma laser SIRT



Fonte: Next Level Training (2021)

1.1.1 Delimitação do Tema

Considerando os tipos de soluções apresentados na Seção 1.1 sobre o treino a seco com arma de fogo e pelos motivos apresentados a seguir na Seção 1.2, a área de enfoque deste trabalho diz respeito ao desenvolvimento de um protótipo de "arma laser".

Pretendeu-se desenvolver uma ferramenta capaz de melhorar, tornar mais flexível, mais barato, e mais acessível o treinamento com armas de fogo utilizando a técnica de treino a seco. Essa ferramenta é composta por um produto que simula uma arma de fogo, utilizando diodo laser ao invés de munições reais e, também, alvos que captam os disparos do laser a fim de saber se houve um acerto no alvo na área delimitada.

No escopo total do projeto estão envolvidas outras áreas de conhecimento, que não fazem parte do curso de Engenharia Elétrica, como *design* de produto e engenharia mecânica. Nesse trabalho de conclusão de curso foi desenvolvida somente a parte do projeto que se refere ao circuito embarcado, que atende as demandas requeridas de forma satisfatória para que, posteriormente, após validação do protótipo, sejam fabricados circuitos embarcados em placas de circuito impresso (PCB), as quais serão inseridas no interior de um produto comercializável.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

O mau uso de armas de fogo por policiais acarreta diversos malefícios à sociedade, inclusive muitas vezes resultando na morte de pessoas inocentes, como a que aconteceu no Rio de Janeiro, onde morreu uma menina ao ser atingida por tiros disparados por um policial militar (SPIGLIATTI, 2012). Provavelmente, situações como essa poderiam ser evitadas se houvesse mais treinamento de policiais, principalmente após a formação na academia de polícia.

Uma matéria publicada no portal de notícias R7 em 2011 aponta justamente para essa questão. Policiais militares do Rio de Janeiro reclamam da falta de treinamento após a formação (MORAES, 2011), fato esse que, segundo Lesly Furuie (2013), resulta em policiais sem a capacidade de enfrentar diversas situações de risco e mais suscetíveis a erros em meio aos conflitos.

Há alguns fatores que corroboram para a dificuldade no treinamento e aperfeiçoamento de técnicas relacionadas às armas de fogo no Brasil, entre os quais pode-se citar o alto custo das munições (MARCHIORI, 2013).

Em vista dos problemas mencionados e da possível oportunidade de mercado gerada pela falta de um produto semelhante a uma "arma laser", apresentada na Seção 1.1, surgiu a ideia de desenvolver uma ferramenta de treino a seco que utilize de diodos laser para simular disparos, que seja adaptada ao contexto brasileiro e que possibilite uma melhoria na capacitação e treinamento com armas de fogo no Brasil.

Dessa forma, as premissas para o desenvolvimento deste projeto são:

1. A possibilidade de melhora no treinamento com armas de fogo;

2. O desenvolvimento de um produto que simule uma arma ao efetuar disparos de laser para simular disparos reais;
3. Técnicas e habilidades aprendidas por um estudante durante o curso de engenharia elétrica representam uma possibilidade real de desenvolver um produto (pelo menos quando se refere à parte eletrônica) que atenda às necessidades observadas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal é desenvolver a parte eletrônica de um dispositivo que simule uma arma de fogo, utilizando diodo laser ao invés de munições reais e alvos que captam esses disparos do laser, a fim de que seja usado para a utilização na técnica de treinamento a seco.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para que se obtenha de forma satisfatória um protótipo final de um circuito embarcado que atenda às demandas do projeto, deve-se ter uma divisão de tarefas caracterizadas como objetivos específicos, são eles:

- Identificar as funcionalidades ideais do conjunto arma-alvo;
- Definir o processo de prototipagem a ser utilizado;
- Definir as ferramentas de prototipagem a serem utilizadas;
- Desenvolver o protótipo de circuito eletrônico da arma;
- Desenvolver o protótipo de circuito eletrônico do alvo.

1.4 JUSTIFICATIVA

A principal motivação para este estudo é criar uma ferramenta que seja de extrema utilidade e comercializável no mercado brasileiro — com o propósito principal de melhorar a capacitação de forças armadas, policiais e seguranças armados.

Por outro lado, para que a ferramenta atenda tal requisito, requer-se diversos conhecimentos na área de estudo de um estudante de engenharia elétrica, tais como: circuitos elétricos, eletrônica analógica, eletrônica digital, eletrônica de potência e sistemas microcontrolados.

1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Segundo Jung (2010), a pesquisa experimental é muito utilizada para se obter protótipos tecnológicos, como é o caso deste trabalho. Para isso, o método utilizado para a coleta de dados será é o da experimentação.

Em primeiro lugar, foi realizado um estudo para coleta de dados que indicou as funcionalidades desejáveis tanto para o protótipo da arma quanto para o alvo (Etapa 1). Em seguida, foi definido o processo e os equipamentos que devem ser utilizados para o desenvolvimento do protótipo (Etapa 2). E, por último, foram desenvolvidos os dois protótipos de forma simultânea, efetuando testes durante o desenvolvimento (Etapa 3).

Portanto, a pesquisa foi executada em 3 etapas:

- Etapa 1: Pesquisar as funcionalidades desejadas do protótipo;
- Etapa 2: Pesquisar os processos e plataforma de desenvolvimento eletrônico a serem utilizados;
- Etapa 3: Desenvolver e testar o protótipo.

2 FUNCIONALIDADES DO PROTÓTIPO

2.1 MODELOS EXISTENTES DE "ARMA"

Os dois modelos de arma de maior proeminência no mercado (principalmente Norte-Americano), que utilizam laser para o treinamento a seco são chamados Laserlight Training Pistol (Figura 5) e SIRT Laser Training Pistol (Figura 6) (CONCEALED CARRY.COM, 2017).

Figura 5: Arma SIRT



Fonte: Concealedcarry.com (2017)

Figura 6: Arma LaserLyte



Fonte: Mike Shouts (2021)

Segundo Jacob Palson (2017), presidente do ConcealedCarry.com e instrutor de tiro Norte-Americano, cada um desses dois modelos possui algumas vantagens e diferenças em relação ao outro.

As diferenças entre esses modelos são referentes a questões mecânicas e de *design* (peso, magazine removível, aperto do gatilho, etc.), não concernentes ao escopo deste trabalho.

No entanto, quando se trata dos circuitos eletrônicos embarcados existem duas grandes diferenças de funcionamento entre os modelos. A primeira diz respeito ao laser disparado. Na arma SIRT Laser Training Pistol, ao ser pressionado o gatilho da arma, o laser fica acionado no momento do disparo, mantendo-se acionado pelo tempo em que o gatilho se mantenha pressionado. Já na arma Laser Light Training Pistol, ao ser pressionado o gatilho é acionado o laser por um determinado tempo, sendo logo em seguida desligado, mesmo que o gatilho se mantenha pressionado (CONCEALEDCARRY.COM, 2017).

A segunda diferença é em relação a um laser "auxiliar", chamado de *take up laser* — utilizado para indicar a direção da mira antes do disparo. Esse laser está posicionado logo abaixo do laser principal e é acionado assim que o gatilho começa a ser pressionado, sendo desligado logo antes do laser principal ser acionado. Somente a SIRT Laser Training Pistol possui este recurso. Neste modelo, o laser principal possui a cor verde e o auxiliar possui a cor vermelha. Já no Laser Light Training Pistol, o único laser possui a cor vermelha (CONCEALEDCARRY.COM, 2017).

2.2 MODELOS EXISTENTES DE ALVOS

Existem, a princípio, dois tipos de alvos disponíveis em mercados estrangeiros. No primeiro são utilizados aplicativos que utilizam a câmera dos celulares para registrarem os disparos laser em um determinado local predeterminado, podendo ser um alvo físico do qual a câmera do celular permanece apontada, ou um local qualquer (como uma parede), em que, a partir de um aplicativo é selecionado uma determinada área que será considerada como alvo. Entre esses aplicativos estão o iTarget e o LaserHIT, disponíveis tanto na Apple Store quanto no Google Play (PEW PEW TACTICAL, 2020).

Como exemplo, o produto iTarget, além do aplicativo possui também um suporte de celular (para o manter fixo com a câmera apontada para a parede) e um *laser cartridge* que se trata de uma munição inerte que efetua o acionamento rápido

de um laser assim que o gatilho da arma é pressionado. Na Figura 7 é mostrado o kit iTarget.

Figura 7: iTarget



Fonte: iTargetPro (2021)

Já o segundo tipo de alvo é um alvo físico que não necessita de um aplicativo ou *software* exterior para funcionamento. Dois produtos de proeminência desse tipo são a linha de produtos da LaserLyte e Laser Ammo PET (PEW PEW TACTICAL, 2020). A empresa LaserLyte possui alguns tipos de alvos, como mostrado na Figura 8.

Figura 8: Alvos LaserLyte



Fonte: Pew Pew Tactical (2020)

O modelo mais completo da LaserLyte é o LaserLyte Quick Tyme, o qual pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9: Alvos LaserLyte Quick Tyme



Fonte: Pew Pew Tactical (2020)

As características desse alvo (relacionadas a parte eletrônica) são:

- 2 modos de treino:
 - Modo de treino: os disparos são registrados e é acionado um LED no local do disparo, para que se saiba onde foi efetuado o disparo no alvo.
 - Modo Timer: é feita uma contagem de tempo assim que houver um *beep* (som) do alvo deve ser efetuado um disparo o mais rápido possível e o *Timer* contará o tempo entre o *beep* e o acerto ao alvo. O tempo é mostrado no *display* de 7 segmentos com 2 dígitos.
- 62 LEDs.
- Botões de *start* e *set timer* são acionados com um disparo laser neles.

Já na linha de produtos Laser Ammo PET, o modelo mais recente e mais completo é o Laser Ammo PET 2, que pode ser visualizado visto na Figura 10.

Figura 10: Alvo Laser ammo PET 2



Fonte: Pew Pew Tactical (2020)

As características desse alvo (relacionadas a parte eletrônica) são:

- 4 modos de treino:
 - Modo contador: contagem dos disparos corretos no *display* de 7 segmentos de 4 dígitos.
 - Modo Timer: contagem do tempo assim que efetuado o *beep* (som) até o acerto do disparo ao alvo, mostrado no *display* de 7 segmentos de 4 dígitos.
 - Modo disparo rápido: número de acertos em 5 segundos, mostrado no *display* de 7 segmentos de 4 dígitos.
 - Modo disparo duplo: tempo entre 2 disparos, mostrado no *display* de 7 segmentos de 4 dígitos.
- Apenas um local de acerto;
- Botões são acionados de forma manual assim que pressionados.

2.3 FUNCIONALIDADES DESEJADAS

De maneira geral, tendo como base os modelos de conjuntos arma-alvo considerados anteriormente e tendo como objetivo um modelo de produto que se encaixe ao contexto brasileiro e que, além disso, traga algum tipo de inovação em

relação aos modelos de produtos atuais, as funcionalidades desejadas no protótipo estão identificadas a seguir:

2.3.1 Arma

São essas as funcionalidades desejadas inicialmente para o protótipo:

- Disparo rápido do laser: mesmo que o gatilho se mantenha pressionado, o *laser* será acionado por algum tempo predeterminado e logo deve ser desligado, pois assim se assemelha mais ao funcionamento de uma arma real;
- Apenas um *laser*: embora o *laser* auxiliar que a SIRT Laser Training Pistol possui auxilie no treino, essa ferramenta foge do assemelhado à uma arma real, e também, de um ponto de vista técnico, o *laser* adicional pode interferir no funcionamento apropriado do alvo.

2.3.2 Alvo

São essas as funcionalidades desejadas inicialmente que os protótipos possuam:

- Captação do *laser* disparado pela arma: esse é o objetivo principal do alvo e, não obstante, deve ser a funcionalidade principal do alvo;
- *Display* de 7 segmentos com dados referentes aos modos de treino, que serão semelhantes aos 4 modos de treino do Alvo Laser ammo PET 2.

2.3.3 Comunicação arma-alvo

São essas as funcionalidades desejadas inicialmente de comunicação entre a arma e o alvo:

- *Laser*: A arma deve disparar um *flash* de *laser* e o alvo deve captar esse *flash*;
- Comunicação *Wireless* (sem fio): Nenhum dos sistemas analisados possui essa funcionalidade. Portanto, trata-se da grande inovação deste projeto em relação aos modelos existentes. Uma comunicação entre o alvo e a arma (que não seja feita apenas através do *laser*) pode trazer inúmeros melhoramentos não vistos em outros modelos existentes.

Algumas das vantagens desse modelo, por exemplo, são:

- O alvo terá informação não apenas dos disparos de *laser* que o acertam, mas também receberá a informação de quando foram realizados disparos "errados" — que não foram em direção ao alvo;
- Possibilita o desenvolvimento de um sistema de treino que não se restringe a apenas 1 alvo e 1 arma, mas possibilita que em futuros modelos possam haver mais alvos e armas envolvidos em um mesmo sistema de treino.

3 PROCESSO E PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM

3.1 PROTOTIPAGEM OPORTUNISTA

Quando se trata do desenvolvimento de protótipos eletrônicos que requerem algum tipo de programação (de microcontroladores, por exemplo), o processo de prototipagem vem se tornando cada vez mais rápido. Um dos grandes motivos para que isso ocorra é decorrente do método de prototipagem e programação chamada de oportunista. Os dois grandes termos utilizados para definir esses métodos são "prototipagem oportunista" (BANZI, SHILOH, 2011) e "programação oportunista" (BRANDT et al.2, 2008).

O grande objetivo da prototipagem oportunista é encontrar uma forma simples, barata e rápida de desenvolver um protótipo. Os autores do livro "primeiros passos com Arduino", justificam o uso desse método da seguinte maneira:

(...) porque desperdiçar tempo e energia construindo algo do zero, em um processo que requer tempo e conhecimentos técnicos avançados, quando podemos utilizar dispositivos já prontos e adaptá-los de modo a aproveitar todo o trabalho prévio realizado por grandes empresas e engenheiros qualificados? (BANZI, SHILOH, 2011, p.22).

Portanto, essa abordagem parte do princípio de partir de dispositivos e equipamentos prontos e acessíveis e adaptá-los para serem usados de acordo com as finalidades do projeto.

Tratando-se de "programação oportunista", o termo é restringido ao desenvolvimento de *software* e programação. Em comparação à programação oportunista, o objetivo é semelhante: programar com rapidez e eficiência, ao invés de robustez e manutenibilidade -- embora uma não exclua a outra.

No artigo *Opportunistic Programming: How Rapid Ideation and Prototyping Occur in Practice* — em português, Programação oportunista: como idealização e prototipagem rápidas ocorrem na prática —, a programação oportunista é definida como:

É uma atividade onde programações não-triviais de sistemas de softwares são construídos com pouco ou nenhum planejamento de detalhes de implementação; e facilidade e rapidez de desenvolvimento são priorizados ao invés de robustez e manutenibilidade. Programação oportunista não se trata de "programação preguiçosa"; pelo contrário, é uma abordagem que

permite e prototipagem, idealização e descobertas que se beneficia por ser feita de forma extremamente rápida [...] (BRANDT et al., 2008, p.1).

É importante salientar que softwares *open-source* (softwares livres) facilitam e possibilitam a prototipagem e programação oportunista, uma vez que a acessibilidade a projetos feitos anteriormente por pessoas qualificadas é livre. Isso decorre da própria definição de um software *open-source*, que, segundo Augusto Campos, é um "*software* que pode ser usado, copiado, estudado, modificado e redistribuído sem restrição" (CAMPOS, 2006, p.1).

3.2 PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO ELETRÔNICO

3.2.1 Opções de plataforma de desenvolvimento eletrônico *Open-source*

Quando se trata de plataformas de desenvolvimento de protótipos eletrônicos, existem algumas opções disponíveis para uso, entre as quais se pode citar três que vêm ganhando protagonismo, especialmente pelo fato de serem *Open-Source*; são elas: Arduino, Raspberry Pi e NodeMCU (FLUXO CONSULTORIA, 2019).

Decorrente do fato de, principalmente, possuírem esta característica de serem plataformas *Open-source*, essas plataformas podem ser consideradas ideais para esse projeto, uma vez que esse fato facilita a prototipagem oportunista, pois é possível construir um protótipo utilizando trabalhos previamente realizados por outras pessoas como base para o desenvolvimento do projeto.

Embora estas 3 plataformas possuam a semelhança de serem *open-source* e de serem cada vez mais populares, elas diferem quando se trata da finalidade de uso de cada uma.

A finalidade do Raspberry Pi é de ser usado como um "mini-computador" para, especialmente, fins educacionais de ensino de Ciência da Computação, uma vez que é um mini computador baseado em microprocessador de fácil uso. Ele é baseado na linguagem de programação Python (da onde decorre "Pi" no nome), utiliza um sistema operacional (como Linux) e possui internamente um processador, memória, *driver* gráfico e conectores (como HDMI, High-Definition Multimedia Interface ou Interface Multimídia de Alta Definição e USB, *Universal Serial Bus* ou

Barramento Serial Universal, que permitem a utilização de monitores, teclados, etc.) (ELECTRONICS HUB, 2021). A Figura 11 mostra o Raspberry PI 3.

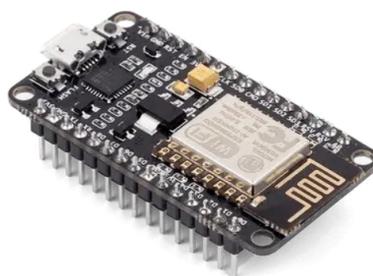
Figura 11: Raspberry PI 3



Fonte: Fluxo Consultoria (2019)

Já o NodeMCU tem a finalidade principal de ser usado como uma plataforma de desenvolvimento para projetos de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) e por isso possui o microchip ESP8266 embutido na placa, que permite a comunicação por Wi-Fi (FLUXO CONSULTORIA, 2019). A Figura 12 mostra o NodeMCU.

Figura 12: NodeMCU



Fonte: Fluxo Consultoria (2019)

Já o Arduino é caracterizado pela sua simplicidade e grande comunidade de usuários. Sua finalidade é ser usado como uma plataforma de desenvolvimento simples e rápida. Ele é projetado com um microcontrolador Atmel AVR (como o ATmega328p, microcontrolador utilizado no modelo Arduino UNO). Assim como as

outras plataformas, o Arduino possui General Purpose Input/Output (GPIOs) utilizados para a comunicação com periféricos que recebem ou enviam informação ao microcontrolador (dependendo do propósito indicado para cada uma das portas) (ELECTRONICS HUB, 2021). A Figura 13 mostra um Arduino Uno R3.

Figura 13: Arduino Uno



Fonte: Arduino Store (2021)

3.2.2 Escolha da plataforma com *software Open-Source* utilizada no projeto

Tendo em vista as finalidades observadas de cada uma das plataformas, as duas com maior potencial para utilização no projeto foram o Arduino e NodeMCU.

No livro *Arduino Básico*, Michael McRoberts esclarece que a principal vantagem do Arduino em relação às outras plataformas é sua facilidade de utilização, que procede de alguns motivos como o fato que o Arduino possui "uma imensa comunidade de pessoas usando Arduino e compartilhando seus códigos e diagramas de circuitos para que os outros copiem e modifiquem" (MCROBERTS, 2013, p.1), além de também dizer que: "A maior parte dessa comunidade tem também muita disposição para ajudar outras pessoas e fornecer orientações. O fórum do Arduino é o lugar ideal para visitar e buscar respostas rápidas (MCROBERTS, 2013, p.1).

A acessibilidade também ganha destaque quando se trata do Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment - IDE*) do Arduino, o "Arduino IDE". Conforme o autor de *Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi*, Sergio Oliveira afirma:

A IDE Arduino é bastante conhecida dos entusiastas por microcontroladores e microeletrônica. Seu lançamento como hardware aberto e o impulso à indústria eletrônica na China tornaram essa plataforma bastante acessível tanto para amadores e estudantes quanto para empresas que lançaram vários produtos de automação e eletrônica em geral usando essa plataforma (OLIVEIRA, 2017).

Além disso, comercialmente o *chip* do Arduino (Atmel AVR) pode ser programado com facilidade utilizando a plataforma do Arduino IDE (DRONEBOTWORKSHOP, 2021) e também utilizado nos ambientes industriais (KUNIKOWSKI et al., 2015).

Portanto, pelos fatores mencionados, a plataforma escolhida para este projeto foi o Arduino.

4 DESENVOLVIMENTO DO PRIMEIRO PROTÓTIPO

O objetivo do primeiro protótipo foi validar de forma rápida o conceito do conjunto arma-alvo, com enfoque maior no que pode ser considerado a essência do projeto, que é a comunicação *wireless* entre o disparo *laser* da arma e o alvo,

4.1 CIRCUITO ELETRÔNICO DA ARMA (HARDWARE)

Nesta seção é abordado o desenvolvimento do hardware do primeiro protótipo da arma. Em primeiro lugar, foram definidos quais os periféricos a serem usados e então foi projetado um esquemático com o circuito, e em seguida o circuito foi montado.

4.1.1 Periféricos

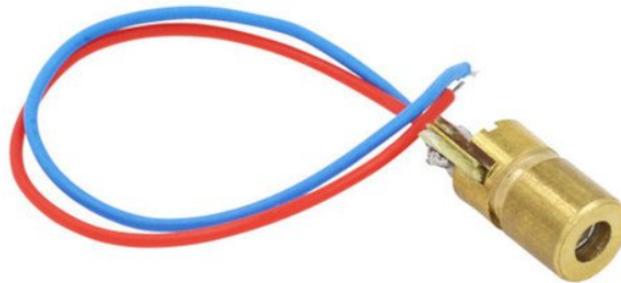
Como visto na Seção 3, a plataforma de prototipagem eletrônica escolhida foi o Arduino e o método de prototipagem escolhido foi a prototipagem oportunista. Dessa forma, tendo em vista que o principal objetivo do protótipo era validar o conceito, os critérios para a escolha dos componentes dos periféricos foram: funcionalidade, tempo de entrega e preço, os quais foram definidos de acordo com os seguintes motivos:

- Funcionalidade: de forma ideal, os componentes escolhidos poderiam ser usados nos próximos protótipos e na produção em grande escala. Portanto, para a escolha dos periféricos não se deve ter, idealmente, motivos para acreditar que esses componentes não podem ser usados para as próximas versões;
- Tempo de entrega: como se trata de uma prototipagem rápida, os componentes devem ser entregues idealmente dentro de poucos dias;
- Preço: como se trata de um protótipo cujo objetivo final é ser comercializável, deve se levar em conta o preço dos componentes de forma que a futura venda do produto não seja inviabilizada devido a preços elevados.

4.1.1.1 Laser

O primeiro e talvez mais importante periférico que deve ser adicionado ao protótipo da arma é o diodo laser. Foi escolhido um diodo laser de 5 mW (Figura 14). Foram encontrados para venda dois modelos: um com tensão de operação de 3 V e outro de 5 V. Foi comprada a versão de 3 V.

Figura 14: Diodo Laser



Fonte: ELETROGATE (2021)

O laser possui funcionamento simples, uma vez que é composto por 2 terminais (positivo e negativo) e é aceso quando existe uma tensão próxima da tensão ideal em seus terminais.

4.1.1.2 Gatilho

O Gatilho do protótipo deve atuar como uma chave, enviando um sinal para o microcontrolador no momento do "disparo" da arma. Foi escolhido para a utilização um *micro-switch* (conhecido no Brasil como chave fim-de-curso). O modelo escolhido é a Chave Micro Switch KW11-7-1 (Figura 15), devido as suas especificações que, a primeiro momento, parecem compatíveis à necessidade do protótipo.

Figura 15: Micro Switch KW11-7-1



Fonte: BAÚ DA ELETRÔNICA-A (2021)

A chave Micro Switch KW11-7-1 possui operação máxima de 16 A, máxima tensão de operação de 250 V em tensão alternada e possui 3 terminais: C (Comum), NA (normalmente aberta), NF (normalmente fechada) (BAÚ DA ELETRÔNICA-A, 2021).

4.1.1.3 Comunicação sem-fio (*wireless*)

Para que a comunicação *wireless* entre arma e alvo possa ocorrer, um módulo de comunicação deve ser designado como periférico do Arduino. Existem diversos protocolos que têm sido utilizados para diferentes aplicações, como por exemplo: WiFi, GSM/GPRS, Bluetooth e LoRaWAN.

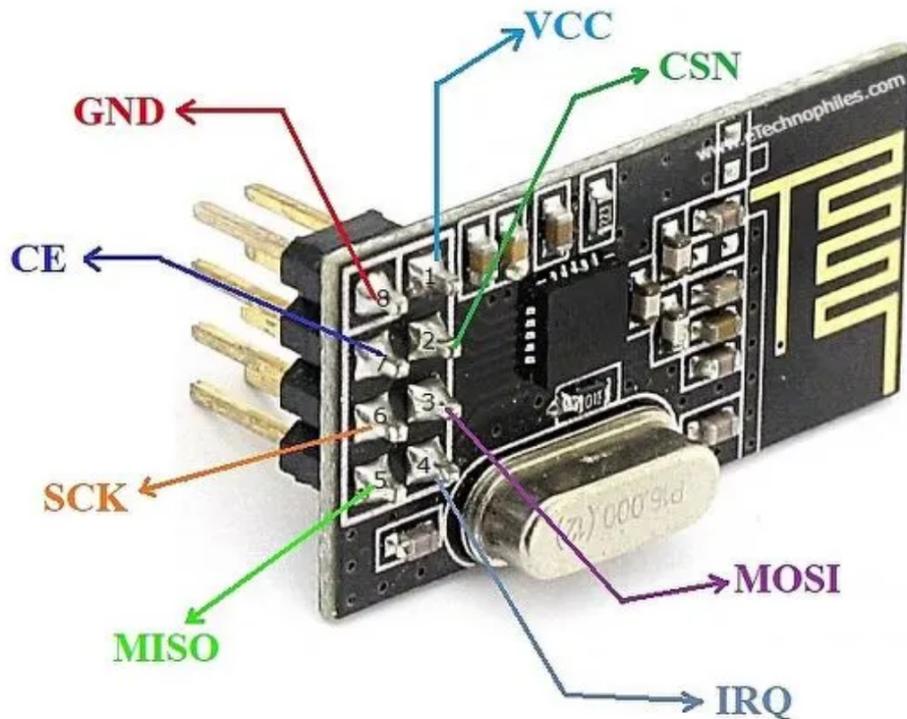
Para a comunicação *wireless* entre arma e alvo é desejado que o módulo seja barato, com alcance de no mínimo 10 metros e de fácil utilização e programação. Por esses motivos, o módulo escolhido foi o NRF24L01 (Figura 16), que é considerado o módulo de comunicação de radiofrequência mais popular para aplicações entre microcontroladores (ELECTRONICS-LAB, 2020).

Figura 16: NRF24L01

Fonte: Microcontrollers Lab (2021)

O NRF24L01 utiliza radiofrequência para a comunicação entre módulos, utilizando o protocolo de comunicação Enhanced ShockBurst (ESB), proprietário da Nordic. Os módulos podem ser configurados como transmissores e/ou receptores, dependendo da aplicação específica de cada um. O NRF24L01 opera na faixa de frequência de 2,4 GHz de banda, com transmissão que pode variar de 256 kbps até 2 Mbps dependendo da aplicação (NORDIC, 2021). Para a comunicação entre o NRF24L01 e um microcontrolador, é utilizado o protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*), que aplica o conceito de mestre. O NRF24L01 opera com corrente que permanece na faixa dos 12 mA e tensão de operação ideal entre 1,9 V e 3,6 V (MICROCONTROLLERS LAB, 2020). O módulo possui 8 terminais, como visto na Figura 17.

Figura 17: Terminais do NRF24L01



Fonte: Etechnophiles (2021)

Cada terminal possui as seguintes funções:

- VCC: onde a alimentação positiva (+) deve ser conectada;
- GND: onde a alimentação negativa (-) deve ser conectada;
- CE (*Chip Enable*): seleciona se o módulo será usado como transmissor ou receptor;
- CSN (*Chip Select Not*): indica que há troca de informação com o SPI bus.
- SCK (*Serial Clock*): utiliza os pulsos do *clock* do mestre do SPI bus, no caso, do ATmega328p embutido no Arduino;
- MISO (*Master In Slave Out*): é a saída (*output*) de comunicação do protocolo SPI.
- MOSI (*Master Out Slave In*): é a entrada (*input*) de comunicação do protocolo SPI.

- IRQ (*Interrupt Request*): avisa o mestre quando se tem novos dados para processamento.

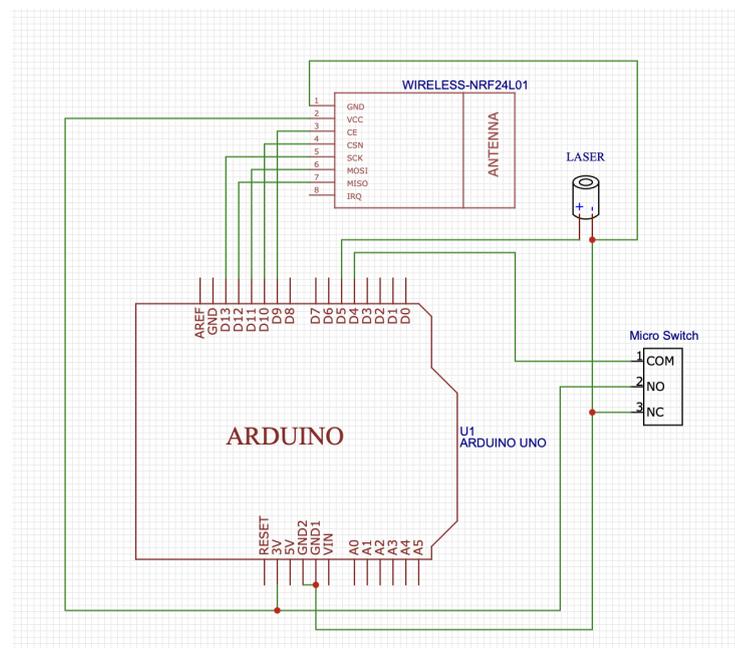
4.1.2 Circuito eletrônico da arma

Após a escolha e compra de periféricos, elaborou-se o circuito esquemático e em seguida a montagem do circuito eletrônico da arma.

4.1.2.1 Circuito Circuito esquemático

O esquemático do circuito composto pelo Arduino Uno, módulo de comunicação NRF24L01, diodo laser e *micro-switch* é representado como mostra a Figura 18. Para a montagem do circuito esquemático foi utilizado o *software* gratuito EasyEDA (2021). Os terminais do NRF24L01 foram conectados aos terminais de função equivalente do Arduino. O *micro-switch* foi conectado de forma que a porta comum está conectada a porta digital 4 e quando o sinal é 0 o gatilho não está pressionado e quando é 1 o gatilho está pressionado.

Figura 18: Circuito esquemático do primeiro protótipo

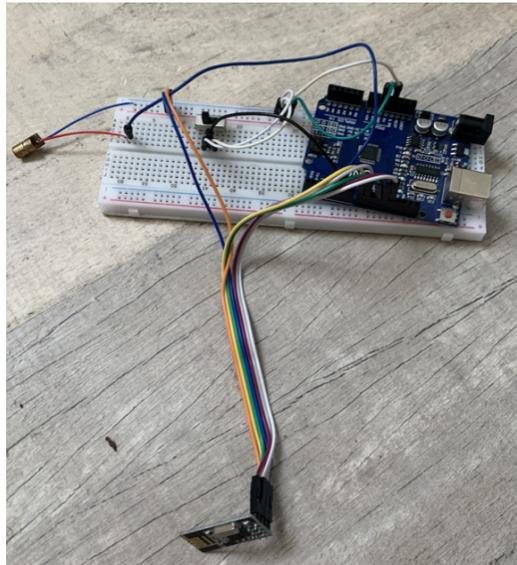


Fonte: Autoria Própria (2021)

4.1.2.2 Montagem

O circuito foi montado utilizando um *protoboard* e *jumpers*, como mostra a Figura 19. Foi utilizado uma chave com três terminais com funcionamento igual ao do *micro-switch* para a primeira montagem.

Figura 19: Circuito eletrônico da arma com *protoboard* e *jumpers*



Fonte: Autoria Própria (2021)

4.2 CIRCUITO ELETRÔNICO DO ALVO (*HARDWARE*)

Como para a arma, a plataforma de desenvolvimento escolhida foi o Arduino. A partir disso, foram definidos os periféricos a serem utilizados, projetado o esquema elétrico e montado o circuito.

4.2.1 Periféricos (*hardware*)

Os periféricos do primeiro protótipo do alvo foram escolhidos de acordo com os mesmos critérios da Seção 4.1.1.

4.2.1.1 Sensor de luz (LDR)

O *Light Dependent Resistor* (Figura 20) atua como um resistor que possui uma resistência variável com a intensidade de luz incidente sobre ele. Sua superfície é composta por um semicondutor que ao sofrer a incidência de fótons sobre sua superfície libera elétrons, que por sua vez melhoram a condutividade entre os terminais (ou seja, diminuem a resistência) (JÚNIOR, JÚNIOR, 2013).

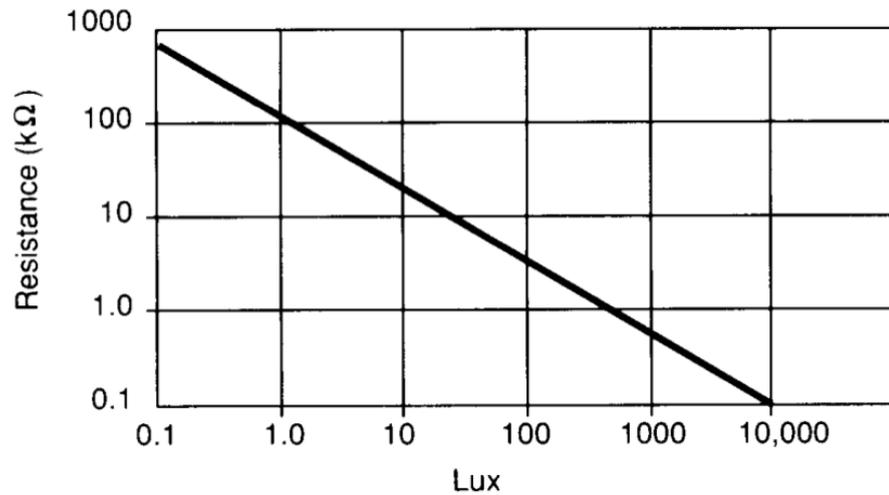
Figura 20: *Light Dependent Resistor*



Fonte: Ebay (2021)

O comportamento LDR pode ser visto na Figura 21, com o auxílio da folha de dados do LDR da RS Components, de um LDR semelhante ao utilizado (RS DATASHEET, 2021). O gráfico apresenta a resistência em função da iluminação sobre a superfície.

Figura 21: Resistência de um LDR em função de iluminação



Fonte: Rs Datasheet(2021)

É possível notar que a resistência é inversamente proporcional à intensidade de luz, de forma que quanto maior for a incidência de luz menor será a resistência do LDR e quanto menor for a incidência de luz maior será a resistência.

Uma vez que segundo a Lei de Ohm, a corrente é inversamente proporcional a resistência, pode-se inferir que a corrente que passa pelo LDR é diretamente proporcional a intensidade de luz em sua superfície, de forma que quanto maior a intensidade de luz, maior será a corrente passante pelo LDR.

Dessa forma, assume-se que com a luz incidente do laser sobre o LDR, será possível identificar quanto há uma mudança abrupta de sua resistência. Portanto para o primeiro protótipo do circuito eletrônico foi utilizado um LDR. Espera-se que haja um pico de corrente passante pelo LDR quando houver incidência de luz do laser sobre sua superfície.

4.2.1.2 LED

Para identificação de acerto do laser no LDR foi utilizado um LED como o da Figura 22, que deve ser aceso imediatamente após a incidência de luz sobre o LDR, para indicar que houve um acerto.

Figura 22: LED



Fonte: BAÚ DA ELETRÔNICA-B (2021)

4.2.1.3 Comunicação sem-fio (*wireless*)

Como explicado na Seção 4.1.1.3 foi utilizado o NRF24L01.

4.2.2 Circuito eletrônico do alvo

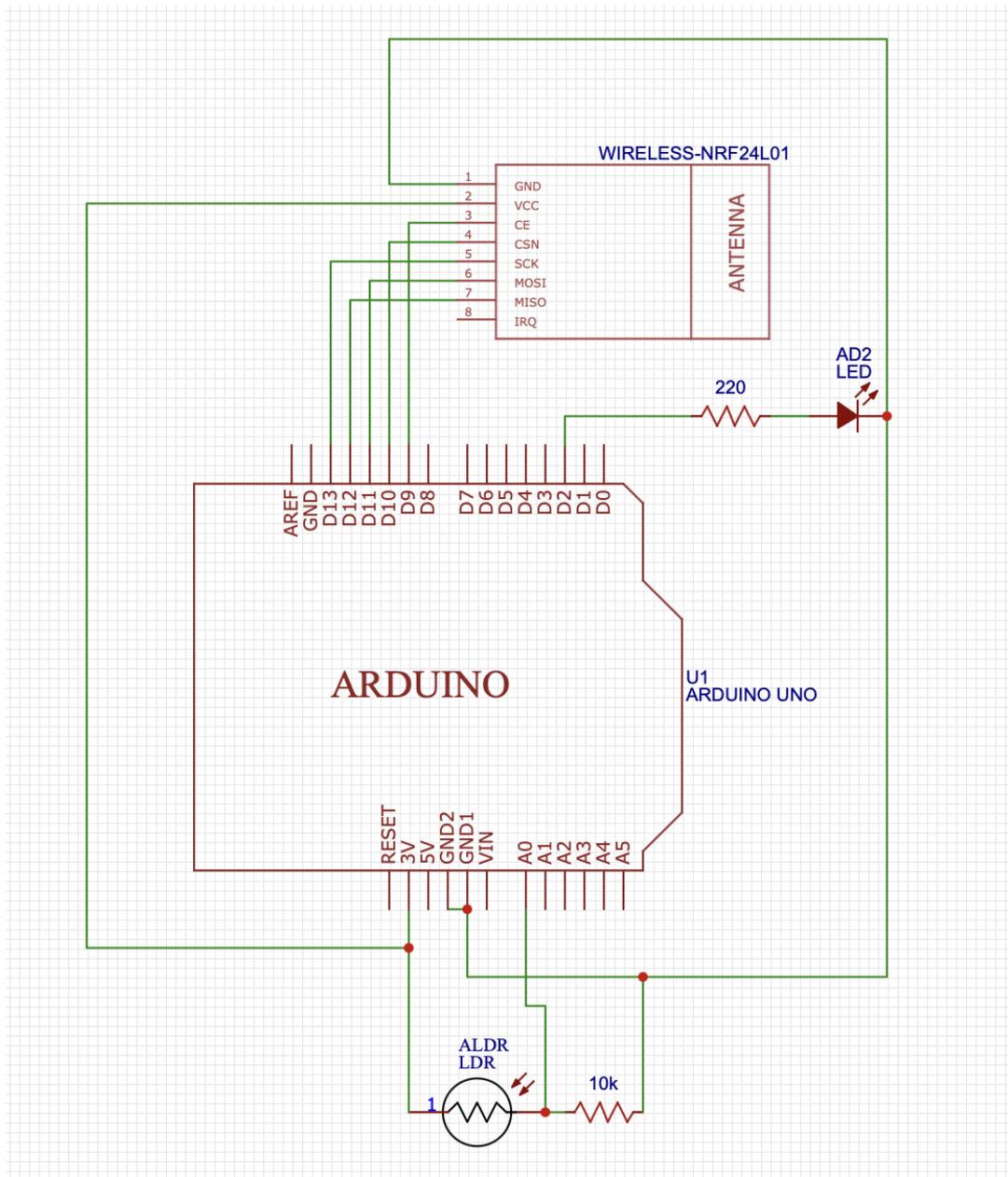
Após a escolha e compra dos periféricos foi feito o circuito esquemático e em seguida a montagem do circuito eletrônico da arma.

4.2.2.1 Circuito Circuito esquemático

Foi utilizado o Arduino Uno, o módulo NRF24L01, um LED, um resistor de $220\ \Omega$ em série com o LED para limitar a corrente e um resistor de $10\ \text{k}\Omega$ e um LDR. A Figura 23 mostra o esquema elétrico do circuito.

O terminal do LDR foi conectado a uma das portas analógicas do Arduino, porque a saída do LDR não é binária, mas pode possuir diversos valores de tensão dependendo da luz incidente sobre sua superfície.

Figura 23: Esquema elétrico do primeiro protótipo do alvo

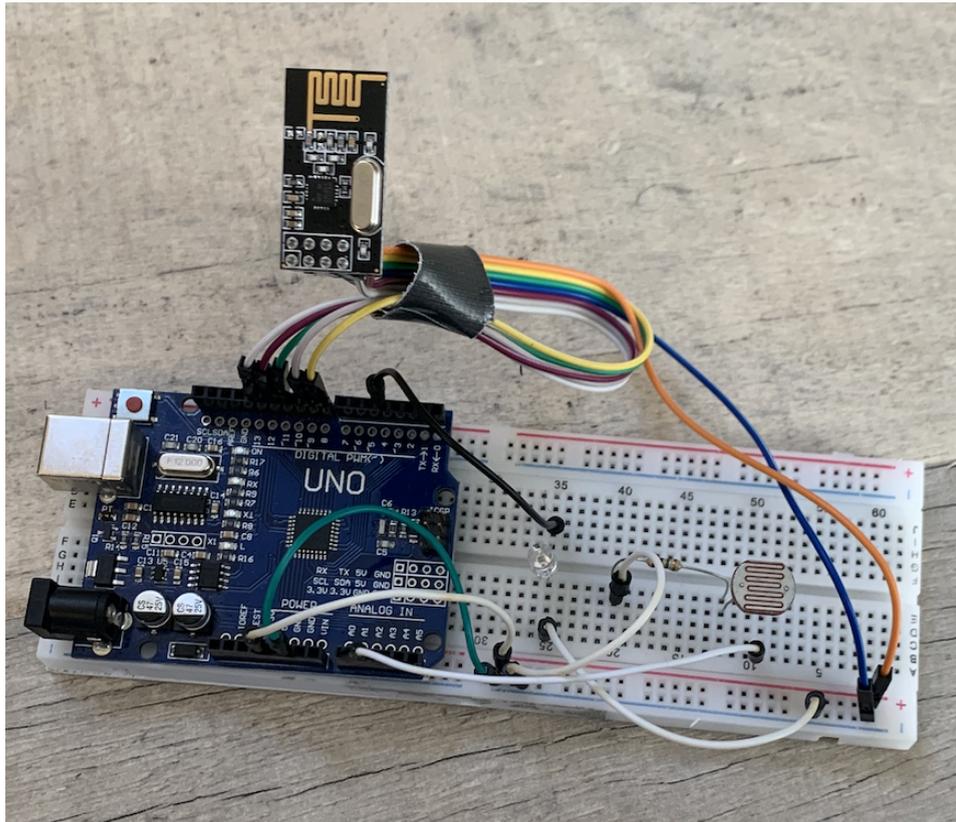


Fonte: EasyEDA (2021)

4.2.2.2 Montagem do circuito

O circuito foi montado utilizando um *protoboard* e *jumpers*, como mostra a Figura 24.

Figura 24: Circuito eletrônico do alvo com *protoboard* e *jumpers*



Fonte: Autoria Própria (2021)

4.3 DESENVOLVIMENTO DO CÓDIGO C (*firmware*)

Uma vez que os circuitos da arma e do alvo foram montados foi desenvolvido o *firmware* do microcontrolador Atmega328p do Arduino. E foi usado o *software* Arduino IDE para enviar os *firmwares* para os dois Arduinos.

O principal objetivo do *firmware* para a primeira versão do protótipo é desenvolver uma comunicação confiável entre o *laser* da arma e o LDR do alvo, de forma que quando o *laser* incidir alguma luminosidade sobre a superfície do LDR, o alvo registre o acerto e, caso haja um disparo que não haja incidência de luminosidade sobre a superfície do LDR, seja registrado um erro.

Quando houver um acerto, o LED deve ser aceso por um determinado tempo, a fim de indicar o acerto.

4.3.1 Programação oportunista

Para o desenvolvimento do *firmware* da arma e do alvo foram utilizadas as bibliotecas do módulo NRF24L01, encontrados no github (GITHUB-B, 2021).

4.3.2 Desenvolvimento do *firmware* da arma.

O *firmware* em linguagem de programação C foi desenvolvido por partes, de forma a validar o funcionamento. As etapas desenvolvidas do *firmware* foram:

4.3.2.1 Bibliotecas

Foram incluídas as bibliotecas encontradas do *site* github (GITHUB-B, 2021), para o funcionamento do NRF24L01. Além da biblioteca SPI.h para a comunicação entre o microcontrolador do Arduino e o NRF24L01.

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
```

4.3.2.2 Declaração das portas utilizadas pelo NRF24L01.

Foram definidas as portas digitais do NRF24L01 a serem conectadas ao Arduino. A porta digital 9 do Arduino foi conectada ao terminal CE do Arduino e a porta digital 10 foi conectada ao terminal CSN do Arduino.

```
RF24 radio(9, 10); // CE, CSN
```

4.3.2.3 Declaração do endereço de comunicação do NRF24L01

Foi definido o endereço de comunicação que ambos o transmissor e receptor devem ter em comum.

```
const byte endereco[6] = "00001";
```

4.3.2.4 Declaração dos outros GPIOs usados pelo Arduino

Foram definidas as duas portas digitais do Arduino que o *micro-switch* e o *Laser* devem ser conectados.

```
#define porta_gatilho 4
#define Laser 5
```

4.3.2.5 Declarações de variáveis utilizadas para lógica de programação

Foi declarada a variável que será recebida do transmissor, que é representada por "gatilho" e representa se houve ou não disparo do gatilho. Além de "gatilho_apertado" e "x", variáveis auxiliares foram usadas para a lógica.

```
int gatilho = 0;
int gatilho_apertado = 0;
int x = 0;
```

4.3.2.6 Definição da função de cada porta GPIO

Foi definido que a porta do gatilho é uma entrada e o *laser*, uma saída.

```
void setup() {
    pinMode(gatilho, INPUT);
    pinMode(Laser, OUTPUT);
}
```

4.3.2.7 Configurações do módulo NRF24L01

O módulo foi configurado como receptor e foi definido um alcance de comunicação e iniciado o módulo com o endereço de comunicação previamente declarado na Seção 4.3.3.3.

```
radio.begin(); //início do funcionamento do módulo

radio.openWritingPipe(endereco); //configuração do
endereço do módulo como transmissor

radio.setPALevel(RF24_PA_LOW); //configuração do
alcance de transmissão
```

```

radio.stopListening();    //início da comunicação como
receptor
}

```

4.3.2.8 Lógica principal (*loop*)

O grande desafio para o desenvolvimento da lógica principal de programação da arma é criar uma lógica de envio de sinais para o alvo, tanto por rádio-frequência, quanto com a luz do *laser*. Dentre as diversas possibilidades, foi definido que entre o aperto do gatilho e o disparo do *laser*, a arma deve enviar um sinal em rádio-frequência para que o alvo saiba do evento do disparo e que assim se prepare para receber (ou não, caso não haja um acerto), a luz proveniente do *laser*.

Essa lógica possui algumas claras vantagens, como por exemplo:

- O sensor de luz do alvo não precisa permanecer acionado sempre que o alvo estiver ligado, pois saberá a partir do sinal de radiofrequência quando houve o aperto do gatilho da arma;
- Reduz-se a possibilidade do alvo registrar algum "disparo" devido a alguma mudança brusca da iluminação no ambiente, pois o sensor de luz do alvo só será acionado milissegundos após o disparo;
- O alvo terá a informação da quantidade de disparos, além da quantidade de acertos e assim poderá relacionar acertos/disparos, erros/disparos, etc.;
- O alvo poderá ler a iluminação do ambiente alguns milissegundos antes que a luz do laser atinja seu sensor (caso houver acerto), de forma a se ter uma referência mais precisa da relação da leitura da luz do ambiente e da luz proveniente do laser.

Para que essa lógica funcione foi definido um tempo de 6 ms entre o envio da mensagem em rádio-frequência que o gatilho da arma foi pressionado e o acionamento do laser.

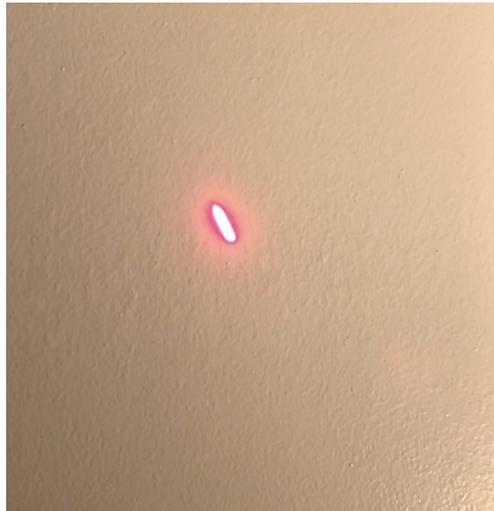
O segundo fator que foi definido foi o tempo de acionamento do laser. Para isso, foram usados como teste o tempo de 25 ms e 50 ms, como pode ser visto na representação das Figuras 25 e 26.

Figura 25: Tempo de acionamento de 25 ms



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 26: Tempo de acionamento de 50 ms

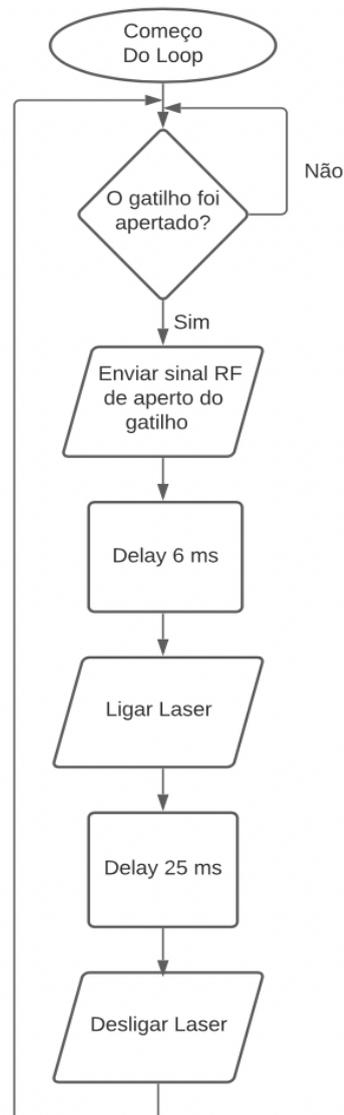


Fonte: Autoria própria (2021)

Como pode ser notado, os disparos de menor tempo tem menos dispersão na parede no intervalo de tempo do disparo, de forma que quando o laser é disparado com a arma em movimento seja possível registrar com maior exatidão o local inicial do disparo (o que mais se assemelha ao comportamento de uma arma de fogo). Por esse motivo, foi escolhido o tempo de disparo do laser de 25 ms.

Na Figura 27 é mostrado o fluxograma que representa o funcionamento da lógica da arma.

Figura 27: Fluxograma da lógica da Arma 1



Fonte: Autoria própria (2021)

Seguindo a lógica da programação C, elaborada na plataforma de desenvolvimento Arduino IDE, foi desenvolvido e feito o *debug* do código (utilizando principalmente as ferramentas de *Serial Monitor* e *Serial Plotter*), ficando da seguinte forma:

```

void loop() {
    gatilho = digitalRead(porta_gatilho);
    if ((gatilho == HIGH) && (gatilho_apertado == 0)) {
        radio.write(&gatilho, sizeof(gatilho));
    }
}
  
```

```

    delay(6);
    digitalWrite(Laser, HIGH);
    delay(24);
    digitalWrite(Laser, LOW);
    gatilho_apertado = 1;
  }
  else if (gatilho == LOW) {
    gatilho_apertado = 0;
  }
  delay(10);
}

```

4.3.3 Desenvolvimento do *firmware* do alvo

Assim como o *firmware* da arma, o do alvo, em linguagem de programação C, foi desenvolvido por partes, de forma a validar o seu funcionamento.

4.3.3.1 Bibliotecas

Igual ao da arma na Seção 4.3.2.1.

```

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

```

4.3.3.2 Declaração das portas utilizados pelo NRF24L01

Igual ao da arma na Seção 4.3.2.2.

```

RF24 radio(9, 10); // CE, CSN

```

4.3.3.3 Declaração do endereço de comunicação do NRF24L01

Igual ao da arma na Seção 4.3.2.3.

```

const byte endereco[6] = "00001";

```

4.3.3.4 Declaração dos outros GPIOs usados pelo Arduino

Foi definido que o LED deve ser conectado à porta digital 2 e o um dos terminais do LDR deve ser conectado à porta analógica A0.

```
#define LED 2  
#define LDR A0
```

4.3.3.5 Declarações de variáveis utilizadas para lógica de programação

Foi declarada a variável que será recebida do transmissor, representada pela variável "gatilho" e que terá o valor (1) se houve disparo do gatilho (1) ou (0), se não houve.

```
int gatilho = 0;  
int dif;  
int LDR1 = 0;  
int LDR2 = 0 ;
```

4.3.3.6 Definição da função de cada porta GPIO

Foi definido que a porta analógica do LDR deve ser uma entrada e que a porta do LED é uma saída.

```
void setup() {  
  
    pinMode(LDR, INPUT);  
    pinMode(LED, OUTPUT);  
}
```

4.3.3.7 Configurações do módulo NRF24L01

O módulo foi configurado como receptor, foi definido um alcance de comunicação e foi iniciado o módulo com o endereço de comunicação previamente declarado na Seção 4.3.3.3.

```

radio.begin();           //iniciamento do módulo
radio.openReadingPipe(0, endereco); //configuração do
                           endereço do módulo como receptor
radio.setPALevel(RF24_PA_LOW); //configuração do
                           alcance de transmissão
radio.startListening();   //início da comunicação como
                           receptor
}

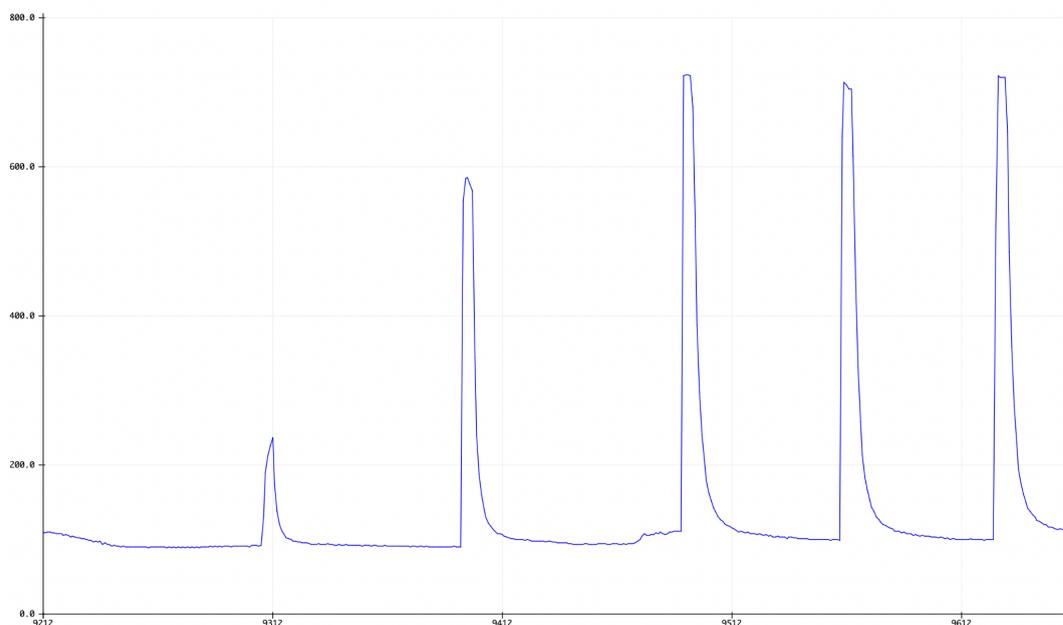
```

4.3.3.8 Lógica principal (*loop*)

O grande desafio do desenvolvimento da lógica do alvo está em entender o funcionamento do LDR e como ele reage à incidência de luz do laser sobre ele. A partir de um entendimento maior disso foi possível criar a lógica que diferencia uma leitura do sensor quando não há acerto da luz de laser e uma que há.

Para isso, foi testado o funcionamento do LDR em modo contínuo através da leitura de uma porta analógica do Arduino, como visto no gráfico da Figura 28. O gráfico foi plotado utilizando o recurso do Arduino IDE chamado de *Serial Plotter*, que utiliza 10 bits de ADC com valores entre 0 e 1013, sendo 0 correspondente à tensão de 0 V e 1013 correspondente ao valor de 5 V.

Figura 28: Comportamento do LDR em modo contínuo de leitura



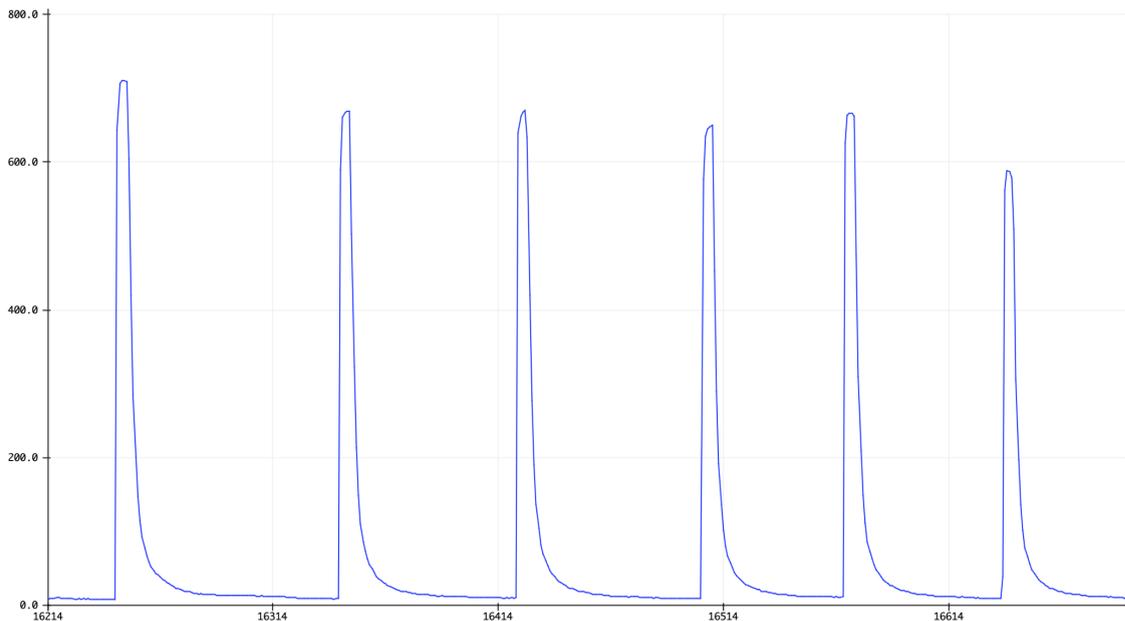
Fonte: Autoria própria (2021)

Neste exemplo, a leitura do LDR é feita a cada 1 ms. Os 5 picos vistos no gráfico da Figura 28 representam os momentos em que o laser foi disparado sobre a superfície do LDR. Sendo possível fazer uma visualização clara do momento dos disparos do laser, representados por esses picos na leitura.

A partir desse exemplo foi possível desenvolver uma lógica de programação para registrar esses picos como "acertos". O problema disso é que as condições de ambiente, principalmente se tratando da incidência de luz sobre a superfície do LDR, podem variar de uma condição a outra.

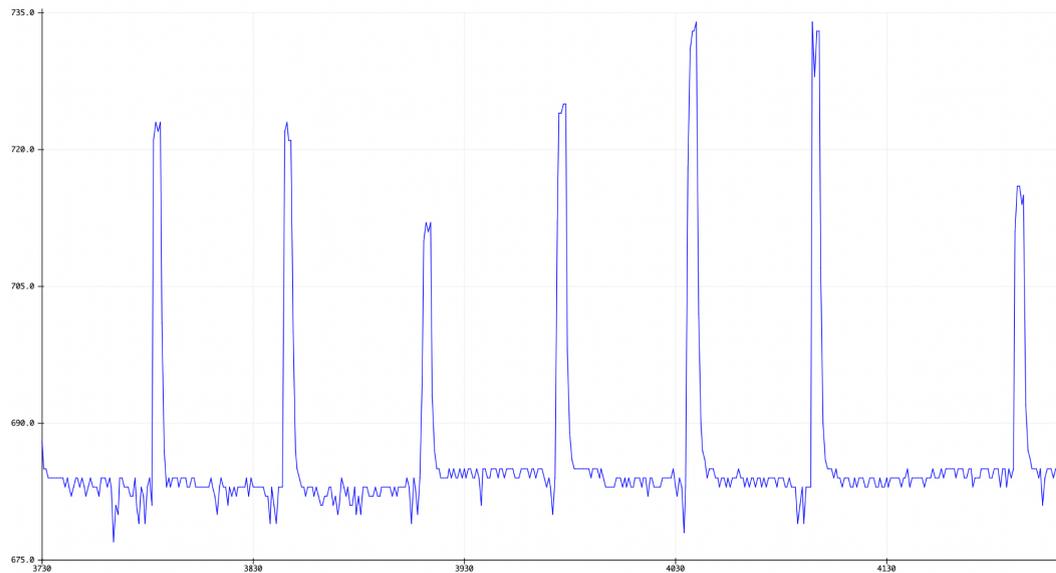
Por conta disso, foi testado como seria a leitura do LDR em situações extremas, uma de praticamente nenhuma iluminação no ambiente e outra com uma lanterna iluminando a superfície do LDR. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 29 e 30, respectivamente.

Figura 29: Leitura do LDR no escuro (baixo luminosidade)



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 30: Leitura do LDR com luz ambiente sobre sua superfície (alta luminosidade)



Fonte: Autoria própria (2021)

A primeira diferença entre os gráficos é o nível de diferença entre a base e o pico dos sinais. No caso de baixa luminosidade, a diferença entre o pico e a base foi entre 550 e 750 pesos. Já para o caso de alta luminosidade, a diferença entre o pico e a base foi entre 30 e 50 pesos.

Com isso, é possível concluir que a diferença entre base (leitura do ambiente) e pico (leitura do ambiente e laser) é inversamente proporcional à luminosidade do ambiente, de forma que quanto menor a luminosidade do ambiente maior será a diferença perceptível no LDR quando a luz do laser atingir sua superfície.

A segunda diferença é a quantidade de ruído. Pode-se notar que em um ambiente com outras fontes de luminosidade incidentes sobre o LDR, o nível de ruído é maior. Dessa forma, existe uma relação diretamente proporcional entre luminosidade e quantidade de ruído.

A partir desses experimentos foi definido um valor de diferença mínima entre a leitura do ambiente e a leitura do laser de 30 — equivalente a aproximadamente uma leitura de tensão de 0,15 mV — de forma que seja possível identificar o acerto do laser no LDR tanto em um ambiente com baixa luminosidade quanto para um ambiente com alta luminosidade.

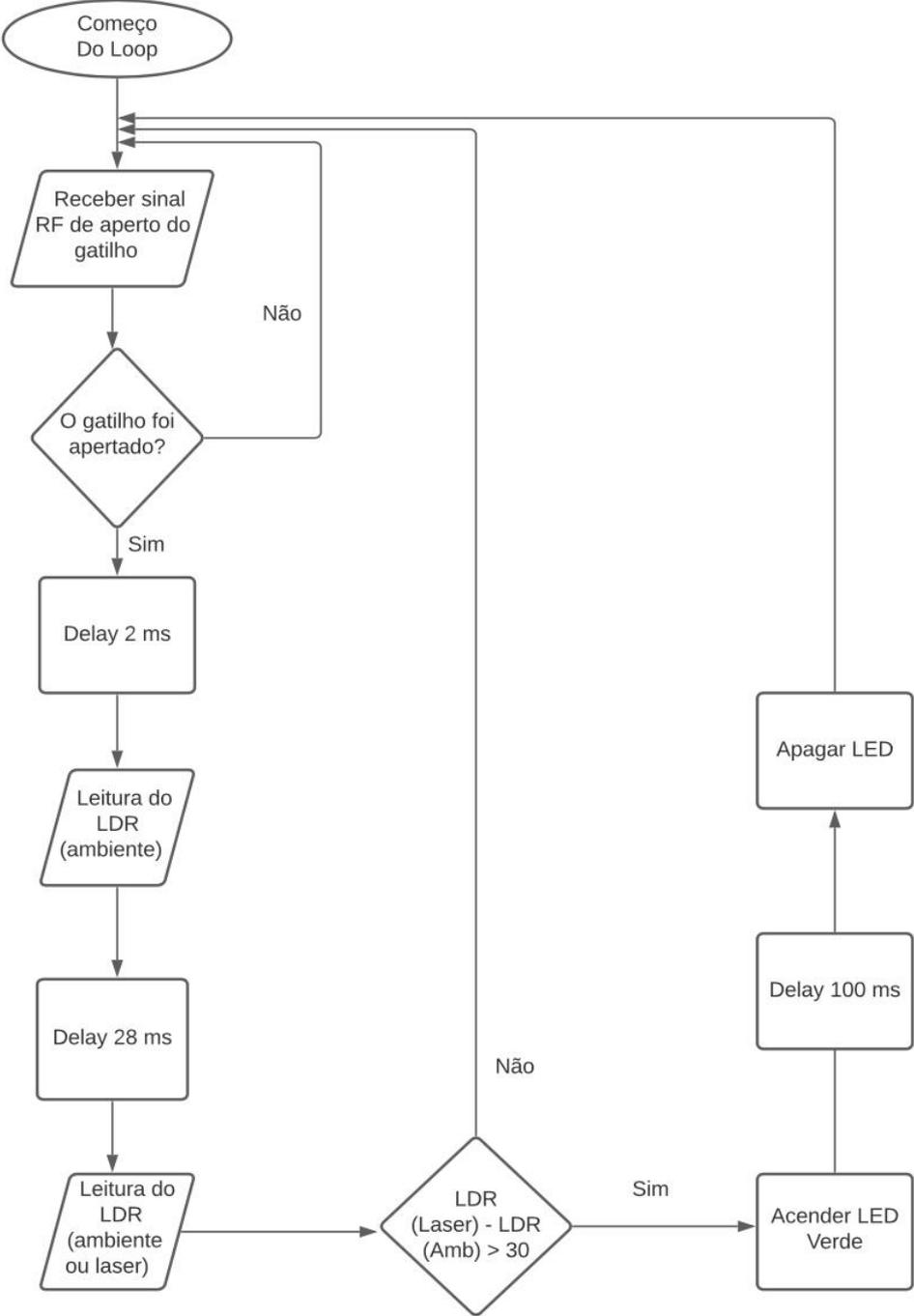
Idealmente, o microcontrolador deveria ler a luz ambiente e esperar uma diferença baseada nisso, mas para simplificação do primeiro protótipo, foi adotada a diferença mencionada acima.

Como explicado anteriormente na lógica da arma (Seção 4.3.2.8.), para melhor funcionamento do alvo, o LDR deverá iniciar sua leitura do ambiente somente após o recebimento de sinais em radiofrequência dizendo que houve um disparo da arma. Assim, após o recebimento desse sinal em radiofrequência, o microcontrolador deverá fazer duas leituras do ambiente: uma imediatamente, a fim de se capturar a referência de luz ambiente e outra no momento em que o laser acertar a superfície do LDR, caso haja um acerto no alvo, de forma que seja possível comparar a leitura no momento de um possível acerto à leitura anterior a esse instante.

A partir disso foram testados alguns tempos entre essas leituras, de forma a capturar uma boa diferença de leituras. Dessa forma, foi definido um tempo de 2 ms entre o recebimento do sinal de radiofrequência para efetuar a leitura a luminosidade no ambiente e 28 ms para efetuar a leitura após o recebimento do sinal de disparo do transmissor.

Então foi definida a lógica de programação a partir de um fluxograma (Figura 31) e em seguida a lógica foi transcrita para a programação em C no Arduino IDE.

Figura 31: Fluxograma de funcionamento da Alvo



Fonte: Autoria própria (2021)

```
void loop() {  
  
  if (radio.available()) {  
  
    radio.read(&gatilho, sizeof(gatilho));  
  
    if (gatilho == HIGH) {  
  
      for (int i = 0; i < 15; i++) {  
  
        delay(2);  
        if (i == 1) {  
          LDR1 = analogRead(LDR);  
        }  
        if (i == 14) {  
          LDR2 = analogRead(LDR);  
        }  
      }  
      dif = LDR2 - LDR1;  
  
      disparos++;  
  
      if (dif > 30) {  
        digitalWrite(LED, HIGH);  
        delay(100);  
        digitalWrite(LED, LOW);  
      }  
    }  
    delay(5);  
  }  
}
```

5 DESENVOLVIMENTO DO SEGUNDO PROTÓTIPO

No primeiro protótipo da arma e do alvo foram desenvolvidos os fundamentos de hardware e *firmware* para o projeto, principalmente ao estabelecer uma comunicação funcional de radiofrequência entre a arma e o alvo, e entre o laser e o LDR. No entanto, havia e há inúmeros outros aspectos que ainda precisam ser desenvolvidos para maior validação da ideia.

Por isso, foi desenvolvido um segundo protótipo, com novos desenvolvimentos de hardware e *firmware*.

5.1 CIRCUITO ELETRÔNICO DA ARMA (*HARDWARE*)

Não existe nada, de um ponto de vista legal, que impeça que um circuito que tenha um placa de Arduino embutida seja usada dentro de um produto comercial (ARDUINO, 2021). Inclusive existem alguns casos em que isso acontece, como pode ser visto na Figura 32, que mostra um Controlador Lógico Programável (CLP) com um Arduino embutido em seu circuito.

Figura 32: PLC da Industrial Shields vendido com um Arduino Embutido



Fonte: Industrial Shields (2021)

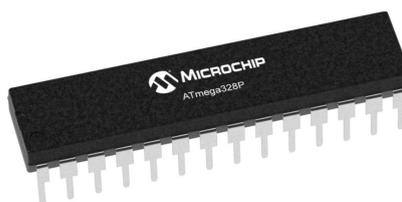
No entanto, existem diversas desvantagens práticas em seguir essa solução. O principal propósito do Arduino é de ser usado para projetos pessoais e de prototipagem, não para ser usado dentro de produtos comerciais. Outras desvantagens são: preço, tempo e licenciamento (ARDUINO, 2019). Além de que, o *hardware* do Arduino é desenvolvido para que se possa ter inúmeras utilizações e aplicações e não é otimizado para a realização de uma atividade específica — como é esperado de um circuito eletrônico dentro de um produto comercial. Portanto, a fim de que haja uma evolução de um *hardware* constituído de um Arduino com periféricos para um produto que se assemelha mais a um produto comercial, foram feitas 3 mudanças principais em relação ao primeiro protótipo da arma:

- O uso do Arduino foi substituído pelo mesmo microcontrolador que é usado no Arduino Uno, o Microchip ATmega328p, mantendo somente os componentes essenciais para o funcionamento do circuito da arma;
- Foi projetada uma PCB (*Printed Circuit Board* - Placa de Circuito Impresso) específica para a aplicação da arma;
- Foi adicionada uma bateria como fonte de energia para que o circuito não necessite ser conectado a uma fonte externa como um USB, por exemplo.

5.1.1 Microcontrolador ATmega328p

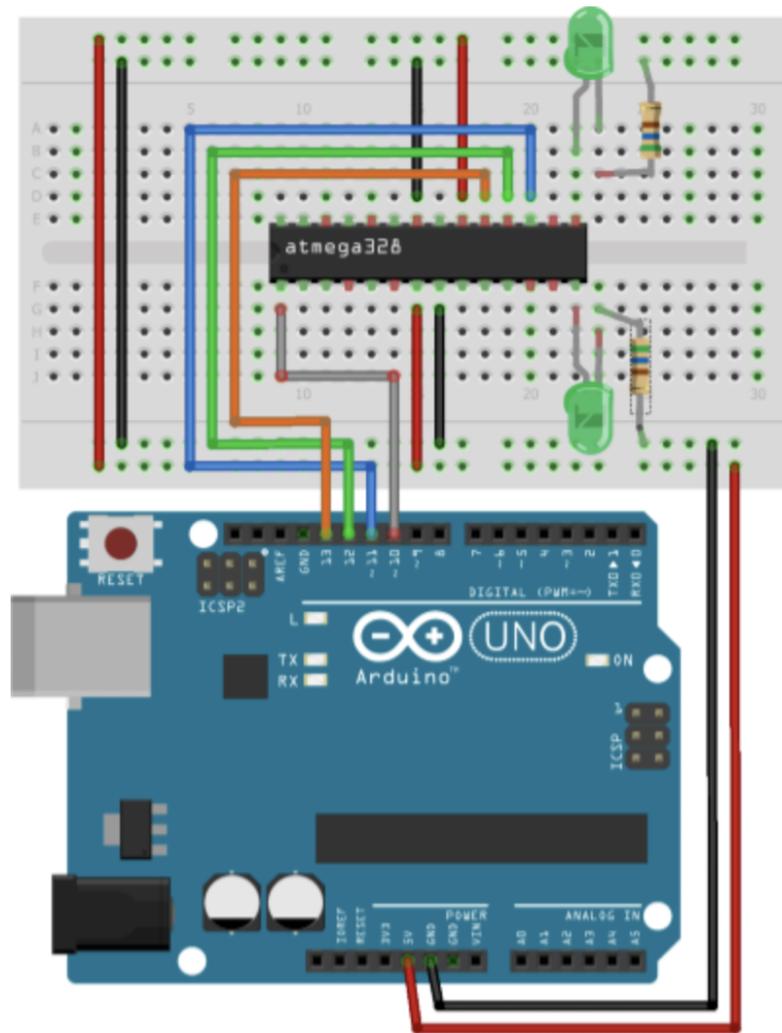
A escolha pela utilização do ATmega328p (Figura 33) foi feita devido a rapidez de transição entre a utilização do Arduino e o uso deste microcontrolador, uma vez que não necessita de alteração de *firmware*, de forma que o mesmo *firmware* desenvolvido no Arduino IDE pode ser programado neste microcontrolador. Além disso, a gravação do microcontrolador pode ser feito um circuito simples com outro Arduino, como pode ser visto na Figura 34.

Figura 33: ATmega328p



Fonte: Microchip (2021)

Figura 34: Gravação do ATMEGA328P utilizando um Arduino Uno



Fonte: Autoria própria (2021)

Utilizando o sistema de gravação mostrado na Figura 34, alguns microcontroladores foram programados com o *firmware* do primeiro protótipo para serem usados no segundo e em testes.

5.1.2 Bateria

A bateria escolhida inicialmente para alimentar o protótipo da arma é a bateria de Íon-Lítio modelo 18650, devido a sua grande disponibilidade, bem como ao fato de serem recarregáveis e utilizadas em aplicações parecidas, como em lanternas.

Foi adquirido o modelo 18650 da marca BTY (Figura 35), com tensão de operação de 3,7 V e capacidade de 2600 mAh.

Figura 35: Bateria 18650



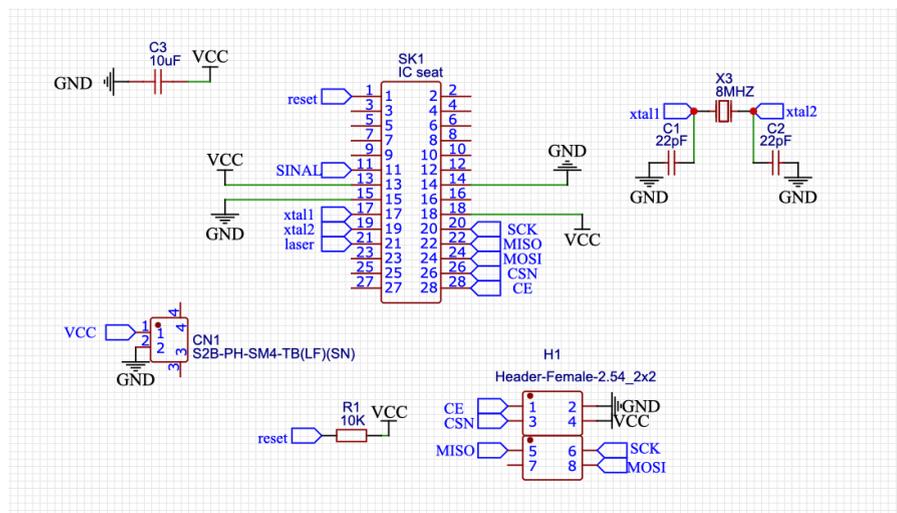
Fonte: Mercado Livre (2021)

5.1.3 PCB

Para substituir o uso do *protoboard* e dos *jumpers*, foi projetado um arquivo em formato Gerber, utilizando o *software* EasyEDA e em seguida foram compradas algumas unidades no *site* JLCPCB.com.

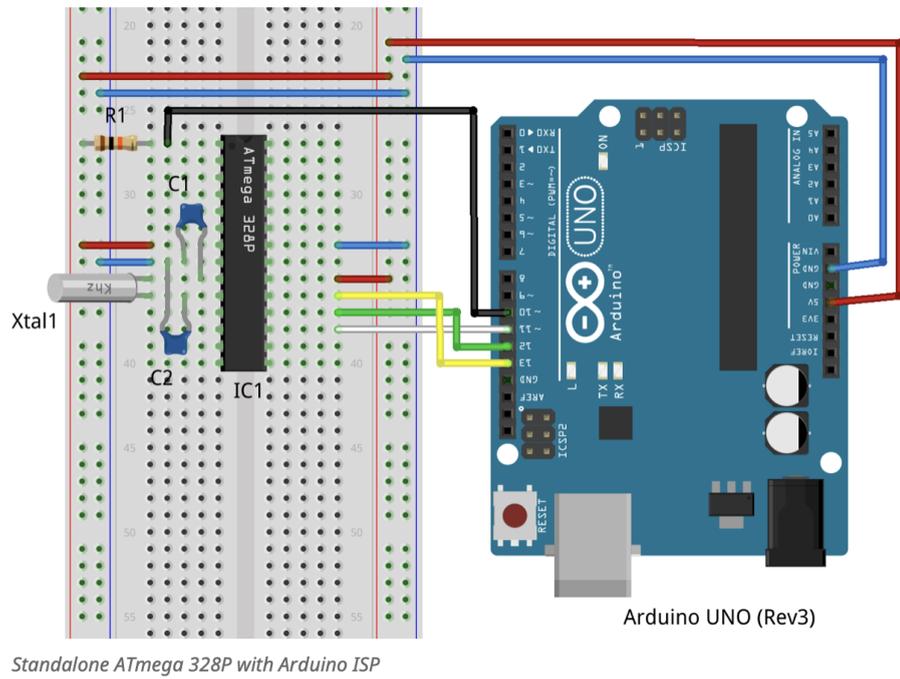
Para o projeto da PCB foi feito o circuito esquemático da Figura 36. Para a integração do ATmega328p e NRF24L01 foram utilizados dois soquetes para o encaixe deles à PCB. Devido o funcionamento do ATmega328p ser similar ao do Arduino, foi utilizado o circuito da Figura 37. No entanto, foi utilizado um cristal oscilante de 8 MHz ao invés de 16 MHz, para que não fosse necessária uma tensão superior a de 3,7 V para a alimentação do circuito, conforme indicado na folha de dados do ATmega328p (MICROCHIP, 2021).

Figura 36: Circuito esquemático PCB da arma



Fonte: EasyEDA (2021)

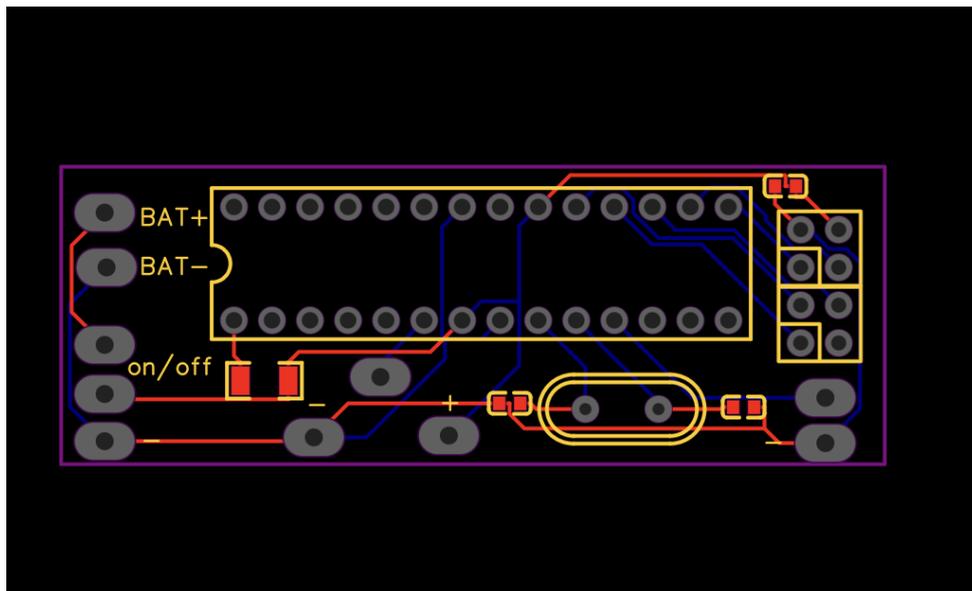
Figura 37: Circuito esquemático ATmega328p standalone



Fonte: Void Your Warranty (2021)

A partir do circuito esquemático da Figura 38 e utilizando os recursos do *software* EasyEDA, foi projetado a PCB.

Figura 38: Projeto da PCB da Arma



Fonte: Autoria própria (2021)

Esse arquivo foi convertido para o formato Gerber e resultou na PCB mostrada na Figura 39.

Figura 39: PCB da Arma



Fonte: Autoria própria (2021)

5.1.4 Montagem do circuito

Após a compra dos componentes foi realizada a montagem do circuito como visto na Figura 40, foi adicionado uma chave liga-desliga para a bateria.

Figura 40: Circuito do segundo protótipo da arma



Fonte: autoria própria (2021)

5.2 CIRCUITO ELETRÔNICO DO ALVO (HARDWARE)

Diferente da arma, o *hardware* do alvo ainda possui itens que devem ser integrados. Por esse motivo, não foi feito para esse protótipo a mudança para o microcontrolador ATmega328p e o projeto de uma PCB, mas foi mantido a plataforma do Arduino, com o incremento de novos periféricos.

5.2.1 *Display* de 7 segmentos.

Para melhor a interface com o usuário foi adicionado ao projeto um *display* de 7 segmentos com 4 dígitos, conhecido como tm1637, que pode ser visto na Figura 41.

Figura 41: tm1637



Fonte: Last Minute Engineers (2021)

Os terminais deste módulo podem ser vistos na Figura 42.

Figura 42: Terminais tm1637



Fonte: Last Minute Engineers (2021)

5.3 DESENVOLVIMENTO DO CÓDIGO C (*FIRMWARE*)

Após a montagem foi realizado o desenvolvimento do *firmware*, baseado no primeiro protótipo.

5.3.1 Desenvolvimento do *firmware* da arma

Foi utilizado o mesmo *firmware* primeiro protótipo, uma vez que o desenvolvimento para validação do conceito necessário foi realizado na primeira etapa do desenvolvimento da arma.

5.3.2 Desenvolvimento do *firmware* do alvo

Como houve acréscimo de periféricos e por se tratar de periféricos com maior complexidade, neste segundo protótipo houve desenvolvimento de um novo *firmware* do alvo.

5.3.2.1 Bibliotecas

Além das três bibliotecas utilizadas nos outros protótipos, foram utilizadas duas novas bibliotecas para a utilização do *display* de 7 segmentos, disponíveis no *site* github, são elas: Arduino.h e TM1637Display.h (GITHUB-A, 2021).

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <Arduino.h>
#include <TM1637Display.h>
```

5.3.2.2. Declaração das portas utilizadas

```
TM1637Display display(4, 5); // CLK/DIO
RF24 radio(9, 10); // CE, CSN
```

5.3.2.3 Declaração do endereço de comunicação do NRF24L01

Igual ao da arma na Seção 4.3.2.3.

```
const byte endereco[6] = "00001";
```

5.3.2.4 Declaração dos outros GPIOs usados pelo Arduino

Foi definido que o LED vermelho seria conectado à porta digital 2 e o LED verde, conectado à porta digital 3. Já o terminal do LDR foi conectado à porta analógica A0.

```
#define LED_Verde 2
#define LED_Vermelho 3
#define LDR A0
```

5.3.2.5 Declarações de variáveis utilizadas para lógica de programação

Foram declaradas algumas variáveis que foram utilizadas para a lógica da programação.

```
int gatilho = 0;
int dif;
int LDR1 = 0;
int LDR2 = 0 ;
int disparos = 0;
int acertos = 0;
int erros = 0;
int show;
```

5.3.2.6 Definição da função de cada porta GPIO

Foi definido que a porta analógica do LDR deve ser uma entrada e que as portas dos LED são saídas.

```
void setup() {
  pinMode(LDR, INPUT);
  pinMode(LED_Verde, OUTPUT);
  pinMode(LED_Vermelho, OUTPUT);
```

5.3.2.7 Configurações do módulo NRF24L01 e do *display* de 7 segmentos.

O módulo foi configurado como receptor, foi definido um alcance de comunicação e foi iniciado o módulo com o endereço de comunicação previamente declarado na Seção 4.3.3.3.

```
radio.begin();           //iniciamento do módulo

radio.openReadingPipe(0, endereco); //configuração do
endereco do módulo como receptor

radio.setPALevel(RF24_PA_LOW); //configuração do
alcance de transmissão

radio.startListening();   //início da comunicação
como receptor

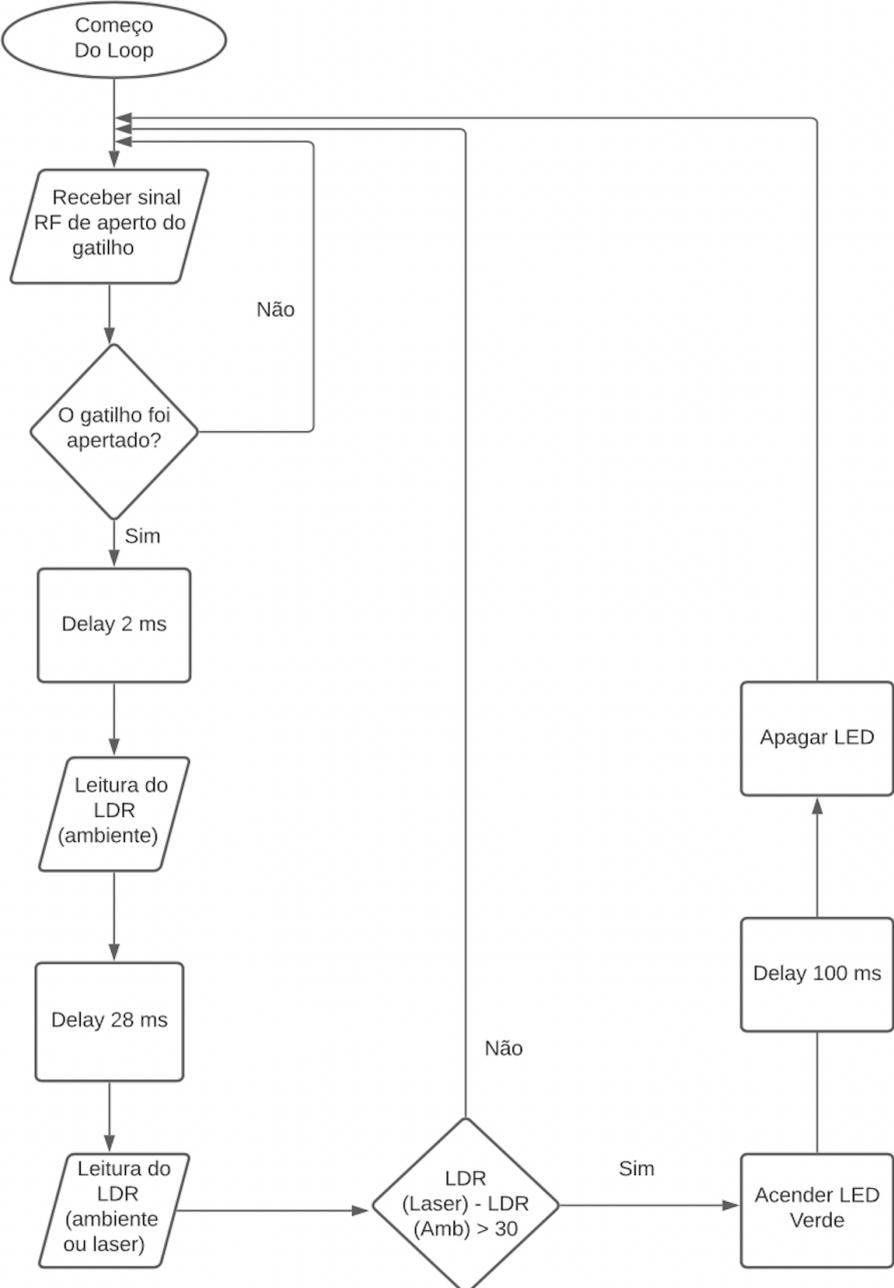
display.setBrightness(0x0f); //configuração do brilho do
display

}
```

5.3.2.8 Lógica

As duas principais mudanças em relação ao primeiro protótipo foram adicionar o *display* e o segundo LED. Para isso, na nova lógica foram incluídos esses dois itens. O *display* exibirá do lado esquerdo a quantidade de acertos e no lado direito, a quantidade de erros. A lógica é mostrada no fluxograma da Figura 44.

Figura 44: Fluxograma da lógica do segundo protótipo do alvo



Fonte: Autoria própria (2021).

A lógica de programação do *firmware* foi elaborada da seguinte forma:

```
void loop() {  
  
    if (radio.available()) {           //Looking for the data.  
  
        radio.read(&gatilho, sizeof(gatilho)); //Reading the  
data  
  
        if (gatilho == HIGH) {  
  
            for (int i = 0; i < 15; i++) {  
  
                delay(2);  
                if (i == 1) {  
                    LDR1 = analogRead(LDR);  
                }  
                if (i == 14) {  
                    LDR2 = analogRead(LDR);  
                }  
            }  
            dif = LDR2 - LDR1;  
  
            disparos++;  
  
            if (dif > 30) {  
                acertos++;  
                digitalWrite(LED_Verde, HIGH);  
                delay(100);  
                digitalWrite(LED_Verde, LOW);  
            }  
            else {  
                erros++;  
                digitalWrite(LED_Vermelho, HIGH);  
                delay(100);  
                digitalWrite(LED_Vermelho, LOW);  
            }  
        }  
        show = acertos * 100 + erros;  
        display.showNumberDecEx(show, 0b01000000, true,  
4, 0);  
        delay(5);  
    }  
}
```

5.4 FUNCIONAMENTO DO SEGUNDO PROTÓTIPO

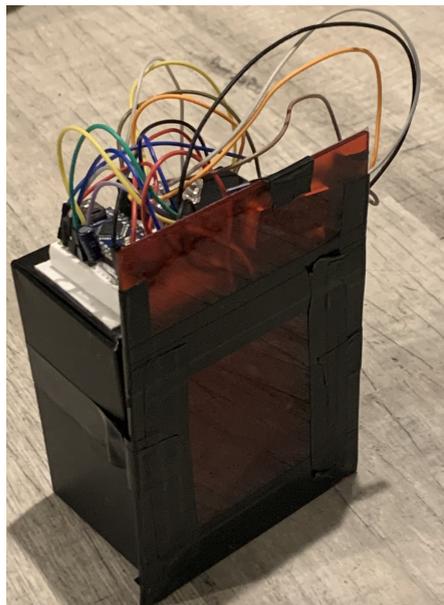
Para melhorar os testes e facilitar a validação do protótipo 2, o circuito da arma foi embutido dentro de uma arma de brinquedo de plástico, como é possível ver na Figura 45. E o circuito do alvo foi colocado sobre uma caixa de papelão, como uma tela de PVC vermelha e uma película jateada que dispersa os feixes de luz do laser, a fim de que a área de acerto seja expandida, como pode ser visto na Figura 46.

Figura 45: Protótipo da arma



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 46: Protótipo do Alvo



Fonte: Autoria própria (2021)

Por fim, as Figuras 47 a 51 exemplificam o funcionamento final do segundo protótipo da arma e do alvo.

Inicialmente a arma é apontada em direção ao alvo (Figura 47).

Figura 47: Arma apontada em direção ao alvo



Fonte: Autoria própria (2021)

Em seguida, o gatilho é disparado e o alvo recebe o sinal de disparo, como é possível observar pela luz vermelha acesa em cima do Arduino (Figura 48).

Figura 48: Gatilho da arma pressionado



Fonte: Autoria própria (2021)

Então o *laser* é disparado e atinge o alvo (Figura 49).

Figura 49: Laser acerta o alvo



Fonte: Autoria própria (2021)

Em seguida, a luz verde é acionada por 100 ms para indicar o acerto do alvo (Figura 50). Caso houvesse erro de pontaria no disparo, a luz vermelha teria acendido.

Figura 50: Luz verde indica o acerto



Fonte: autoria própria (2021)

Por fim, o *display* de 7 segmentos registra o acerto do alvo do lado esquerdo (Figura 51). É possível notar que o número de acertos foi de 23 para 24. Caso houvesse um erro de pontaria, o lado direito do *display* iria de 13 para 14.

Figura 51: Display indica mais 1 acerto



Fonte: autoria própria (2021)

6 CONCLUSÃO

Este trabalho pretendeu desenvolver um protótipo funcional do circuito eletrônico de uma "arma" com diodo laser e um alvo, que pudesse ser futuramente usado em um produto comercial de treino à seco para o mercado brasileiro. Para que esse desenvolvimento fosse possível, foi utilizado o conceito de prototipagem oportunista com base na plataforma de desenvolvimento eletrônico Arduino.

Para atingir o objetivo final, foram definidos cinco objetivos específicos. O primeiro objetivo foi identificar as funcionalidades desejadas para ambos os protótipos da arma e do alvo. Nesta etapa, foi definido o grande diferencial, no âmbito tecnológico, que esse protótipo tem em relação a modelos parecidos existentes em mercados estrangeiros: a comunicação *wireless* entre arma e alvo. Em seguida, no segundo objetivo, foi definido a metodologia de prototipagem utilizada para que fosse possível a realização de uma prototipagem rápida, do qual o nome é prototipagem oportunista. Já no terceiro objetivo, foi escolhida uma plataforma de desenvolvimento eletrônico que fosse de software-aberto e cuja funcionalidade se adequa-se à proposta do projeto. Sendo assim, foi escolhida a plataforma de desenvolvimento Arduino.

Em relação ao quarto objetivo, foram desenvolvidos dois protótipos da arma, com as funcionalidades principais semelhantes às aquelas definidas no primeiro objetivo. O primeiro protótipo validou um conceito de *firmware* funcional e da definição dos periféricos a serem utilizados pelo circuito eletrônico. Já o segundo protótipo buscou desenvolver um *hardware* que mais assemelha-se ao *hardware* de um produto comercial: com bateria, placa de PCB, e microcontrolador ao invés do Arduino.

Já em relação ao quinto objetivo, assim como foi feito para a arma, foram desenvolvidos dois protótipos do alvo. O primeiro alvo validou um conceito de *firmware* básico que fosse capaz, utilizando alguns periféricos escolhidos, de receber ambos os sinais (laser e *wireless*) emitidos pela arma e diferenciar entre um acerto ao alvo e um erro. Já o segundo protótipo do alvo foi implementado um *display* de 7 segmentos utilizado para aprimorar o *feedback* do alvo para o manuseador da arma.

De forma geral, pode-se dizer que, tanto o objetivo principal, quanto os específicos, foram cumpridos, uma vez que o resultado final do protótipo valida a ideia inicial do projeto.

Pode-se dizer que a grande inovação desse projeto foi o desenvolvimento da comunicação entre os dois dispositivos utilizando não somente um laser na arma e um sensor de luz no alvo, mas também uma comunicação *wireless* entre os dispositivos, de forma a ampliar a confiabilidade e funcionalidade dos dispositivos. Essa comunicação se demonstrou efetiva nesse projeto, e tal ideia poderia com facilidade ser transferida para outros projetos de funcionalidade similar, em que a utilização de um módulo wireless barato, como o NRF24L01, poderia ampliar a funcionalidades e confiabilidades na comunicação de dispositivos.

Por fim, para que os protótipos possam se tornar em um produto que seja comercializável, há diversos passos que devem ser seguidos, como por exemplo: desenvolvimento do *firmware* do alvo a fim de se ter inúmeros modos de treino; desenvolvimento do *hardware* do alvo a fim de se ter um circuito que utiliza microcontrolador, bateria e PCB, por exemplo; regularização dos circuitos a fim de que sigam normas e certificações locais; desenvolvimento da parte de *design* e mecânica da arma e do alvo.

REFERÊNCIAS

3D SHOOT. **Pistola de treino blueguns glock 19/25 gen 3**. Disponível em: <https://www.3dshoot.com.br/2019-03-10-01-53-46>. Acesso em: 16 ago. 2021.

ARDUINO. **Can I build a commercial product based on Arduino?**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main.FAQ#toc10>. Acesso em: 16 nov. 2021.

ARDUINO STORE. **Arduino Uno Rev3**. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. Acesso em: 15 ago. 2021.

BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. **Primeiros Passos com Arduino: A Plataforma de Prototipagem Eletrônica Open Source**. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2015.

BAU DA ELETRÔNICA-A. **Chave Micro-Switch kw11-7-1**. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/chave-micro-switch-kw11-7-1-3-terminais.html>. Acesso em: 15 nov. 2021.

BAÚ DA ELETRÔNICA-B. **LED de alto brilho 10mm Vermelho**. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/led-de-alto-brilho-10mm-vermelho.html>. Acesso em: 15 nov. 2021.

BRANDT, J. *et al.* **Opportunistic Programming: How Rapid Ideation and Prototyping Occur in Practice**. 1. ed. Stanford, CA: Stanford University HCI Group, 2008.

CAMPOS, A.. **O que é software livre**. BR-Linux. Florianópolis, março de 2006. Disponível em . Acesso em: 15 nov. 2021.

RS DATASHEET. **LDR Datasheet**. Disponível em: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/LDR%20Datashheet.pdf. Acesso em: 15 nov. 2021.

CONCEALED CARRY.COM. **LaserLyte VS SIRT Laser Training Pistols Review**. Disponível em: www.concealedcarry.com. Acesso em: 14 ago. 2021.

DRONEBOTWORKSHOP. **From Arduino Uno to ATmega328 – Shrinking your Arduino Projects**. Disponível em: <https://dronebotworkshop.com/arduino-uno-atmega328/>. Acesso em: 15 ago. 2021.

EASYEDA. **Editor**. Disponível em: <https://easyeda.com>. Acesso em: 15 nov. 2021.

EBAY. **12mm Light Dependent Resistor CDS LDR Photoresistor**. Disponível em: <https://www.ebay.com/itm/301179223736>. Acesso em: 16 nov. 2021.

ELECTRONICS HUB. **What are the differences between Raspberry Pi and Arduino?**. Disponível em: www.electronicshub.org. Acesso em: 15 ago. 2021.

ELECTRONICS LAB. **Communication Between Two Arduinos Using NRF24L01**. Disponível em: <https://www.electronics-lab.com/project/communication-between-two-arduin-os-using-nrf24l01/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

ELETROGATE. **Diodo laser 5V Arduino.** Disponível em: <https://www.eletrogate.com/diodo-laser-5v-arduino>. Acesso em: 15 nov. 2021.

ETECHNOPHILES. **NRF24L01 pinout, features, specs, working and Arduino connections.** Disponível em: <https://www.etechnophiles.com/nrf24l01-pinout-features-specs-working-and-arduino-connections/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

FURUIE, L. M. A.. **Melhoria na segurança pública com treinamento continuado do policial militar em estande de tiro modelo.** Curitiba, 2013.

FLUXO CONSULTORIA. **Prototipagem eletrônica: descubra como o Arduino e o Raspberry Pi podem facilitar sua vida,** 2019. Disponível em: <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br>. Acesso em: 15 ago. 2021.

GITHUB-A. **Arduino.h.** Disponível em: <https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/cores/esp8266/Arduino.h>. Acesso em: 16 nov. 2021.

GITHUB-B. **TM1637Display.h.** Disponível em: <https://github.com/avishorp/TM1637/blob/master/TM1637Display.h>. Acesso em: 16 nov. 2021.

INDUSTRIAL SHIELDS. **Industrial products with Arduino, Raspberry Pi and ESP32.** Disponível em: <https://www.industrialshields.com/industrial-plc-raspberry-pi-arduino-esp32-cpu-2020-12-lp#arduino>. Acesso em: 16 nov. 2021.

JUNG, C. F.. **Elaboração de Projetos de Pesquisa aplicados a Engenharia de Produção.** Versão 2010. Disponível em: www.metodologia.net.br. Consultado em 27/04/2021.

JÚNIOR, J. J. A. M.; JÚNIOR, S. L. S. **Ldr e sensores de luz ambiente: Funcionamento e aplicações.** Semana de Eletrônica e Automação, Paraná, 2013.

KUNIKOWSKI, W. *et al.* An Overview of ATmega AVR Microcontrollers Used in Scientific Research and Industrial Applications. **Pomiary Automatyka Robotyka,** Polônia, v. 19, n. 1, p. 15-20, jan./2015.

LAST MINUTE ENGINEERS. **Interfacing TM1637 4-Digit 7-Segment Display with Arduino.** Disponível em: <https://lastminuteengineers.com/tm1637-arduino-tutorial/>. Acesso em: 16 nov. 2021.

MAIA, R. H. S.. **Treino a seco e suas funcionalidades.** Infoarmas, 2020. Disponível em: <https://infoarmas.com.br/treino-em-seco/>. Acesso em: 10/05/2021.

MARCHIORI, R.. **Munição cara limita treino da polícia.** Gazeta do Povo, 2013. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/municao-cara-limita-treino-da-policia-35d0prtvidox48h83uyg6vbri/>. Acesso em: 19/05/2021.

MERCADO LIVRE. **Bateria 18650.** Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1796850901-bateria-37v-modelo-18650-para-caixa-de-som-_JM. Acesso em: 16 nov. 2021.

MICROCONTROLLERS LAB. **NRF24L01 Wireless RF Module Complete Guide.** Disponível em: <https://microcontrollerslab.com/nrf24l01-wireless-module-pinout-examples-applications-features/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

MICROCHIP. **Atmega328p Datasheet.** Disponível em: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf. Acesso em: 16 nov. 2021.

MIKE SHOUTS. **LaserLyte Trigger Tyme Laser Trainer Pistol Lets You Train Safely in the Comfort of Your Home.** Disponível em: <https://mikeshoots.com>. Acesso em: 14 ago. 2021.

MORAES, E. **PMs do Rio se dizem despreparados e reclamam da falta de treinamento após formação.** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/noticias/pms-do-rio-se-dizem-despreparados-e-reclamam-de-falta-de-treinamento-apos-formacao-20110901.html>. Acesso em 10/07/2012.

NEXT LEVEL TRAINING. **SIRT 110.** Disponível em: <https://nextleveltraining.com>. Acesso em: 19 mai. 2021.

NORDIC. **NRF24 Series.** Disponível em: <https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-short-range-wireless/nRF24-series>. Acesso em: 15 nov. 2021.

OLIVEIRA, S. de. **Internet das Coisas: com Esp8266, Arduino e Raspberry Pi.** 1. ed. São Paulo: Novatec, 2017.

PEW PEW TACTICAL. **Best Laser Targets & Ammo for Dry-Fire Training [Hands-On].** Disponível em: <https://www.pewpewtactical.com/best-laser-targets-ammo-dry-fire/>. Acesso em: 14 ago. 2021.

SHIELD PERSONAL SAFETY TRAINING. **The importance of Dryfire,** 2015. Disponível em: <https://www.shieldpst.com/dry-fire-practice.html>. Acesso em: 19 mai. 2021.

SPIGLIATTI, S. **Menina é baleada durante ação da PM no Rio de Janeiro.** São Paulo, 2012.

TUMRAK, B.. **Programming an AVR ATmega328P with an Arduino.** Disponível em: <https://www.brennanymrak.com/articles/programming-avr-with-arduino.html>. Acesso em: 16 nov. 2021.

VOID YOUR WARRANTY. **Using Arduino as an ISP to Program a Standalone ATmega 328P (Including Fuses).** Disponível em:

<https://voidyourwarranty.wordpress.com/2014/08/17/using-arduino-as-an-isp-to-program-a-standalone-atmega-328p-including-fuses/>. Acesso em: 16 nov. 2021.

WAR BRASIL. **Laser Bullet**. Disponível em: <https://www.warbrasil.com.br>. Acesso em: 19 mai. 2021.