

Projeto de Graduação



26 de junho de 2023

Desenvolvimento de um Colimador Digital para Sistemas de Armas Remotamente Controlados

Octávio Machado Lima da Silva



www.ele.puc-rio.br

Projeto de Graduação



Desenvolvimento de um Colimador Digital para Sistemas de Armas Remotamente Controlados

Aluno: Octávio Machado Lima da Silva

Orientador: Carlos Roberto Hall Barbosa

Trabalho apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de graduação em Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Agradecimentos

Sou imensamente grato a Deus por ter me dado a oportunidade de chegar até este ponto. Aos pais Francisco Ramos da Silva e Verônica Machado Lima da Silva, e meu querido irmão Gustavo Machado Lima da Silva, gostaria de expressar minha imensa gratidão a cada um de vocês pelo apoio incondicional durante toda minha jornada acadêmica. Agradeço do fundo do meu coração por todo o apoio, pelas palavras de encorajamento e pelas horas de dedicação que investiram em mim.

Agradeço também ao meu orientador Carlos Roberto Hall Barbosa pela presteza e dedicação que demonstrou ao longo deste período em que me orientou. Também à universidade como um todo, desde o momento em que ingressei, tenho sido constantemente inspirado e desafiado a expandir meus horizontes intelectuais e pessoais. Foi um privilégio ser admitido nesta universidade, onde tive acesso a professores altamente qualificados, infraestrutura de ponta e uma comunidade acadêmica incrível.

Por fim gostaria de agradecer aos membros da equipe ARES, em especial Jaime Grande Vela e Renan de Lima Simões Mondego Vilela, por terem me proporcionado uma oportunidade única ao cederem equipamentos e espaço para a realização desse projeto. Sua generosidade e apoio foram fundamentais para o sucesso dessa empreitada e representam um gesto significativo de parceria e confiança.

Resumo

Os colimadores desempenham um papel fundamental nos sistemas de defesa, sendo essenciais para diversos tipos de armamentos e equipamentos de mira. Sua importância está relacionada à exatidão e eficácia das operações de defesa. Esses equipamentos são projetados para alinhar com exatidão a arma com o alvo desejado, permitindo, dessa forma, que as forças de defesa atinjam seus objetivos com maior confiança e sucesso, reduzindo o número de disparos desperdiçados e melhorando a taxa de acerto, além de reduzir os o risco de danos colaterais.

Este projeto final percorreu registrar todas as etapas e processos envolvidos na criação de um protótipo de um colimador digital que atenda até certo nível a todas as especificações técnicas, funcionalidades e padrões de desempenho de modelos de colimadores já estabelecidos no mercado, visando à otimização de custos por meio de componentes mais acessíveis, porém sem comprometer a qualidade do equipamento.

Nesse sentido, feito um levantamento dos componentes eletrônicos e ópticos necessários para a construção do dispositivo, o desenvolvimento do projeto mecânico para o acoplamento na arma e a programação do firmware, com a finalidade de estabelecer a comunicação entre o colimador e o sistema de defesa.

Palavras-chave:Palavras-chave:colimador, sistema de defesa, campo de visão, distância focal, microcontrolador, picamera, protocolo RS485,

Development of a Digital Collimator for Remotely Controlled Weapon Systems

Abstract

Boresight plays a key role in defense systems, being essential for many types of weapons and targeting equipment. Its importance is related to the accuracy and effectiveness of defense operations. These devices are designed to precisely align the weapon with the desired target, thereby allowing defending forces to achieve their objectives with greater confidence and success, reducing the number of wasted shots and improving the hit rate, in addition to reducing the risk of collateral damage.

This final Project has accomplished all the steps and processes involved in the creation of a prototype of a digital collimator that meets, to a certain level, all the technical specifications, functionalities and performance standards of collimator models already established in the market, aiming to optimize costs through more accessible components, but without compromising the quality of the equipment.

In that regard, a survey was made of the electronic and optical components necessary for the construction of the device, the development of the mechanical project for the coupling in the weapon and the firmware programming, in order to establish the communication between the collimator and the defense system.

Keywords:Boresight, Defense System, weapon station, field of view, focal distance, microcontroller, Picamera, RS485 protocol

Sumário

1	Introdução	1
a	Sistemas de Defesa	1
b	Colimação	2
1	Procedimento de Colimação Tradicional	2
2	Procedimento de Colimação Opto-eletrônico	3
c	Objetivo do Projeto	4
d	Estrutura do Documento	5
2	Fundamentos	7
a	Transmissão de Vídeo	7
b	Comunicação Serial RS485	7
c	Conceitos Ópticos	8
1	Campo de Visão	8
2	Distância Focal da Lente	8
3	Cálculo do Campo de Visão	9
3	Projeto Eletrônico	10
a	Microcontrolador	10
b	Sensor de Imagem	11
c	Biblioteca Comunicação Câmera	11
d	Definição da Lente	12
e	Circuito de alimentação	14
1	Análise de modelos de Reguladores de Tensão	14
2	Princípio de funcionamento conversor buck	15
3	Desenvolvimento do circuito regulador de 5 V	15
f	Drive de comunicação Rs485	17
g	Projeto da Placa de Circuito Impressa (PCI)	18
1	EasyEda PCI layout	18
2	Desenvolvimento do layout da PCI	19
h	Projeto do Software	19
1	Protocolo de comunicação	19
2	Código da comunicação em python	22
i	Código do Retículo	22
4	Projeto Mecânico	25
a	Modelo 3D do Projeto Mecânico	25
b	Impressão 3D do Projeto Mecânico	27
5	Integração	28
a	Cabo de Conexão	28
6	Resultados dos testes	30
a	Teste Campo de Visão	30
b	Teste de Transmissão do Video	31
c	Teste de Transmissão de dados via RS485	31
7	Conclusão	32

List de Figuras

1	O REMAX, estação de armas remotamente controlada giro-estabilizada para metralhadoras 12,7 mm e 7,62 mm . Imagem obtida do site da empresa Ares.	1
2	Sistema antes da colimação. Imagem produzida pelo autor.	2
3	Sistema após a colimação. Imagem produzida pelo autor.	2
4	Instrumentador realizando o procedimento de colimação. Imagem obtida do site Army Reserve [1].	3
5	Exemplo de um colimador opto-eletrônico acoplado no cano do sistema de defesa. Imagem disponível em [2].	4
6	Diagrama de blocos do colimador. Imagem produzida pelo autor.	5
7	Diagrama ilustrando o campo de visao de uma câmera. Imagem obtida do site [3].	8
8	Comparação entre os campos de visão para diferentes valores de distância focal. Imagem obtida do site [4].	9
9	Modelo do microprocessador utilizado no microcontrolador. Imagem obtida do datasheet [5].	10
10	Sensor com interface CSI. Imagem disponível em [6].	11
11	Ilustração dos campos de visao de acordo com a resolução da câmera.	13
12	Imagem da lente de 35mm de distancia focal e encaixe M12.	14
13	Amperímetro utilizado no teste. Modelo da CHARGER Doctor.	15
14	Diagrama do circuito para regulação de tensão. Diagrama fornecido pelo datasheet do fabricante [7]	16
15	Diagrama do circuito para regulação da tensao. Diagrama construido com base no modelo exibido no datasheet [7]	17
16	Diagrama do circuito para comunicação Rs485. Diagrama construido com base no modelo exibido no datasheet [8]	17
17	Interface do software de projeto de PCI, EasyEda. Registro fotografio do software durante a criação da PCI.	19
18	Diagrama representativo do teste executado na torre para verificar a comunicação, primeira etapa.	20
19	Diagrama representativo do teste executado na torre para verificar a comunicação, segunda etapa.	21
20	A representação do sistema de coordenadas utilizado pelo colimador.	21
21	Exemplo de imagem matricial. Imagem Disponível em [9].	23
22	Imagem do primeiro teste do retículo.	23
23	Projeto mecânico inicial. Imagem gerada através do SolidWorks.	26
24	Projeto mecânico: interface de acoplamento do pino da arma. Imagem gerada através do SolidWorks.	26
25	Projeto mecânico: encaixe da lente. Imagem gerada através do SolidWorks. . . .	27
26	Protótipo do projeto mecânico. Fabricado em impressão 3D.	27
27	Desenho esquemático do cabo. esquema desenvolvido pelo autor.	28
28	Conexão entre a torre e o colimador.	29
29	Configuração do teste de campo de visão.	30
30	Configuração do teste de Transmissão de Vídeo.	31

1 Introdução

As seções iniciais deste documento contextualizam a área de aplicação desse projeto, os sistemas de defesa, e a necessidade do procedimento de colimação como uma forma de garantir uma maior eficácia no uso desses sistemas. Como o objetivo desse projeto é desenvolver um modelo funcional de um colimador, as próximas seções seguintes exemplificam sua operação e suas etapas de desenvolvimento.

a Sistemas de Defesa

As estações de armas controladas remotamente (RCWS - remote controlled weapon station) têm diversas aplicações na área militar e de defesa. Por exemplo, essas estações são frequentemente instaladas em veículos de combate terrestres, como veículos blindados, tanques e veículos de reconhecimento. Elas permitem que os operadores controlem as armas de forma segura e eficiente, permanecendo protegidos dentro do veículo.

Além disso, essas estações podem ser utilizadas, inclusive, em embarcações navais, postos de observações e bases de defesa. Em geral, a finalidade dessas aplicações é garantir uma maior segurança dos operadores e instrumentadores desses equipamentos, uma vez, que o sistema pode ser controlado de uma distância relativamente segura, retirando a necessidade do operador utilizar o equipamento diretamente.

Por sua vez, a necessidade de um sistema de mira acoplado ao sistema de disparo é essencial para garantir exatidão e eficácia no uso das armas controladas remotamente. É necessário por parte desse equipamento, apresentar uma elevada taxa de acertos, principalmente, em testes de tiros com alvos estáticos. Um sistema de mira acoplado permite que o operador da RCWS tenha uma visão clara do alvo, o que é crucial para atingir o alvo com exatidão. Os sistemas de mira avançados podem incluir recursos como retículas, ampliação óptica, telas de visão noturna e termal, aumentando a capacidade de identificar e engajar alvos com exatidão. Os sistemas de mira também podem incluir tecnologias como telêmetros laser e rastreamento automático de alvos, facilitando o acompanhamento de alvos em movimento.

Mesmo em condições de baixa visibilidade, como durante a noite ou em ambientes de neblina ou fumaça, os sistemas de mira avançados podem utilizar tecnologias infravermelhas ou térmicas para melhorar a capacidade de visualização do operador e manter a exatidão nos disparos.



Figura 1: O REMAX, estação de armas remotamente controlada giro-estabilizada para metralhadoras 12,7 mm e 7,62 mm . Imagem obtida do site da empresa Ares.

b Colimação

O procedimento de colimação é uma técnica usada em óptica para alinhar e colimar sistemas ópticos. A colimação aplicada em sistemas de defesa remotamente controlados refere-se ao ajuste entre a linha de tiro e a linha de visada, dispositivo óptico do sistema. As correções de ângulo entre as linhas de visão são executadas pelo próprio computador da torre levando em consideração a distância do alvo e a posição relativa entre o sistema óptico da torre e o cano da arma.

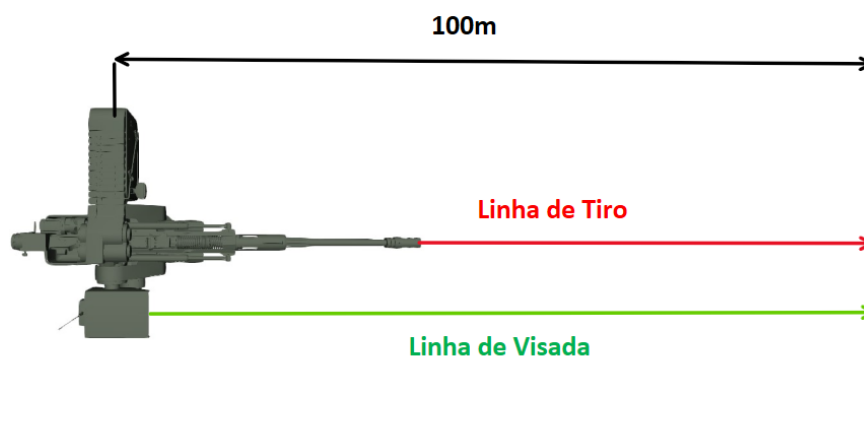


Figura 2: Sistema antes da colimação. Imagem produzida pelo autor.

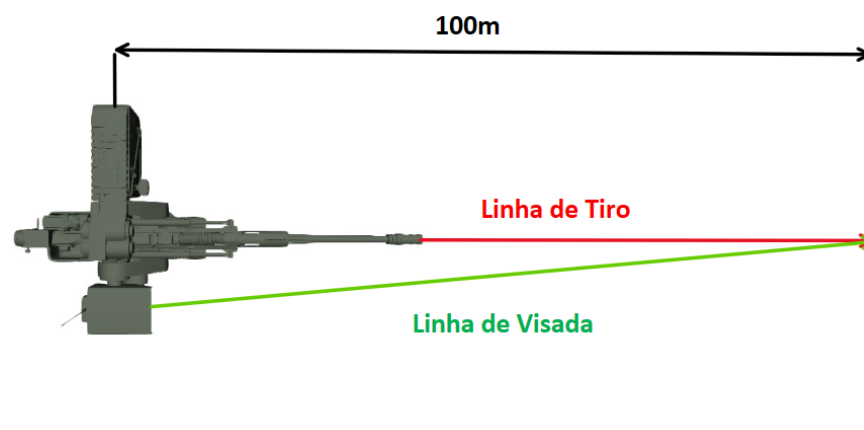


Figura 3: Sistema após a colimação. Imagem produzida pelo autor.

1 Procedimento de Colimação Tradicional

Na colimação é necessário configurar, em primeiro lugar, um sistema óptico, que pode ser constituído por lentes, espelhos ou outros componentes ópticos, e uma fonte de luz, como um laser ou uma fonte pontual, que geralmente é posicionada em uma extremidade do sistema óptico, sendo esse feixe utilizado para o processo de alinhamento. [10]

No procedimento tradicional, um colimador é inserido na extremidade do cano da arma e através de uma estrutura reflexiva em conjunto com lentes, replica a imagem do alvo. Quando o operador do colimador olha através dessa óptica, ele observa uma grade sobre o alvo. Para realizar a colimação, o dispositivo óptico da torre deve ser ajustado até ocorrer o alinhamento do centro da sua imagem com o centro do alvo do colimador, sendo que o operador deve observar manualmente através da imagem reproduzida pelo colimador todo o processo de alinhamento.



Figura 4: Instrumentador realizando o procedimento de colimação. Imagem obtida do site Army Reserve [1].

2 Procedimento de Colimação Opto-eletrônico

Na colimação opto-eletronica são empregados dispositivos eletrônicos no processo de alinhamento e verificação no processo de colimação. Podem ser utilizado sensores eletrônicos ópticos para monitorar o alinhamento do sistema óptico. Esses sensores podem medir diversos parâmetros desde a posição atual do feixe, luminosidade ambiente, distância até o objeto de referência, entre outros. Esses conjuntos de dados podem ser utilizados para fornecer um feedback a um sistema de controle eletrônico.

O sistema de controle eletrônico pode então analisar os dados do sensor e fazer ajustes na posição dos componentes ópticos automaticamente. Esse processo de ajuste automatizado pode aumentar muito a eficiência e a exatidão da optocolimação, principalmente em sistemas complexos ou aplicações em que o alinhamento manual é desafiador ou demorado.



Figura 5: Exemplo de um colimador opto-eletrônico acoplado no cano do sistema de defesa. Imagem disponível em [2].

c Objetivo do Projeto

O objetivo do projeto é desenvolver um colimador optrônico, que atenda aos requisitos técnicos das versões comerciais já disponíveis no mercado. Nesse sentido, o projeto buscará utilizar em cada etapa do seu desenvolvimento, componentes eletrônicos e ópticos que atenderão aos requisitos técnicos mínimos solicitados para um produto já estabelecido no mercado, por exemplo, apresentando como meta ser um sistema altamente acessível e funcional.

Além disso, o sistema deve ser projetado com conceitos de simplicidade e modularidade. O dispositivo deve possibilitar ao usuário a recalibração de forma rápida e dinâmica. Os módulos ópticos e mecânicos, por sua vez, devem ser facilmente acoplados e desacoplados, com a finalidade de facilitar o transporte, o manuseio e a configuração dos dispositivos em diferentes cenários.

O desenvolvimento desse projeto utilizou como base os requisitos do sistema "Men At Work" um colimador já testado e funcional utilizado para colimar o sistema de arma REMAX [11]. Nas seções seguintes serão descritos os conceitos envolvidos em cada um desses requisitos e sua utilidade no desenvolvimento do projeto.

- O colimador deve possuir uma interface mecânica para ser acoplado nos modelos de metralhadora M2HB-QCB de 12,7mm e MAG M240 de 7,62mm
- O colimador deve ter saída de vídeo com os recursos abaixo
 - Codificado em PAL(Phase Alternate Line)
 - Transmissão de vídeo composto
- O colimador deve incluir um retículo no sinal de vídeo
- A tensão de alimentação deve ser de 28V
- O colimador deve possuir um sistema de comunicação serial via Rs485
- A câmera do colimador deve seguir os seguintes requisitos ópticos

- Campo de visão: $2,6^\circ$ (horizontal); $2,0^\circ$ (vertical) ($\pm 5\%$)
- Faixa de operação: 50 m ao ∞
- Precisão do colimador: 0.07 mRad
- O sistemas opto-eletrônico deve possuir as seguintes dimensões
 - Comprimento $\leq 200\text{mm}$
 - Diâmetro $\leq 70\text{mm}$
 - Peso $\leq 0.350\text{ kg}$
- O cabo do colimador deve possuir os seguintes requisitos:
 - Comprimento: $\leq 2\text{ m}$ ($\pm 5\%$)
 - Modelo do Conector: D38888/26ZD35SN

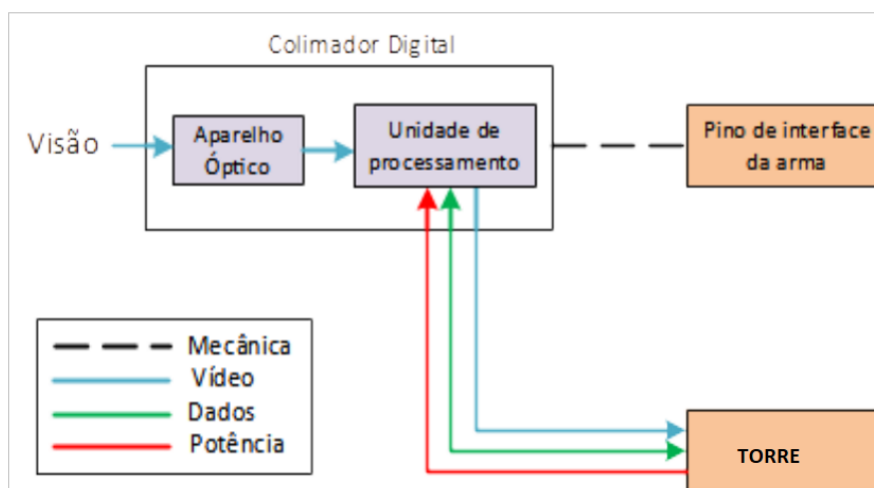


Figura 6: Diagrama de blocos do colimador. Imagem produzida pelo autor.

d Estrutura do Documento

O desenvolvimento desse Projeto Final será consistiu em quatro etapas principais: definição de fundamentos ópticos e de transmissão de dados via RS485, construção de um módulo óptico para captura de vídeo e transmissão de dados, desenvolvimento de um módulo mecânico para integração com a sistema de defesa e, por fim, testes e avaliação dos resultados.

O primeiro Capítulo apresenta a definição dos fundamentos ópticos e de transmissão de dados. São apresentados princípios e teorias ópticas relevantes para o desenvolvimento do projeto e conceitos como campo de visão, ângulo de visão, distância focal, entre outros. Além disso, é apresentado o protocolo de comunicação via RS485 Com base nesses fundamentos, são estabelecidas as especificações técnicas e os requisitos para o projeto.

No segundo Capítulo, é apresentado o módulo eletrônico para o colimador, cujo projeto envolveu a seleção de vários componentes adequados para a construção do circuito. Além disso, são efetuados os devidos testes e ajustes para garantir o desempenho e a confiabilidade do módulo.

No terceiro Capítulo, é apresentado o projeto mecânico para o colimador. Esse módulo mecânico desempenha um papel crucial na integração do módulo eletrônico com a torre, garantindo uma conexão robusta e confiável entre os dois sistemas. Ao projetar a interface mecânico, foi levado em consideração a compatibilidade física entre o módulo eletrônico e a arma, o posicionamento adequado do módulo na arma, a fixação segura do módulo para evitar movimentos indesejados durante o uso e a facilidade de instalação e remoção.

Por fim, apresentam-se os resultados no Capítulo 4. O projeto construído foi submetido a testes e medições para verificar se atende aos requisitos de desempenho e qualidade estabelecidos. Foram realizados testes de transmissão de dados, teste de exatidão e precisão dos resultados, entre outros parâmetros relevantes. Os resultados foram comparados com os requisitos definidos anteriormente, e quaisquer ajustes ou melhorias possíveis foram identificadas e analisadas.

2 Fundamentos

a Transmissão de Vídeo

A transmissão de vídeo analógico no padrão PAL (Phase Alternating Line) é um método comum para transmitir sinais de vídeo em cores na maioria dos países europeus, além de várias outras regiões ao redor do mundo.

O sinal de vídeo analógico PAL é composto por informações de luminância (brilho) e croma (cor). A informação de luminância representa a intensidade do brilho da imagem, enquanto a informação de croma representa a cor. Esse sinal de vídeo é composto por 625 linhas horizontais. O sistema PAL utiliza o método de varredura entrelaçada, no qual cada quadro de vídeo é composto por dois campos, chamados de campo ímpar e campo par. Para transmitir as informações relativas à croma, o sistema PAL utiliza uma subportadora, que ela é adicionada ao sinal de vídeo principal para gerar o sinal composto de vídeo. Já para a codificação das cores, o sistema PAL utiliza a modulação de fase. As informações de cor são divididas em duas partes: diferença de fase de cor (R-Y) e diferença de fase de cor (B-Y). onde R, B e Y significam, respectivamente componente vermelho, componente azul e luminância.

Para garantir que a imagem seja exibida corretamente, são adicionados pulsos de sincronização horizontal e vertical ao sinal de vídeo. Esses pulsos de sincronização indicam o início e o fim de cada linha e quadro, garantindo que a imagem seja exibida corretamente na tela. No receptor de vídeo, o sinal composto de vídeo PAL é recebido e separado novamente nas componentes de luminância e croma. [12]

Por fim, o sinal de vídeo PAL é projetado para ser mais resistente a interferências e ruídos em comparação com outros sistemas de sinal analógico. A modulação de fase utilizada pelo PAL ajuda a minimizar os efeitos de interferências elétricas e outras fontes de ruído, proporcionando uma imagem mais estável e de qualidade superior.

b Comunicação Serial RS485

A comunicação serial RS-485 é um padrão amplamente utilizado para a transmissão de dados em longas distâncias em ambiente industrial. Ela define a forma como os dispositivos se comunicam entre si, permitindo a troca de informações digitais.

O RS-485 é um protocolo diferencial, o que significa que utiliza um par de fios para transmitir os dados: um fio é usado para transmitir o sinal positivo (A) e o outro fio é usado para transmitir o sinal negativo (B). Essa configuração diferencia o RS-485 de outros padrões seriais, como o RS-232, que utiliza apenas um fio para transmissão de dados. A principal vantagem do RS-485 é a sua capacidade de comunicação em longas distâncias, geralmente de até 1200 metros, com velocidades de transmissão de até 10 Mbps. Além disso, ele permite a conexão de vários dispositivos em uma mesma linha de comunicação, utilizando um esquema de barramento. Isso significa que vários dispositivos podem transmitir e receber dados em um único cabo. A comunicação no protocolo RS-485 ocorre de forma assíncrona, o que significa que os dados são transmitidos de forma independente do tempo, sem a necessidade de um relógio compartilhado. Cada dispositivo possui um endereço único que permite que os outros dispositivos se comuniquem com ele.

Durante a transmissão, os dados são convertidos em sinais elétricos diferenciais. Quando um dispositivo quer transmitir dados, ele envia um sinal no fio A com um nível de tensão positivo e no fio B com um nível de tensão negativo. Os dispositivos receptores medem a diferença de tensão entre os fios A e B para determinar o valor dos dados transmitidos. O RS-485 também possui recursos de detecção e correção de erros, utilizando técnicas como a verificação de paridade e a detecção de erros de bit para garantir a integridade dos dados transmitidos. Devido à sua robustez e capacidade de transmissão em longas distâncias, o RS-485 é amplamente utilizado em aplicações industriais, como sistemas de automação predial, controle de acesso, redes de sensores, sistemas de monitoramento e controle industrial, entre outros.

c Conceitos Ópticos

1 Campo de Visão

O campo de visão, também conhecido como FOV (Field of View, em inglês), refere-se à extensão angular do espaço visível a partir de um determinado ponto de observação. Em outras palavras, é a medida do ângulo de abertura que um dispositivo pode enxergar em uma determinada direção. O campo de visão é frequentemente expresso em graus e pode variar dependendo da aplicação em questão. [3]

Em relação a dispositivos eletrônicos, como câmeras, óculos de realidade virtual ou outros equipamentos de visão, o campo de visão pode variar amplamente. Alguns dispositivos podem ter um amplo campo de visão para proporcionar uma experiência imersiva, enquanto outros podem ter um campo mais estreito, focando em detalhes específicos. A especificação do campo de visão é importante para determinar a perspectiva e o alcance visual que um dispositivo pode oferecer.

Field of view of a camera lens

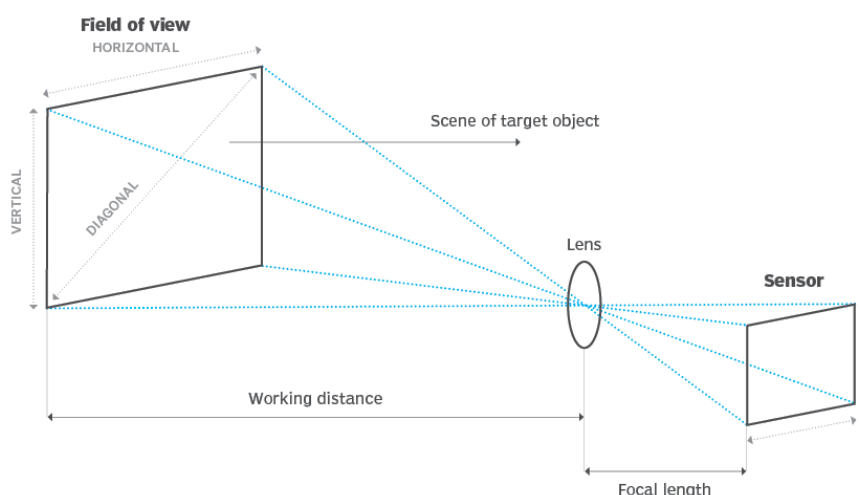


Figura 7: Diagrama ilustrando o campo de visao de uma câmera. Imagem obtida do site [3].

2 Distância Focal da Lente

A distância focal é a distância do centro da lente até o sensor da imagem (plano focal) e cada lente possui uma distância focal diferente. A distância focal geralmente é medida em milímetros (mm) e geralmente é marcada na própria lente. Uma distância focal mais curta significa um ângulo de visão mais amplo, enquanto uma distância focal mais longa resulta em um ângulo de visão mais estreito e maior ampliação. Por exemplo, uma lente com distância focal de 50 mm terá um ângulo de visão mais estreito e maior ampliação do que uma lente com distância focal de 20 mm. Conforme mostrado na figura a seguir, quanto menor a distância focal, maior o campo de visão que é possível capturar.

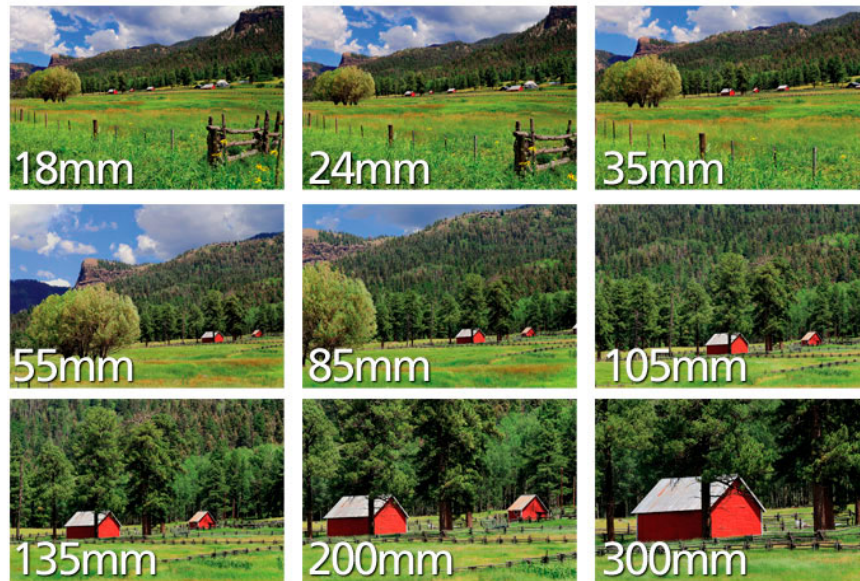


Figura 8: Comparação entre os campos de visão para diferentes valores de distância focal. Imagem obtida do site [4].

Os termos “ângulo de visão” e “campo de visão” geralmente são usados de forma intercambiável. No entanto, como descrito acima, o ângulo de visão é uma propriedade óptica da lente. Ele não muda independentemente do tipo de câmera que está sendo usado. O campo de visão, por outro lado, é resultado da combinação lente/câmera. O campo de visão não depende apenas da distância focal da lente, mas também do tamanho do sensor da câmera.

3 Cálculo do Campo de Visão

A relação entre FOV, distância focal e tamanho do sensor pode ser representada pela seguinte equação:

$$FOV = 2 \tan^{-1} \frac{H}{2f} \quad (1)$$

Onde:

FOV = campo de visão

H = tamanho do sensor (dimensão horizontal)

f = distância focal da lente

Aumentar ou diminuir o tamanho do sensor altera o quanto da imagem da lente é utilizada, o que, por sua vez altera o FOV.

3 Projeto Eletrônico

a Microcontrolador

Entre os modelos disponíveis de microcontrolador no mercado, foi escolhido para o projeto o modelo que utiliza em sua construção a linha de processadores ARM BCM4916 quad core por algumas razões. Em primeiro lugar, suas dimensões compactas, permitindo a construção de um dispositivo compacto facilitando a integração em espaços reduzidos, dessa forma, o projeto mecânico da estrutura pode ser simplificado.

Além disso, esse modelo em específico possui como uma de suas saídas de vídeo o sinal PAL, que é um dos requisitos citados na seção c. Esta compatibilidade simplifica a integração do colimador retirando a necessidade de um conversor de vídeo, simplificando o projeto.

Outra vantagem importante dos microcontroladores é a sua robustez. Apesar de seu tamanho compacto, ele é projetado para ser durável e resistente. Isto é essencial para um projeto como o colimador, que pode estar sujeito a ambientes de trabalho desafiadores ou condições adversas. A robustez do microcontrolador garante que o dispositivo possa lidar com essas condições sem comprometer seu desempenho ou confiabilidade.

Esse microcontrolador em específico já possui em sua interface recursos para comunicação CSI com câmeras, CSI refere-se ao uso da Camera Serial Interface (CSI) para transmitir dados entre um módulo de câmera e um dispositivo host. Isso significa que é possível conectar facilmente uma câmera ao dispositivo, o que é essencial para o colimador, já que o objetivo é reproduzir imagens do alvo de referência com alta fidelidade. Portanto, a capacidade de conectar câmeras diretamente ao microcontrolador simplifica a configuração do colimador e torna o projeto mais flexível.

Além de todas essas vantagens, como o sistema operacional do microcontrolador é baseado no Debian, existe uma ampla gama de recursos online disponíveis. A comunidade do Debian é vasta e ativa, e existem muitos recursos, tutoriais e fóruns disponíveis para ajudar no desenvolvimento e solução de problemas do projeto do colimador. Isso significa que, caso surjam desafios ou dúvidas durante o processo de construção, é provável que já exista suporte online disponível.



Figura 9: Modelo do microprocessador utilizado no microcontrolador. Imagem obtida do datasheet [5].

b Sensor de Imagem

O sensor de imagem utilizado na câmera no projeto utiliza tecnologia CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) ativa com alta qualidade de definição e uma resolução de 8 megapixels, permitindo capturar imagens nítidas e detalhadas, além de gerar vídeos com resolução de 1080p (1920x1080) a 30 quadros por segundo, superior à resolução característica da transmissão PAL (720x576). Dessa forma, a reprodução do vídeo pode ser exibida com o devido ajuste de escala, a fim de respeitar a resolução característica da transmissão PAL. Além disso, outro fator determinante para a escolha da câmera utilizada é a interface CSI (Camera Serial Interface), um padrão de interface de hardware que permite a comunicação entre Câmeras e outros dispositivos, como processadores de imagem, sistemas embarcados ou computadores. Essa interface é projetada para facilitar a transferência eficiente de dados de imagem de uma câmera para um dispositivo receptor sem que haja atraso na transmissão de dados, atendendo à demanda de transmissão de vídeo de alta resolução.

Basicamente quanto maior a resolução do sensor de imagem e a taxa de quadros transmitidos, mais barramentos de dados serão necessários em conjunto com uma maior velocidade de transmissão. Por exemplo, um sinal de vídeo 1080p60 de alta definição seria transmitido com quatro barramentos de dados diferenciais, cada um executando até cerca de 500 Mbits/s. A Figura abaixo mostra um diagrama de blocos típico dessa comunicação.

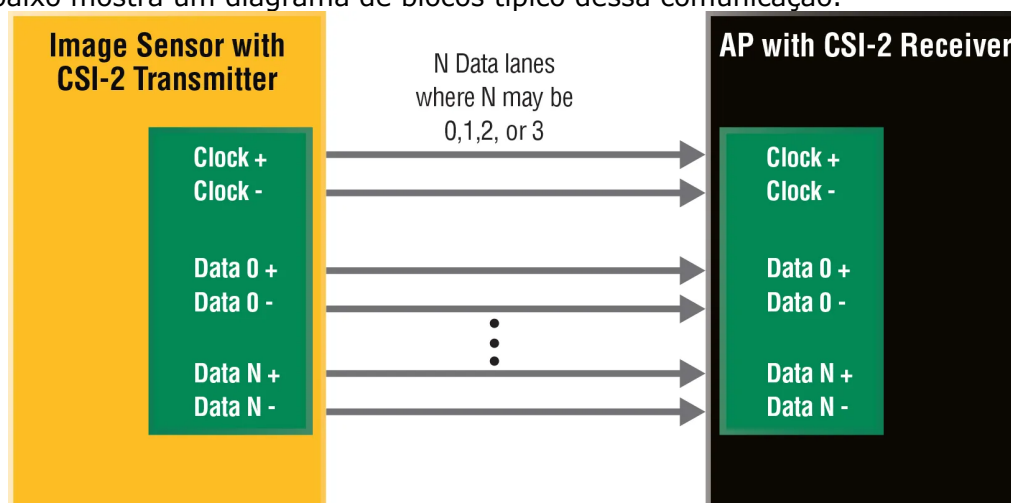


Figura 10: Sensor com interface CSI. Imagem disponível em [6].

A câmera oferece diversos recursos de controle avançado, desde exposição à luz, foco e outros parâmetros de imagem, permitindo que os usuários ajustem as configurações para obter os melhores resultados de acordo com o projeto desenvolvido. Ela possui pixels de tamanho relativamente grande, o que permite capturar mais luz em condições de pouca iluminação, resultando em imagens com menos ruído e maior detalhamento em ambientes escuros.

Por fim a câmera é compatível com vários softwares e bibliotecas de programação, incluindo Python, tornando-a uma escolha versátil para projetos de desenvolvimento utilizando os recursos inerentes do próprio sistema operacional do microcontrolador, o Debian.

c Biblioteca Comunicação Câmera

Controlar câmeras por meio da interface CSI (Camera Serial Interface) é uma tarefa essencial em diversos projetos de visão computacional, robótica, monitoramento e outras aplicações relacionadas a imagens. Python, como uma linguagem de programação versátil e amplamente usada em desenvolvimento de software, oferece diversas bibliotecas que permitem o controle de câmeras por meio da interface CSI em diversos tipos de dispositivos.

A biblioteca de comunicação com a câmera pode variar de acordo com o modelo escolhido de microcomputador, no entanto a maioria compartilha o mesmo conjunto de funções fundamentais. Ela fornece uma interface de programação para capturar imagens e vídeos com a câmera, bem como ajustar suas configurações. Uma das necessidades desse projeto é a capacidade de

adicionar filtros e efeitos sobre a imagem capturada pela câmera, para as aplicações necessárias ao funcionamento do colimador. Em especial, a biblioteca escolhida permite a criação de uma imagem sobreposta ao vídeo original, possibilitando inúmeras aplicações.

Possui também um controle sobre os parâmetros padrões de funcionamento de uma câmera, entre eles: brilho, contraste, saturação, equilíbrio de branco, exposição e foco. A operação de Multithreading da biblioteca permite que os usuários capturem imagens ou vídeos em segundo plano enquanto executam outras tarefas, o que é essencial na execução de um projeto mais complexo como o abordado neste trabalho. Com sua interface de programação fácil de usar, os usuários podem facilmente capturar imagens e vídeos de alta qualidade, ajustar as configurações da câmera e processar imagens em tempo real.

d Definição da Lente

Como foi visto na seção 3 é possível calcular o campo de visão de um conjunto óptico sabendo as dimensões do sensor utilizado na câmera e a distância focal da lente utilizada. Dessa forma, é possível dimensionar uma lente tendo como referência as especificações do sensor de imagem utilizado e o campo de visão requisitado para o projeto. A expressão da lente fica:

$$f = \frac{H}{2 \tan\left(\frac{AFOV}{2}\right)} \quad (2)$$

Onde:

AFOV = campo de visão

H = tamanho do sensor (dimensão horizontal)

f = distância focal da lente

Como informado pelo fabricante, o tamanho horizontal do sensor é de 3,691 mm. Substituindo esses valores na fórmula encontramos um valor de aproximadamente 78 mm de distância focal da lente. No entanto, como é informado pelo manual de operação da câmera, quando a mesma opera em resoluções próximas de 1080p, o vídeo sofre um redimensionamento do seu campo de visão na razão de aproximadamente 0,6 em relação à resolução máxima do aparelho, como pode ser observado na imagem a seguir.



Figura 11: Ilustração dos campos de visao de acordo com a resolução da câmera.

Nesse contexto, seria necessária uma lente de 47mm de distância focal, porém a biblioteca de controle da câmera permite ao usuário utilizar zoom digital, que reduz de forma digital o campo de visão da câmera, possibilitando o uso de um valor reduzido de distância focal nesse caso o modelo de 35mm, valor mais acessível no mercado, utilizando nesse caso um zoom de 1,33 sobre o vídeo. O valor do zoom é calculado pela razão entre o campo de visão de uma lente de 35mm por uma de 47mm.

$$Zoom = \frac{AFOV(35mm)}{AFOV(47mm)} = 1.33 \quad (3)$$

Portanto, o modelo de lente escolhido para o projeto foi a lente de 35mm. Essa lente em específico foi projetada para trabalhar em captura de imagens em longa distância.



Figura 12: Imagem da lente de 35mm de distancia focal e encaixe M12.

e Circuito de alimentação

Como listado nos requisitos deste projeto a tensão de alimentação do conjunto fica restrita a 28 Vcc. Este valor de tensão de alimentação se deve a norma militar MIL-STD-1275 [13], que especifica requisitos para as características elétricas de sistemas elétricos de veículos terrestres, dessa forma estabelece critérios de desempenho para garantir a confiabilidade e compatibilidade desses sistemas. Dado o âmbito específico deste projeto como uma aplicação militar, essas diretrizes gerais devem ser seguidas.

Adicionalmente, a norma especifica os limites de variação de tensão que um sistema deve ser capaz de suportar. Isso é fundamental devido às flutuações que podem ocorrer no sistema elétrico de um veículo durante diferentes operações, a fim de garantir que os componentes eletrônicos não sejam danificados por picos de energia durante a operação.

1 Análise de modelos de Reguladores de Tensão

Os reguladores lineares e os reguladores chaveados são dois tipos comuns de circuitos de regulação de tensão utilizados em eletrônica. Eles possuem diferenças significativas em termos de eficiência energética, dissipação de calor, complexidade do circuito e aplicabilidade. No contexto do projeto proposto, o sistema de regulação de tensão deve evitar ao máximo o aquecimento, uma vez que a área de dissipação do calor é limitada e problemas de aquecimento excessivo podem danificar o microcontrolador, comprometendo o funcionamento do dispositivo.

Nessa perspectiva, os reguladores lineares poderiam apresentar problemas de aquecimento, devido ao seu modo de operação, em que a tensão excedente é dissipada na forma de calor, podendo aquecer consideravelmente. Por outro lado, os reguladores chaveados operam com base no princípio de chaveamento, alternando rapidamente entre os estados ligados e desligados para manter uma tensão de saída estável, minimizando a dissipação de energia em forma de calor, resultando em menor desperdício de energia. Sob essa ótica, um modelo de regulador chaveado atenderá melhor os requisitos do projeto.

O modelo de regulador chaveado escolhido consiste no conversor buck LM2596 da Texas Instruments. Esse regulador, de acordo com o datasheet do fabricante [7], pode receber tensões de 4,5 V até 40 V e possui uma tensão regulada de saída operando na faixa de 1,2 V até 37 V. Foi necessário verificar se o regulador consegue fornecer a corrente necessária para a operação do microcontrolador em conjunto com a câmera. Dessa forma foi executado o seguinte teste, que consiste basicamente de um amperímetro monitorando a corrente de operação do conjunto.



Figura 13: Amperímetro utilizado no teste. Modelo da CHARGER Doctor.

Observou-se que o consumo máximo foi de aproximadamente 400mA, valor relativamente baixo quando comparado com o valor da corrente nominal de operação do regulador de 3 A. Portanto, o modelo LM2596 atende de forma satisfatória aos requisitos impostos

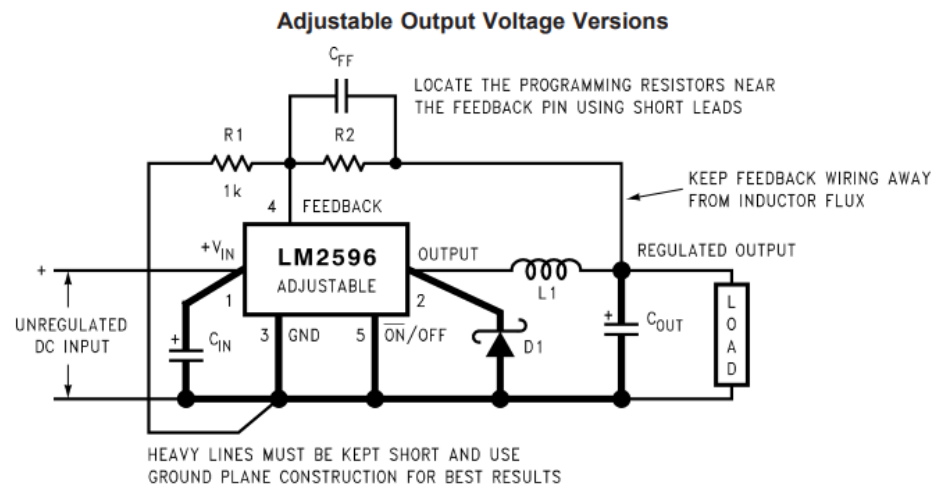
2 Princípio de funcionamento conversor buck

O funcionamento básico de um conversor buck pode ser exemplificado nas etapas listadas a seguir:

- Um circuito de controle alterna os estados do MOSFET, nesse contexto, simplificado por um interruptor eletrônico, entre os estados de ligado e desligado em alta frequência
- Quando o interruptor está ligado, a corrente flui do fornecimento de energia para a indutância do conversor (geralmente um indutor). A indutância armazena energia magnética enquanto a corrente aumenta gradualmente.
- Quando o interruptor é desligado, a corrente para de fluir da fonte de energia para o indutor. A energia armazenada no indutor é então transferida para a carga, que está conectada em paralelo com o indutor. Durante essa fase, a corrente elétrica circula pelo indutor e pela carga
- Durante o período em que o interruptor está desligado, a energia do indutor é controlada por um diodo (geralmente um diodo Schottky) que permite a corrente fluir em um único sentido, evitando danos ao circuito.
- O ciclo de controle do interruptor é repetido várias vezes por segundo, geralmente em frequências muito altas (dezenas ou centenas de kHz), permitindo que a saída do conversor buck forneça uma tensão contínua e estável para a carga.

3 Desenvolvimento do circuito regulador de 5 V

O circuito de ajuste da tensão é fornecido pelo próprio datasheet do fabricante [7], sendo este diagrama usado para a construção do regulador de 5 V, utilizado para alimentação do conjunto câmera e microcontrolador.



$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

where $V_{REF} = 1.23V$

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

Select R_1 to be approximately 1 k Ω , use a 1% resistor for best stability.

C_{IN} — 470 μF , 50V, Aluminum Electrolytic Nichicon "PL Series"

C_{OUT} — 220 μF , 35V Aluminum Electrolytic, Nichicon "PL Series"

D1 — 5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825

L1 — 68 μH , L38

R1 — 1 k Ω , 1%

C_{FF} — See Application Information Section

Figura 14: Diagrama do circuito para regulação de tensão. Diagrama fornecido pelo datasheet do fabricante [7]

Além disso, é fornecida a equação referente à tensão regulada V_{OUT} indicada a seguir:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (4)$$

Em que a tensão de referência de acordo com o datasheet é:

$$V_{REF} = 1.23V \quad (5)$$

Dessa forma, adotando R_1 como 330 Ohm, a equação fica:

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) \quad (6)$$

$$R_2 = 330 \left(\frac{5V}{1,23V} - 1 \right) \quad (7)$$

$$R_2 \cong 1,01K\Omega \quad (8)$$

O circuito regulador de 5V é indicado abaixo:

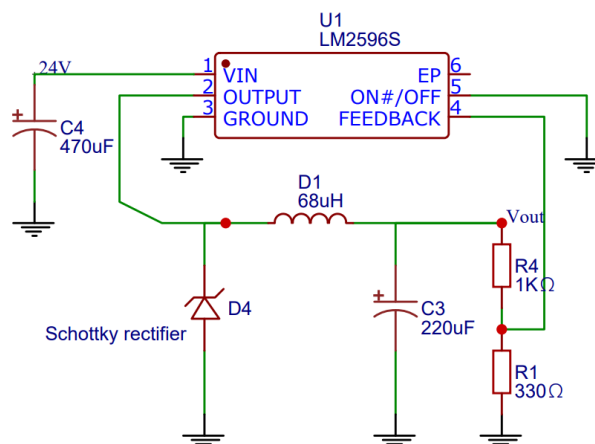


Figura 15: Diagrama do circuito para regulação da tensão. Diagrama construído com base no modelo exibido no datasheet [7]

f Drive de comunicação Rs485

O drive de comunicação RS-485 escolhido para o projeto foi o chip MAXIM RS-485, desenvolvido pela Maxim Integrated, uma empresa conhecida por suas soluções de interface de comunicação.

O chip Maxim RS-485 é um transceptor, ou seja, ele é responsável por converter os sinais de transmissão serial advindos do microcontrolador em sinais elétricos adequados para a comunicação RS-485 e vice-versa, permitindo a transmissão e recepção de dados de forma confiável em um barramento RS-485. [8] A comunicação entre a torre e o colimador ocorre com a torre exercendo o papel de host e o colimador como receptor, dessa forma o receptor responderá somente quando for solicitado pelo host, como informado pela documentação. Portanto a transmissão ocorre de forma half-duplex, uma vez que a comunicação ocorre em uma única direção por vez, em que o host solicita uma resposta do colimador e aguarda a resposta do mesmo. Os chips Maxim RS-485 são projetados para suportar esse modo de operação.

Visando à imunidade do sistema em relação a interferências externas que podem afetar a exatidão do equipamento, inclusive a comunicação entre a torre o colimador (afetando o resultado final da calibração), a comunicação RS-485 utiliza uma técnica de comunicação diferencial, em que os dados são transmitidos através de uma linha positiva (A) e uma linha negativa (B). [8]

Além disso, o chip da Maxim conta com proteção contra sobrecarga e curto-circuito, recursos de proteção embutidos que evitam danos causados nas linhas de comunicação. Por fim, esse drive apresenta um baixo consumo de energia, tornando-o adequado para aplicações com requisitos de energia restritos como é o caso do colimador.

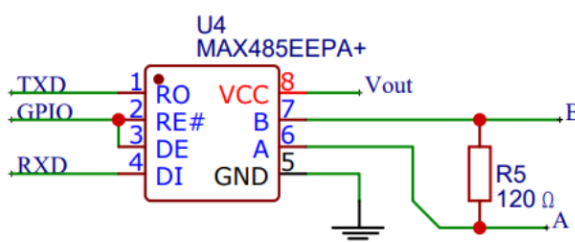


Figura 16: Diagrama do circuito para comunicação Rs485. Diagrama construído com base no modelo exibido no datasheet [8]

A teoria de comunicação descreve a necessidade de terminação de linhas de comunicação com um valor de impedância correspondente à impedância característica da linha de trans-

missão. Nesse sentido, o casamento de impedância atenua reflexões que distorcem os dados transmitidos, possibilitando uma transmissão de dados com maior velocidade e maiores distâncias [14]. A impedância característica de um par trançado é de aproximadamente 120 ohms, sendo este um valor adequado para o resistor de terminação a ser instalado entre os terminais A e B.

g Projeto da Placa de Circuito Impressa (PCI)

Basicamente o circuito deve atender aos seguintes objetivos: fornecer uma tensão regulada de 5V a partir da tensão de 28V fornecida pela torre e converter o sinal via RS-485 para um valor serial. Esse circuito adicional fica acoplado ao microcontrolador a fim de reduzir o uso do espaço já limitado. Nesse sentido, as dimensões desse conjunto ficaram limitadas à mesma área ocupada pelo microcontrolador.

Como visto nas seções anteriores a PCI deve contemplar a eletrônica necessária para regular a tensão de 28 V para 5 V e alimentar o microcontrolador em conjunto com a câmera. Além disso, deve contar com o driver RS-485 responsável pela comunicação entre a torre e o bore-sight.

O sinal de vídeo analógico deve ser transmitido para a torre, por isso foram adicionadas trilhas adicionais para conduzir o sinal de vídeo gerado pelo microcontrolador até a torre. Todos os sinais necessários para operação do conjunto se conectam à PCI através de um header com até 12 pinos. Por sua vez, a PCI se conecta ao microcontrolador através do próprio header deste. A dimensão da PCI foi limitada pela própria dimensão do microcontrolador, 65mmx30mm, a fim de compactar o produto final. Por esse motivo foi necessário usar duas layers, com o objetivo de comportar todos os componentes necessários para a regulação e driver de comunicação. Portanto, a PCI deve abarcar os dois circuitos exibidos anteriormente, o regulador de tensão da figura 15 e o circuito do drive de comunicação da figura 16.

1 EasyEda PCI layout

O software utilizado para o projeto da PCI foi o EasyEDA. É um software de projeto de circuitos eletrônicos e criação de esquemas, projetado para tornar mais fácil a criação e compartilhamento de projetos eletrônicos. Ele fornece uma versão gratuita online que permite aos usuários desenhar esquemas, criar layouts de PCI e até mesmo encomendar a fabricação dos PCIs.

Ele possui uma interface intuitiva que facilita a criação de esquemas e layouts de PCI. É possível adicionar componentes eletrônicos a partir de uma vasta biblioteca e conectá-los para formar o circuito desejado, o que reduz o tempo necessário para o desenvolvimento, uma vez que todos os componentes utilizados estão disponíveis na biblioteca online, inclusive o diagrama de footprint. O programa permite criar layouts de PCI de forma rápida e eficiente. Os usuários podem posicionar os componentes eletrônicos na placa, rotear as trilhas de conexão entre os componentes e adicionar as camadas necessárias para a fabricação da PCI. A imagem exibe a interface do programa durante a concepção da PCI.

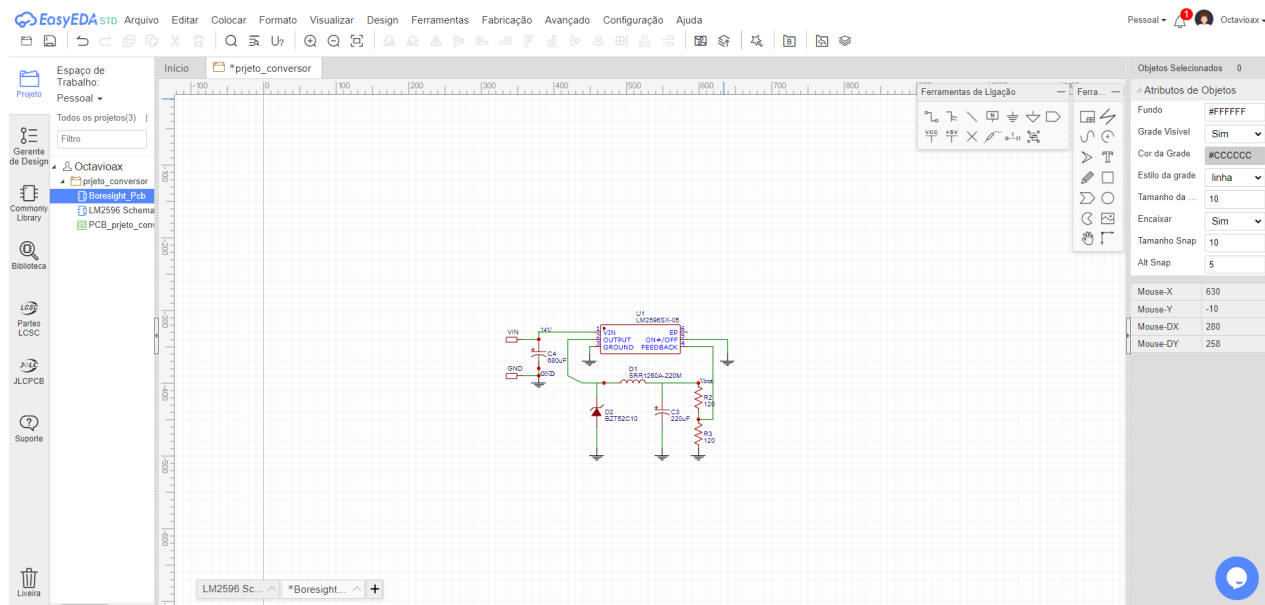


Figura 17: Interface do software de projeto de PCI, EasyEda. Registro fotográfico do software durante a criação da PCI.

2 Desenvolvimento do layout da PCI

Ao desenvolver o layout da PCI é preciso levar em consideração as dimensões físicas dos componentes que serão montados na placa. Essas dimensões incluem o comprimento, largura e altura dos componentes, bem como os espaços necessários para a soldagem e o roteamento das trilhas. Como explicado anteriormente, a PCI deve possuir as mesmas dimensões do microcontrolador.

No desenvolvimento é importante seguir as diretrizes fornecidas pelo fabricante, pois elas garantem que a placa seja fabricada corretamente e funcione conforme o esperado. Essas diretrizes podem incluir recomendações específicas para o tamanho da placa, espaçamento entre trilhas, tamanho dos furos para componentes e tolerâncias de fabricação. O resultado do desenvolvimento é mostrado a seguir:

h Projeto do Software

1 Protocolo de comunicação

Qualquer comunicação é iniciada através do host. O colimador envia mensagens apenas quando for solicitado pela torre. O boresight deve ser capaz de processar um requerimento e gerar uma resposta em menos de 50 ms.

O registro e atualização das coordenadas para o posicionamento do retículo sobre o monitor durante o processo de colimação ocorre através do protocolo RS-485. De acordo com documentação [11], a torre apresenta seguintes comandos:

- Solicitar a condição atual do colimador
- Solicitar o tamanho do retículo
- Recuperar o último valor salvo das coordenadas do retículo
- Acionar o colimador para salvar as novas coordenadas do retículo

Já o colimador desempenha o papel de receptor, devendo portanto enviar as mensagens de resposta quando for solicitado.

- Retornar o estado atual do colimador entre: inicialização, erro ou pronto para operação
- Retornar o tamanho do retículo

- Retornar o último valor salvo das coordenadas do retículo

Com o objetivo de testar na prática a comunicação entre a torre e o colimador, foi desenvolvido um setup de teste, para observar em tempo real o comportamento de ambos. Adaptou-se o cabo original do colimador, para ser possível conectar o mesmo a um conversor RS485 para serial, sendo possível desta forma realizar a análise do sinal, agora convertido em serial, e utilizando um programa simples de leitura da porta serial do computador.

O software utilizado neste teste foi o Docklight. O Docklight é uma ferramenta gratuita desenvolvida para testar, depurar e monitorar comunicações seriais. O Docklight permite que se enviem e recebam dados em série através de uma variedade de interfaces, como RS232, USB, TCP/IP e inclusive RS485. Ele oferece uma interface gráfica intuitiva que facilita a configuração e execução de testes de comunicação. Esse teste foi realizado em duas etapas. A primeira consistiu em observar os comandos gerados pela torre durante a operação de colimação e dessa forma confirmar os comandos transmitidos pela torre, sendo o diagrama representativo do teste ilustrado na figura 18.

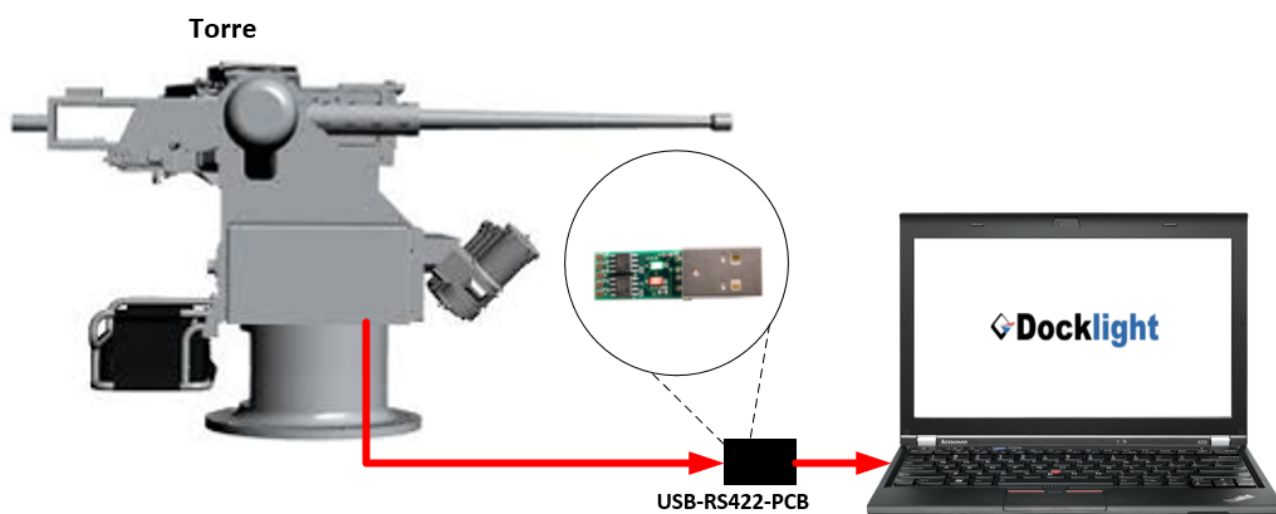


Figura 18: Diagrama representativo do teste executado na torre para verificar a comunicação, primeira etapa.

Essa primeira etapa validou os comandos da torre referente à comunicação Rs485 apresentado nos requisitos [11]. Nesse sentido, através da funcionalidade do Docklight de transmitir sinal através da serial, é possível simular o comportamento da torre, reproduzindo o mesmo comando que chegaria até o colimador através do computador. A segunda etapa do teste consiste em observar a resposta do colimador de acordo com os sinais de comando. O diagrama do setup é mostrado a seguir:

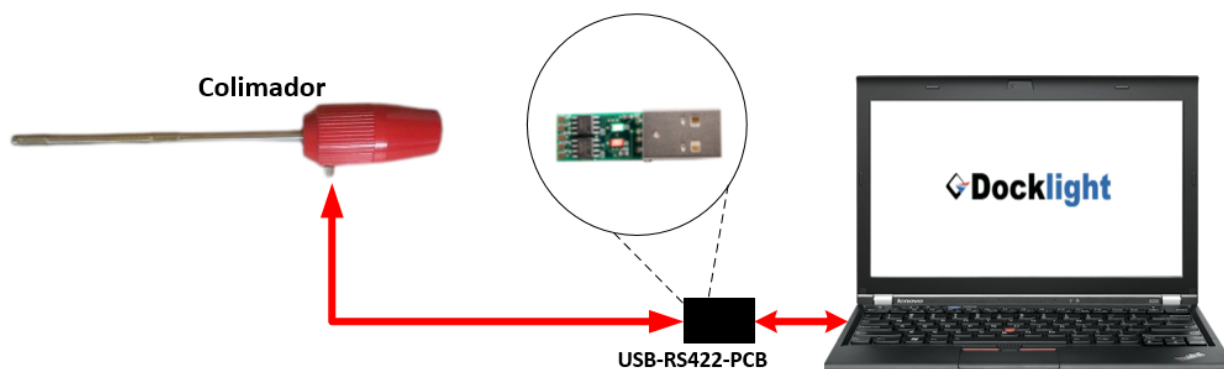


Figura 19: Diagrama representativo do teste executado na torre para verificar a comunicação, segunda etapa.

Na segunda etapa, foi possível registrar como o colimador Men at Work responde a cada comando. Observações cruciais foram feitas para o desenvolvimento do código de comunicação, implementado no projeto. Ao enviar o comando GET FRAME SIZE para o colimador de teste, era retornada sempre a mesma resposta, dessa forma é possível afirmar que o sistema trabalha com um tamanho fixo de retículo.

Por sua vez, ao enviar o comando GET RETICLE POSITION o colimador de teste retornava os 4 bytes, 2 bytes para cada coordenada, responsáveis por armazenar as coordenadas x e y, escritas em complemento de dois, portanto as coordenadas eram representadas através de um número inteiro. Setando o retículo para os limites horizontais para esquerda e direita a coordenada de retorno era -325 e 325 respectivamente. Já para os limites horizontais retornava-se -250 para o extremo superior e 250 para o extremo inferior. Portanto, o sistema de coordenadas pode ser representado da seguinte forma:

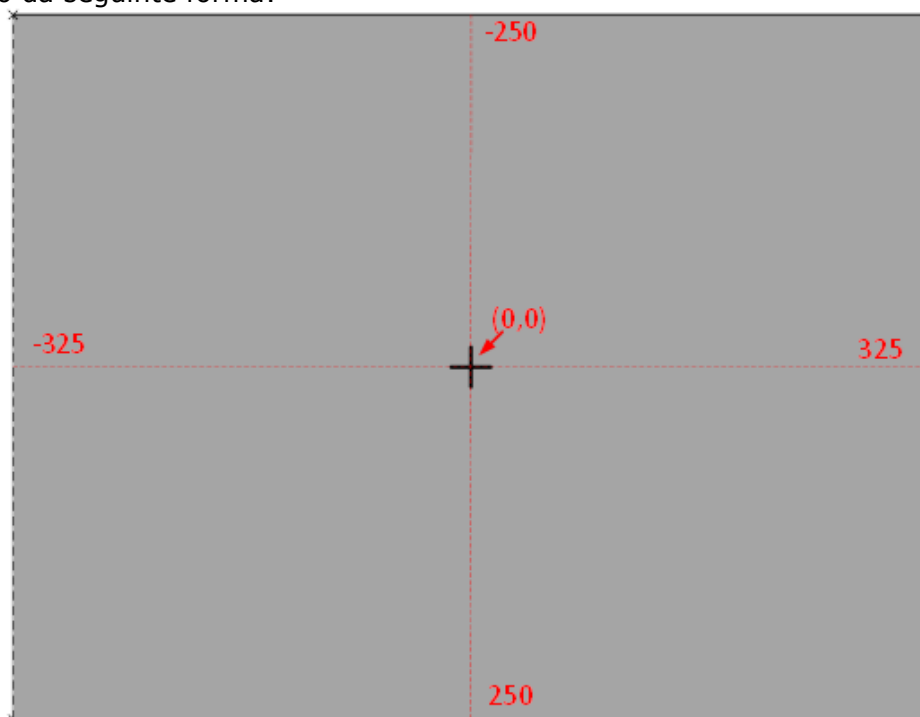


Figura 20: A representação do sistema de coordenadas utilizado pelo colimador.

Durante os testes de comunicação foi observado que o próprio sistema de controle da torre

reproduz o retículo sobre o vídeo gerado pelo colimador. Dessa forma, o papel desempenhado pelo colimador durante o processo de movimentação do retículo é salvar e armazenar as últimas coordenadas de deslocamento do retículo, para então o sistema de controle eletrônico da torre analisar os dados referentes às coordenadas e fazer os ajustes necessários no posicionamento do dispositivo óptico da torre. Entretanto, com o objetivo de tornar o colimador desenvolvido mais versátil para diversas situações em que ele pode ser empregado, inclusive a etapa de calibração inicial do equipamento, em que é testada a centralização da imagem da câmera com a própria estrutura mecânica do colimador, foi projetado um sistema adicional de controle de retículo, independente da torre, em que o operador pode comandar a movimentação do retículo sem a necessidade do sistema estar acoplado à torre. As próximas seções exemplificam os algoritmos implementados tanto para a comunicação com a torre quanto para o controle do retículo.

2 Código da comunicação em python

As bibliotecas utilizadas para o controle da comunicação foram a "serial" e a "GPIO". A biblioteca "serial" usada em Python permite estabelecer a comunicação com dispositivos externos que se conectam ao computador através de uma porta serial. Em conjunto com o driver RS-485, o microcontrolador consegue enviar mensagens pela serial que são convertidos no protocolo RS-485, assim como, receber mensagens via protocolo RS-485, pois o driver realiza a conversão entre os protocolos em duas vias, ou seja, recebendo a mensagem e convertendo para serial ou recebendo a mensagem serial do microcontrolador e convertendo-a para o protocolo utilizado na torre. Ainda assim, o driver precisa de um sinal de controle para configurar seu modo de transmissão ou recepção de dados. Este controle é feito através de dois pinos: "receiver output enable" e "driver output Enable". Os dois são ativados com níveis lógicos opostos, portanto na configuração utilizada em half-duplex apenas um modo é ativado por vez. Curto circuitando esses pinos de controle é possível alternar entre os modos utilizando apenas um sinal de controle. Nesse contexto, ao setar o nível lógico alto nesse sinal de controle o pino "Driver Output Enable", setado em nível lógico alto, habilita a transmissão de dados, enquanto o pino "Receiver Output Enable", ativado em nível lógico baixo, desativa a recepção de dados. A situação é invertida quando o sinal de controle passa para o nível lógico baixo.

A fim de criar esse sinal de controle foi utilizada a biblioteca GPIO. (General Purpose Input/Output), que permite a interação com o mundo externo através de pinos digitais. Dessa forma, um dos pinos do microcontrolador foi escolhido para controlar os estados do driver de comunicação. Toda vez que uma mensagem for enviada seu nível lógico passa a ser alto, por outro lado quando receber uma mensagem o nível lógico passa a ser baixo.

O código de comunicação pode ser separado em dois módulos, um responsável por receber a mensagem e o outro por enviar a mensagem. A biblioteca serial permite ler cada byte enviado separadamente, sendo dessa forma possível analisar cada componente da mensagem. O código possui registrada na memória a construção de cada mensagem, e ao receber um comando, o programa verifica pelo checksum se a mensagem apresenta algum erro e em seguida identifica a instrução que deve ser executada. Ao identificar a mensagem, o código cria um array de bytes que corresponde à resposta solicitada pelo host. Por exemplo, quando forem solicitadas as coordenadas da posição do retículo, o código utiliza um array de bytes padrão salvo na memória como base para construção da resposta e os bytes específicos responsáveis por carregar a informação das coordenadas são substituídos pelos valores salvos na memória do microcontrolador. Ao final do processo, o checksum é calculado e a mensagem é enviada.

i Código do Retículo

A biblioteca implementada para controlar a câmera permite ao usuário criar uma sobreposição de imagens por meio da função "add overlay". Dessa forma, foi projetada uma imagem matricial transparente com mesma resolução analisada na seção 1, como ilustrado na imagem a seguir.

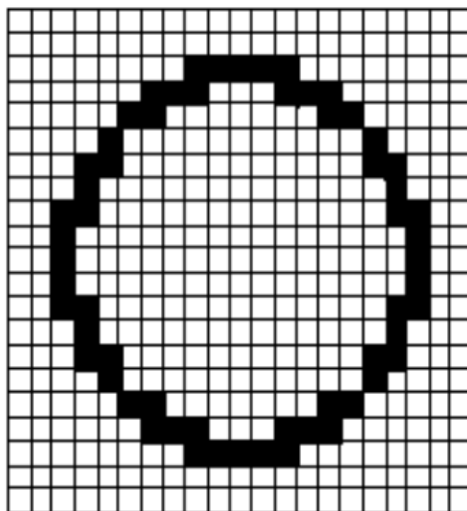


Figura 21: Exemplo de imagem matricial. Imagem Disponível em [9].

Cada elemento dessa imagem gerada pode ser controlado, sendo assim é possível alterar a cor e intensidade de cada elemento que compõe essa matriz de modo a formar o desenho de um retículo. O protótipo do primeiro retículo é mostrado figura22:



Figura 22: Imagem do primeiro teste do retículo.

Nessa perspectiva, é possível mover o retículo ao longo da imagem, transladando a imagem do retículo. Considerando que cada elemento é organizado em uma matriz bidimensional, onde cada elemento ocupa uma posição específica, determinada por coordenadas x e y , ao se realizar um movimento de translação da imagem, todos os elementos que compõem a imagem são deslocados em relação ao sistema de coordenadas. Esse deslocamento pode ser feito em qualquer direção horizontal ou vertical.

Para realizar o movimento de translação, é necessário percorrer todos os elementos da posição atual do retículo e atribuir suas informações para as novas posições na imagem deslocada. O processo envolve criar uma imagem sobreposta com as mesmas dimensões da imagem original e em seguida, copiar os valores das coordenadas da imagem original para suas novas posições na matriz deslocada. Por exemplo, se deseja-se mover uma imagem 5 unidades para a direita, cada elemento da imagem original será copiado para uma nova posição na matriz deslocada, onde a coordenada x será incrementada em 5 unidades em relação à posição original. É importante notar que, durante o processo de translação, podem ocorrer casos em que a nova

posição de um elemento ultrapasse os limites da matriz deslocada, condição que é tratada pelo código.

4 Projeto Mecânico

O projeto mecânico deve atender a três finalidades: a primeira, é acomodar de forma adequada e segura a placa de circuito desenvolvida e o microcontrolador, a segunda é possuir uma interface de encaixe do pino da arma, para fixação adequada no cano da arma do sistema; por fim, promover uma estrutura de fixação para a lente, com o objetivo de garantir um funcionamento preciso do sistema.

A interface mecânica será responsável por abrigar todo o projeto eletrônico, portanto ele deve proteger os componentes eletrônicos e ópticos do meio externo. Em relação à placa de circuito e ao microcomputador, a estrutura mecânica deve ter as dimensões adequadas para acomodar esses componentes de forma segura e estável. A PCI, por exemplo, deve ter um local específico com fixações adequadas para evitar movimentos indesejados ou danos durante o uso.

O projeto mecânico precisa ter um sistema de acoplamento para pinos de diferentes valores de diâmetro. O projeto deve ser versátil o suficiente para ser acoplado em diferentes modelos de torres de defesa. Os valores de armamentos usados recorrentemente são os calibres de 12,7 mm e 7,62 mm. Mesmo que esses pinos apresentem diferentes diâmetros, foi observado nos modelos disponíveis para análise que, geralmente, eles apresentam um valor padrão de diâmetro na sua ponta, justamente para padronizar o sistema de fixação do colimador, sendo esse diâmetro aproximadamente 12 mm. Dessa forma, o projeto poderá ser usado em diferentes sistemas de armamento, desde que utilize esse valor de 12 mm como referência, reduzindo dessa forma a complexidade do sistema mecânico.

A estrutura mecânica também deve ser projetada para permitir o encaixe da lente. Como citado nas seções anteriores, a lente usa um encaixe M12, portanto a carcaça deve possuir um encaixe de rosca adequado para o tamanho M12, para garantir uma boa fixação.

a Modelo 3D do Projeto Mecânico

O modelo 3D do projeto foi desenvolvido utilizando o SolidWorks, um software de modelagem CAD (Computer-Aided Design) amplamente utilizado na indústria para criar modelos virtuais 3D de peças e montagens.

O SolidWorks oferece uma série de recursos que são particularmente úteis para a prototipagem. Com o software, é possível criar modelos precisos e realistas das peças e montagens do produto desejado. O ambiente de modelagem tridimensional do SolidWorks permite que os designers criem geometrias complexas, apliquem restrições e simulem o comportamento físico das peças.

As imagens do protótipo 3D desenvolvidos através do Solidworks são mostradas a seguir:

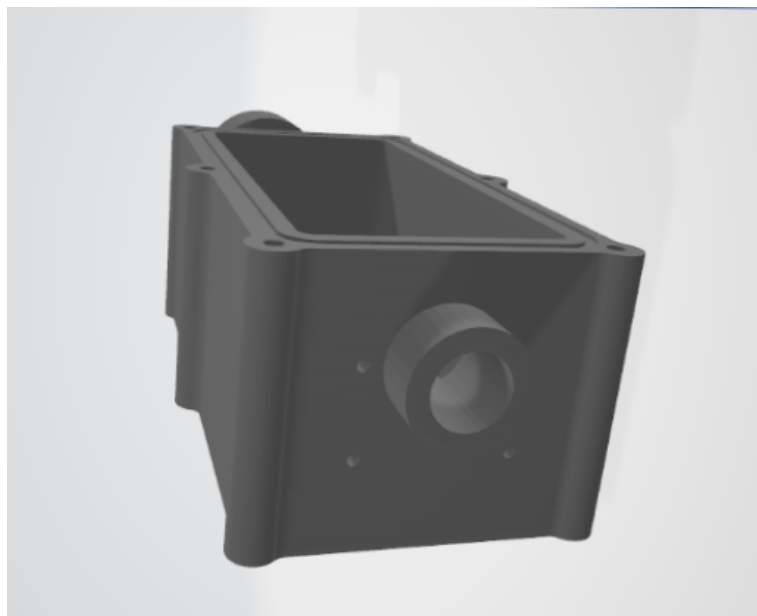


Figura 23: Projeto mecânico inicial. Imagem gerada através do SolidWorks.

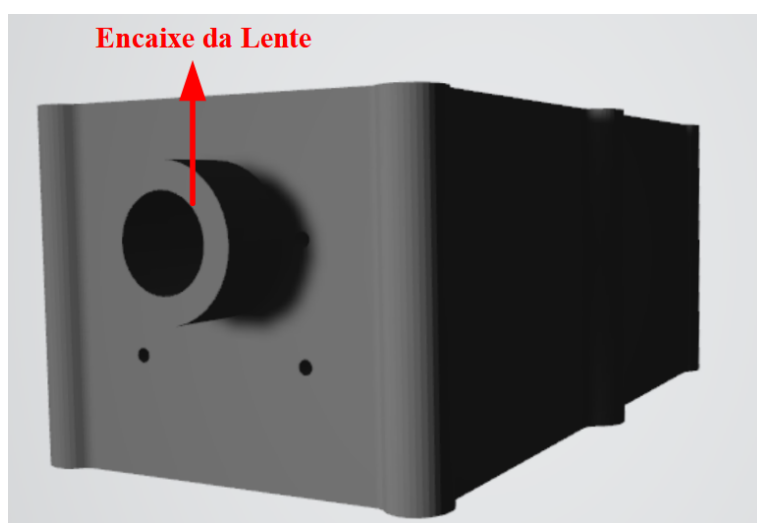


Figura 24: Projeto mecânico: interface de acoplamento do pino da arma. Imagem gerada através do SolidWorks.

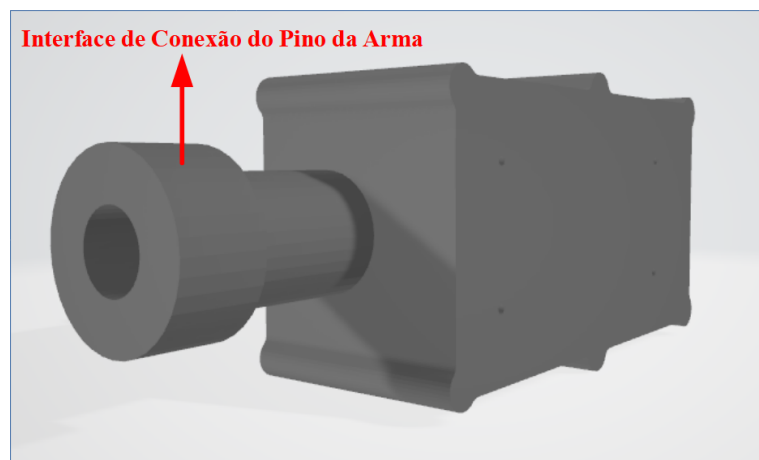


Figura 25: Projeto mecânico: encaixe da lente. Imagem gerada através do SolidWorks.

b Impressão 3D do Projeto Mecânico

Com o objetivo de acelerar o processo de testes da interface foi desenvolvido um protótipo utilizando a impressão 3D. O modelo 3D usado como referência para a impressão foi o mesmo discutido no capítulo anterior. Esse processo também é conhecido como manufatura aditiva, sendo um processo de fabricação que permite criar objetos físicos tridimensionais camada por camada, a partir de um modelo digital. Para mais informações consulte o livro de referência [15]. Esse protótipo abarca os elementos necessários para integração do sistema citado anteriormente;

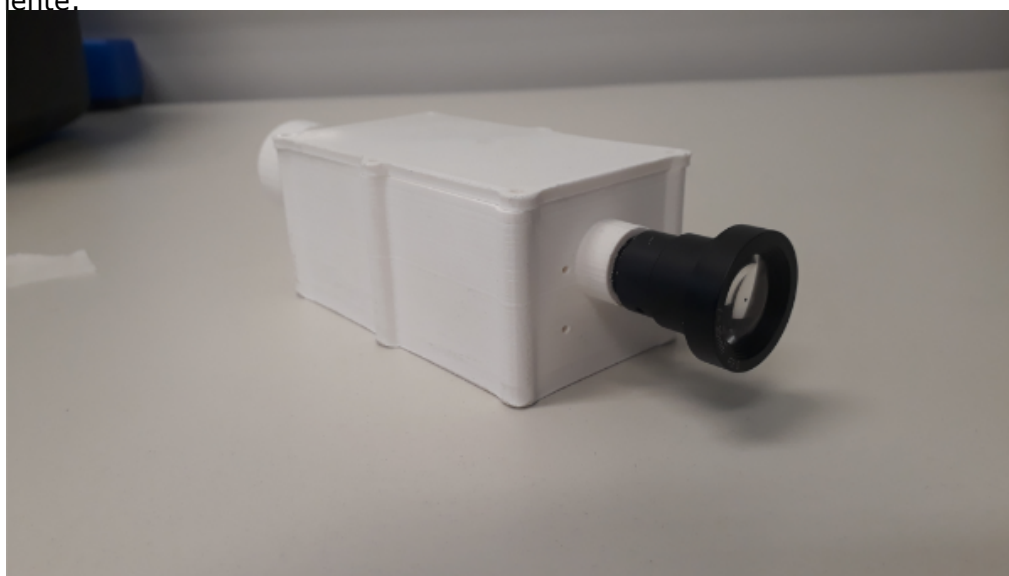


Figura 26: Protótipo do projeto mecânico. Fabricado em impressão 3D.

5 Integração

O projeto eletrônico, ou seja, a PCI e o microcontrolador, deve ser montado e devidamente fixado dentro do suporte mecânico, detalhado na seção ref . A lente de 35 mm deve ser fixada no encaixe M12 e a tampa do corpo deve estar fechada com parafusos.

a Cabo de Conexão

A conexão entre o colimador e a torre ocorre através de um cabo de conexão. Esse cabo é responsável por transmitir todos os sinais de comunicação, o sinal de vídeo gerado pelo colimador e a tensão de alimentação do colimador. O desenho esquemático do mesmo é na figura 27:

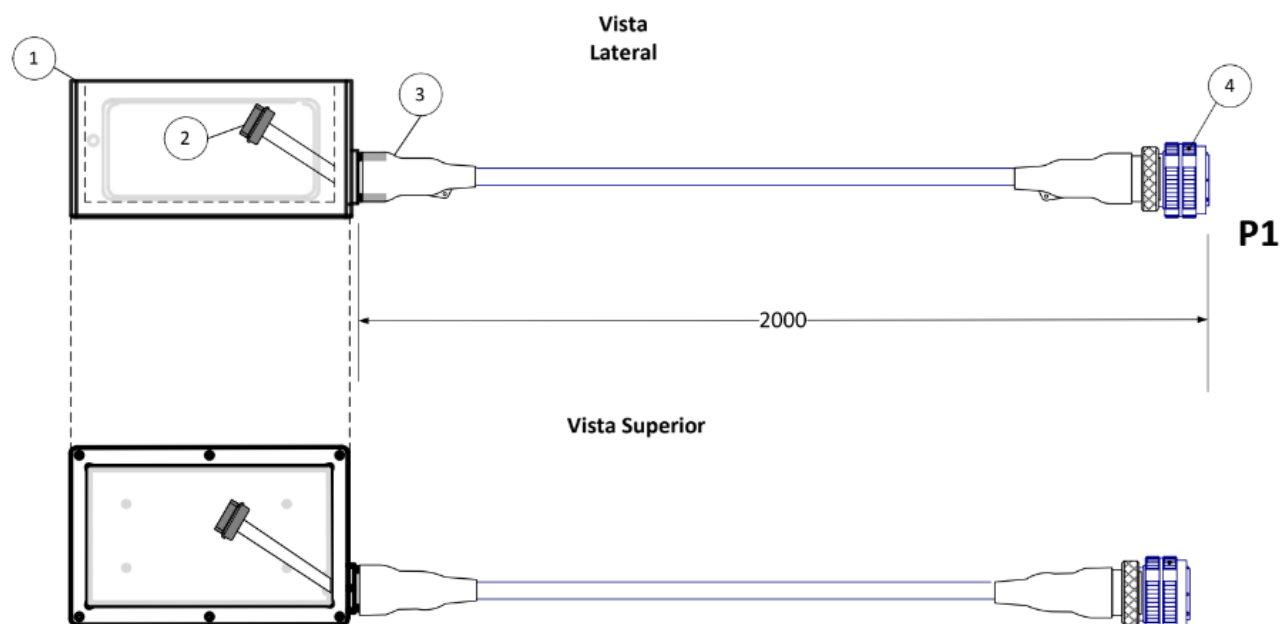


Figura 27: Desenho esquemático do cabo. esquema desenvolvido pelo autor.

- 1: interface mecânica
- 2: conector molex de 12 pinos
- 3: termo retrátil de proteção
- 4: O conector circular MIL-DTL-38999

O conector circular MIL-DTL-38999, em específico, é amplamente utilizado em aplicações militares e industriais que exigem alta confiabilidade e durabilidade. Ele é projetado para suportar ambientes hostis, como aqueles encontrados em equipamentos militares, aeroespaciais e industriais. Este conector se conecta ao receptáculo da torre, que também é da série MIL-DTL-38999, e a figura 28 ilustra a conexão.



Figura 28: Conexão entre a torre e o colimador.

6 Resultados dos testes

a Teste Campo de Visão

Para esse teste utilizou-se um dispositivo de suporte que permite a rotação da plataforma em dois planos perpendiculares, um referente ao campo de visão horizontal e o outro referente ao vertical, em conjunto com um inclinômetro para as medições angulares. O teste procedeu da seguinte forma: primeiramente um alvo a 50 m é centralizado no vídeo do colimador, em seguida rotaciona-se o plano horizontal até que o objeto desapareça do vídeo, consequentemente o inclinômetro indicará como resultado o valor do campo de visão, por fim o procedimento é repetido para o plano vertical. Após cinco repetições desse procedimento, a média dos resultados foram:

- 1: Campo de visão horizontal: $2,82^\circ$
- 2: Campo de visão horizontal: $2,10^\circ$

O que representa um resultado satisfatório, uma vez que os valores de referência nos requisitos eram $2,6^\circ$ (horizontal); $2,0^\circ$ (vertical). Por se tratar de uma diferença relativamente pequena, é possível tratá-la via software aplicando um zoom digital, sem perdas significativas de resolução.



Figura 29: Configuração do teste de campo de visão.

b Teste de Transmissão do Vídeo

Esse teste tem como objetivo avaliar a qualidade da imagem gerada pelo colimador e o funcionamento do retículo.

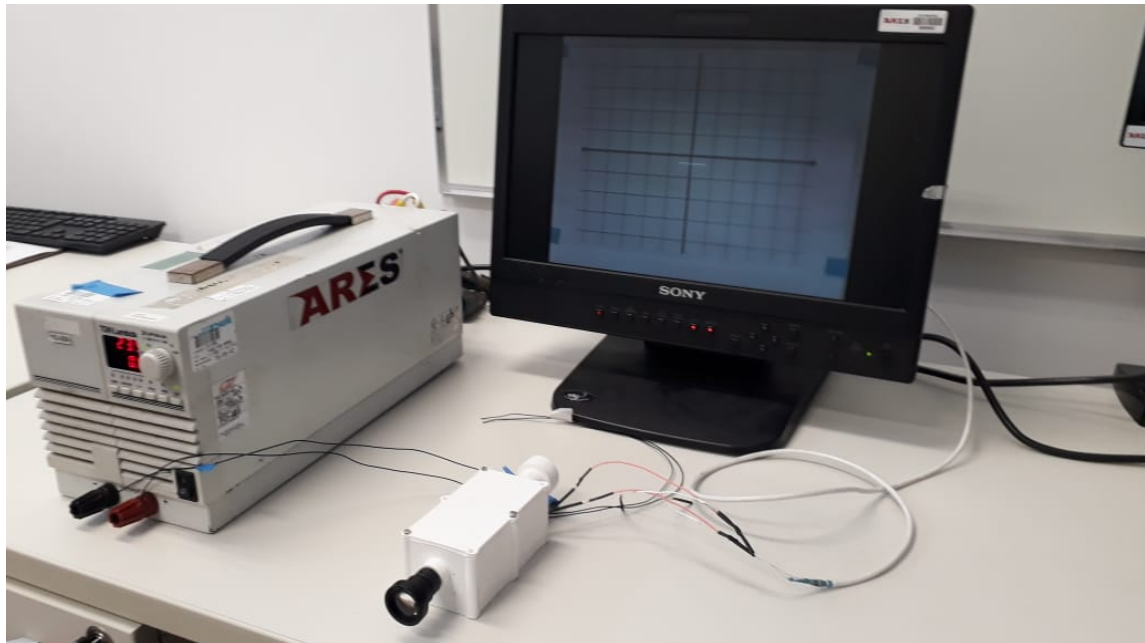


Figura 30: Configuração do teste de Transmissão de Vídeo.

A imagem gerada pelo microcontrolador não apresentou nenhuma distorção e o retículo respeitou os limites horizontais e verticais impostos.

c Teste de Transmissão de dados via RS485

Neste teste específico, o colimador está sendo avaliado com o objetivo de responder adequadamente a cada mensagem enviada pela torre 1. A comunicação bidirecional entre a torre e o colimador é fundamental para garantir que as informações, comandos e ajustes necessários sejam devidamente transmitidos e compreendidos por ambas as partes. Adicionalmente, ele deve efetuar o checksum e invalidar o comando caso o valor do checksum esteja incorreto. Não houve problemas de comunicação durante o teste, a configuração desenvolvida no capítulo f funcionou corretamente.

7 Conclusão

A elaboração do presente estudo proporcionou uma análise mais profunda sobre como componentes de custo reduzido, consequentemente mais acessíveis, podem ser usados para o desenvolvimento de um Colimador Digital, que incorpora um programa de comunicação (via protocolo RS485) simples e robusto com recursos de controle de imagem. Além disso, a acessibilidade dos componentes eletrônicos utilizados no desenvolvimento desse colimador digital contribui para demonstrar que essa tecnologia pode ser acessível a um maior número de usuários, permitindo que seja utilizada em diferentes cenários e aplicações.

A flexibilidade e poder de processamento do modelo de microcomputador escolhido oferece recursos avançados de controle da câmera, o que permite uma ampla gama de aplicações no controle do vídeo gerado. Essas funcionalidades podem ser exploradas para melhorar a exatidão e a facilidade de uso do colimador digital, como foi o caso da reprodução do retículo sobre a imagem. Essa versatilidade permite adicionar recursos adicionais, como análise de imagem em tempo real, acompanhamento automático de objetos e calibração automatizada em possíveis aprimoramentos futuros para o projeto.

Assim, o objetivo proposto neste projeto, desenvolver um protótipo de colimador digital, foi alcançado. Por meio dos testes propostos, tanto os testes relativos à comunicação e ao vídeo, foi constatado que o colimador desenvolvido apresentou um desempenho similar aos modelos já estabelecidos no mercado, com algumas correções e ajustes que podem ser feitos através do software. Vale ressaltar que pela natureza do projeto, o mesmo ficará exposto em ambientes militares, onde os equipamentos estão expostos a condições extremas e situações adversas, e nesse sentido é crucial garantir que o projeto mecânico seja robusto e capaz de resistir a essas condições desafiadoras. Assim, existe uma necessidade de revisar o projeto mecânico e utilizar materiais mais rígidos e resistentes nas versões futuras.

References

- [1] "Army reserve soldiers conduct operator new equipment training at fort mccoys," ARMY RESERVE, last accessed 27 June 2023. [Online]. Available: <https://www.usar.army.mil/News/News-Display/Article/2585410/army-reserve-soldiers-conduct-operator-new-equipment-training-at-fort-mccoys/>
- [2] "Advanced weapon boresight - awbs," CI Systems, last accessed 12 June 2023. [Online]. Available: <https://www.ci-systems.com/Advanced-Weapon-Boresight----AWBS>
- [3] R. Awati, "field of view (fov)," 2023, last accessed 02 June 2023. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/field-of-view-FOV>
- [4] M. C. L. S. DIANE BERKENFELD, NIKON AMBASSADOR DAVE BLACK, "Understanding focal length," last accessed 5 2023. [Online]. Available: <https://www.nikonusa.com/en/learn-and-explore/a/tips-and-techniques/understanding-focal-length.html>
- [5] "Bcm4916 quad-core arm v8 cpu 10gb network processor," BROADCOM, last accessed 12 June 2023. [Online]. Available: <https://docs.broadcom.com/doc/4916-PB1XX>
- [6] "Camera serial interface (csi-2) sensors in embedded designs," electronicproducts, last accessed 12 June 2023. [Online]. Available: <https://www.electronicproducts.com/camera-serial-interface-csi-2-sensors-in-embedded-designs/>
- [7] *LM2596 SIMPLE SWITCHER.*, Texas Instruments.
- [8] *±15kV ESD-Protected, Slew-Rate-Limited, Low-Power, RS-485/RS-422 Transceivers.*, Maxim integrated.
- [9] "Computação gráfica - representação de imagens," univasf, last accessed 10 April 2023. [Online]. Available: http://www.univasf.edu.br/~jorge.cavalcanti/comput_graf03_rep_img_hw.pdf
- [10] "Boresight," INFRAMET, last accessed 5 April 2023. [Online]. Available: <https://www.inframet.com/eboresighting.htm/>
- [11] *Technical Requirements Specifications for Boresight Camera.*, Elbit Systems.
- [12] A. Devices, "Understanding analog video signals," 2002, last accessed 02 June 2023. [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/technical-articles/understanding-analog-video-signals.html>
- [13] *Characteristics of 28 Volts DC input power to utilization equipment in military vehicles.*, Department of Defense United States of America.
- [14] "Conceitos básicos de rs485 e rs422," Novus, last accessed 5 April 2023. [Online]. Available: <https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/conceitos%20b%C3%A1sicos%20de%20rs485%20e%20rs422.pdf>
- [15] J. Wild, *L^AT_EX: 3D Printing 101*. Addison-Wesley Professional, 2019.