

**SISTEMA DE MAPEAMENTO EM ÁREAS EXTERNAS
PARA DETECÇÃO E ACIONAMENTO DE OBJETOS
UTILIZANDO PLATAFORMA MÓVEL**
Relatório Final do Projeto WBM-ORBSLAM2

Autores:

Aziel Martins de Freitas Júnior
Leonardo Mendes de Souza Lima
Miguel Felipe Nery Vieira

Orientadores:

Marco Reis
Rebeca Tourinho
Tiago Souza

**Salvador
Bahia, Brasil**

Dezembro de 2020

Título: Sistema de mapeamento em áreas externas para detecção e acionamento de objetos utilizando plataforma móvel	
PROD. TEC. BIR - 003 / 2020	Versão
Classificação: () Confidencial (X) Restrito () Uso Interno () Público	01

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o BIR e Senai Cimatec.

Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da área.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de pesquisadores que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por pesquisadores e parceiros.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Aziel Martins de Freitas Júnior Leonardo Mendes de Souza Lima Miguel Felipe Nery Vieira	
000	
Marco Reis Rebeca Tourinho Tiago Souza	
Sistema de mapeamento em áreas externas para detecção e acionamento de objetos utilizando plataforma móvel Salvador Bahia, Brasil Dezembro de 2020	
Keywords: 1. Ground Vehicle. 2. SLAM. 3. Autonomous. 4. Manipulator.	000

SUMÁRIO EXECUTIVO

O projeto WBM-ORB-SLAM2, também conhecido como **Sistema de mapeamento em áreas externas para detecção e acionamento de objetos utilizando plataforma móvel** se configura sob o Programa de Formação de Novos Talentos do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Departamento Regional da Bahia - Senai/DR/BA, sendo este o principal fomentador do programa. O principal impulsor do mesmo é a formação de novos pesquisadores aptos para desenvolver soluções que envolvam robótica e sistemas autônomos.

O projeto teve início técnico no dia 04 de novembro de 2020.

O prazo de execução planejado foi de 30 dias.

RESUMO

O presente relatório refere-se à solução da equipe Cuca para o projeto WBM-ORBSLAM2 proposto pelo Laboratório de Robótica e Sistemas Autônomos do Senai Cimatec. Para o desenvolvimento deste projeto é esperado o uso do ORB-SLAM2 aliado ao uso de uma camera estéreo *MyntEye* para desempenhar a função de localização e mapeamento simultâneos (*SLAM*) e um sensor LiDAR *Quanergy M8* para *obstacle avoidance*. O desafio proposto envolve criar uma solução para o problema de fazer o robô *Warthog* mapear e explorar a região, encontrar uma bomba sem potencial destrutivo, aproximar-se da mesma e em seguida realizar o desarme através do manipulador JeRoTIMON integrado à plataforma. O conteúdo desenvolvido, assim como os desafios encontrados e as lições aprendidas, estão contidos neste documento.

ABSTRACT

This report refers to Cuca team's solution for the WBM-ORBSLAM2 project proposed by Senai Cimatec Robotics and Autonomous Systems Center. For the development of this project, the use of ORB-SLAM2 is expected with a stereo camera MyntEye to perform the simultaneous localization and mapping function (SLAM) and a LiDAR sensor Quanergy M8 for obstacle avoidance. The proposed challenge involves creating a solution to the problem that is to make the Warthog robot able to map and explore the region, find a bomb without destructive potential, approach it and then carry out the disarming through the JeRoTIMON manipulator integrated into the platform. The developed content, as well as the challenges found and the lessons learned are contained in this document.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Warthog e dispositivos integrados.	16
Figura 2:	<i>Access point</i> MIKROTIK.	17
Figura 3:	MyntEye S1030-IR/Mono.	17
Figura 4:	Quanergy M8.	18
Figura 5:	Imagens negativa e positiva, lado a lado.	20
Figura 6:	Teste do classificador, para a detecção e obtenção da distância focal da câmera.	20
Figura 7:	Bomba detectada por meio do classificador Haar Cascade.	21
Figura 8:	RViz exibindo nuvem de pontos do ORB-SLAM2 e mapeamento.	22
Figura 9:	Mapa gerado pelo ORB-SLAM2 a partir da bag <i>kitti</i> .	23
Figura 10:	Mapa gerado por ORB-SLAM2 em corredor.	24
Figura 11:	<i>Features</i> capturados por ORB-SLAM2 em corredor.	24
Figura 12:	<i>Pointcloud</i> de saída do sensor Quanergy M8 em corredor.	25
Figura 13:	Mapa gerado por ORB-SLAM2 em área externa ao CIMATEC 4.	26
Figura 14:	<i>Features</i> capturados por ORB-SLAM2 em área externa ao CIMATEC 4.	26
Figura 15:	<i>Pointcloud</i> de saída do sensor Quanergy M8 em área externa ao CIMATEC 4.	27
Figura 16:	Posições utilizadas para câmera MyntEye.	28
Figura 17:	<i>Features</i> capturados por ORB-SLAM2 em área externa ao CIMATEC 4 com a configuração 16b para câmera MyntEye.	29
Figura 18:	Mapa projetado a partir do OctoMap.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lições aprendidas.	31
------------------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AGM Absorbent Glass Mat

DoF Degrees of Freedom

FOV Field of View

FPS Frames per Second

IMU Inertial Measurement Unit

LiDAR Light Detection and Ranging

NUC Next Unit of Computing

ROS Robot Operating System

SDK Software Development Kit

UGV Unmanned Ground Vehicle

SLAM Simultaneous Localization and Mapping

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	11
1.2 Justificativa	11
1.3 Organização do relatório	11
2 CONCEITO DO SISTEMA	13
2.1 Parâmetros básicos	13
2.1.1 Requisitos do cliente	13
2.1.2 Requisitos técnicos	13
2.1.3 Estudo do estado da arte	13
2.1.4 Ambiente de operação	14
3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	15
3.1 Descrição do sistema	15
3.1.1 Especificações técnicas	15
3.1.1.1 Plataforma móvel	15
3.1.1.2 Sistema de potência	16
3.1.1.3 Sistema de comunicação	16
3.1.1.4 NUC (<i>Next Unit of Computing</i>)	17
3.1.1.5 Câmera estéreo	17
3.1.1.6 LiDAR	18
3.1.2 Especificações funcionais	18
3.1.2.1 SLAM	18
3.1.2.2 Detecção e controle de aproximação	19
3.2 Simulação	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1 Resultados alcançados	23
5 GESTÃO DO CONHECIMENTO	31
5.1 Lições aprendidas	31

6 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE A Diagrama Elétrico CUCA	37
APÊNDICE B Diagrama de conexão CUCA	43
ANEXO A Folhas de dados	49
A.1 Warthog	49
A.2 <i>Access point</i>	51
A.3 NUC	53
A.4 Câmera estéreo	56
A.5 LiDAR	62

1 INTRODUÇÃO

O uso de robôs móveis vem se tornando cada vez mais frequente em tarefas consideradas de alto risco para os seres humanos como atividades militares (NARANJO et al., 2020) e indústria nuclear (WANG et al., 2018). Estes mecanismos, dotados de certa inteligência, podem navegar de forma autônoma em ambientes desconhecidos devido aos diversos sensores acoplados à sua estrutura.

O presente documento apresenta o desenvolvimento da integração realizada pela equipe Cuca, utilizando o veículo autônomo *Warthog* da *Clearpath Robotics*, sensores de percepção do tipo LiDAR e câmera estéreo e o manipulador robótico JeRoTIMON¹ no Laboratório de Robótica e Sistemas Autônomos do Senai Cimatec.

1.1 Objetivos

A equipe Cuca teve como objetivos:

1. Pesquisar e implementar em Robot Operating System (ROS) a capacidade de realizar Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) utilizando a biblioteca ORB-SLAM2²;
2. Pesquisar e implementar o uso da câmera MyntEye S1030-IR;
3. Pesquisar e implementar o uso do lidar Quanergy M8;
4. Realizar a detecção de uma bomba no CIMATEC 4;
5. Realizar o desarme desta bomba utilizando o manipulador JeRoTIMON.

1.2 Justificativa

A crescente procura por profissionais no mercado para desempenhar funções de Pesquisa e Desenvolvimento faz com que sejam fundamentais a existência de programas de formação e capacitação em diversas áreas do conhecimento. A atividade detalhada neste documento faz parte do programa de formação Novos Talentos e concomitantemente é uma pesquisa sobre a viabilidade da utilização da biblioteca ORB-SLAM2 em ambientes abertos.

1.3 Organização do relatório

Este documento consiste de 6 capítulos e encontra-se organizado da seguinte forma:

No capítulo 2 estão enumerados alguns parâmetros básicos para o funcionamento dos testes, ambiente de operação, requisitos do cliente e requisitos técnicos.

¹ <https://github.com/Brazilian-Institute-of-Robotics/timon_hm_manipulator>

² <https://github.com/raulmur/ORB_SLAM2>

O desenvolvimento da pesquisa realizada, características dos sensores utilizados e a implementação dos mesmos são detalhados no capítulo 3.

O capítulo 4 traz os resultados alcançados e as discussões geradas a partir das dificuldades observadas.

As lições aprendidas durante o desenvolvimento deste projeto podem ser encontradas no capítulo 5.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas e sugestões para futuras pesquisas.

2 CONCEITO DO SISTEMA

2.1 Parâmetros básicos

Os direcionamentos básicos do projeto são abordados nessa seção, bem como são especificados os requisitos do cliente e os requisitos técnicos necessários para o seu desenvolvimento.

2.1.1 Requisitos do cliente

1. A plataforma móvel utilizada será *Warthog*¹ da Clearpath Robotics;
2. Desenvolvimento de **SLAM** utilizando a biblioteca ORB-SLAM2;
3. O **SLAM** deve ser utilizado num cenário não explorado anteriormente e contar com as funcionalidades:
 - a) *mapping*;
 - b) *localization*;
 - c) *path planning*;
 - d) *trajectory*;
 - e) *obstacle avoidance*.
4. A missão de procura e desarme da bomba deve ser realizado de forma autônoma;
5. A simulação deverá ser realizada e apresentada para os pesquisadores;
6. Serão concedidas 3 chances para realizar a missão;
7. A solução deverá ser implementada em computador externo ao Warthog.

2.1.2 Requisitos técnicos

Aqui estão listadas as condições (funções e restrições) que caracterizam a solução adotada pela equipe desenvolvedora que permitem acomodar os requisitos do cliente.

1. Utilizar **ROS** Melodic;
2. Utilizar **MoveIt**;
3. Realizar simulação no **Gazebo**;
4. Utilizar um computador portátil para acionamento dos arquivos **.launch** que realizam a exploração e demais tarefas.

2.1.3 Estudo do estado da arte

Nas últimas décadas tem sido crescente o interesse pelo estudo de técnicas de localização e mapeamento para robôs móveis e por consequência disso diversos métodos de **SLAM**

¹ <<https://clearpathrobotics.com/warthog-unmanned-ground-vehicle-robot/>>

encontram-se disponíveis para utilização. Estes, em sua maioria, resolvem o problema a partir de dados obtidos de sensores Light Detection and Ranging (LiDAR) ou câmeras mono e estéreo para percepção do ambiente e localização do robô (FILIPENKO; AFANASYEV, 2018).

O ORB-SLAM foi apresentado em 2015 como uma técnica de SLAM a partir de câmeras monoculares utilizando seus *features* para mapeamento e localização do robô, sendo testado com *datasets* públicos tanto em cenários *indoor* quanto *outdoor*, apresentando precisão na localização de 1 cm para o primeiro e de alguns metros para o segundo (MUR-ARTAL; MONTIEL; TARDOS, 2015).

Entretanto, câmeras monoculares não são capazes de prover informações relativas à profundidade e, além disso, SLAMs monoculares possuem problemas com escala do mapa e podem falhar em movimentos de pura rotação. Como solução a estes problemas, foi apresentado o ORB-SLAM2, o primeiro sistema de SLAM *open-source* para câmeras estéreo e RGB-D, sendo testado em três *datasets* públicos. Os resultados mostraram melhor performance em relação ao ORB-SLAM2 sendo capaz de localizar-se em situações onde o SLAM monocular havia se perdido (MUR-ARTAL; TARDÓS, 2017).

O ORB-SLAM2 funciona por meio de três operações paralelas:

Localização. A localização da câmera no ambiente ocorre por meio de um rastreio de característica das imagens a fim de encontrar correspondência entre as características de um *frame* e os subsequentes, fazendo também uso de *Bundle Adjustment*, que é o refinamento simultâneo de coordenadas tridimensionais que descrevem a geometria da cena, parâmetros de movimento relativo e características ópticas da câmera utilizada na aquisição da imagem.

Mapeamento. Mapeamento local via gerenciamento de mapa local e sua otimização, por meio de *Bundle Adjustment* local.

Loop closing Detecção de caminhos cílicos longos para correção de *drift* acumulado.

2.1.4 Ambiente de operação

A utilização da solução se dará na área externa do CIMATEC 4 e deverá ocorrer na ausência de chuva e em uma faixa de horários onde a luz solar propicie a utilização da câmera estéreo MyntEye S1030-IR².

² <<https://www.mynteye.com/products/mynt-eye-stereo-camera>>

3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

3.1 Descrição do sistema

O sistema é composto de uma plataforma móvel, o robô *Warthog*, da Clearpath Robotics, que carrega consigo sensores em uma estrutura de perfis de alumínio e também um manipulador robótico. Para o desafio a equipe contou com os sensores: câmera estéreo MyntEye S1030-IR/Mono, e LiDAR Quanergy M8. Os fabricantes destes sensores disponibilizaram em pacotes ROS maneiras de obter os dados de saída dos sensores e tornar a informação disponível em tópicos, para futuro uso em outros pacotes.

Além dos sensores, o robô possui um atuador, um manipulador de 5 Degrees of Freedom (DoF) montado de modo a interagir com o objeto que representará uma bomba. Este manipulador foi previamente concebido pela equipe JeRoTIMON em um outro momento do programa de formação do qual este desafio fez parte.

3.1.1 Especificações técnicas

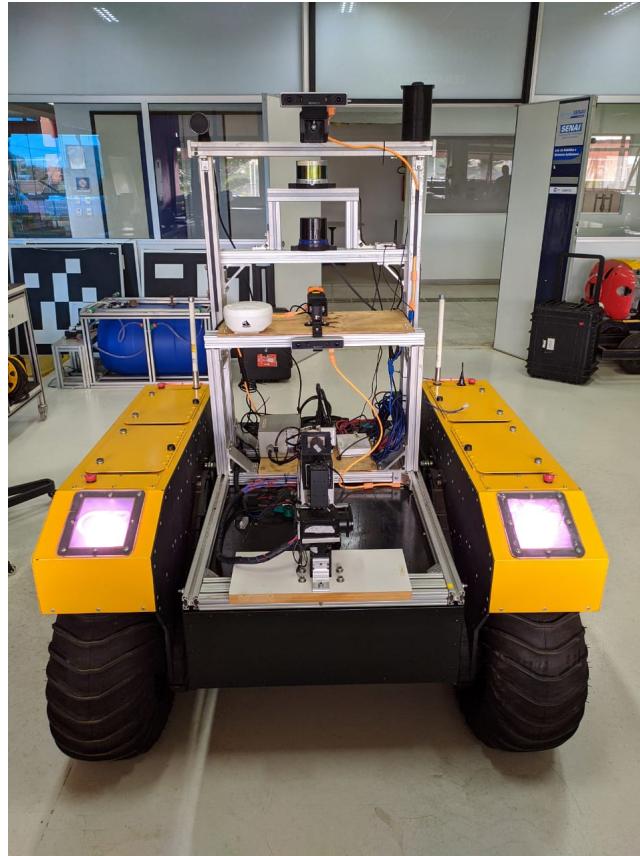
Para realizar a missão segundo as especificações do cliente, o robô deve contar com os dispositivos cujas especificações serão apresentadas a seguir.

3.1.1.1 Plataforma móvel

O *Warthog* da Clearpath Robotics é um veículo terrestre não tripulado, ou Unmanned Ground Vehicle (UGV); de acordo com o anexo A.1 tem $1,52 \times 1,38 \times 0,83 \text{ m}^3$, pesa 280 kg e possui payload de 222 kg. Ele possui saídas de tensão de 12, 24 e 48 V_{DC}. Com respeito à teleoperação, dispõe de um controle joystick e um controle auxiliar para segurança. No seu corpo estão 4 botoes de parada de emergência, sobre cada uma das rodas. Ele também possui um computador onboard contendo ROS Kinetic, Inertial Measurement Unit (IMU) e encoders.

A figura 1 exibe o UGV, os sensores integrados ao mesmo e o manipulador robótico JeROTIMON também integrado à plataforma. Também foi conectado ao roô um Intel Next Unit of Computing (NUC) 5i5RYK, computador onde todos os pacotes externos relacionados ao sistema serão instalados.

Figura 1: Warthog e dispositivos integrados.



Fonte: Autoria própria.

3.1.1.2 Sistema de potência

Toda energia é provida pelas baterias da plataforma móvel e condicionado em níveis de 5, 12, 24 e 48 V. Há 8 baterias de ácido seladas **Absorbent Glass Mat (AGM)**, com capacidade de 105 Ah e tensão de 12 V, cada, acomodadas em dois *packs* dentro do veículo. A solução como um todo necessitará ser energizada em dois níveis de tensão: 24 V para alimentar os motores do manipulador e 12 V para sensor **LiDAR** e o computador NUC. Além disso, a energização da câmera MyntEye é provida via porta USB 3.0, conforme esquema elétrico fornecido no apêndice **A**.

3.1.1.3 Sistema de comunicação

O computador interno do Warthog se comunica com os periféricos externos a ele pelo *access point* MIKROTIK RB951G-2HnD. De acordo com o anexo **A.2**, ele conta com um CPU Atheros AR9344 a 600 MHz, possui 128 MB de memória RAM, 5 portas Ethernet independentes e é alimentado com 12 V_{DC}. Como pode ser visto no apêndice **B**, por meio de suas portas Ethernet o computador interno conecta-se ao **LiDAR** e ao **NUC**. A conexão realizada com a câmera MyntEye é feita através de uma porta USB 3.0 da **NUC**.

Adotou-se acesso por *ssh* para a execução de comandos via terminal entre os computadores envolvidos.

Figura 2: *Access point* MIKROTIK.



Fonte: Autoria própria.

3.1.1.4 NUC (*Next Unit of Computing*)

Os pacotes do [ROS](#) utilizados no atendimento das especificações técnicas foram processados pelo Intel [NUC](#) 5i5RYK. O anexo [A.3](#) exibe que conta com um processador i5-5250U, 16 GB de memória RAM, processador gráfico Intel HD Graphics 6000 e armazenamento em um drive SSD Crucial MX200 de 250 GB.

3.1.1.5 Câmera estéreo

Uma câmera estéreo é um dispositivo baseado na visão animal, possuindo dois ou mais sensores ópticos, localizados a uma distância fixa e que é capaz de avaliar a profundidade de pontos numa cena capturada em uma imagem planar. A simplicidade física do dispositivo é compensada por um grande esforço computacional ([VALSARAJ et al., 2016](#)).

Figura 3: MyntEye S1030-IR/Mono.



Fonte: MyntEye.

A câmera empregada foi MyntEye S1030-IR-120/Mono. Segundo o anexo [A.4](#), ela é monocromática, possui resolução máxima de 752×480 pixels em até 60 [Frames per second](#).

Second (FPS), e sua resolução de profundidade é baseada no processador do computador que a utiliza, alcançando um valor máximo de 752×480 com desvio menor que 4%. Possui **Field of View (FOV)** de 122° horizontal e 76° vertical. Seu amplo campo de visão se deve a lentes *fisheye* porém o seu **Software Development Kit (SDK)** integrado ao **ROS** fornece tópicos de imagem retificadas, ou seja, com a distorção devidamente tratada, tornando a imagem adequada ao processamento subsequente pelo pacote *orb_slam_ros*.

3.1.1.6 LiDAR

Ao emitir *laser* e avaliar o **tempo de vôo** do laser até objetos, um **LiDAR** gera uma **nuvem de pontos** tornando possível estimar a distância de superfícies dentro de um determinado alcance. A quantidade de feixes determina a quantidade de pontos gerados por segundo. A versão com custo-benefício maior tem a fonte de *laser* em constante rotação por meio de um motor, concedendo ao **LiDAR** um sensoriamento em 360° . Há também sensores mais modernos, **LiDAR** de estado sólido, onde é possível que o feixe de *laser* gire sem necessitar de partes móveis (**QUANERGY**, 2020).

Figura 4: Quanergy M8.



Fonte: Quanergy.

Utilizou-se o sensor Quanergy M8. De acordo com o anexo A.5 ele gera uma *pointcloud* feita de pelo menos 420.000 pontos por segundo, utilizando 8 pares de *laser/detector* de com uma resolução angular máxima de $0,03^\circ$ e mínima de $0,2^\circ$, com um alcance de até 150 m.

3.1.2 Especificações funcionais

As funcionalidades do projeto e a sua integração com os dispositivos apresentados anteriormente serão exibidas nesta seção.

3.1.2.1 SLAM

SLAM, em português “localização e mapeamento simultâneos”, é um processo que consiste em estimular um robô a realizar o mapeamento de uma área previamente desconhecida e ao mesmo tempo estabelecer qual a sua localização nesse ambiente. Esse

processo vem sendo pesquisado há algumas décadas e o grande foco de interesse atual é o uso de técnicas que utilizem câmeras como fonte de informação.

A abordagem utilizada aqui é baseada em visão computacional, mais precisamente visão estereoscópica, utilizando a câmera estéreo MyntEye S1030-IR/Mono em conjunto com o algoritmo ORB-SLAM2 e o seu *wrapper* (encapsulamento) para **ROS**, no pacote *orb_slam2_ros*¹. Este pacote representa o mapa do ambiente através de uma *pointcloud* dispersa e provê também a localização atual do robô baseado nos *features* capturados pela câmera.

3.1.2.2 Detecção e controle de aproximação

Além do sistema de **SLAM**, foi proposto para o desafio a identificação de uma bomba sem potencial destrutivo e também a simulação do seu desarme. O funcionamento deste sistema pode ser dividido nas etapas de detecção e cálculo da posição da bomba, movimento para esta posição e finalmente, um controle de aproximação que faz com que o robô estacione em posição ideal para a neutralização do explosivo.

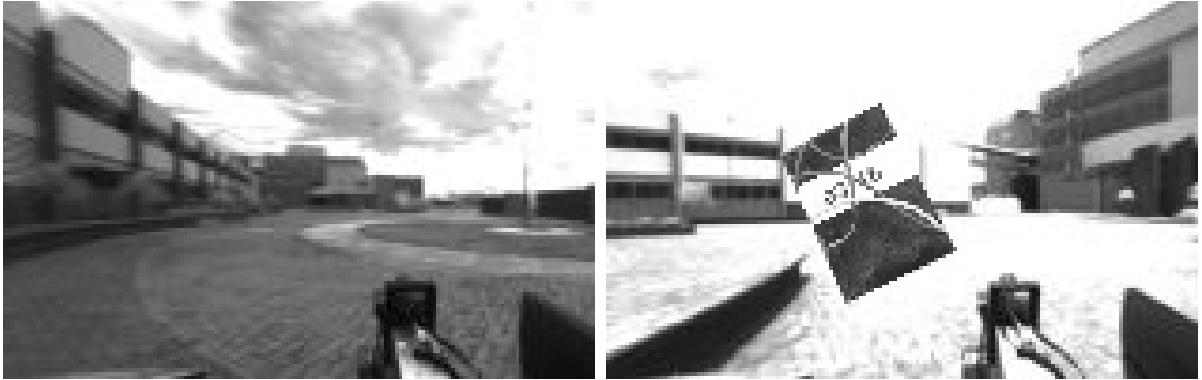
Detecção de objetos usando classificador Haar Cascade. Alternativa escolhida para a detecção da bomba, classificadores *Haar Cascade* treinam uma árvore de decisão em que cada nível classifica um conjunto de características e concluiu se esses atributos representam ou não o objeto escolhido para a detecção.

Cada nível da árvore de decisão é chamado de estágio. Cada estágio é composto por um ou mais classificadores fracos. Esses classificadores fracos são, em geral, treinados com algoritmos baseados em métodos de *boosting*, até que eles atinjam uma taxa mínima de verdadeiros positivos e, ao mesmo tempo, uma taxa máxima de falsos positivos. Um detalhe importante é que os exemplos incorretamente classificados são automaticamente escolhidos para a próxima iteração do algoritmo, com pesos maiores. Ou seja, na próxima iteração, o algoritmo deve dar preferência a acertar os exemplos que ele errou anteriormente (**GUALBERTO, 2018**).

Várias tentativas foram feitas até que um classificador coerente foi gerado. Este classificador foi feito utilizando 1720 fotos positivas e 860 fotos negativas. As fotos negativas foram tiradas no cenário do desafio e as positivas foram geradas por meio de computação gráfica. Para se conseguir tantas fotos negativas, foi gravado um vídeo com a câmera no robô e em seguida este foi transformado em imagens. Uma foto negativa/positiva pode ser observada na Figura 5.

¹ <http://wiki.ros.org/orb_slam2_ros>

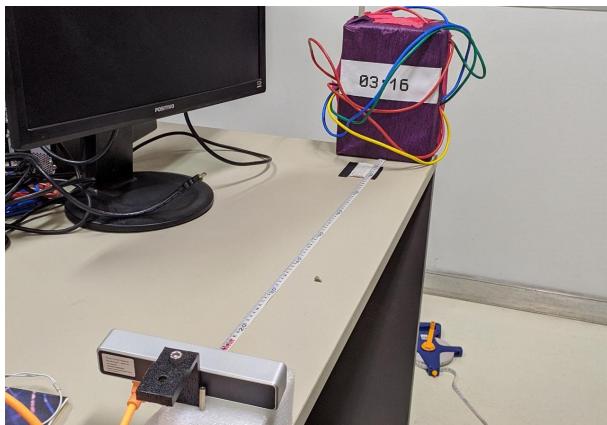
Figura 5: Imagens negativa e positiva, lado a lado.



Fonte: Autoria própria.

Classe de detecção (classes/bomb_detector.py). Para utilizar o classificador *Haar Cascade* treinado, foi desenvolvida uma classe em Python capaz de receber e analisar imagens e retornar resultados. Em sua inicialização, esta classe recebe como parâmetros o classificador *Haar Cascade* e um valor de parâmetro que especifica quantos vizinhos cada retângulo candidato deve ter para detectar o objeto. Neste ultimo, quanto maior o valor, menor as chances de detecção porém é esperada uma maior precisão em sua identificação. Na Figura 6 pode-se observar um teste realizado para comprovar a eficácia da ferramenta de detecção.

Figura 6: Teste do classificador, para a detecção e obtenção da distância focal da câmera.



Fonte: Autoria própria.

De posse da imagem, do classificar e dos parâmetros de detecção, a classe é capaz de detectar possíveis bombas na imagem e em seguida desenhar um quadrado verde em torno dela. Os retornos do método são a imagem pós análise, a resposta verdadeiro ou falso a respeito da detecção, a posição x do centro da caixa desenhada na imagem e a largura da mesma. Na figura 7 é possível ver um teste de detecção realizado com uma foto da bomba

no ambiente esperado pelo desafio.

Figura 7: Bomba detectada por meio do classificador Haar Cascade.



Fonte: Autoria própria.

Controlador de aproximação. Esta é a classe responsável por fazer o controle de aproximação do Warthog e funciona exatamente como um controlador PID. Os parâmetros de inicialização da classe são além das saturações máxima e mínima, os ganhos P, I e D do controlador. Esta classe possui um método que calcula os valores que serão enviados ao tópico `/cmd_vel` do robô, precisando apenas informar o tempo, *setpoint* e o parâmetro de processo que calcula o erro.

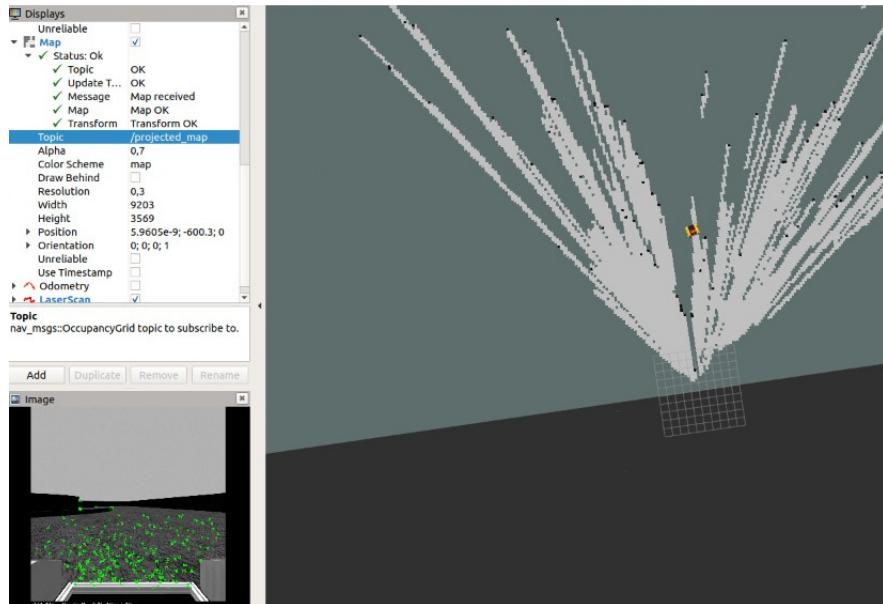
Código de integração entre a detecção da bomba, move_base e o controlador de aproximação. Este código é responsável por integrar a detecção da bomba com o `move_base` padrão do Warthog e a classe de controle de aproximação. O código faz a identificação da bomba e usa o retorno da largura da caixa e a posição do centro da mesma para descobrir a distância (x, y) . Faz isso através do Teorema de Pitágoras usando a distância focal da câmera encontrado no teste da figura 6. Este ponto (x, y) é enviado ao `move_base` como a posição aproximada do explosivo. Ao chegar em uma distância de aproximadamente 5 m, o comando do `move_base` é substituído pelo cálculo da classe de controle, que faz com que o robô se aproxime e estacione próximo e centralizado a câmera. Ao fim das ações, o robô estará parado e centralizado em relação a bomba.

3.2 Simulação

Antes de realizar a integração da solução ao Warthog, o ORB-SLAM2 foi, juntamente com o OctoMap, testado em simulação. Notou-se que a percepção do ambiente não ocorria de forma adequada devido à insuficiência de pontos da nuvem de pontos gerada.

Essa insuficiência por sua vez foi uma consequência do nível de detalhe da imagem em simulação. O assoalho, texturizado, gerou uma nuvem de pontos densa; e as paredes em contrapartida não foram detectadas. Sem coerência no mapeamento de obstáculos e diante da impossibilidade de tornar a imagem mais fiel à realidade, abandonou-se a simulação. Os testes do pacote ORB-SLAM2 foram então conduzidos em *rosbags* de áreas externas e internas.

Figura 8: RViz exibindo nuvem de pontos do ORB-SLAM2 e mapeamento.



Fonte: Autoria própria.

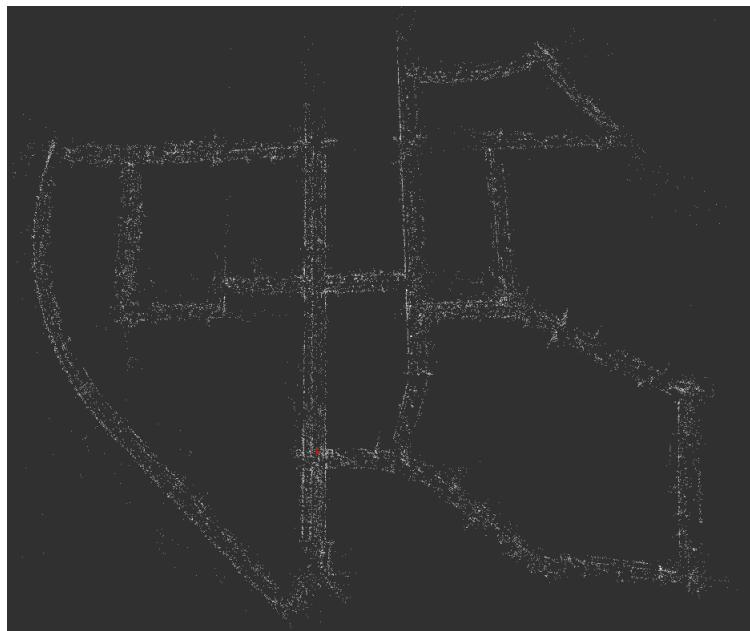
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão exibidos e discutidos os principais resultados obtidos utilizando o ORB-SLAM2 para mapeamento de áreas internas e externas do SENAI CIMATEC, bem como as dificuldades encontradas e as atitudes tomadas em prol de solucioná-las.

4.1 Resultados alcançados

Com a finalidade de validar o método foram realizadas simulações utilizando o pacote *orb_slam_2_ros*¹ e a sequência 00 da bag *kitti_odometry*². A figura 9 exibe a *pointcloud* de saída gerada pelo pacote e o resultado encontrado assemelha-se ao que foi observado em ([MUR-ARTAL; TARDÓS, 2017](#)), de forma que o algoritmo pudesse então ser testado na plataforma móvel Warthog.

Figura 9: Mapa gerado pelo ORB-SLAM2 a partir da bag *kitti*.



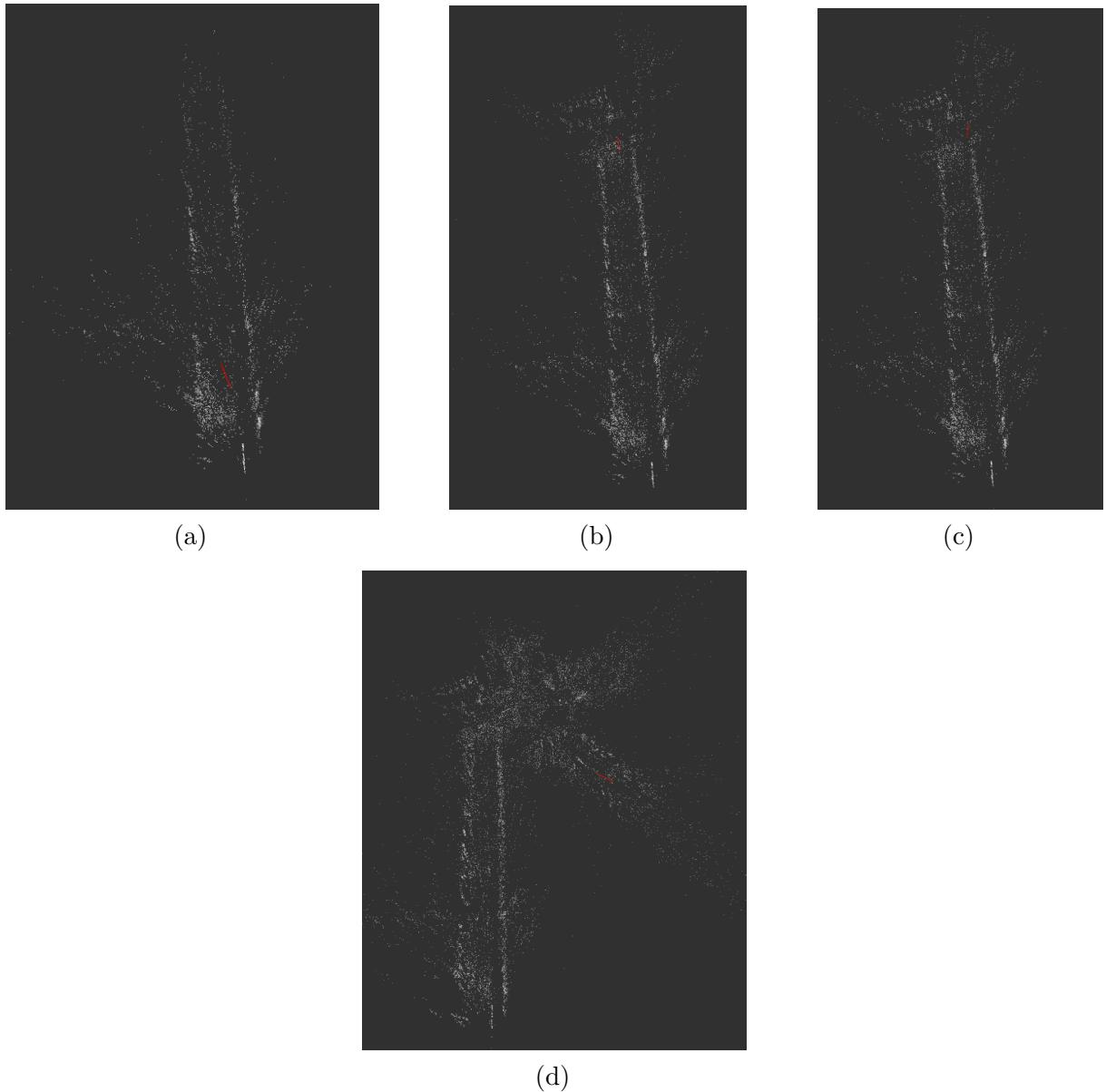
Fonte: Autoria própria.

Para os testes utilizando o robô real, foram passados como entrada para o pacote os tópicos *mynteye/left_rect/image_rect* e *mynteye/right_rect/image_rect* referentes às imagens retificadas da câmera MyntEye. Para detecção de obstáculos no ambiente também foi utilizado o sensor [LiDAR](#) Quanergy M8. A princípio, foram desenvolvidos testes no interior do CIMATEC 1. Nesta situação, o robô segue até o fim de um corredor e retorna pelo mesmo caminho. As figuras 10, 11 e 12 exibem a *pointcloud* de saída do pacote, os features capturados pelo algoritmo e a *pointcloud* gerada pelo [LiDAR](#).

¹ <https://github.com/appliedAI-Initiative/orb_slam_2_ros>

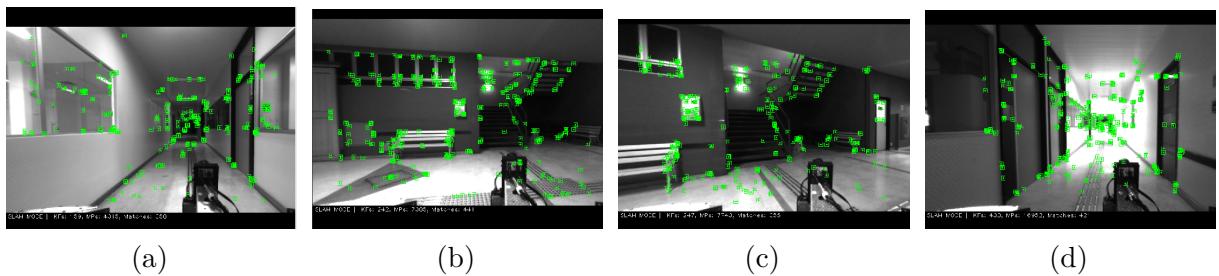
² <http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/eval_odometry.php>

Figura 10: Mapa gerado por ORB-SLAM2 em corredor.



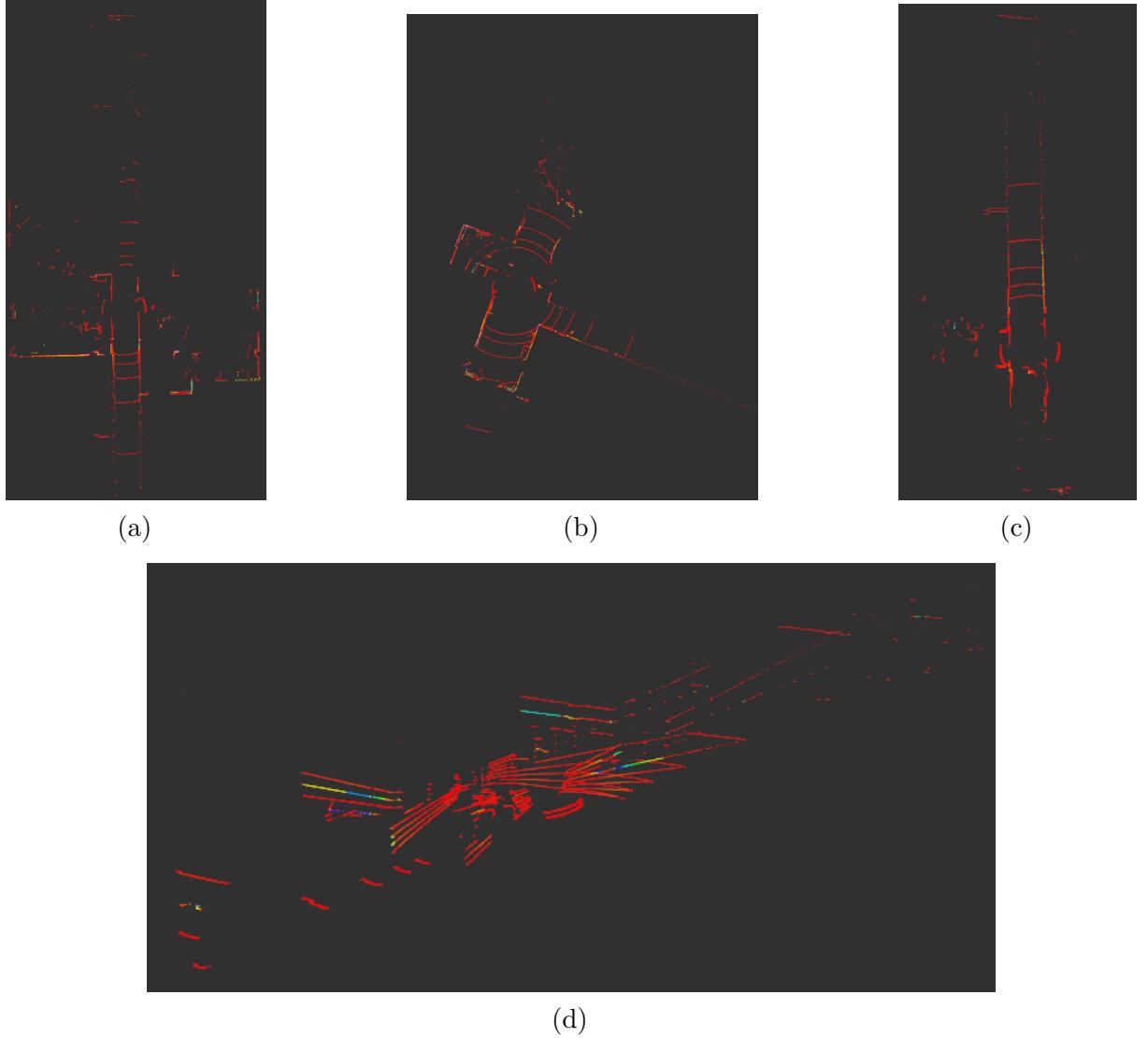
Fonte: Autoria própria.

Figura 11: *Features* capturados por ORB-SLAM2 em corredor.



Fonte: Autoria própria.

Figura 12: *Pointcloud* de saída do sensor Quanergy M8 em corredor.

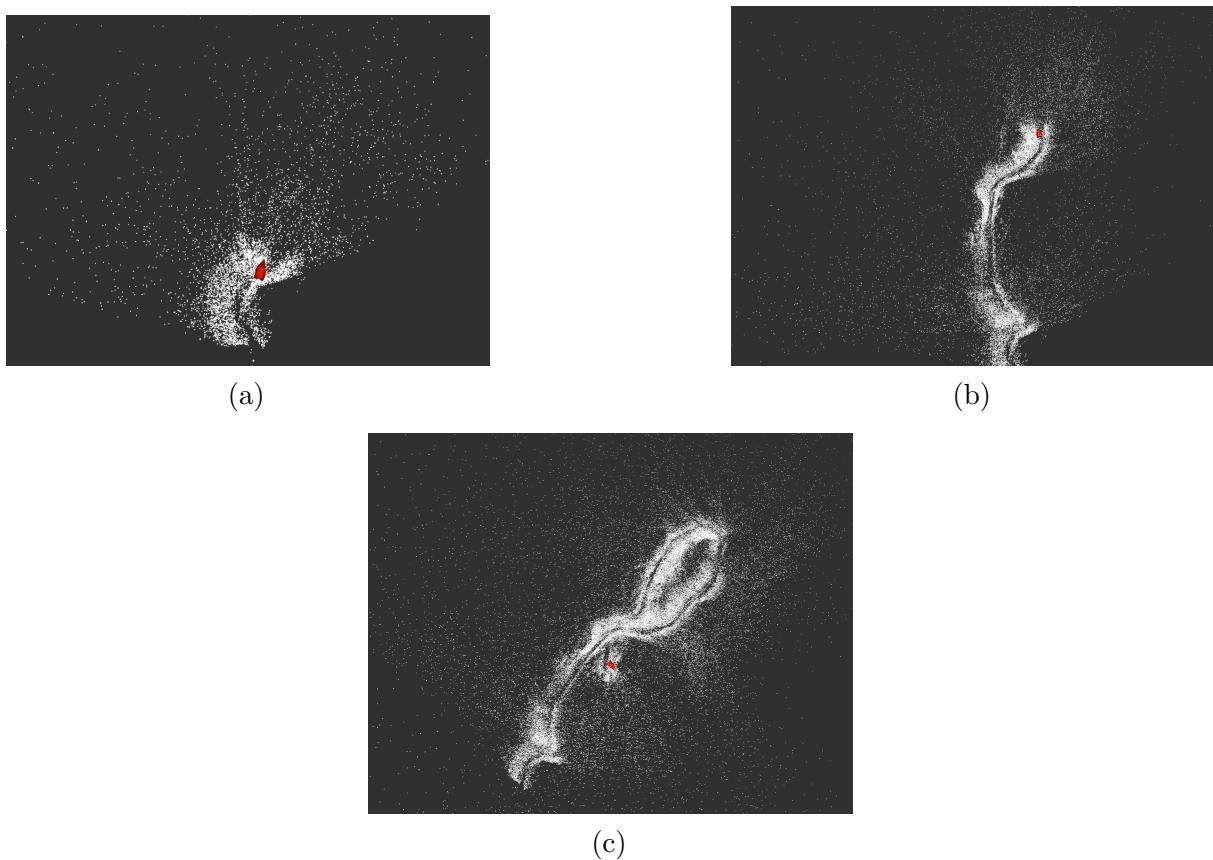


Fonte: Autoria própria.

Observa-se que durante o seu retorno é criado um corredor inexistente, conforme Figura 10d resultando em uma falha de localização, provavelmente ocasionada pela grande quantidade de janelas de vidro presentes no corredor, o que faz com que o algoritmo encontre dificuldades para localizar-se. Apesar disso, conforme figura 11, o pacote apresenta uma boa captura de *features* resultando assim em um mapa bastante semelhante ao real, levando em consideração apenas o percurso de ida, apresentado na Figura 10c. É observado também a capacidade do sensor **LiDAR** de detectar obstáculos a uma grande distância do robô, destacando paredes e salas presentes no seu percurso, evidentes na Figura 12.

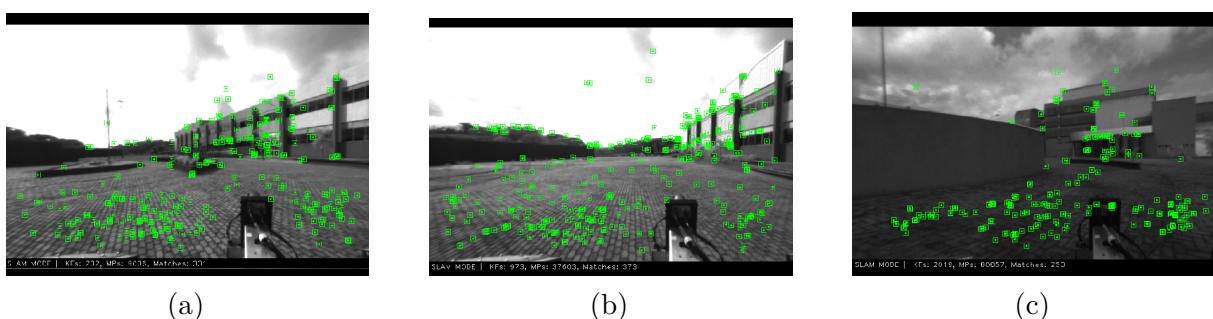
Em sequência, testes foram realizados no cenário oficial da missão, a área externa do CIMATEC 4. As figuras 13, 14 e 15 exibem a *pointcloud* gerada pelo pacote, os *features* capturados e a *pointcloud* gerada pelo sensor **LiDAR**.

Figura 13: Mapa gerado por ORB-SLAM2 em área externa ao CIMATEC 4.



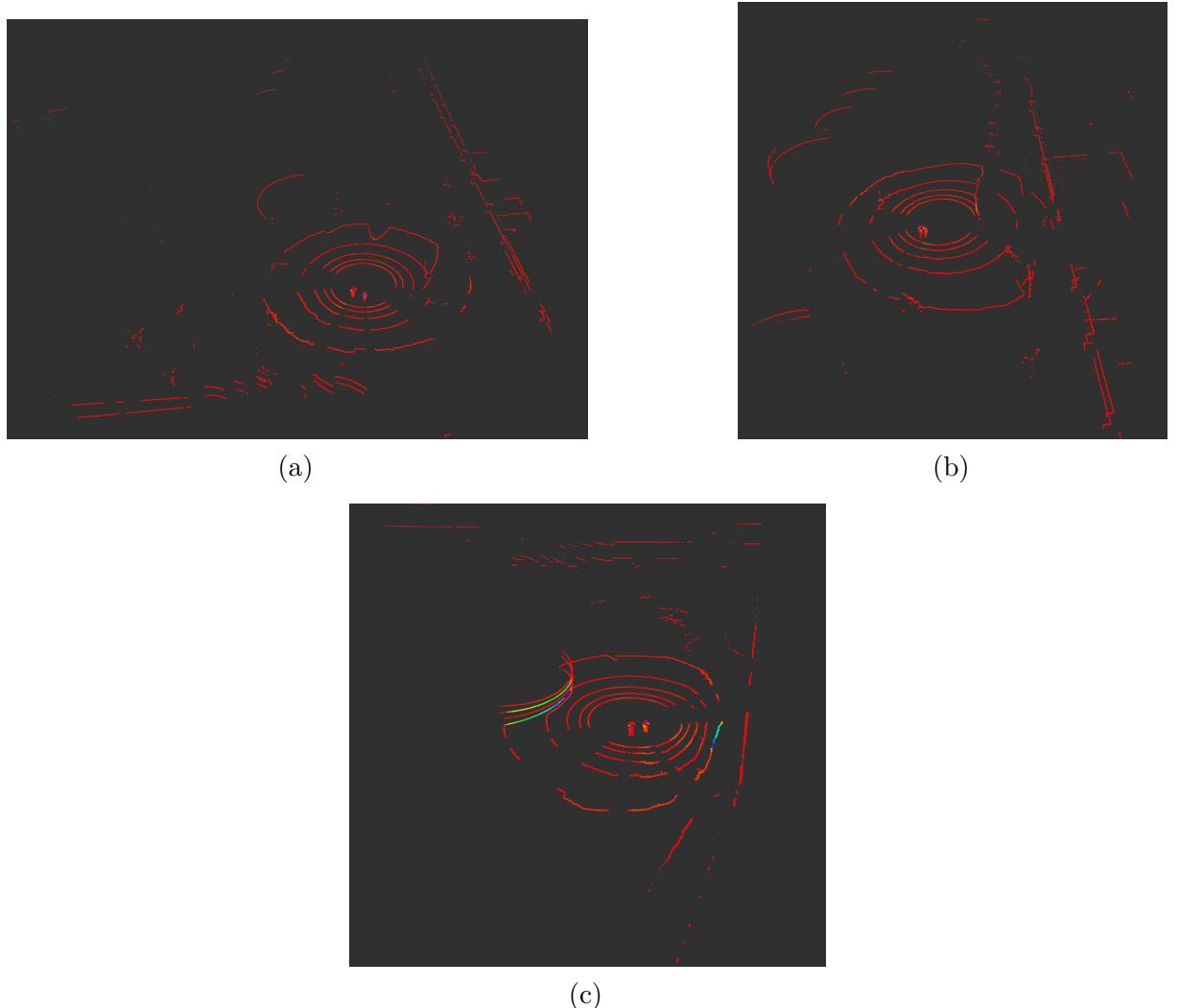
Fonte: Autoria própria.

Figura 14: *Features* capturados por ORB-SLAM2 em área externa ao CIMATEC 4.



Fonte: Autoria própria.

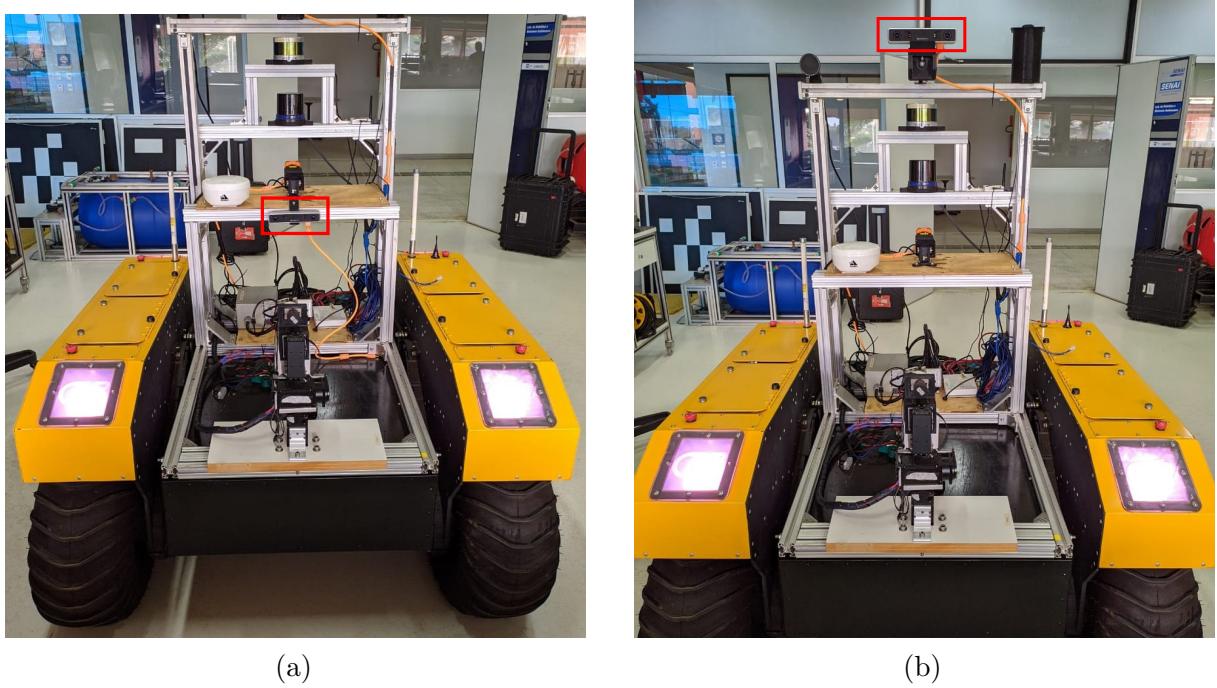
Figura 15: *Pointcloud* de saída do sensor Quanergy M8 em área externa ao CIMATEC 4.



Fonte: Autoria própria.

É notável na figura 13 que para este ambiente o mapa apresenta-se através de uma *pointcloud* bastante dispersa, na qual muitos pontos referentes ao chão são capturados, conforme figura 14. Pode-se observar na figura 14c que em alguns momentos o algoritmo captura *features* referentes ao manipulador robótico acoplado ao veículo, visto que o mesmo encontra-se no campo de visão da câmera MyntEye, podendo acarretar em leituras equivocadas que prejudicariam a qualidade do mapeamento obtido. Como uma forma de solucionar este problema, o posicionamento da câmera MyntEye foi alterado, saindo da posição exibida na figura 16a para a posição exibida na figura 16b.

Figura 16: Posições utilizadas para câmera MyntEye.



Fonte: Autoria própria.

As figuras 9, 10 e 13 evidenciam a saída do pacote *orb_slam_2_ros*: um mapa de pontos no formato *pointcloud*, diferente do formato *occupancy grid* tradicionalmente usado para navegação no ROS. A solução encontrada para resolver este problema foi a utilização do pacote OctoMap³, visto que o mesmo é capaz de gerar uma projeção 2D do tipo *occupancy grid* a partir de uma *pointcloud* de entrada. Para diminuir a quantidade de pontos capturados do chão, que poderiam gerar falsos obstáculos, apenas pontos com valores de z maiores que 0.15 foram passados como *input* para o OctoMap.

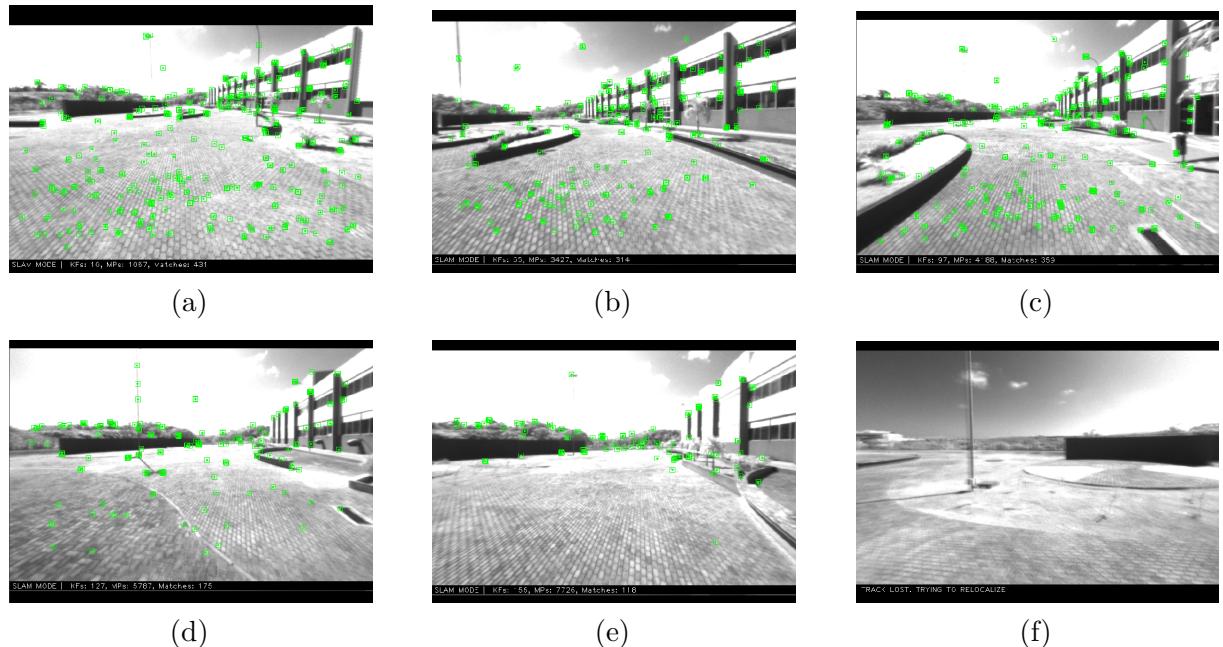
Os features capturados pelo ORB-SLAM2 e a projeção 2D do mapa gerada a partir do octomap são dispostos nas figuras 17 e 18. A figura 18a evidencia progresso no que diz respeito à não identificação do chão como obstáculo, visto que há um grande espaço livre na frente do robô, identificado pela seta vermelha. Nesta situação, o veículo foi capaz de navegar autonomamente a partir de comandos via *move_base* por alguns momentos.

Entretanto, a medida que o robô mapeava o ambiente, pontos referentes ao chão passaram a ser identificados como obstáculos, conforme figuras 18b - 18f, impactando negativamente no seu mapeamento e consequentemente na qualidade da navegação, sendo necessários esforços no intuito de identificar soluções que venham a resolver este problema. Foi observado também que o alto custo computacional envolvendo o uso do OctoMap junto ao ORB-SLAM2 teve impactos negativos no desempenho do sistema instalado na NUC,

³ <<http://wiki.ros.org/octomap>>

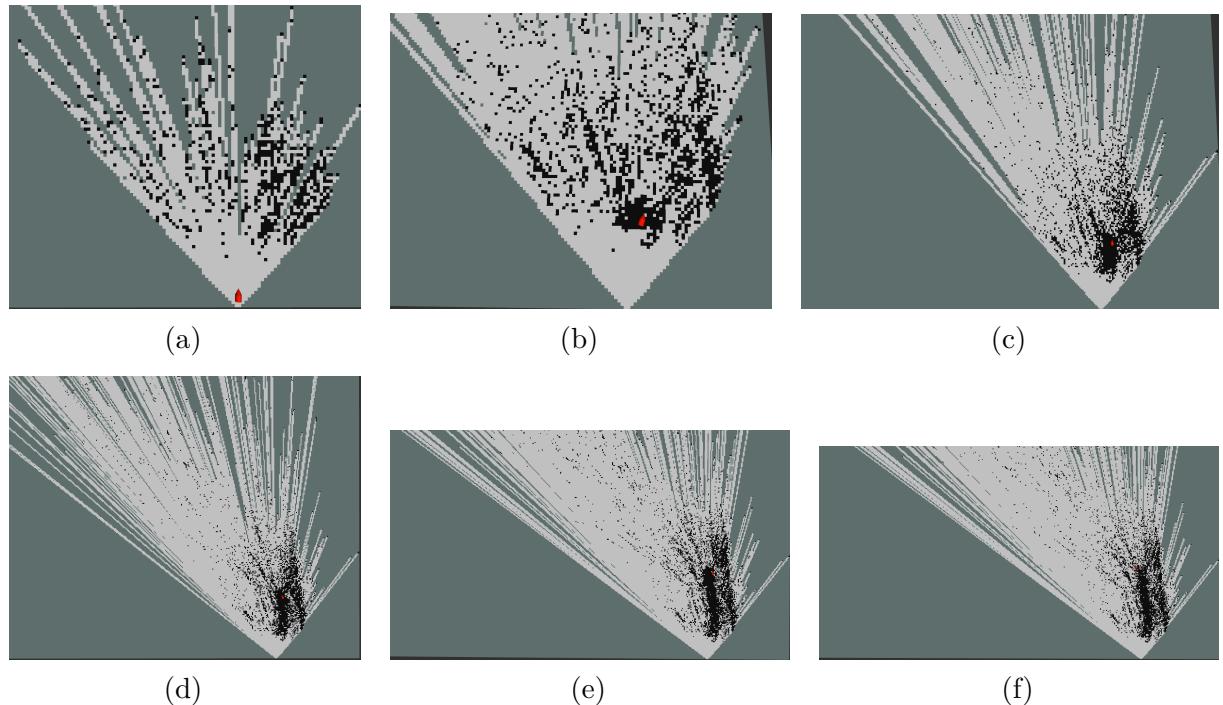
ocasionando travamentos e em alguns momentos parada de funcionamento do algoritmo, conforme figura 17f.

Figura 17: *Features* capturados por ORB-SLAM2 em área externa ao CIMATEC 4 com a configuração 16b para câmera MyntEye.



Fonte: Autoria própria.

Figura 18: Mapa projetado a partir do OctoMap.



Fonte: Autoria própria.

5 GESTÃO DO CONHECIMENTO

Neste capítulo são descritas as lições aprendidas durante o desenvolvimento deste projeto, caracterizadas pela comparação e compreensão entre o que era esperado e o que realmente aconteceu desde a etapa do planejamento até a execução do mesmo.

5.1 Lições aprendidas

A Tabela 1 detalha cada lição aprendida de acordo com os seguintes aspectos: Tema, Fase, Impacto, O que ocorreu?, Como resolveu?, Resultados e Recomendações para os próximos projetos. É fundamental que este tipo de ferramenta seja utilizada para que os projetos subsequentes a este possuam redução dos impactos negativos que aqui foram observados.

Tabela 1: Lições aprendidas.

LIÇÕES APRENDIDAS						
Tema	Fase	Impacto	O que ocorreu?	Como resolveu?	Resultados	Recomendações para os próximos objetos
Gestão	Planejamento	Negativo	Ausência de metodologia de trabalho	Reunião para definir metodologia e divisão de tarefas	Evolução na interação entre os membros	Definição da metodologia a ser seguida antes de iniciar o projeto
Gestão	Execução	Negativo	Pouco uso das ferramentas de gestão de projeto	Definição de ferramenta gratuita a ser utilizada	Melhora na organização de atividades	Fazer uso frequente de ferramentas de gestão
Gestão	Execução	Negativo	Má utilização do tempo para cumprir o desafio	Aumento da carga horária	Evolução no desenvolvimento da solução	Dimensionar o tempo corretamente de acordo com as atividades a serem cumpridas
Gestão	Execução	Negativo	Variação entre diferentes pacotes de slam durante o projeto	Utilização do pacote orb_slam2_ros	Otimização do tempo	Pesquisa prévia do pacote mais adequado ao projeto
Tecnológico	Execução	Negativo	Manipulador robótico estava no campo visual da câmera mynteye	Reposicionamento da pointcloud gerada	Melhora na pointcloud gerada	Análise cautelosa sobre o posicionamento dos sensores antes de instalá-los

Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho é a última etapa do curso de formação em Robótica e Sistemas Autônomos, e seu enfoque foi na navegação autônoma, seguida da incorporação de um manipulador robótico desenvolvido na etapa anterior.

A implementação de navegação autônoma em última instância é um objeto de pesquisa de grande importância, pois o aprimoramento dessa funcionalidade impacta positivamente em diversas atividades humanas, tais como: a robótica na agricultura, exploração de minas e deslocamento em cidades, etc.

Durante a sua busca, outras tecnologias de relevância também tem os seus desenvolvimentos estimulados. A capacidade de visão estereoscópica para máquinas, tal como na visão em humanos, levando ao desenvolvimento de robôs com essas capacidades, ou a crescente popularização de [LiDAR](#) e o avanço no mapeamento de ambientes e as consequências que emergem disso é fruto de esforços direcionados à navegação autônoma.

Entre as abordagens possíveis de [SLAM](#), teve-se a oportunidade de explorar o uso da biblioteca ORB-SLAM2 por meio de uma câmera estéreo utilizando e a nuvem de pontos gerada por ela em conjunto com a biblioteca OctoMap. Há bons resultados divulgados de cada uma dessas bibliotecas em separado, porém houve dificuldades em unir as capacidades de ambas sob o framework [ROS](#). Ainda assim, obteve-se progresso considerável na utilização da atual implementação do pacote *orb_slam2_ros* junto a navegação autônoma da plataforma móvel Warthog e à detecção de uma bomba.

Como sugestões para futuros trabalhos, pode-se mencionar que haja: riqueza de texturas e detalhes nas imagens fornecidas ao ORB-SLAM2 para uma nuvem de pontos rica em informações; potência computacional disponível maior que a oferecida pela [NUC](#) utilizada neste trabalho, permitindo a aquisição de ainda mais *features* na imagem bem como o uso de técnicas que possibilitem tratamento da nuvem de pontos gerada, para que não haja a representação errônea de obstáculos, como o próprio chão, durante a projeção 2D realizada, prejudicando assim o uso da mesma para navegação.

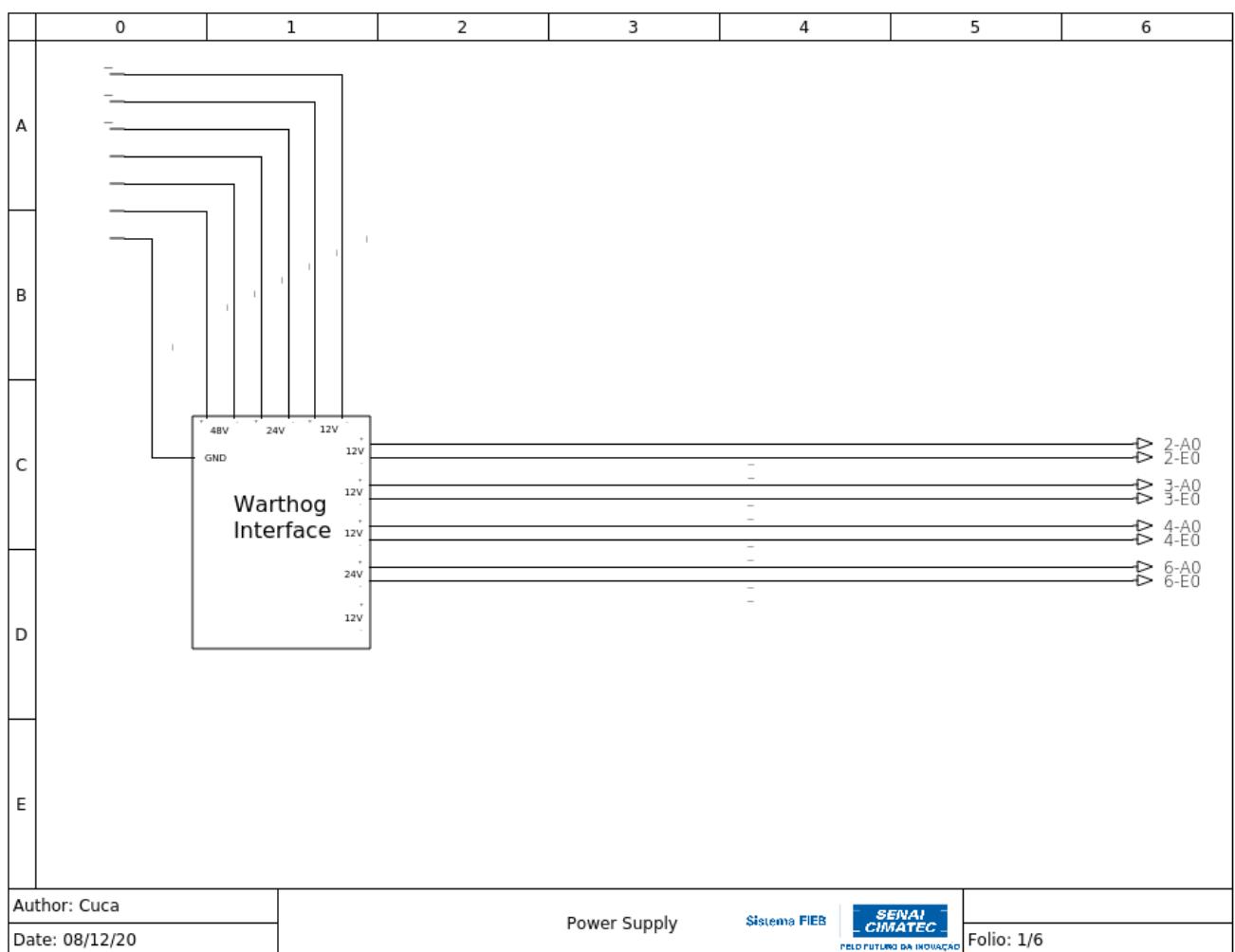
Os autores agradecem ao SENAI CIMATEC e ao sistema FIEB pelo amparo a Pesquisa e Desenvolvimento em robótica no estado da Bahia.

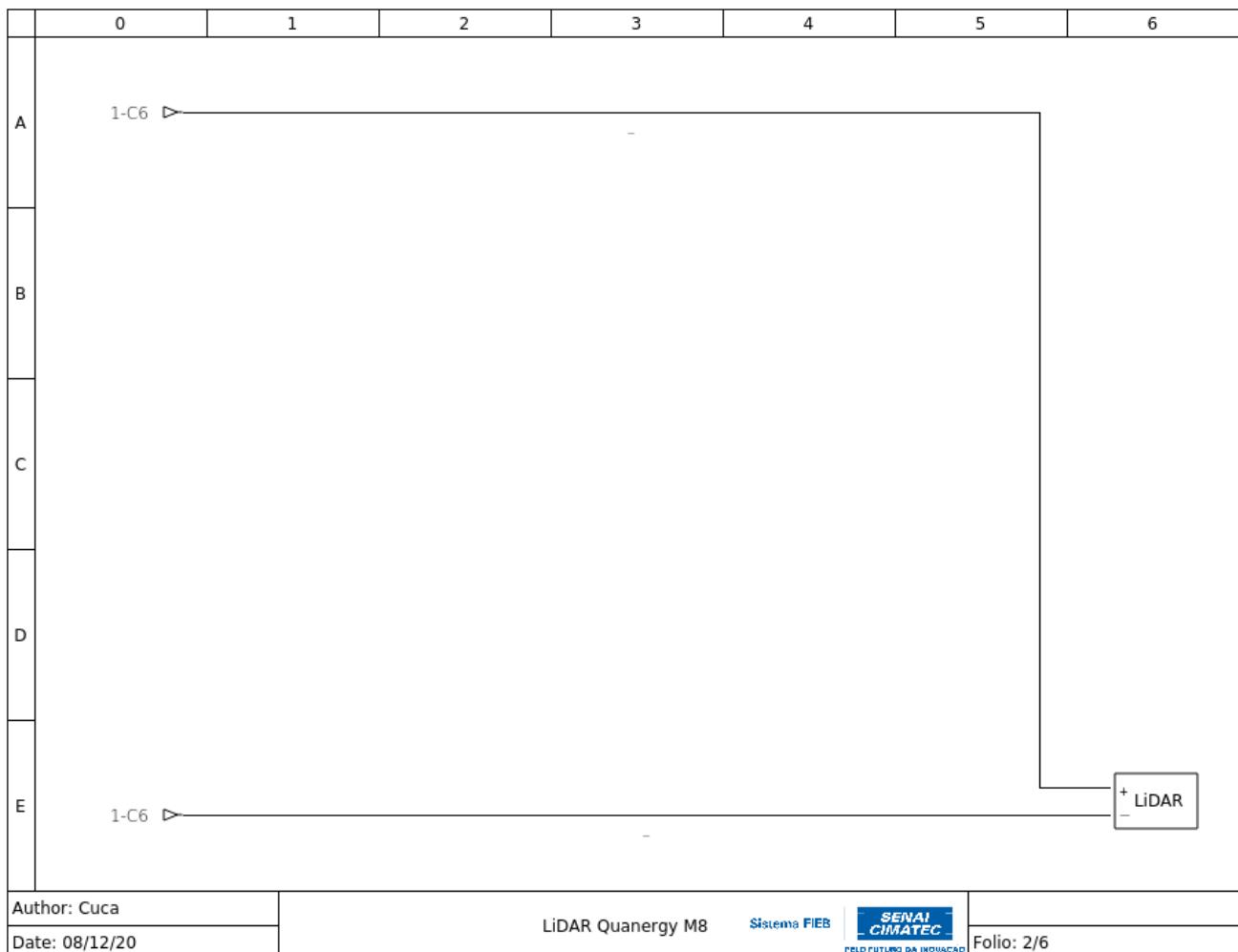
REFERÊNCIAS

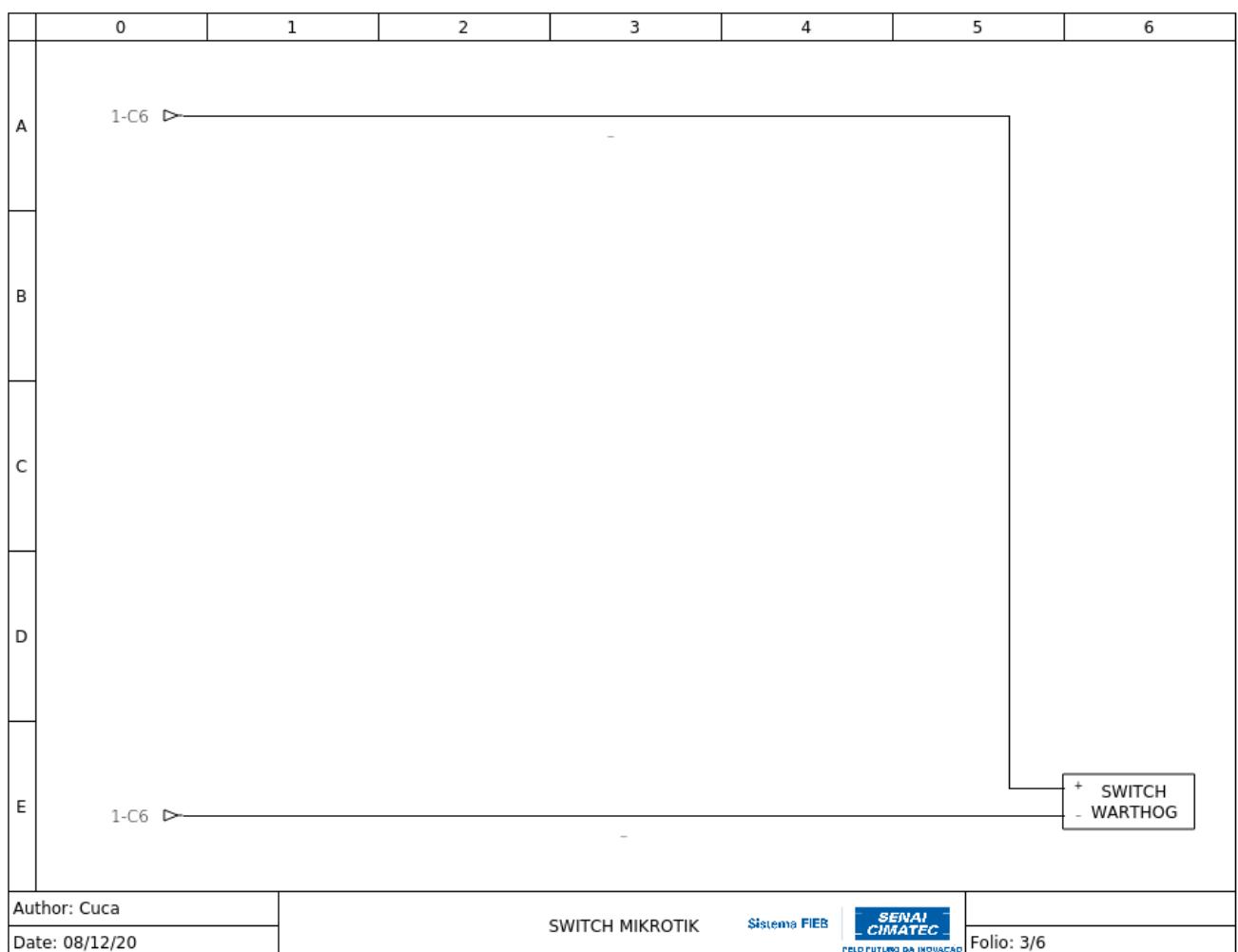
- FILIPENKO, M.; AFANASYEV, I. Comparison of various slam systems for mobile robot in an indoor environment. In: IEEE. *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*. [S.l.], 2018. p. 400–407. Citado na página 14.
- GUALBERTO, A. *Detectando objetos com métodos clássicos*. 2018. <<https://medium.com/ensina-ai/detectando-objetos-com-metodos-classicos-opencv-cascades-440e29913b1b>>. Acesso em: 7 dez 2020. Citado na página 19.
- MUR-ARTAL, R.; MONTIEL, J. M. M.; TARDOS, J. D. Orb-slam: a versatile and accurate monocular slam system. *IEEE transactions on robotics*, IEEE, v. 31, n. 5, p. 1147–1163, 2015. Citado na página 14.
- MUR-ARTAL, R.; TARDÓS, J. D. Orb-slam2: An open-source slam system for monocular, stereo, and rgb-d cameras. *IEEE Transactions on Robotics*, IEEE, v. 33, n. 5, p. 1255–1262, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 23.
- NARANJO, J. E. et al. Automation kit for dual-mode military unmanned ground vehicle for surveillance missions. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, v. 12, n. 4, 2020. Citado na página 11.
- QUANERGY, S. *What is LiDAR?* 2020. Disponível em: <<https://quanergy.com/what-is-lidar>>. Acesso em: 7 dez 2020. Citado na página 18.
- VALSARAJ, A. et al. Stereo vision system implemented on FPGA. *Procedia Technology*, v. 24, p. 1105 – 1112, 2016. ISSN 2212-0173. International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology (ICETEST - 2015). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316303346>>. Citado na página 17.
- WANG, M. et al. Autonomous robot navigation with rich information mapping in nuclear storage environments. In: IEEE. *2018 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*. [S.l.], 2018. p. 1–6. Citado na página 11.

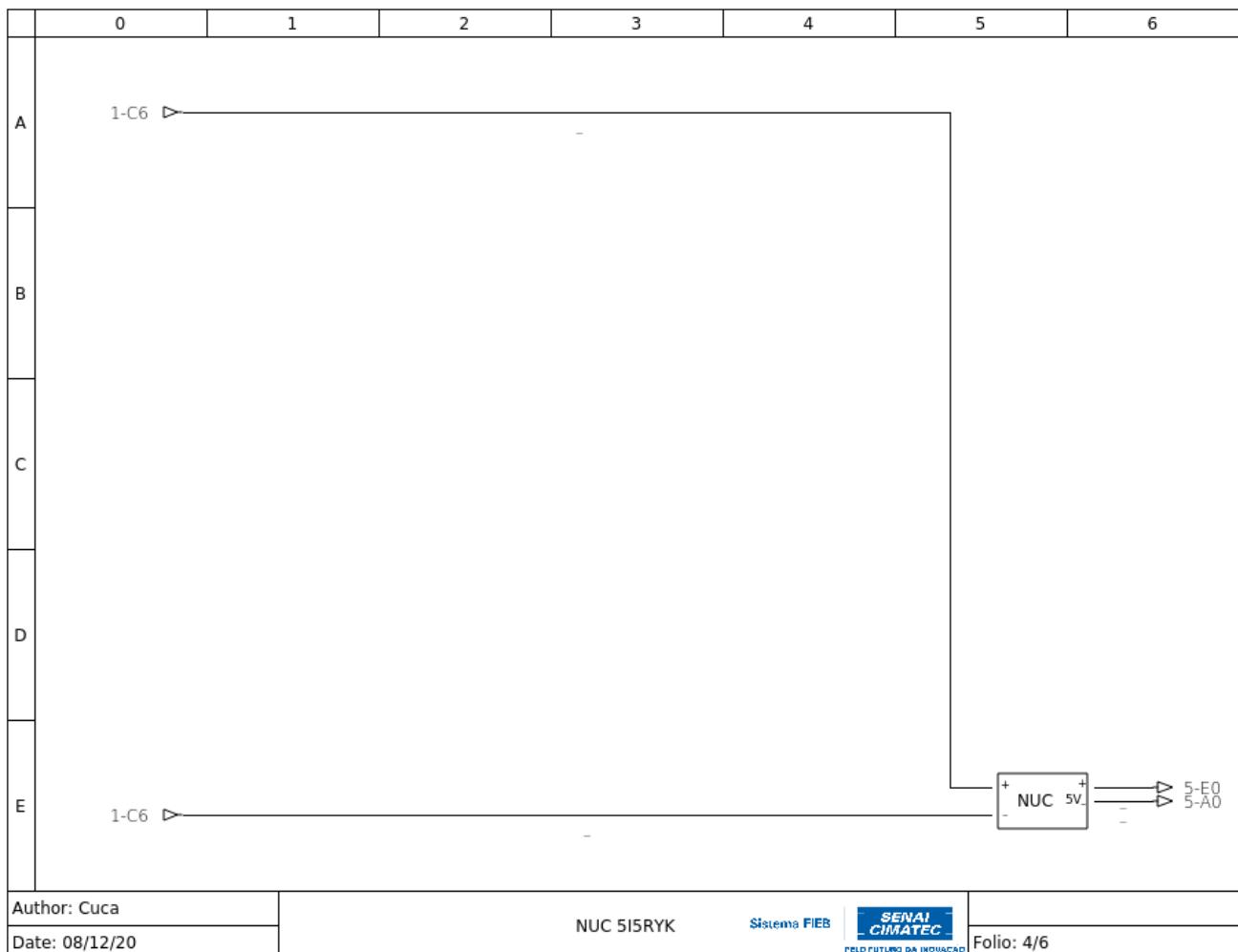
APÊNDICE A

Diagrama Elétrico CUCA

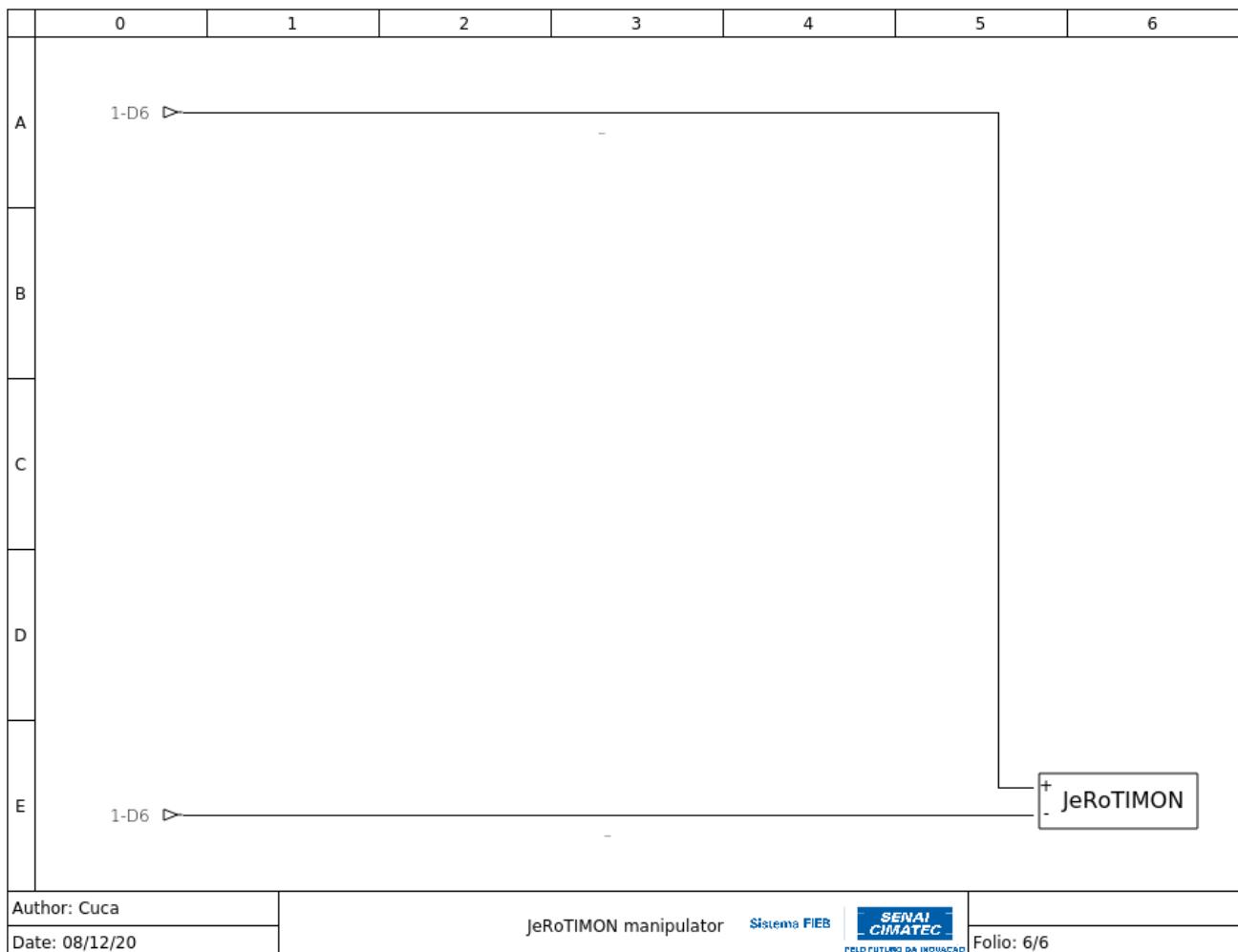






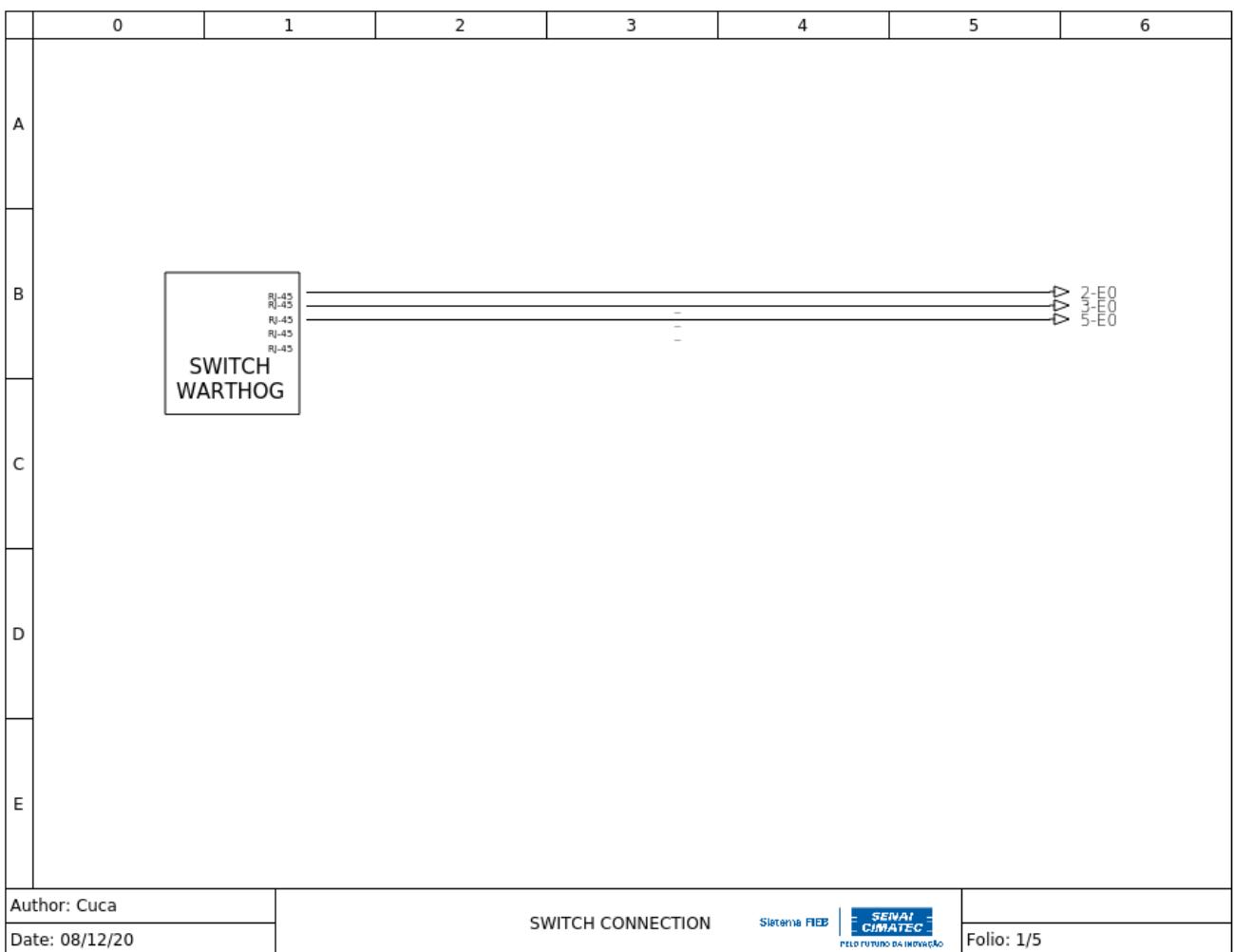


	0	1	2	3	4	5	6
A	4-E6 ► -						
B							
C							
D							
E	4-E6 ► -						+ Camera - Stereo
Author: Cuca	Mynteye S1030		Sistema FIEB	SENAI CIMATEC PELO FUTURO DA INOVAÇÃO	Folio: 5/6		
Date: 08/12/20							



APÊNDICE B

Diagrama de conexão CUCA



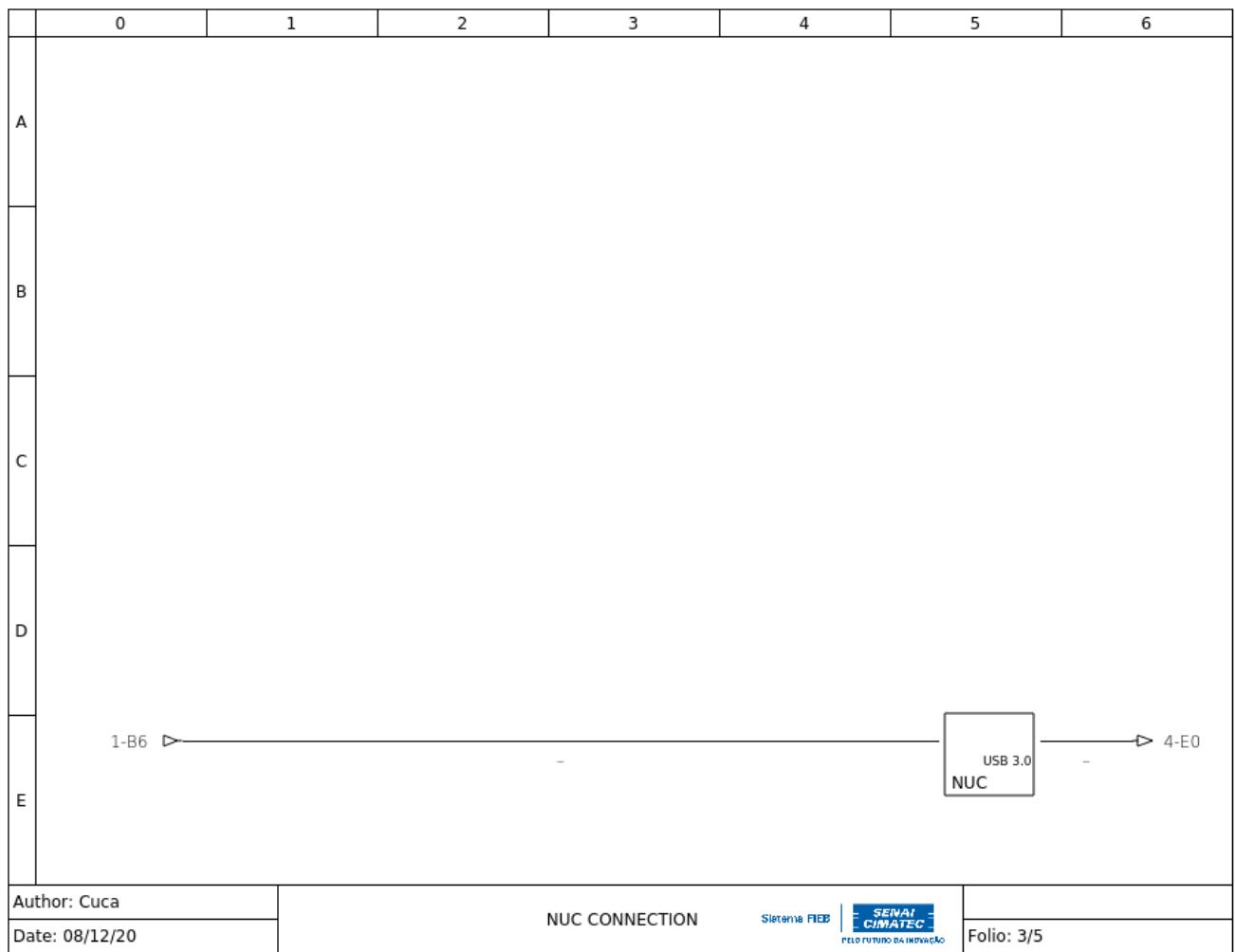
	0	1	2	3	4	5	6
A							
B							
C							
D							
E	1-B6 ►						WARTHOG

Author: Cuca
Date: 08/12/20

WARTHOG CONNECTION

Sistema FIEB | SENAI
CIMATEC
PELO FUTURO DA INovação

Folio: 2/5



	0	1	2	3	4	5	6
A							
B							
C							
D							
E	3-E6	►		-			CAMERA STEREO

Author: Cuca
Date: 08/12/20

MYNTEYE S1030 CONNECTION Sistema FIEB SENAI CIATEC
PELO FUTURO DA INovação

Folio: 4/5

	0	1	2	3	4	5	6
A							
B							
C							
D							
1-B6	►						
E							
Author: Cuca	QUANERGY M8 CONNECTION		Sistema FIEP	SENAI CIMATEC PELO FUTURO DA INovação	Folio: 5/5		
Date: 08/12/20							

ANEXO A

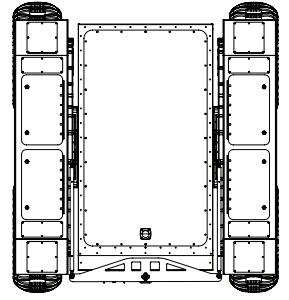
Folhas de dados

As folhas de dados dos dispositivos usados no sistema são mencionadas neste capítulo.

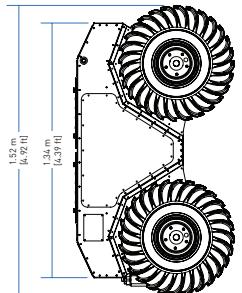
A.1 Warthog

WARTHOG™

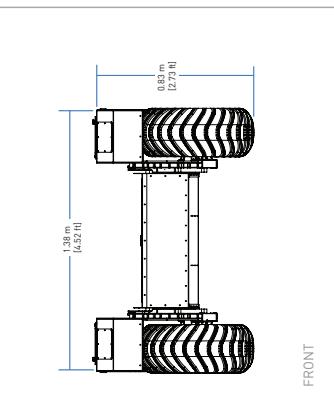
AMPHIBIOUS UNMANNED GROUND VEHICLE



TOP



SIDE



FRONT

TECHNICAL SPECIFICATIONS

SIZE AND WEIGHT

EXTERNAL DIMENSIONS [L x W x H] 1.52 x 1.38 x 0.83 m (4.9 x 4.5 x 2.72 ft)

BASE WEIGHT (includes base battery pack) 280 kg (620 lbs)

GROSS VEHICLE WEIGHT 590 kg (1300 lbs)

GROUND CLEARANCE 254 mm (10 in)

SPEED AND PERFORMANCE

MAX. PAYLOAD 272 kg (600 lbs)

MAX. INCLINE 35 - 45°

MAX. SPEED 18 km/h (11 mph)

SUSPENSION Geometric Passive Articulation

TRACTION 24" Argo tire (24" Turf tire or 12" wide Quad Track System optional)

BATTERY AND POWER SYSTEM

BATTERY CHEMISTRY AGM sealed lead acid (Li-ion optional)

CAPACITY 105 Ah at 48 V, expandable to 110Ah with Li-ion option

CHARGE TIME 4 hrs

NOMINAL RUN TIME Lead acid: 2.5 hrs

Li-ion: 3 hrs

USER POWER 5V 12 V Fused (24 V, 48 V optional)

INTERFACING AND COMMUNICATION

CONTROL MODES Remote control, Computer controlled velocity commands (v, θ), Indoor/outdoor autonomy packages

FEEDBACK Battery voltage, motor currents, wheel odometry, control system status, temperature, safety status

COMMUNICATION Ethernet, USB, Remote Control, Wi-Fi

DRIVERS AND APIs Packaged with ROS Kinetic (includes RViz, Gazebo support), Matlab API available

INCLUDED HARDWARE IMU, encoders, Onboard computer, E-Stop (hardware loop), E-Stop (software loop), removable mounting plates, bilge pumps, brakes

ENVIRONMENTAL

OPERATING AMBIENT TEMPERATURE -20 to 40 °C (-4 to 104 °F)

STORAGE TEMPERATURE -40 to 50 °C (-40 to 122 °F)

IP RATING IP65 - Vehicle is designed to float and should not be fully submerged

AMPHIBIOUS Fully amphibious, 4 km/h (2.4 mph) maximum water Speed*

Contact us today for pricing and a free 30 minute technical assessment: 1-800-301-3863

A.2 *Access point*

RB951G-2HnD



RB951G-2HnD Gigabit SOHO es un punto de acceso inalámbrico con más potencia de procesamiento Atheros CPU. Cuenta con cinco puertos Ethernet Gigabit, un puerto USB 2.0 y potencia de 2.4GHz 1000mW 802.11b/g/n AP inalámbrico, cuenta con CPU, más memoria RAM – 128.

El dispositivo es muy pequeño y se ve bien en cualquier hogar u oficina, cuenta con orificios de anclaje para montarse sobre una pared.

Características	RB951G-2HnD (Gigabit, USB, 2 GHz, 802.11n doble cadena)
CPU	Atheros AR9344 600MHz CPU
Memoria	128 MB DDR SDRAM Memoria Integrada
Almacenamiento de datos	Chip de almacenamiento Integrado NAND
Ethernet	5 Puertos independientes 10/100/1000 Puerto Gigabit Ethernet
LEDs	5 Leds de actividad Inalámbrica
Fuente de Poder	PoE: 8-30V DC on Ether 1 (Non 802.3af) Jack: 8-30V DC
Dimensiones	113x138x29mm Peso sin ensamblaje y cables 230g
Consumo de Energía	Hasta 7 W
Sistema Operativo	MikroTik RouterOS, Licencia Nivel 4

Antenas	2x2 MIMO PIF Antenas, Máxima ganancia 2.5 dBi
Rx Sensibilidad	802.11g: -96 dBm @6Mbps/ to - 80dBm@ 54Mbps 802.11n: -96 dBm @MCS0 to- 78 dBm @MCS7
Tx Power	802.11g: -30 dBm @6Mbps/ to - 25dBm@ 54 Mbps 802.11n: -30 dBm @MCS0 to- 23 dBm @MCS7
Modulaciones	OFDM: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM DSSS: DBPSK, DQPSK, CCK

A.3 NUC



PRODUCT BRIEF

NUC5i5RYK

Intel® NUC Kit

7.1 SURROUND SOUND

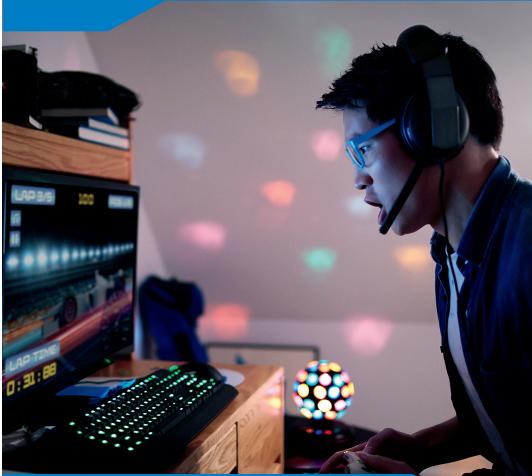
SUPPORTS 4K DISPLAY



INTEL HD GRAPHICS 6000

USB 3.0 CHARGING PORT

The Shape that Fits the Future.



Think you know what small can do?
Think again.

Powering Your Digital Life

A revolution in ultra-compact device design, the Intel® NUC NUC5i5RYK packs a range of features, including the latest 5th generation Intel® Core™ i5 processor and Intel® HD Graphics 6000, into 4 inches square. This fully scalable Mini PC has the performance to drive home theater PCs, media server PCs, home hubs, and intelligent computing for small spaces.

Whether you want a digital jukebox, home hub, or mainstream gaming PC, the Intel NUC NUC5i5RYK gives you the power to play, create, entertain, and inspire. The system is designed to hold a lightning fast and compact M.2 SSD so you can quickly stream music or movie files, and also features consumer infrared and a Mini HDMI® video interface. With Intel® WiDi® you can connect your monitor without any additional cables and Bluetooth lets you place wireless speakers where you want—all the features you want in a space-saving, clutter-free design.

A replaceable lid gives you plenty of options to create the NUC you want—with amazing style and features. There's also a high-speed USB 3.0 charging port that lets you easily charge your tablet or smartphone quickly.

Superior processing and graphics

The Intel NUC NUC5i5RYK is equipped with the 5th generation Intel® Core™ i5-5250U processor with Intel® Turbo Boost Technology 2.0² which gives you extra GHz on demand to let you maximize performance on processor-intensive tasks like gaming. Intel HD Graphics 6000 with 4K display capabilities gives you a vibrant visual experience without an extra graphics card—which means your games just got more epic.

Advanced technologies

Based on the 5th generation Intel® Core™ processor, you'll get ultra-responsive performance in a highly secure platform. Intel® Rapid Start Technology³ ensures that there's less waiting and more doing. Intel® Ready Mode Technology⁴ means you'll never miss out on e-mail, IMs, real-time news and sports updates, or social media posts. It also lets you stay connected with friends and family by keeping your video conferencing apps running in the background. And for peace of mind you'll get embedded security that helps keep threats out, user identities and credentials safe, and your data protected.

Power, Capabilities, and Performance in Four Inches Square

HIGHLIGHTED FEATURES

- 1 5th generation Intel® Core™ i5-5250U processor
- 2 Two DDR3L SO-DIMM sockets (up to 16 GB, 1333/1600 MHz)
- 3 M.2 slot with flexible support for a 42, 60, or 80 mm SATA or PCIe® SSD
- 4 Intel® Dual Band Wireless-AC and Bluetooth 4.0
- 5 Kensington lock support
- 6 Backpanel DC power connector (12V - 19V)
- 7 One Mini DisplayPort® version 1.2 supporting 8 channel digital audio (7.1 surround sound)
- 8 Intel® Gigabit LAN
- 9 2x USB 3.0 ports on the back panel
- 10 Mini HDMI® port supporting HDMI 1.4a and 7.1 surround sound
- 11 Support for user-replaceable third-party lids
- 12 2x USB 3.0 ports on the front panel (including one charging port)
- 13 Intel® HD Audio® via Headphone/Microphone jack
- 14 Consumer infrared sensor



NUC5i5RYK PRODUCT BRIEF 3

Intel® NUC NUC5i5RYK TECHNICAL SPECIFICATIONS

PROCESSOR

- 5th generation Intel® Core™ i5-5250U processor (1.6 GHz up to 2.7 GHz Turbo Dual Core, 3 MB Cache, 15W TDP)
- Supports Intel® Hyper-Threading Technology®
- Supports Intel® 64 architecture®

GRAPHICS

- Intel® HD Graphics 6000
- One Mini DisplayPort® version 1.2 supporting ultra-high definition 4K displays and multiple monitor functionality
- One Mini HDMI® 1.4a port

SYSTEM MEMORY

- Two DDR3L SO-DIMM sockets (up to 16 GB, 1333/1600 MHz) in dual channel configuration, 1.35V

STORAGE CAPABILITIES

- One M.2 Type M connector supporting 22x42, 22x60, and 22x80 SATA or PCIe® SSDs
- Integrated Intel® Gigabit LAN
- Four Super Hi-Speed USB 3.0 ports (two back panel ports and two front ports including one charging port)
- Two additional Hi-Speed USB 2.0 ports via internal header

- Intel® Dual Band Wireless-AC 7265, 802.11ac, 2x2, up to 867 Mbps
- Dual Mode Bluetooth 4.0

SYSTEM BIOS

- One Mini DisplayPort® version 1.2 supporting ultra-high definition 4K displays and multiple monitor functionality
- One Mini HDMI® 1.4a port
- Advanced configuration and power interface V3.0b, SMBIOS2.5
- Intel® Visual BIOS
- Intel® Express BIOS update support

PROCESSOR FAN CONTROL

- Voltage and temperature sensing
- Fan sensor inputs used to monitor fan activity
- ACPI-compliant power management control

EXPANSION CAPABILITIES

- One NFC header
- 2x Internal USB 2.0 ports via 1x header (for replaceable lid support)
- One AUX_PWR header

AUDIO

- Intel® HD Audio® via Mini HDMI 1.4a and Mini DisplayPort version 1.2 supporting 8 channel digital audio (7.1 surround sound)
- Intel HD Audio via front panel analog audio jack (supporting headset, speakers, headphones, microphone)

FRONT-PANEL CONNECTORS

- Reset, HDD LED, Power LEDs, power on/off

MECHANICAL CHASSIS SIZE

- 4.53" x 4.37" x 1.36"
- 115mm x 111mm x 34.5mm

BASEBOARD POWER REQUIREMENTS

- 19V, 65W wall-mount AC-DC power adapter
- Multi-country AC adapter (IEC plug types A, C, G, and I)

ENVIRONMENTAL OPERATING TEMPERATURE

- 0° C to +40° C

STORAGE TEMPERATURE

- -20° C to +60° C

PRODUCT SAFETY REGULATIONS AND STANDARDS

- IEC 60950-1
- UL 60950-1
- EN 60950-1
- CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1

EMC REGULATIONS AND STANDARDS (CLASS B)

- CISPR 22
- FCC CFR Title 47, Chapter I, Part 15, Subparts A, B
- ICES-003
- EN 55022
- EN 55024
- VCCI V-3, V-4
- KN-22
- KN-24
- CNS 13438

ENVIRONMENTAL REGULATIONS

- RoHS Directive 2011/65/EU
- WEEE Directive 2002/96/EC
- China RoHS MII Order #39

Look for Intel® NUC with Intel Inside® at www.intel.com/NUC

1 Requires an Intel® Wireless Display-enabled system, compatible monitor and TV, 1080p or better "buy" or other selected content provided only available on select Intel® processor-based systems with built-in visuals enabled, a compatible adapter and media player, and supporting Intel® WiDi software and graphics driver installed. Consult your PC manufacturer. For more information, see www.intel.com/nucoptics.

2 Requires a system with Intel® Turbo Boost Technology. Intel Turbo Boost Technology and Intel® Turbo Boost Technology 2.0 are only available on select Intel® processors. Consult your system manufacturer. Performance varies depending on hardware and software system configuration. For more information, visit www.intel.com/turbo.

3 Requires a selected Intel® processor, enabled chipset and a Solid-State Drive (SSD) or hybrid drive (HHD) for maximum performance.

4 Requires Intel® Ready Mode Technology-enabled system. Verify motherboard, a genuine Intel® processor, and Windows® 7 or Windows 8.0. Results dependent upon hardware, applications installed, Internet connectivity, setup, and configuration.

Copyright 2015 © Intel Corporation. All rights reserved. Intel, the Intel Inside logo, Intel Inside, and Intel Core are trademarks of Intel Corporation in the U.S. and/or other countries.

*Other names and brands may be claimed as the property of others.

For more information about Intel Ready Mode Technology, refer to <http://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/intel-ready-mode-technology.html>

5 Requires an Intel® HD Audio enabled system. Consult your PC manufacturer for more information. Sound quality will depend on equipment and actual implementation. For more information about Intel HD Audio, refer to www.intel.com/htaudio.

6 Available on selected Intel® processors. Requires an Intel® HT Technology-enabled system. Your performance varies depending on the specific hardware and software you use. Learn more by visiting <http://www.intel.com/info/htprocessor>.

7 Requires a system with a 64-bit enabled processor, chipset, BIOS and software. Performance varies depending on the specific hardware and software you use. Check with your manufacturer for more information. Learn more at <http://www.intel.com/info/64bit>.

8 System resources and memory usage in PCI and PCI Express® require physical memory address location but can reduce available addressable system memory. This could result in a reduction of as much as 1 GB or more of physical addressable memory being available to the operating system and applications, depending on system configuration and operating environment.

9 INFORMATION IN THIS DOCUMENT IS PROVIDED IN CONNECTION WITH INTEL® PRODUCTS. NO LICENSE, EXPRESS OR IMPLIED, BY ESTOPPEL OR OTHERWISE, TO ANY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS IS GRANTED BY THIS DOCUMENT. EXCEPT AS PROVIDED IN THE TERMS AND CONDITIONS OF SALE FOR SUCH PRODUCTS, INTEL ASSUMES NO LIABILITY WHATSOEVER, AND INTEL DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY, RELATING TO THE SALE AND/OR USE OF INTEL PRODUCTS. INTEL DOES NOT WARRANT THAT THE PRODUCTS WILL BE FIT FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT, OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

10 Intel products are not intended for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications. Intel may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice.

All products, dates, and figures specified are preliminary based on current expectations, and are subject to change without notice. Availability in different channels may vary.

Actual Intel® NUC kit may differ from the image shown.

Printed in USA

0215-BCHPHBUDPDF

Please Recycle

331508-001US



A.4 Câmera estéreo

MYNT EYE S-Series

Indispensable hardware for vSLAM research and application

| Standard + Standard Entry |



HARDWARE



6-axis IMU

IMU and image synchronization with the accuracy of up to 0.05ms and the 6-axis IMU sensor embedded in MYNT EYE can provide data reconciliation for the development of visual SLAM and spatial moving algorithms



Infrared Active Light (IR Version only)

Infrared structured light emitted by two IR active light can effectively enhance the depth measurement accuracy of objects such as white walls and non-textured objects, suitable for completely dark environments



Global Shutter

A technology to realize simultaneous exposure of all pixels of both cameras, effectively reducing image distortion during rapid-moving shooting scenarios



Monochrome

Provide a clear black and white visual research image source with a resolution of 752x480/60fps



Automatic White Balance

Precisely tuned sensor and lens can provide indoor and outdoor automatic sensitization and adjustment



Baseline

Baseline length of 120mm, suitable for most stereo camera scenarios



Binocular Frame Synchronization

Provide hardware-level binocular frame synchronization, reducing errors caused by unsynchronized images



Aluminum Alloy Shell

Aluminum alloy shell, sturdy and durable with standard 1/4" screw joints

SOFTWARE

- Suitable for Binocular SLAM Research

Support a variety of open-source projects including ORB_SLAM2、OKVIS、Vins-Mono、Vins-Fusion、VIORB and provide examples in the SDK

- CUDA Acceleration

Provide CUDA acceleration-based real-time depth output, enabling GPU to solve complex computational problems

- Rich Data

Get raw data/corrected binocular images, disparity images, real-time depth images, real-time point cloud images, IMU data, etc. through SDK

- Multi-platform SDK

SDK support Windows 10、Ubuntu 14.04/16.04/18.04、ROS indigo/kinetic/melodic multiple platforms and provide various tools

SPEC

Model	S1040-IR-120/MONO	S1040-120/MONO
Size	165x31.5x31.23mm	165x31.5x31.23mm
Frame Rate	10/15/20/25/30/35/40/45/50/55/60FPS	10/15/20/25/30/35/40/45/50/55/60FPS
Resolving Power	752x480; 376x240	752x480; 376x240
Depth Resolving Power	Based on CPU/GPU Up to 752x480@60FPS	Based on CPU/GPU Up to 752x480@60FPS
Pixel Size	6.0x6.0 μ m	6.0x6.0 μ m
Baseline	120.0 mm	120.0 mm
Visual Angle	D:146° H:122° V:76°	D:146° H:122° V:76°
Focal Length	2.1mm	2.1mm
Filter	Dual Pass Filter	Dual Pass Filter
IR Support	YES	NO
IR Detectable Range	Up to 3m	—
Color Pattern	Monochrome	Monochrome
Working Distance	0.8-5m+	0.8-5m+
Scanning Mode	Global Shutter	Global Shutter
Power	1~2.7W@5V DC from USB	1W@5V DC from USB

Synchronization Precision	<1ms (up to 0.05ms)	<1ms (up to 0.05ms)
IMU Frequency	100/200/250/333/500Hz	100/200/250/333/500Hz
Output Data Format	Raw Data	Raw Data
Data Transfer Interface	USB 3.0	USB 3.0
Weight	204g	180g
UVC Mode	YES	YES

SOFTWARE

Support System	Windows 10、Ubuntu 14.04/16.04/18.04、ROS indigo/kinetic/melodic
Application Software	https://www.myntai.com/dev/mynteye
Developer Support SDK	SDK
Open Source Project Support	ORB_SLAM2、OKVIS、Vins-Mono、Vins-Fusion、VIORB

ENVIRONMENT

Operating Temperature	-10° C~50° C
Storage Temperature	-20° C~60° C
Humidity	10% to 90% non-condensing

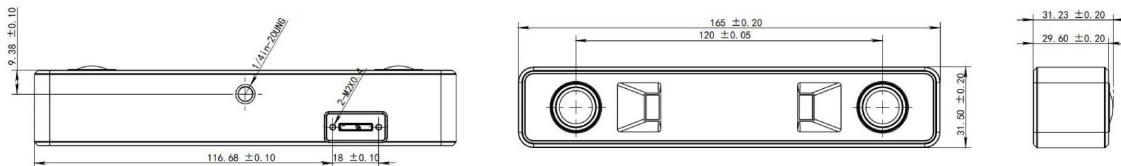
CONTENTS

Package	1x MYNT EYE 1x USB Micro-B Cable
---------	-------------------------------------

WARRANTY

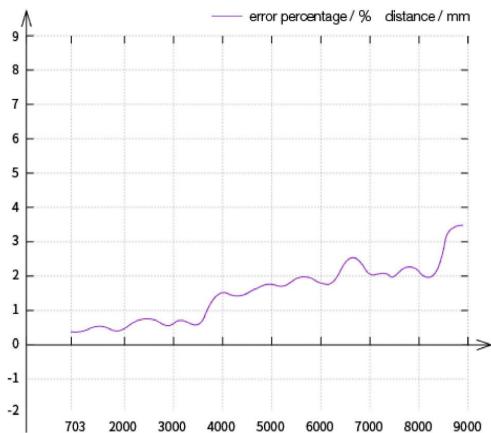
Product Warranty	12 Months Limited Manufacturer's Warranty
------------------	---

Product 3D Size



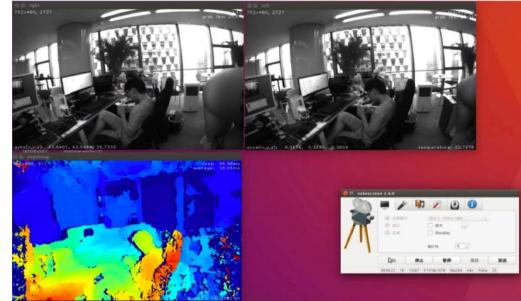
Depth Measurement Performance

S1040/MONO



Host Computer Demo Image

S1040/MONO

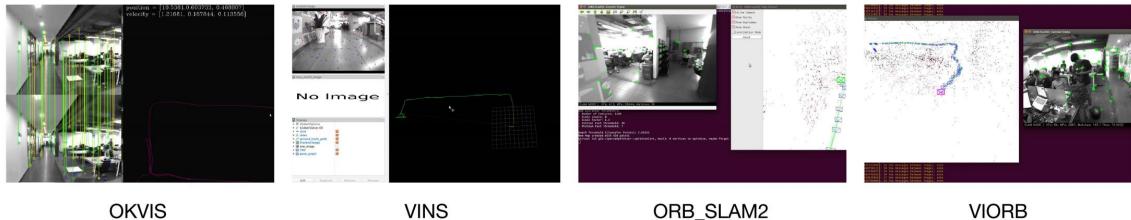


* The products have been tested in MYNTAI controlled labs, and the actual working distance may vary depending on the calibration, software version and specific testing environment.

*The products have passed FIH various hardware stability tests, such as high-temperature and humidity continuous work and operation, low-temperature dynamic aging, high-temperature operation, low-temperature storage, whole-machine thermal shock, sinusoidal vibration and random vibration tests to ensure the stability and reliability of the product.

See more detailed examples of open-source projects in the product SDK center: <http://dev.myntai.com>

Provide rich binocular VSLAM open source algorithm examples



Applicable Scenarios/Standard

IR active light solves the issue of white wall and non-textured object recognition

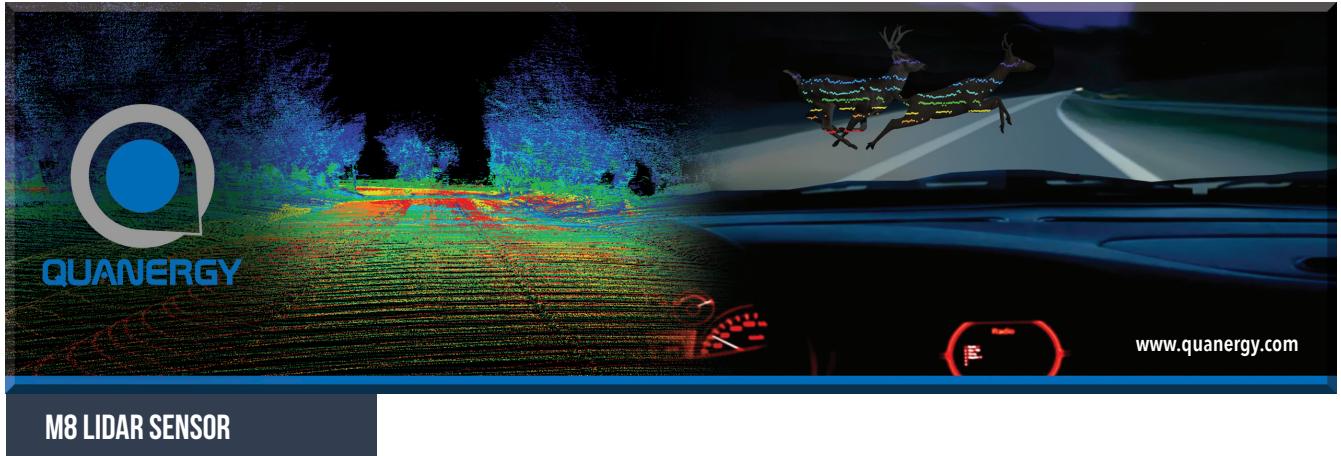


Applicable Scenarios/SE



*The above applicable scenarios are officially recommended, but not limited to, the product can be customized according to your requirements, for more details please consult sales manager.

A.5 LiDAR



M8 LIDAR SENSOR

Quanergy's M8 LiDAR sensor is a proven LiDAR powerhouse. This compact, rugged sensor, built to the highest quality standards, comes at a breakthrough price through leading edge innovation. With a 360° field of view, long range, high accuracy, fine resolution, high reliability, light weight, and low power consumption, Quanergy's M8 was designed to meet the demands of the most challenging real-world applications. The sensor is operational in sunlight, at night, and works in any weather including rain, snow and dust for high reliability and durability.

The M8 is the first cost-effective, high-definition Time-of-Flight (TOF) LiDAR sensor enabling ubiquitous use of smart sensing in harsh industrial and automotive environments. Multiple laser beams and TOF depth perception result in 3D point clouds for spatial sensing.

Quanergy's 3D sensing M8 LiDAR sensor enables new applications in the security, automotive, transportation, mapping, navigation, surveying, aeronautics, UAV/UAS, robotics, logistics, space management, agriculture, mining, security, and consumer electronics markets that have not been commercially feasible due to the high cost of existing LiDAR sensors.

Quanergy's smart sensing solutions can be applied to a variety of platforms (e.g., vehicles, robots, production tools, monitoring stations) to enable rapid 3D detection, measurement, tracking, identification and classification of items, as well as triggering actions based on real-time scenario analysis powered by advanced perception software.

True 3D mapping on a global scale is made possible with broad deployment enabled by Quanergy's disruptive cost. Vehicle accidents due to blind spots, poor visibility, changes in traffic flow, and distraction can be virtually eliminated through the use of LiDAR in Advanced Driver Assist Systems (ADAS) and autonomous vehicles. Grounds and homes/ buildings can be made more secure and managed intelligently through LiDAR-based surveillance and smart detection. Factories, warehouses and distribution centers can be run efficiently and safely.



DISRUPTIVE DESIGN

Patent-pending technology deliver solutions that are:

- Low cost
- High performance (range, resolution, etc.)
- Uncompromised reliability
- Compact
- Lightweight
- Low power consumption

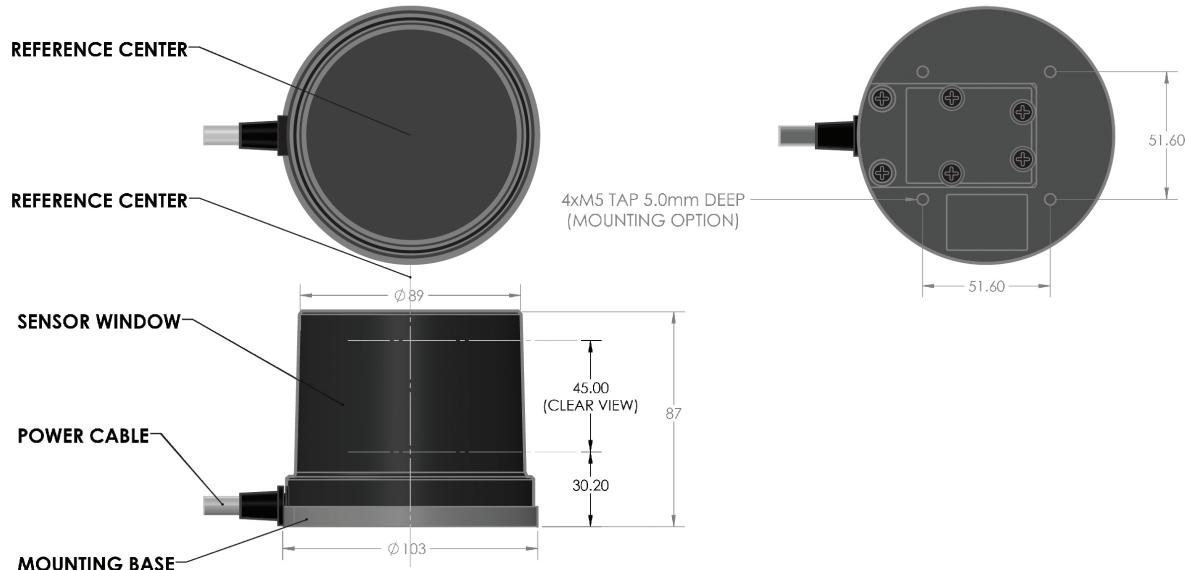
PRODUCT FEATURES

- 8 sensing layers
- Wide Field of View (FOV)
- Long measurement range
- Fine horizontal resolution
- Day and night vision; no IR heat-signature needed
- Resistance to false returns caused by aerosols (dust, mist, rain, snow)
- PPS input signal to timestamp data and for synchronizing multiple sensors
- Light tight design to eliminate cross talk from multiple sensors
- Linux and Windows drivers for easy configuration, integration, and testing
- ROS drivers
- Development kits with a QPU (Quanergy Processing Unit) and visualization/data recording software for easy out-of-the-box operation

M8 SENSOR SPECIFICATIONS

PARAMETER	SPECIFICATION
Laser Class	IEC 60825-1:2007 – Class 1 Laser Product (eye safe)
Wavelength	905 nm
Measurement Technique	Time of Flight (TOF)
Measurement Range	1-200 m (80% reflectivity)
Range Accuracy (1σ at 50 m)	<3 cm
Frame Rate (Update Frequency)	5-20 Hz
Angular Resolution	0.03-0.2° dependent on frame rate
Sensors	8 laser/detector pairs
Field of View (FOV)	Horizontal: 360°, Vertical: 20° (+3°/-17°)
Operating Temperature	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
Storage Temperature	-40°C to +105°C (-40°F to +220°F)
Nominal Power	18 W
Operating Voltage	24 VDC
Nominal Weight	900 g
Dimensions	103 mm diameter x 87 mm height
Shock & Vibration	ETSI EN 300 019-2-5
Environmental Protection	IP69K - rating for ingress protection against dust and water
Laser Safety	IEC 60825-1:2007 – Class 1 Laser Product
Output Connection	1 Gbps Ethernet
Data Outputs	Angle, Distance, Intensity, Synchronized Time Stamps
Returns	1 Return
Output Rate	420,000 points per second

Specifications are subject to change without notice



© February 2017 Quanergy Systems, Inc. QPN 98-00037 Rev C

QUANERGY SYSTEMS, INC.

482 Mercury Drive • Sunnyvale, CA 94085, USA
+1-408-245-9500 • sales@quanergy.com

www.quanergy.com


QUANERGY