

**SISTEMA PARA IDENTIFICAÇÃO E MANIPULAÇÃO DE
OBJETOS EM AMBIENTES EXTERNOS UTILIZANDO
PLATAFORMA MÓVEL**

Relatório Final do Projeto Curupira

Autores:

Jean Paulo Silva
Pedro Paulo Ventura Tecchio
Vinicius José Gomes de Araújo Felismino

Orientadores:

Rebeca Tourinho Lima
Tiago Pereira de Souza
Marco Antonio dos Reis

**Salvador
Bahia, Brasil**

Dezembro de 2020

Título: Sistema para identificação e manipulação de objetos em ambientes externos utilizando plataforma móvel	
PROD. TEC. RoSA -	Versão
Classificação: () Confidencial (X) Restrito () Uso Interno () Público	01

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o RoSA 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)

Jean Paulo Silva Pedro Paulo Ventura Tecchio Vinicius José Gomes de Araújo Felismino
000
Rebeca Tourinho Lima Tiago Pereira de Souza Marco Antonio dos Reis
Sistema para identificação e manipulação de objetos em ambientes externos utilizando plataforma móvel Salvador Bahia, Brasil Dezembro de 2020
Keywords: 1. Mobile Robots. 2. Robotic Manipulator. 3. Autonomy.
000

SUMÁRIO EXECUTIVO

O projeto realizado pela equipe Curupira se configura sob o programa de formação de Novos Talentos do [Centro de Competência em Robótica e Sistemas Autônomos \(CCRoSA\)](#) do SENAI/CIMATEC. Devido a necessidade em aplicar os conceitos vistos em robótica móvel e manipuladores durante o ano letivo, foi proposto pelos os orientadores e pesquisadores do laboratório um desafio que consiste em integrar um manipulador robótico a uma dada plataforma móvel. O SENAI/CIMATEC firmou compromisso financeiro e humano para o desenvolvimento da solução e com isso é o principal fomentador do projeto. O *kick-off* do projeto foi no dia 30/10/2020. O prazo de execução foi planejado para 35 dias.

RESUMO

O presente relatório apresenta a solução alcançada pela equipe Curupira para o desafio proposto pelos os orientadores e pesquisadores do CCRoSA do SENAI/CIMATEC. O problema proposto consiste em utilizar o manipulador robótico JeRoTIMON integrado a plataforma móvel *Warthog* da *Clearpath Robotics* para realizar a missão de navegação, mapeamento, localização, busca e “desarme” de uma “bomba” no pátio do CIMATEC 4 de forma autônoma. Para realização desta missão foi utilizado o *Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Cartographer* da *Google LLC* em conjunto com os seguintes sensores: *Light Detection And Ranging (LiDAR)*, *Global Positioning System (GPS)* e uma câmera *Red Green Blue (RGB)*. Também utilizou-se o *software Gazebo*, a ferramenta de visualização *Rviz* e o *framework MoveIt* para o manipulador. A solução em ambiente simulado apresentou melhores resultados em relação ao real. Contudo, ambas necessitam de ajustes para sua finalização. Ao final desse documento, podem ser encontradas as lições aprendidas durante a elaboração desta solução.

ABSTRACT

This report shows the solutions provided by Team Curupira in order to solve a challenge proposed by SENAI/CIMATEC's CCRoSA's advisors. The proposed problem consists of integrating the robotic manipulator JeRoTIMON to the mobile platform Warthog from Clearpath Robotics in order to complete the following mission: navigate, map, localize, search for and disable “the bomb” placed inside the open space in front of CIMATEC 4 in an autonomous manner. The provided solution makes use of Google LLC’s Cartographer to do SLAM with the following sensors: LiDAR, GPS and a RGB camera. Simulations were done using Gazebo, while visualization tasks were done with Rviz. The MoveIt framework was used to control the robotic manipulator. Although, the proposed solution achieved better results inside the simulated environment, both still requires some adjustments in order to be completed. The learned lessons during this project development are available at the end of this document.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Arquitetura Geral Simplificada.	16
Figura 2:	Estrutura Analítica do Projeto.	20
Figura 3:	UGV <i>Warthog</i> da <i>Clearpath Robotics</i>	21
Figura 4:	Manipulador <i>JeRoTimon</i> .	22
Figura 5:	<i>Lidar Velodyne VLP-16</i>	23
Figura 6:	GPS <i>Piksi V2</i> da <i>Swiftnav</i>	23
Figura 7:	Câmera <i>Basler acA4600-10uc</i> .	24
Figura 8:	Câmera <i>Kowa LM8HC</i> .	25
Figura 9:	Intel NUC5i5RYK.	26
Figura 10:	<i>Switch RB951G, MikroTik</i> .	26
Figura 11:	Leitura do GPS.	27
Figura 12:	Leitura do Velodyne VLP-16.	28
Figura 13:	Identificação da “bomba” utilizando câmera <i>Basler</i> .	28
Figura 14:	Mapeamento exemplo - <i>Cartographer</i> .	29
Figura 15:	Exemplo de exploração - <i>RRT</i> .	30
Figura 16:	Suporte mecânico e sensores integrados.	31
Figura 17:	Resultado de mapeamento errôneo com o <i>Google Cartographer</i> .	34
Figura 18:	Resultado de mapeamento correto com o <i>Google Cartographer</i> .	34
Figura 19:	Exploração, localização e mapeamento autônomos.	35
Figura 20:	Simulação de manipulação.	36
Figura 21:	Integração do protótipo.	36
Figura 22:	Resultado de mapeamento com o <i>Google Cartographer</i> em ambiente real.	37
Figura 23:	Integração da manipulação.	38
Figura 24:	Resultado da detecção da “bomba”.	39
Figura 25:	Esquema elétrico das conexões do Warthog.	52
Figura 26:	Esquema elétrico das conexões da NUC.	53
Figura 27:	Esquema elétrico das conexões USB.	54
Figura 28:	Esquema elétrico das conexões do manipulador.	55
Figura 29:	Desenho mecânico do conversor ROBOTIS U2D2 (RS485 - USB).	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Lições aprendidas.	41
Tabela 2:	Especificações da plataforma móvel <i>Warthog</i> da <i>Clearpath Robotics</i> .	61
Tabela 3:	Especificações do computador Intel NUC 5i5RYK.	63
Tabela 4:	Especificações do <i>switch</i> MikroTik RB951G-2HnD.	66
Tabela 5:	Especificações do <i>lidar</i> Velodyne VLP-16.	68
Tabela 6:	Especificações do GPS Swiftnav Piksi V2.	71
Tabela 7:	Especificações da câmera Basler acA4600-10uc.	76
Tabela 8:	Especificações da lente Kowa LM8HC para sensor de 1 polegada de diâmetro.	85
Tabela 9:	Especificações do manipulador JeRoTimon.	87
Tabela 10:	Especificações do conversor ROBOTIS U2D2 (RS485-USB).	101

LISTRA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CCRoSA Centro de Competência em Robótica e Sistemas Autônomos

CPU *Central Processing Unit*

EAP Estrutura Analítica do Projeto

FPS *Frames Per Second*

GPS *Global Positioning System*

GPU *Graphic Processing Unit*

IMU *Inertial Measurement Unit*

LiDAR *Light Detection And Ranging*

NUC *Next Unit of Computing*

OMS Organizaçāo Mundial da Saúde

RGB *Red Green Blue*

ROS *Robot Operating System*

RTK *Real Time Kinematics*

SLAM *Simultaneous Localization and Mapping*

SSH *Secure Socket Shell*

QFD *Quality Function Deployment*

UGV *Unmanned Ground Vehicle*

USB *Universal Serial Bus*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo	11
1.2 Justificativa	11
1.3 Requisitos do Cliente	11
2 O SISTEMA	13
2.1 Escopo	13
2.2 Condições do ambiente para o desenvolvimento	13
2.3 Requisitos Técnicos	13
2.4 Desdobramento da Função Qualidade	14
2.5 Arquitetura Geral	15
3 DESENVOLVIMENTO	19
3.1 Estrutura Analítica do Sistema	19
3.2 Especificação de componentes	20
3.3 Funcionalidades	27
4 SIMULAÇÃO E INTEGRAÇÃO	33
4.1 Simulação	33
4.2 Integração	36
5 GESTÃO DO CONHECIMENTO	41
5.1 Lições aprendidas	41
6 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	45
APÊNDICE A Desenho mecânico	47
APÊNDICE B Esquema elétrico de potência	51
APÊNDICE C Desdobramento da Função Qualidade(QFD)	57

ANEXO A Especificação de componentes utilizados	61
A.1 Plataforma móvel Warthog	61
A.2 Computador Intel NUC	63
A.3 Switch MikroTik RB951G	66
A.4 Lidar Velodyne VLP-16	68
A.5 GPS Swiftnav Piksi V2	71
A.6 Câmera Basler ace acA4600	76
A.7 Lente Kowa LM8HC	85
A.8 Manipulador JeRoTimon	87
A.9 Conversor ROBOTIS U2D2 (RS485 - USB)	101

1 INTRODUÇÃO

Este documento visa agrupar todos os conteúdos abordados no processo de desenvolvimento e mostrar os resultados da integração e seleção de soluções que compõem a fase final do projeto: “Sistema para identificação e manipulação de objetos em ambientes externos utilizando plataforma móvel”.

1.1 Objetivo

O objetivo deste projeto é integrar uma plataforma móvel, um manipulador robótico e um conjunto de sensores com intuito de explorar autonomamente um ambiente externo de 4,000 m² de área utilizando [SLAM](#), identificar um objeto via câmera e interagir com este objeto por meio do manipulador robótico.

1.2 Justificativa

O presente trabalho tem como impulsionador principal a capacitação de novos pesquisadores preparados para solucionar os mais diversos problemas relacionados a robótica e sistemas autônomos.

Este relatório descreve o processo de integração de um sistema robótico desenvolvido no [CCRoSA](#) do SENAI/CIMATEC que constitui o trabalho final do programa de formação Novos Talentos.

1.3 Requisitos do Cliente

Através de reuniões com os orientadores, foram levantados os seguintes requisitos do cliente:

O sistema deverá ser autônomo

As tarefas realizadas pelo sistema integrado precisam ser executadas sem nenhuma intervenção do operador. Para isso, há um computador central que determina as tomadas de decisões do sistema.

O sistema deverá localizar e desviar de obstáculos

Para o sistema navegar no seu ambiente de trabalho é necessário que ele consiga reconhecer um obstáculo de a fim de desviá-lo. Com o seu sistema de percepção, uma nova rota deve ser designada para a base móvel.

O sistema deverá localizar a região de interesse

Utilizando a funcionalidade de exploração, o robô se desloca autonomamente por toda a área definida, mapeando cada espaço deslocado.

O sistema deverá identificar a “bomba” no local de trabalho estabelecido

Utilizando a funcionalidade de percepção, as câmeras conseguem detectar a “bomba”, determinando sua distância em relação à base móvel.

O sistema deverá desarmar a “bomba” utilizando o manipulador robótico

A interação que o sistema possui com o objeto no seu ambiente de trabalho é feita a partir de manipulador, representando o corte de fios elétricos com o seu *endeffector*.

O sistema possuirá monitoramento remoto

Durante o seu procedimento de trabalho, as tomadas de decisão e suas atividades podem ser monitoradas por um computador que esteja conectado na mesma rede. Também é possível parar o sistema com botões de emergência no controlador sem fio da base móvel.

O sistema possuirá modularidade

Foi adicionado um suporte mecânico à base móvel com o objetivo de acoplar sensores, atuadores e periféricos ao sistema.

O sistema deverá trabalhar em ambientes externos

A resistência do suporte mecânico foi definido para o ambiente de trabalho escolhido.

O sistema possuirá uma versão simulada

Caso seja necessário a adição de novos obstáculos ou modificar as configurações da movimentação do sistema, ele possui uma versão simulada que pode ser utilizada para validação.

2 O SISTEMA

O desenvolvimento da solução do desafio proposto tem alta relevância pois parte da necessidade de aplicar os conceitos vistos em manipuladores e robótica móvel durante os encontros que ocorreram neste ano. Além disso, este projeto não se limitou apenas ao uso da simulação mas também foi testado e executado em ambiente externo.

2.1 Escopo

A solução consiste na plataforma móvel *Warthog* da *Clearpath Robotics* capaz de navegar em ambientes internos ou externos. Para realizar a missão proposta pelos orientadores, foi necessário projetar e anexar um suporte mecânico na estrutura do robô móvel com o intuito de garantir a integração do manipulador JeRoTIMON e dos sensores **GPS**, **LiDAR** e câmera RGB, sendo estes, necessários para o cumprimento da atividade.

2.2 Condições do ambiente para o desenvolvimento

O ambiente para a concepção da solução, devido aos efeitos da pandemia do vírus COVID-19, foi realizado de forma híbrida, ou seja, foi elaborado pelos orientadores um plano em que designava os dias que o grupo teria acesso ao laboratório de Robótica e Sistemas Autônomos do SENAI/CIMATEC. Nos dias em que o grupo não estava presente no laboratório o trabalho era feito de forma remota (*home office*). Portanto foi de suma importância seguir as recomendações da **Organização Mundial da Saúde (OMS)** para preservar a saúde de todos os integrantes do laboratório.

2.3 Requisitos Técnicos

Os requisitos técnicos são as características necessárias para alcançar o objetivo do projeto. Para estabelecer estas premissas primeiramente se fez necessário, através de reuniões, fazer um levantamento das exigências solicitadas pelo cliente conforme visto na seção 1.3. Por fim o grupo responsável pelo desenvolvimento da solução levantou os requisitos técnicos que estão listados abaixo:

- A elaboração da solução prezou pela utilização do sistema operacional *Linux Ubuntu 18.04 LTS*;
- Utilizou o *framework* de robótica **Robot Operating System (ROS)** na versão *Melodic Morenia*;
- Utilizou o *framework* de manipulação *MoveIt!*;
- O *back-end* foi construído em *Python* e *C++*;

- A simulação da tarefa foi realizada através do *software Gazebo* com auxílio pela ferramenta de visualização *Rviz*;
- O terminal nativo do sistema operacional foi utilizado como *software* de interface;
- Utilizou-se o *software* de visão *OpenCV 3.3.1*;
- Utilizou-se a câmera *RGB Basler aca4600* como sensor óptico;
- O *SLAM* utilizado foi o *Cartographer* da *Google LLC*;
- Para a detecção de obstáculos foi utilizado o *Velodyne VLP-16*;
- O tipo de locomoção utilizado foi autônoma;
- Foi utilizado para a localização o sensor *GPS - Swiftnav Pixsi V2*;
- A área para realização da missão foi o pátio do CIMATEC 4;
- O sistema de comunicação com o robô utilizou *Wi-Fi 2.4GHz*
- A distância de comunicação variou entre 5 a 15m;
- A elaboração da solução buscou obter um sistema de alimentação fornecendo 12 e 24V através da base móvel;
- A autonomia operacional do sistema foi de aproximadamente 3h.

2.4 Desdobramento da Função Qualidade

O *Quality Function Deployment* (*QFD*), traduzido para o português como o Desdobramento da Função da Qualidade é uma ferramenta sistemática de melhoria contínua que foi desenvolvida pelo japonês Yoji Akai em 1966 no Japão. O objetivo principal desta ferramenta é ouvir, traduzir e transmitir, de forma priorizada, a voz do cliente para dentro do processo de desenvolvimento do produto (NUNES, 2019).

No apêndice C está representado a matriz *QFD* desenvolvida para a concepção da solução. Na primeira parte da matriz podemos verificar as relações entre os requisitos técnicos e os requisitos do cliente, as correlações entre os requisitos técnicos e a direção de melhoria destes requisitos caracterizando o primeiro ciclo de construção da matriz. Na segunda parte, é mostrada a relação ou confronto entre os requisitos técnicos e as funcionalidades do sistema, as correlações entre as funcionalidades e a direção de melhoria destas premissas, portanto, se encerra o segundo ciclo de construção da matriz.

A pirâmide localizada no canto superior da matriz de cada ciclo demonstra a correlação entre os requisitos técnicos e as funcionalidades, respectivamente. Ela pode ser definida por positiva, negativa ou sem correlação. Essas informações são importantes para definir

o nível de interferência de um requisito técnico ou funcionalidade em outro(a), seja de maneira positiva ou negativa.

O alvo define a variável de importância do requisito técnico e o seu valor desejado. A direção de melhoria mostra que requisitos técnicos devem focar em manter esta variável estável ou trabalhar em melhorias contínuas, o mesmo ocorre para as funcionalidades.

Essa avaliação demonstra os requisitos que receberam mais atenção durante o desenvolvimento da solução:

- *Framework* de manipulação;
- *Software* de visão;
- Sistema de percepção;
- *Software* de mapeamento;
- *Software* de localização;
- Tipo de locomoção.

Apesar de alguns requisitos receberem mais atenção que outros, não muda o fato que todos os requisitos deverão ter suas metas alcançadas como indica a matriz.

2.5 Arquitetura Geral

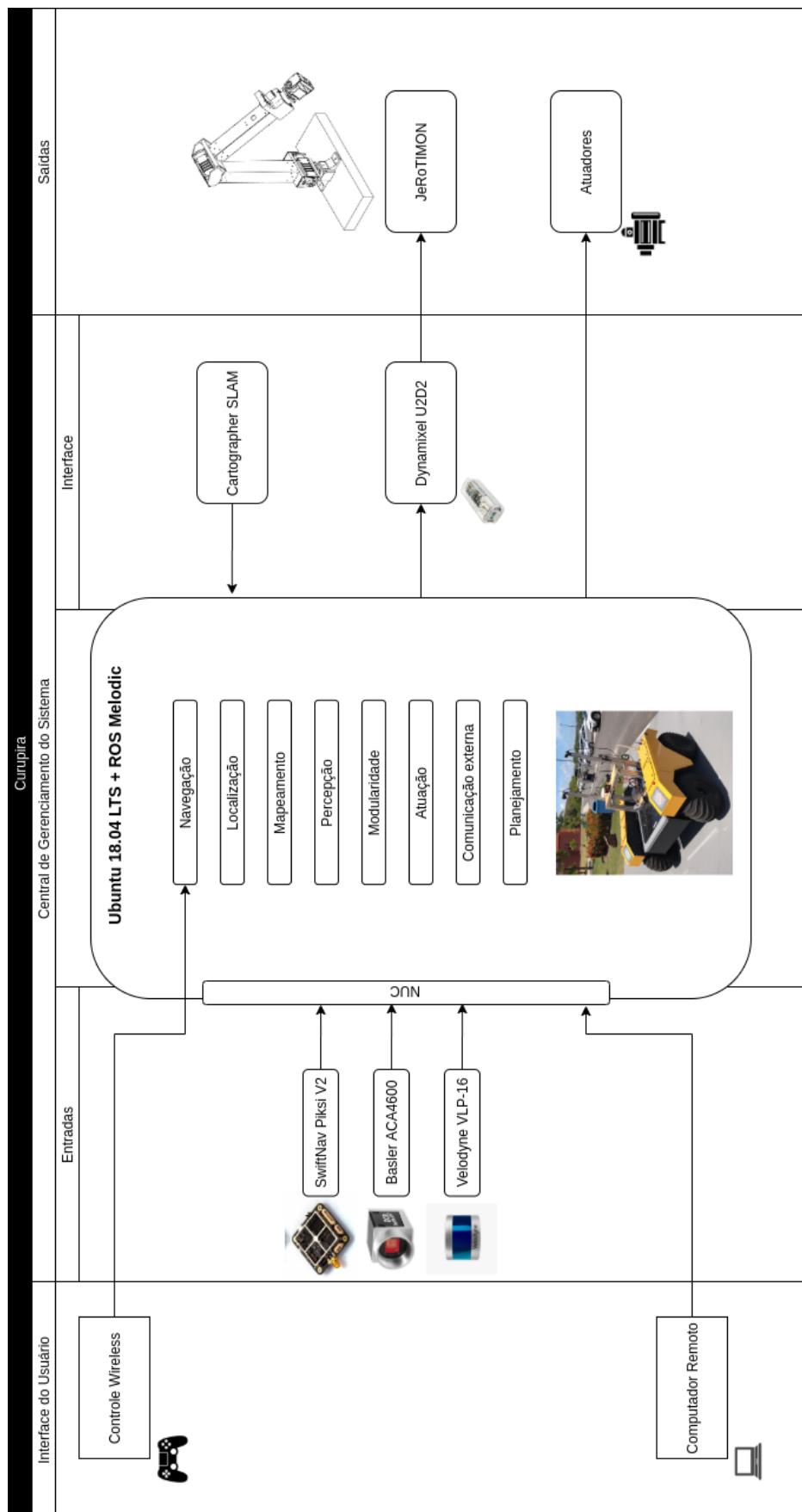
A arquitetura geral é uma representação do sistema de um jeito amplo, destacando as funcionalidades dos componentes de *hardware* e *software* e demonstrando as suas integrações.

Ela é dividida em três grandes grupos: Interface do Usuário, Central de Gerenciamento do Sistema e Saídas. A Interface do Usuário representa o monitoramento remoto do sistema a partir da visualização das atividades via computador remoto ou tomada de decisão do usuário pelo controle *wireless*. A Central de Gerenciamento do Sistema define as entradas e a interface do sistema, ao mesmo tempo que engloba a comunicação entre os computadores e o manipulador. O desenvolvimento de *software* utiliza o sistema operacional *Linux Ubuntu 18.04* e o *framework* de desenvolvimento de robótica *ROS Melodic*.

O sistema que provê os dados para a navegação, localização, planejamento e mapeamento é o *Cartographer SLAM*. A comunicação com o manipulador é feito através de um dispositivo da *ROBOTIS* de nome *U2D2* como mostra o Anexo A.9.

A Figura 1 demonstra as divisões da arquitetura.

Figura 1: Arquitetura Geral Simplificada.



Fonte: Autoria própria.

O sistema é dividido nas seguintes funcionalidades:

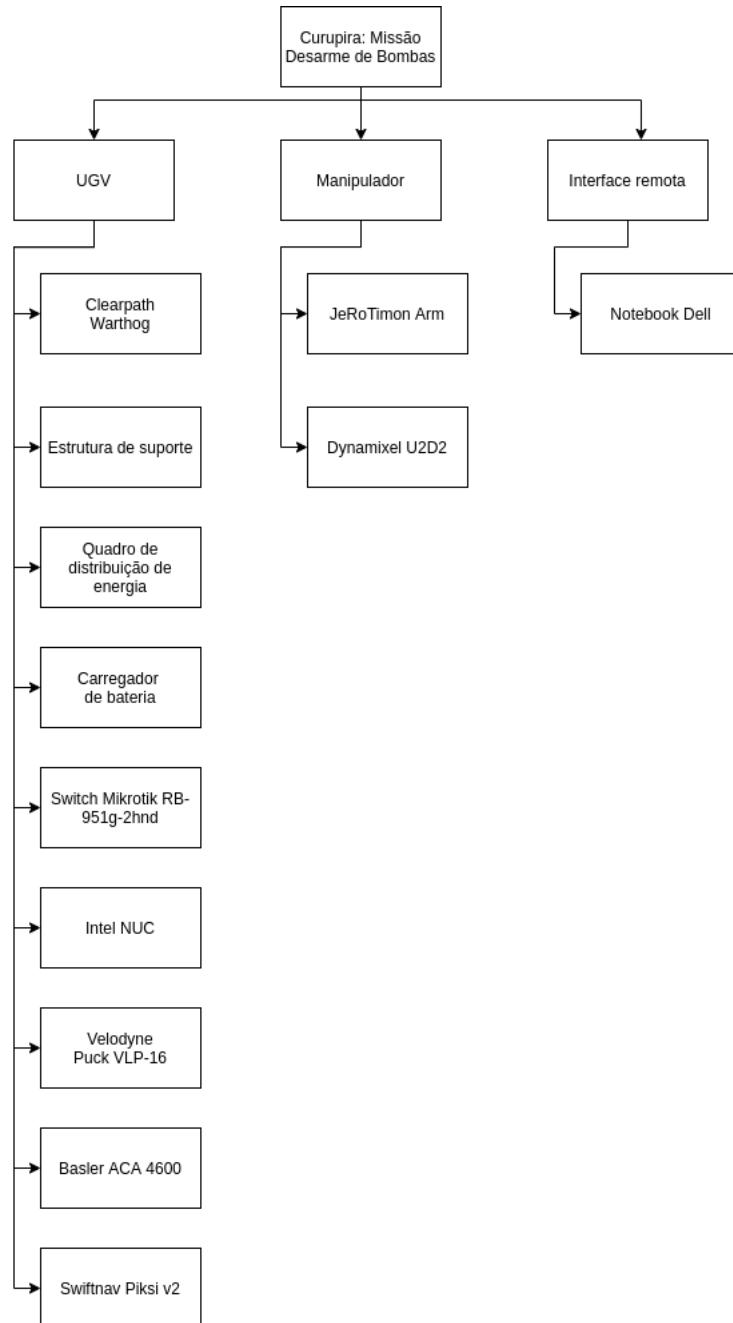
- Navegação: Responsável pelo controle dos *drivers* dos motores presentes na plataforma móvel.
- Localização: Responsável por determinar a posição do sistema em relação ao mapa do ambiente de trabalho.
- Mapeamento: Responsável por construir o mapa do ambiente de trabalho, mostrando os obstáculos do mesmo.
- Percepção: Responsável pelo processamento dos dados obtidos pelas câmeras e pelo [LiDAR](#).
- Modularidade: Capacidade do sistema de integrar novos periféricos, como sensores, câmeras, manipuladores e computadores externos.
- Atuação: Responsável por designar as atividades do manipulador.
- Comunicação externa: Responsável pela comunicação do computador central localizado na plataforma móvel e dos computadores remotos que possuem os pacotes do [ROS](#).
- Planejamento: Responsável por designar trajetórias livres de obstáculos para o sistema.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Estrutura Analítica do Sistema

A Estrutura Analítica do Projeto (EAP), conforme visto na Figura 2, apresenta uma descrição de alto nível dos componentes que compõem o protótipo. Neste equipamento específico, o protótipo é formado fundamentalmente por um *Unmanned Ground Vehicle* (UGV), traduzido para o português como Veículo Terreste não Tripulado, um manipulador robótico e uma interface remota. O UGV representa a plataforma móvel responsável pela locomoção do protótipo, além de servir de base para todos os sensores, computadores e para o manipulador integrado. Dentre os sensores disponíveis, destacam-se a câmera RGB *Basler aca4600* e o LiDAR *Velodyne VLP-16*. A atuação sobre dispositivos externos é realizada pelo manipulador JeRoTIMON sob supervisão da “inteligência” embarcada. Por fim, a interface remota, constituída de um notebook, é responsável por fornecer em tempo real informações provenientes do robô para o usuário.

Figura 2: Estrutura Analítica do Projeto.



Fonte: Autoria própria.

3.2 Especificação de componentes

Os componentes principais de *hardware* selecionados para compor o sistema desenvolvido encontram-se relacionados nesta seção, juntamente com uma breve descrição de seus atributos principais.

Plataforma móvel

A plataforma móvel escolhida para este projeto foi o [UGV](#) anfíbio *Warthog* fabricado e comercializado pela *Clearpath Robotics*, conforme visto na Figura 3. Esta plataforma possui peso bruto igual a 590 kg distribuídos ao longo dos seus 1,52 m de comprimento, 1,38 m de largura e 0,83 m de altura. O *Warthog* é caracterizado pela sua capacidade de movimentação em condições adversas em ambientes secos ou alagados, desde que o mesmo não seja completamente submerso (*IP Rating - 65*). Sua velocidade máxima é 18 km/h em terra e 4 km/h na água. Além disso, quando em operação terrestre, o mesmo suporta carga útil de até 272 kg, podendo movimentar-se em terrenos com inclinação máxima de 35 a 45 °. Suas baterias são do tipo chumbo ácido com tensão nominal de 48 V e capacidade de 105 Ah, o que lhe permite um tempo nominal de operação de 2,5 h.

Além do sistema eletro-mecânico motriz, o *Warthog* conta também com um computador de bordo configurado para operação do ambiente [ROS Kinetic](#) e um conjunto de sensores ([IMU](#), [GPS](#) e *encoders*) e atuadores (E-Stop). Informações disponíveis no Anexo [A.1](#).

Figura 3: UGV *Warthog* da *Clearpath Robotics*

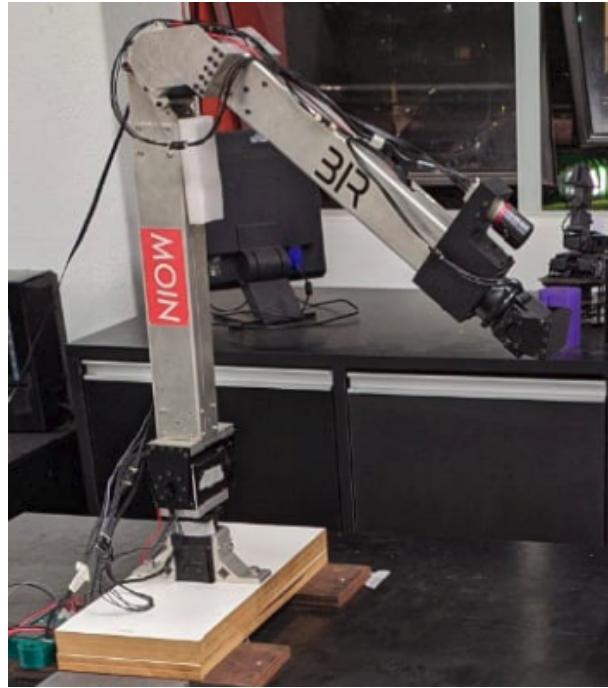


Fonte: ([Clearpath Robotics, 2016](#)).

Manipulador robótico

Manipuladores robóticos são utilizados como atuadores capazes de interferir no ambiente onde estão inseridos de forma a manipular possíveis objetos de interesse. O manipulador escolhido denominado JeRoTIMON, Figura 4, foi desenvolvido em um projeto de pesquisa pelo grupo [CCRoSA](#). Este equipamento possui 5 graus de liberdade, é capaz de levantar até 2 kg de material e possui alcance máximo de 981 mm. Sua massa total, incluindo a base, é de 10 kg. Informações disponíveis no Anexo [A.8](#).

Figura 4: Manipulador *JeRoTimon*.



Fonte: Centro de Competência em Robótica e Sistemas Autônomos.

LiDAR

O **LiDAR** é um dispositivo de sensoriamento óptico capaz de aferir a distância entre si e as superfícies no seu entorno, através da emissão de um feixe *laser* e consequente aferição do tempo de retorno da luz emitida. O **LiDAR** utilizado nesta aplicação foi o *Velodyne VLP-16*, Figura 5, o qual é capaz de aferir distâncias de até 100 m com acurácia típica de ± 3 cm. Este conta com ângulo de visão horizontal de 360° e ângulo de visão vertical de -15 a $+15^\circ$ subdividido em 16 feixes de *laser* classe 1. A frequência de amostragem do escaneamento pode ser selecionada dentro da faixa de 5 a 20 Hz. Fisicamente, o *Velodyne VLP-16* é construído como um cilindro de 103,3 mm de raio e 71,7 mm de altura com 830 g. Informações disponíveis no Anexo A.4.

Figura 5: *Lidar Velodyne VLP-16*



Fonte: *Velodyne Lidar*

Sistema de georreferenciamento

O sistema de georreferenciamento fornece dados de geolocalização: latitude, longitude e altura da plataforma móvel, utilizados pelo sistema de [SLAM](#). O dispositivo utilizado foi o modelo *Piksi V2* da fabricante *Swiftnav*, Figura 6. Este módulo tem dimensões de 53 por 53 mm, não contando a antena externa utilizada, e é capaz de fornecer medidas com frequência de 10 Hz e acurácia centimétrica quando utilizado no modo [RTK](#). Informações disponíveis no Anexo A.5.

Figura 6: GPS *Piksi V2* da *Swiftnav*



Fonte: *Swiftnav*.

Câmera

Com o intuito de realizar a detecção da “bomba”, foi utilizada uma câmera **RGB** modelo acA4600-10uc da fabricante *Basler*, como visto na Figura 7. Este dispositivo conta com resolução máxima de 4608 por 3288 *pixels* entregues através de conexão **USB** 3.0. A frequência de captura nominal é de 10 Hz, mas pode ser configurada tendo-se em vista a aplicação, resolução e largura de banda da conexão utilizada. Esta câmera possui largura igual a 29 mm, comprimento 41,3 mm e altura 29 mm, com massa inferior a 80 g. Informações disponíveis no Anexo [A.6](#).

Figura 7: Câmera *Basler* acA4600-10uc.



Fonte: *Basler*.

Lente

Utilizada em conjunto com a câmera *Basler acA4600* (Secção [3.2](#)), a lente *Kowa LM8HC* permite que as imagens sejam capturadas com ângulo de visão vertical de 44,7° e horizontal de 58,3°. Esta lente está disposta na Figura 8. A distância mínima para foco é de 10 cm e o comprimento focal é de 8 mm com *F Ratio* de 1:1.4 máximo. As dimensões deste dispositivo são respectivamente 66 x 57 x 57 mm (C x L x P), contando com massa igual a 205 g. Informações disponíveis no Anexo [A.7](#).

Figura 8: Câmera *Kowa* LM8HC.



Fonte: *Kowa*.

Computador central

O computador de bordo escolhido para o processamento das informações provenientes dos sensores e dos algoritmos necessários para o funcionamento da aplicação foi o modelo [NUC](#) 5i5RYK fabricado pela *Intel*, Figura 9. Informações disponíveis no Anexo A.2. Suas principais configurações são:

- Processador Intel Core i5-5250U com frequência de 1.6 GHz (com possibilidade de trabalhar até 2.7 GHz) e 3 MB de memória cache;
- 16 GB de memória RAM DDR3L com frequência de 1333 MHz;
- Placa de vídeo integrada HD Intel 6000;
- 4 portas USB 3.0;
- Saída de vídeo mini HDMI;
- Saída de áudio e entrada de microfone 3.5 mm;
- Placa de rede que suporta cabeamento RJ45 com velocidade de 10/100/1000 Mbps e Wi-Fi;
- Armazenamento interno via SSD SATA *Crucial CT250MX200SSD4* de 256 GB.

Figura 9: Intel NUC5i5RYK.



Fonte: Intel.

Switch

Switch é um equipamento de comunicação capaz de redirecionar pacotes *Ethernet* entre dispositivos nele conectado, possibilitando a integração e comunicação entre esses dispositivos. O modelo de *switch* escolhido é fabricado pela *MikroTik*, sob especificação RB951G, como mostra a Figura 10. Este foi escolhido por apresentar, número de portas e velocidade de comunicação suficiente para a aplicação. Ele possui 5 portas de conexão com velocidades de 10 Mbps, 100 Mbps e 1000 Mbps. Suas dimensões são respectivamente 113 x 138 x 29 mm (C x L x P) com massa igual a 232 g. Informações disponíveis no Anexo A.3.

Figura 10: *Switch* RB951G, *MikroTik*.



Fonte: *MikroTik*.

3.3 Funcionalidades

As funcionalidades de um sistema robótico descrevem os subsistemas e a lógica de operação dos mesmos. Para o desenvolvimento da solução proposta pela equipe Curupira, foi levado em consideração oito principais funcionalidades: localização, navegação, percepção, planejamento, mapeamento, modularidade, atuação e comunicação externa.

Localização

A funcionalidade de localização representa a capacidade do robô definir a sua posição em um ambiente de trabalho.

A solução definida foi utilizar um sistema de georreferenciamento, tendo em vista que o ambiente de trabalho do sistema é externo. Este sistema de georreferenciamento define as posições de latitude e longitude do robô, que são corrigidas em tempo real à medida que o mesmo se move.

O dispositivo utilizado foi o modelo *Piksi V2* da fabricante *Swiftnav*. A Figura 11 representa a leitura do sensor na área externa do CIMATEC 4.

Figura 11: Leitura do GPS.

Num. sats	8
Lat	-12.937993355
Lng	-38.3884693097
Alt	31.8691921598
Flags	0x00
Mode	SPP (single point position)
Vel. N	0.0140
Vel. E	0.0100
Vel. D	0.0200
PDOP	2.4
GDOP	2.8
TDOP	1.5
HDOP	1.1
VDOP	2.1

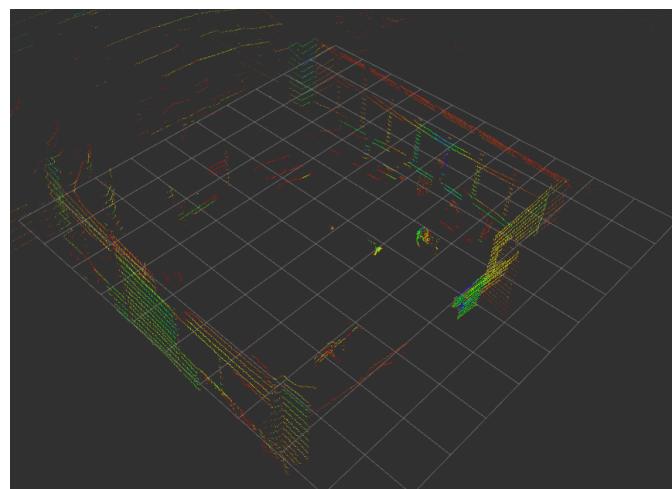
Fonte: Autoria própria. Software: *Swift Console* (*Swift Navigation*, 2020).

Percepção

A funcionalidade de percepção compreende as saídas geradas pelos sensores integrados ao sistema. Com estas entradas, é possível realizar as tarefas de mapeamento, localização, detecção e navegação autônoma. A qualidade dos sensores é imprescindível para que as tomadas de decisão realizada pelo robô não acarretem falhas.

As principais entradas da funcionalidade são nuvens de pontos para detecção de objetos e obstáculos (Figura 12), georreferenciamento para localização e imagem RGB para identificação do objetivo final (Figura 13).

Figura 12: Leitura do Velodyne VLP-16.



Fonte: Autoria própria.

Figura 13: Identificação da “bomba” utilizando câmera *Basler*.



Fonte: Autoria própria.

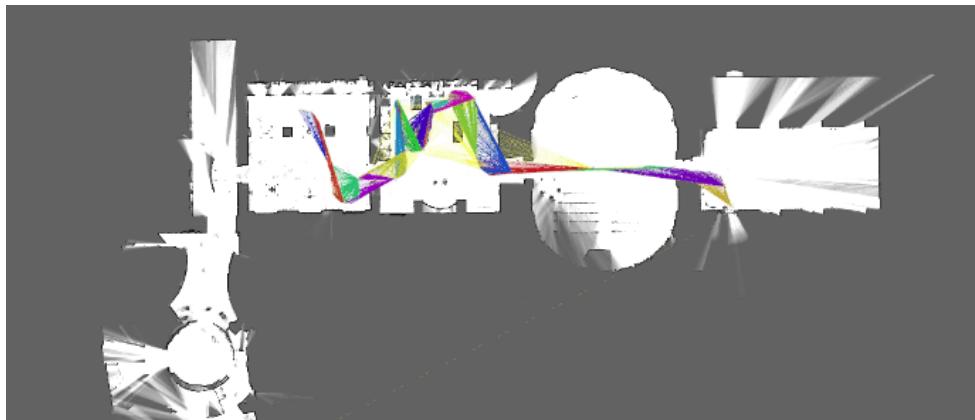
Mapeamento

A funcionalidade de mapeamento define a capacidade de um robô encontrar os obstáculos no ambiente que está inserido. Essa definição é extremamente importante pois ela influencia diretamente na capacidade de movimentação da plataforma móvel no ambiente.

O *software* que trás as definições para essa funcionalidade é o *Cartographer*. Ele possui um pacote integrado ao *framework ROS* e tem como objetivo a construções de mapas 2D ou 3D utilizando diferentes tipos de sensores perceptivos ([The Cartographer Authors, 2020](#); [HESS et al., 2016](#)).

O mapeamento teve como principais entradas a nuvem de pontos gerada pelo *LiDAR Velodyne VLP-16* e a localização determinada pelo *GPS Swiftnav Piksi V2*, porém sensores adicionais como *IMU*, odometria e outras nuvens de pontos poderiam melhorar sua performance. Um exemplo de como o algoritmo funciona pode ser visto na Figura 14.

Figura 14: Mapeamento exemplo - *Cartographer*.



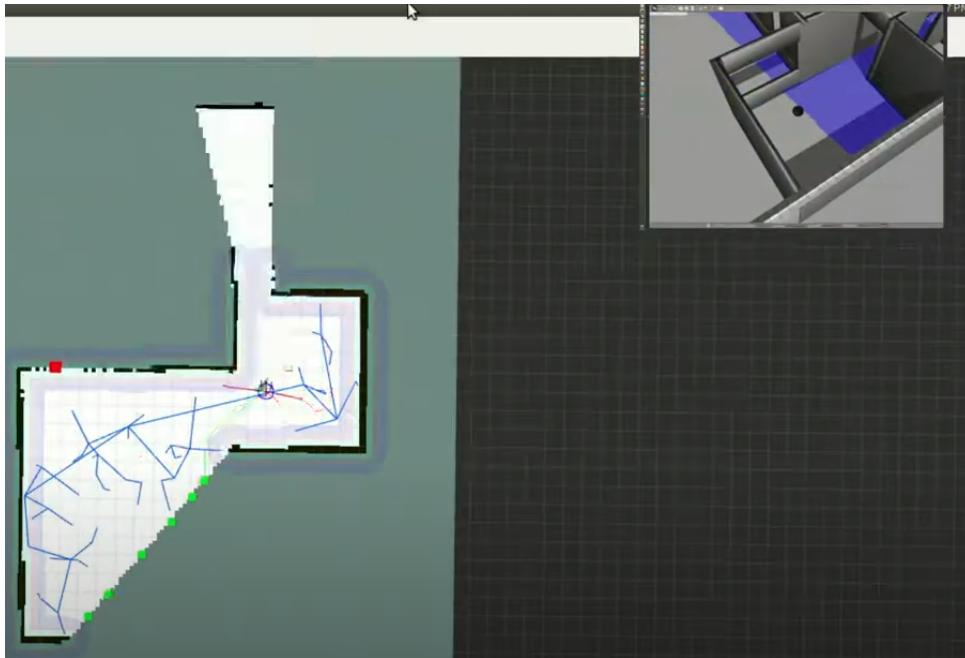
Fonte: ([The Cartographer Authors, 2020](#)).

Planejamento

O planejamento é uma funcionalidade que garante que o robô possa fazer uma rota viável. Tendo em vista que o sistema trabalhará em um ambiente com objetos estáticos, sua principal tomada de ação após a detecção de obstáculos é realizar o desvio ou transposição dos mesmos, mantendo o objetivo final.

O *software* por trás desta funcionalidade é o *RRT Exploration* ([UMARI, 2018](#)). Ele é um pactote *ROS* que implementa exploração em robôs móveis. Seu requerimento é a publicação constante de um mapa, que é proveniente da funcionalidade de mapeamento ([UMARI; MUKHOPADHYAY, 2017](#)). Um exemplo de como o algoritmo funciona pode ser visto na Figura 15.

Figura 15: Exemplo de exploração - *RRT*.



Fonte: (UMARI; MUKHOPADHYAY, 2017).

Navegação

A funcionalidade de navegação é a responsável pela movimentação da base móvel *Clearpath Warthog* ([Clearpath Robotics, 2016](#)). A integração das funcionalidades de percepção, mapeamento e planejamento permite que o robô se mova de forma autônoma pela área externa do CIMATEC 4.

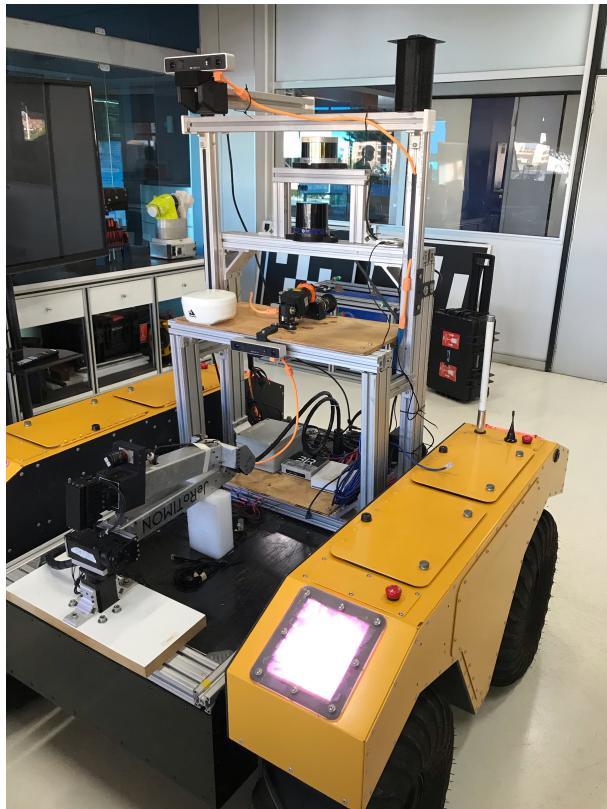
Também existe a possibilidade de movimentação via controle remoto, caso o robô tenha esteja em teste ou tenha cometido alguma falha, necessitando do comando de um operador externo.

Modularidade

A modularidade define a capacidade do sistema de adicionar novos módulos. Estes novos módulos implicam em novas combinações de sensores e atuadores, podendo melhorar sua tomada de decisão e adicionando novas aplicações para o sistema integrado.

A modularidade é dividida em três subsistemas. O subsistema mecânico engloba a parte estrutural do suporte e a sua conexão com a plataforma móvel, onde os sensores são fixados (como mostra Figura 16 e mais detalhadamente no Apêndice A). O subsistema de controle é definido pela obtenção de dados dos diversos sensores conectados ao computador central via *switch*. Por fim, existe o subsistema de potência, onde os módulos e sensores são energizados dependendo de suas necessidades, como visto no Apêndice B.

Figura 16: Suporte mecânico e sensores integrados.



Fonte: Autoria própria.

Atuação

Para o objetivo final, é necessário que haja interação entre o manipulador robótico e a “bomba”. A funcionalidade de atuação envia os comandos necessários para que o manipulador JeRoTIMON tenha contato com os fios e retorne para a posição inicial, finalizando o processo.

Comunicação externa

A funcionalidade de comunicação externa define os dispositivos de controle que estão conectados ao computador central. O computador central que está localizado no *Clearpath Warthog* se comunica com o computador localizado no suporte mecânico, que pode ser conectado na mesma rede por qualquer outro computador via *Secure Socket Shell (SSH)*.

4 SIMULAÇÃO E INTEGRAÇÃO

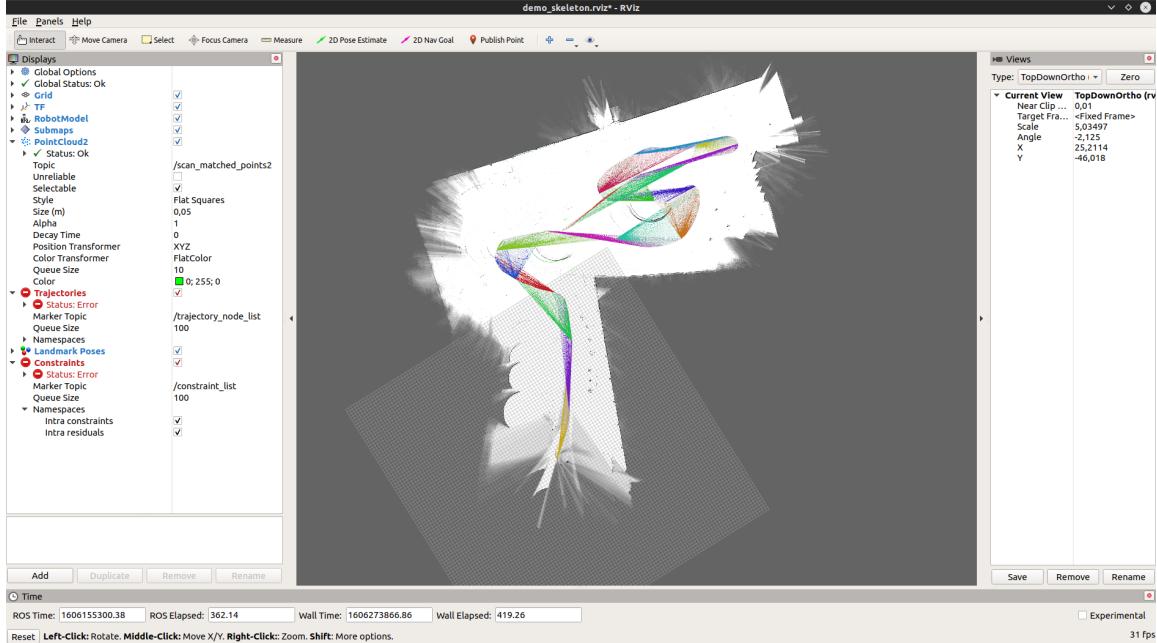
Durante o desenvolvimento deste trabalho, os códigos, *scripts* e arquivos de configuração foram criados, modificados e ajustados em duas fases parcialmente distintas denominadas simulação e integração. Durante o período de simulação, todos os códigos e arquivos de configuração necessários foram executados no *framework ROS Melodic* através do ambiente de simulação Gazebo 9. Em contrapartida, durante a integração dos equipamentos reais, tais códigos e arquivos de configuração, exceto os referentes à detecção da “bomba”, foram executados utilizando um par de computadores conectados em rede. O primeiro destes computadores está localizado dentro do *Warthog* e utiliza o *ROS Kinetic*, sendo este responsável por executar o *ros master node*. Por sua vez, o segundo computador trata-se da Intel NUC (Seção 3.2) e utiliza a versão *Melodic* deste *framework*.

Neste capítulo serão apresentados os resultados e desafios encontrados na aplicação dos componentes anteriormente descritos para a execução das funcionalidades desejadas nos dois períodos do desenvolvimento.

4.1 Simulação

A fase de simulação teve como objetivo principal validar a funcionalidade dos algoritmos e sensores escolhidos para a execução da missão de “desarme da bomba”, bem como, iniciar o processo de compreensão do funcionamento dos mesmos e dos ajustes necessários para o funcionamento destes de forma individual e em conjunto. A Figura 17 representa uma série de testes realizados com o intuito de ajustar os parâmetros de configuração do *software Cartographer* de forma a executar o mapeamento e localização da plataforma móvel em ambiente simulado. Neste teste em específico, apenas o *LiDAR* estava ativo, de forma a simular a inexistência efetiva dos sensores *IMU*, *GPS* e odometria da plataforma móvel real devido às dificuldades de utilizá-los com o *Cartographer*. O resultado apresentado nesta figura indica a necessidade da utilização de outros sensores durante o processo de *SLAM*, uma vez que durante rotações da plataforma móvel, pode ocorrer uma falha na comparação entre as *point clouds* capturadas com consequente falha na estimativa correta da localização do robô e na geração do mapa do ambiente.

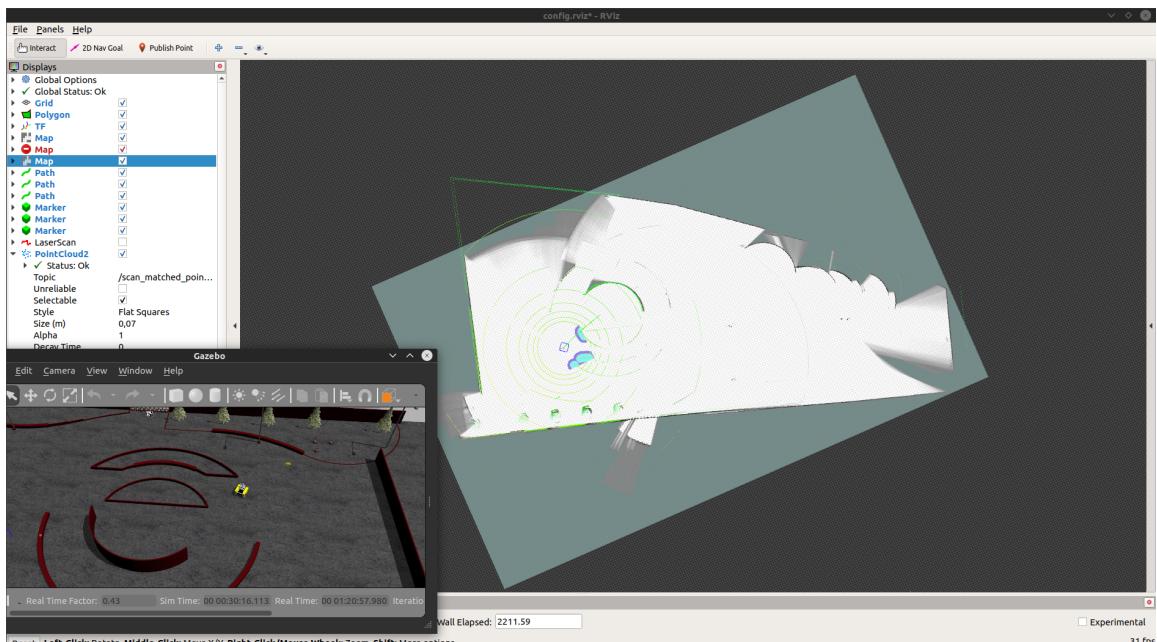
Figura 17: Resultado de mapeamento errôneo com o *Google Cartographer*.



Fonte: Autoria própria.

Desta forma, em outro momento, já com a utilização do pacote *move_base* configurado para a plataforma, e tendo-se um melhor entendimento dos parâmetros de funcionamento dos algoritmos utilizados, foram simuladas a utilização do **LiDAR**, **GPS**, **IMU** e odometria como fontes de informação simultâneas para o *Cartographer*, como demonstra a Figura 18.

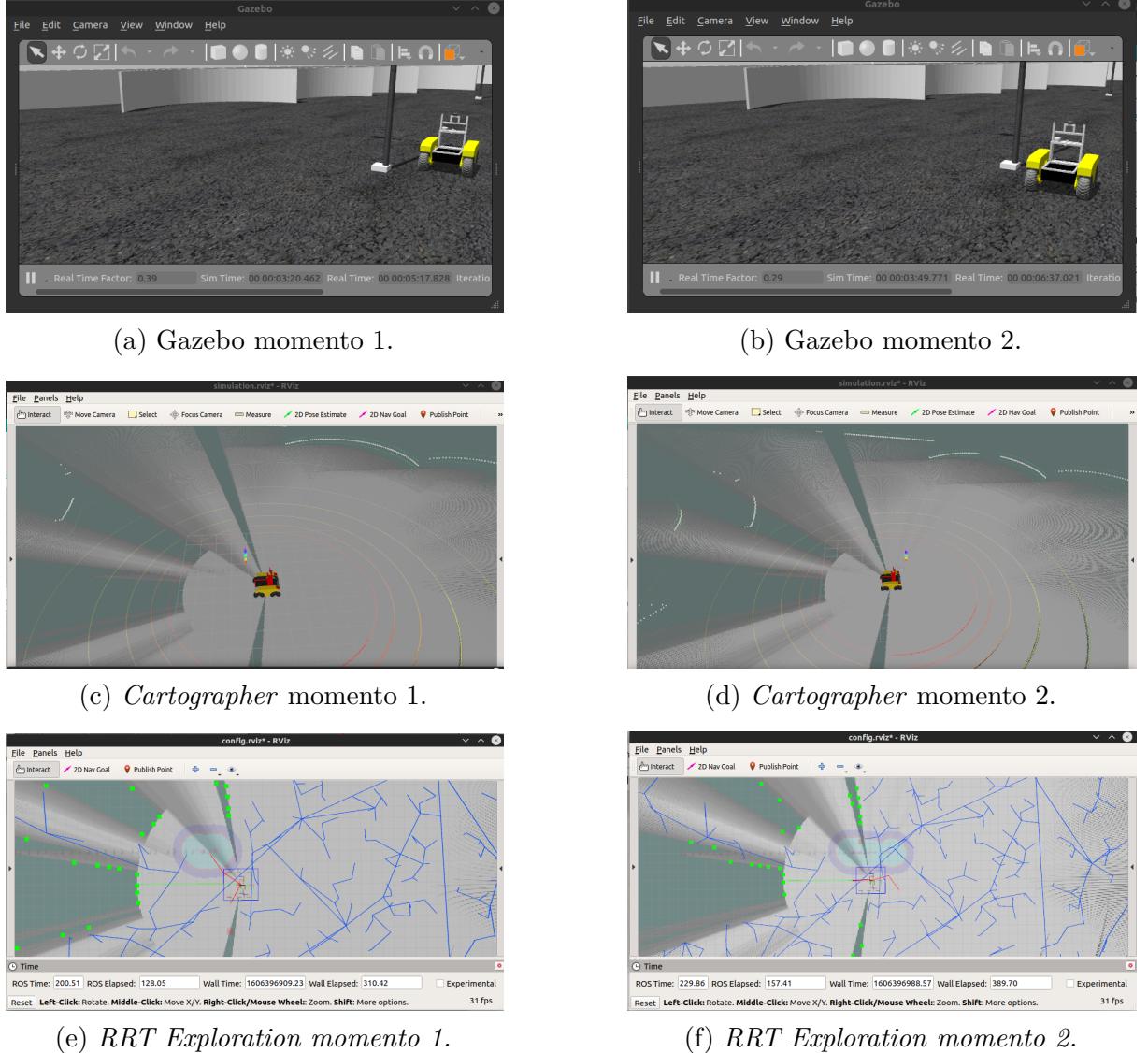
Figura 18: Resultado de mapeamento correto com o *Google Cartographer*.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 19 mostra dois momentos distintos de execução do conjunto dos pacotes responsáveis pela autonomia da plataforma móvel: *move_base*, *Cartographer* e *RRT Exploration*. A análise destas imagens mostra que a plataforma é capaz de desviar dos obstáculos existentes na simulação durante o processo de exploração para o mapeamento do ambiente.

Figura 19: Exploração, localização e mapeamento autônomos.



Fonte: Autoria própria.

Por fim, a última funcionalidade testada em ambiente simulado foi a modificação do algoritmo de controle do manipulador JeRoTIMON, como mostra a Figura 20. Este algoritmo foi atualizado referente ao manipulador ElBorgson, manipulador robótico desenvolvido pelos pesquisadores do CCRoSA. Essa modificação buscou organizar e estruturar o código, além de modificar o serviço de interface para controle do manipulador JeRoTIMON.

Figura 20: Simulação de manipulação.



Fonte: Autoria própria.

4.2 Integração

Modificações foram realizadas sobre a plataforma móvel *Warthog*, de forma que a mesma viesse a transportar todos os componentes necessários para o desenvolvimento deste e de outros projetos, visando também o emprego de materiais existentes e a praticidade de sua construção, operação e manutenção. O protótipo utilizado encontra-se disposto na Figura 21.

Figura 21: Integração do protótipo.



Fonte: Autoria própria.

O planejamento inicial deste projeto propôs a utilização do *LiDAR Velodyne VLP-16* e da câmera *MyntEye S1030* como sensores principais, com possibilidade de uso da **IMU**, **GPS** e odometria integrados no *Warthog* como auxílio à navegação. Contudo, não foi possível a utilização de nenhum sensor integrado ao *Warthog*, uma vez que a integração de qualquer combinação deles com o **LiDAR** no *Cartographer* produz uma série de erros e falhas de operação deste último. Investigações e tentativas de resolução destes problemas foram executadas sem resultados definitivos. A solução encontrada foi a substituição dos sensores integrados por outros conectados diretamente à **NUC** responsável por executar o *Cartographer*. A Figura 22 apresenta o mapa gerado pelo *Cartographer* através do uso do **LiDAR** *Velodyne VLP-16* em conjunto com o **GPS** *Swiftnav Piksi V2*, sob controle teleoperado. Tentativas de integrar a odometria fornecida por um par de sensores *Swiftnav Piksi V2* configurados para operação **RTK** foram iniciadas, mas não finalizadas devido ao tempo disponível.

Figura 22: Resultado de mapeamento com o *Google Cartographer* em ambiente real.



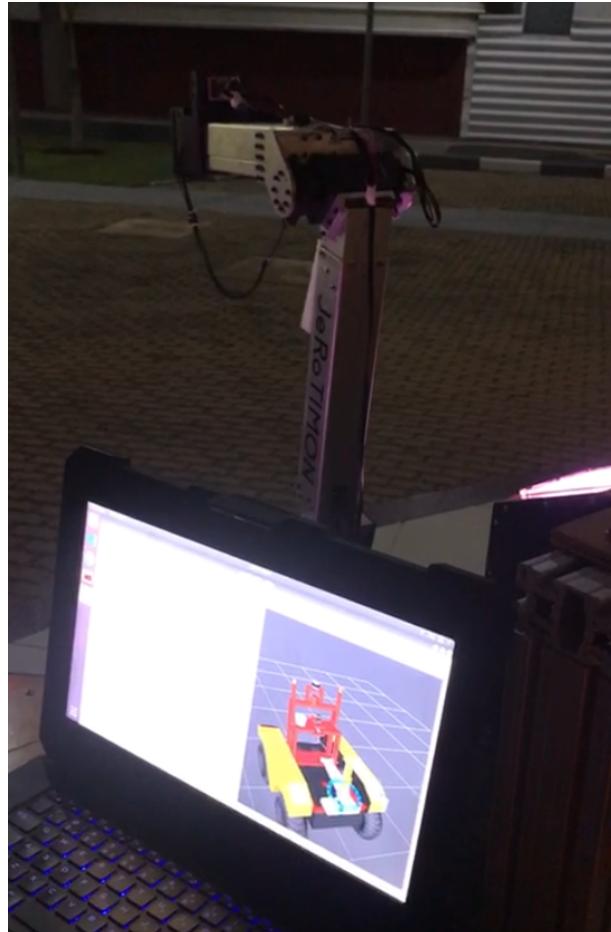
Fonte: Autoria própria.

Os algoritmos utilizados para operação autônoma, *move_base* e *RRT Exploration*, foram configurados e estão operacionais. Contudo há necessidade da realização de testes mais exaustivos para garantir o seu correto funcionamento.

Por sua vez, a integração do manipulador JeRoTIMON transcorreu de forma tranquila

e com o resultado esperado, disposto na Figura 23. Recomenda-se que sejam realizados mais testes relacionados aos planos de colisão, a fim de se obter uma garantia maior sobre sua segurança operacional.

Figura 23: Integração da manipulação.

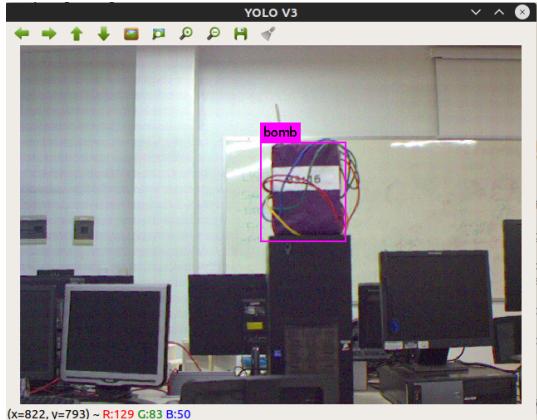


Fonte: Autoria própria.

Finalmente, a última funcionalidade construída foi a detecção da “bomba”. Para tanto, foi treinada uma rede neural tipo YOLOv3-tiny, que é baseada na rede YOLOv3, (REDMON; FARHADI, 2018) através do uso da plataforma *Google Colab PRO* e dos *scripts Python* (theAIGuysCode, 2020). O treinamento foi realizado utilizando 341 imagens adquiridas da “bomba” usando a câmera *Basler aca4600*, que foi escolhida por ter um pacote **ROS** com menor custo de processamento na *Central Processing Unit (CPU)*, em relação ao da câmera *MyntEye S1030*.

Após o treinamento, a rede foi executada utilizando o pacote **ROS darknet_ros** (BJE-LONIC, 2020). Exemplos dos resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 24a e 24b.

Figura 24: Resultado da detecção da “bomba”.



(a) Ambiente fechado.



(b) Ambiente aberto.

Fonte: Autores.

Cabe ressaltar, que o pacote *darknet_ros* utiliza o *framework CUDA* para aceleração de sua execução sob presença de *Graphic Processing Unit* (*GPU*)s NVidia. Nos testes realizados, a quantidade de *Frames Per Second* (*FPS*) processados pela rede neural saltou de ≈ 2 *FPS* para ≈ 70 *FPS* ao utilizar uma *GPU* NVidia Quadro P2000 Mobile em conjunto com a *CPU* Intel Xeon E-2176M original.

Até o presente momento, não foi possível finalizar a integração completa das funcionalidades construídas com o intuito de produzir uma plataforma móvel capas de “desarmar a bomba” de forma completamente autônoma. Trabalhos futuros serão realizados para completar a integração deste projeto.

5 GESTÃO DO CONHECIMENTO

O objetivo principal desta metodologia é auxiliar a busca do conhecimento organizacional de forma eficiente. Para isso, é necessário reunir as seguintes funções: organizar, disseminar, avaliar, mensurar e criar os inúmeros conhecimentos organizacionais concebidos durante o desenvolvimento do projeto ([STRAUHS et al., 2012](#)).

O presente capítulo tem por objetivo apresentar as lições aprendidas que surgiram durante cada etapa do projeto, ou seja, partiu da fase inicial do planejamento até a etapa de construção do modelo real. A metodologia utilizada para o desenvolvimento das lições aprendidas foi criar uma comparação entre o que era esperado e o que realmente aconteceu em cada uma das etapas do projeto. Na seção a seguir serão descritas as lições aprendidas durante a concepção da solução do desafio proposto.

5.1 Lições aprendidas

Entende-se lições aprendidas como sendo um conjunto de aprendizagens seja ela positiva ou negativa adquiridas durante todo o processo de desenvolvimento do projeto ([PMBOK, 2008](#)). Esta atividade de coletar e analisar as lições aprendidas é considerada uma forma de transferir todo o conhecimento gerado durante a fase de execução de um projeto e com isso torna-se possível auxiliar na elaboração de projetos futuros ([VERONESE, 2014](#)).

Durante o processo de elaboração das lições aprendidas foi de suma importância o envolvimento de todos os participantes envolvidos neste projeto. A Tabela 1 mostra como foi estruturada cada lição aprendida abordando os seguintes aspectos: tema, fase, impacto, o que ocorreu?, como resolveu?, resultados e recomendações para próximos projetos.

Tabela 1: Lições aprendidas.

Tema	Fase	Impacto	O que ocorreu?	Como resolveu?	Resultados	Recomendações para os próximos objetos
Gestão	Planejamento	Negativo	Não conseguiu prever as dificuldade do projeto	Refazendo o cronograma	Melhor divisão das atividades	Discussão de todas as atividades durante a etapa do planejamento
Gestão	Planejamento	Negativo	Não houve tempo hábil para realização das atividades	Aumento na carga horária	Realização das tarefas previstas no cronograma	Prever dificuldades nas atividades e designar tempo extra para realização das mesmas.
Tecnológico	Execução	Negativo	Representação dos sensores na simulação não condizem com a realidade	Diminuir os esforços nas atividades de simulação	Adequação dos sensores para atividade com base nos testes de campo.	Agilizar o processo de verificação da proximidade da simulação com a realidade e agilizar a escolha de prioridades.
Tecnológico	Execução	Negativo	Insistir em soluções falhas	Buscar soluções alternativas	Chegou em uma solução adequada	Dividir grupo de forma a corrigir a falha e simultaneamente procurar solução alternativa
Gestão	Execução	Positivo	Buscar alcançar o resultado final em detrimento de resultados parciais não estritamente necessários	Investir os esforços no robô físico	Antecipou o desenvolvimento do objetivo final	Análise cautelosa sobre o posicionamento dos sensores antes de instalá-los

Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÃO

O uso de plataformas robóticas móveis tem se mostrado promissor na execução de diversas atividades, principalmente àquelas onde a saúde humana é posta em risco. Um exemplo típico ocorre no manuseio e descarte de materiais explosivos, os quais são realizados atualmente por robôs teleoperados. Avanços tecnológicos são necessários para a correta aplicação de autonomia em tais sistemas. Este projeto visa estudar a aplicação de um robô móvel autônomo empregado no “desarme de bombas”.

Desta forma, o objetivo principal deste projeto é a integração de uma plataforma móvel com um manipulador robótico com o intuito de resolver o problema proposto. Além disso, faz-se necessário acoplar um conjunto de sensores capazes de fornecer informações do ambiente aonde será inserido o robô para que o mesmo funcione de maneira adequada. A solução alcançada pelo grupo apresenta algumas deficiência momentâneas que podem ser resolvidas em desenvolvimentos futuros.

Uma das deficiências existentes é a falta de validação e verificação em longo prazo do correto funcionamento do *software Cartographer SLAM* com os diversos tipos de sensores utilizados. Até o momento, a utilização do *LiDAR* juntamente com o *GPS* obteve os resultados esperados. Contudo, acredita-se que a falta de um dispositivo *IMU* e de informações da odometria diminuam a eficiência e a robustez das funcionalidades de localização e mapeamento. Esta hipótese é derivada dos melhores resultados provenientes do ambiente simulado, aonde se faz uso do *Cartographer* com todos os sensores mencionados anteriormente, o que não ocorre na realidade.

Este projeto funciona como uma prova de conceito de que é possível implementar plataformas móveis de maneira autônoma com as devidas funcionalidades de percepção, localização e mapeamento.

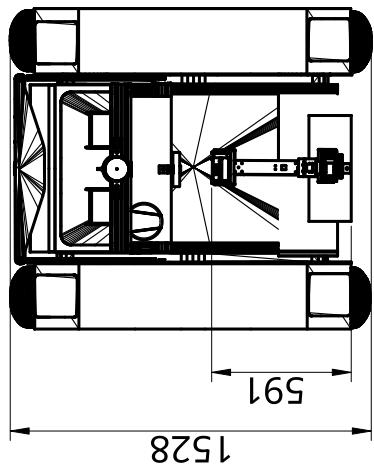
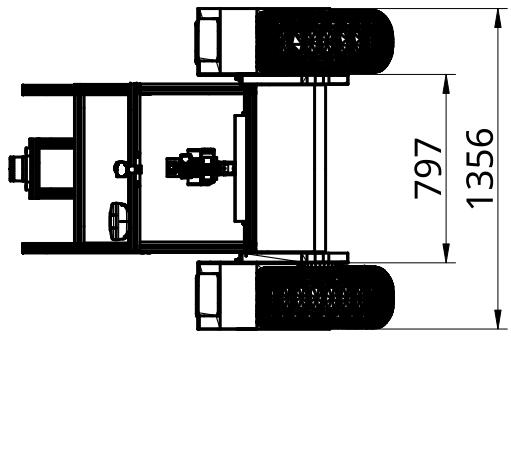
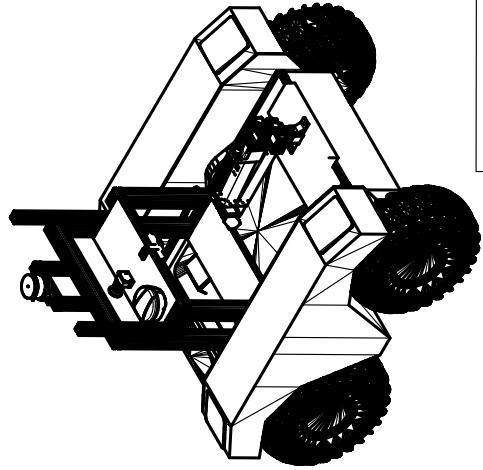
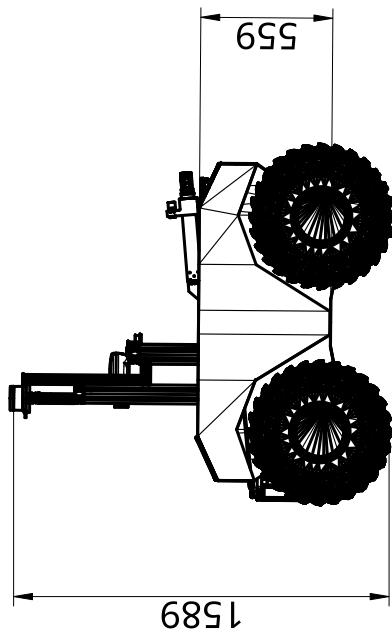
A integração demonstrada nesse relatório continuará sendo testada pela equipe de orientadores e bolsistas do *CCRoSA* e é esperado o cumprimento do objetivo final.

REFERÊNCIAS

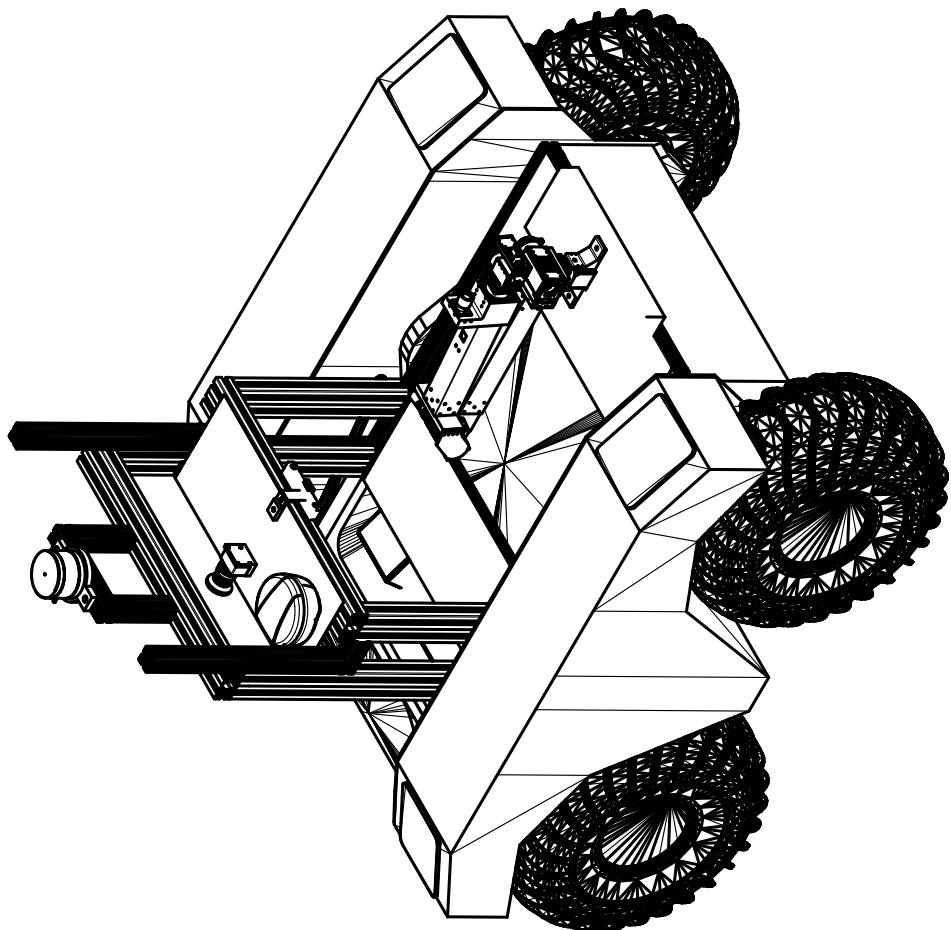
- The Cartographer Authors. *Cartographer ROS Integration*. 2020. <<https:////google-cartographer-ros.readthedocs.io/en/latest/>>. Acessed: 2020-12-08. Citado na página 29.
- BJELOVIC, M. *YOLO ROS: Real-Time Object Detection for ROS*. 2020. <https://github.com/leggedrobotics/darknet_ros>. Acessed: 2020-12-08. Citado na página 38.
- Clearpath Robotics. *WARTHOG - AMPHIBIOUS UNMANNED GROUND VEHICLE*. 2016. <<https://clearpathrobotics.com/warthog-unmanned-ground-vehicle-robot/>>. Acessed: 2020-12-08. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 30.
- HESS, W. et al. Real-time loop closure in 2d lidar slam. In: *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1271–1278. Citado na página 29.
- NUNES, L. *QFD (Quality Function Deployment): o que é e para que serve?* 2019. <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/qfd>>. Acessed: 2020-12-06. Citado na página 14.
- PMBOK, U. G. d. C. d. *Conhecimentos em Gerenciamentos de Projetos: Guia PMBOK®*. [S.l.]: Pennsylvania: Four Campus Boulevard, 2008. Citado na página 41.
- REDMON, J.; FARHADI, A. Yolov3: An incremental improvement. *arXiv*, 2018. Citado na página 38.
- STRAUHS, F. d. R. et al. *Gestão do conhecimento nas organizações*. [S.l.]: Aymará Educação, 2012. Citado na página 41.
- Swift Navigation. *RESOURCE LIBRARY*. 2020. <<https://www.swiftnav.com/resource-library>>. Acessed: 2020-12-08. Citado na página 27.
- theAIGuysCode. *YOLOv4 Training Tutorial*. 2020. <https://github.com/theAIGuysCode/YOLOv4-Cloud-Tutorial/blob/master/YOLOv4_Training_Tutorial.ipynb>. Acessed: 2020-12-08. Citado na página 38.
- UMARI, H. *rrt exploration*. 2018. <<https://bit.ly/36WksLM>>. Acessed: 2020-12-08. Citado na página 29.
- UMARI, H.; MUKHOPADHYAY, S. Autonomous robotic exploration based on multiple rapidly-exploring randomized trees. In: *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1396–1402. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- VERONESE, G. S. Métodos para captura de lições aprendidas: em direção a melhoria contínua na gestão de projetos. *Revista de Gestão e Projetos*, v. 5, n. 1, p. 71–83, 2014. Citado na página 41.

APÊNDICE A

Desenho mecânico



Sistema FIEB		SENAI CIMATEC	PELO FUTURO DA INOVAÇÃO
Curupira			1
TITLE			
DRAWN	NAME VINICIUS TELISMINO	SIGNATURE	DATE 2020-11-17
CHECKED	NAME MARCO REIS	SIGNATURE	DATE 2020-06-29
APPROVED	NAME REBECA TOURNINHO	SIGNATURE	DATE 2020-06-29
		SIZE A4	DWG NO.
		SCALE 1:40	WEIGHT ---
		UNIT mm	UNIT mm
		SHEET 1	SHEET 1 of 2

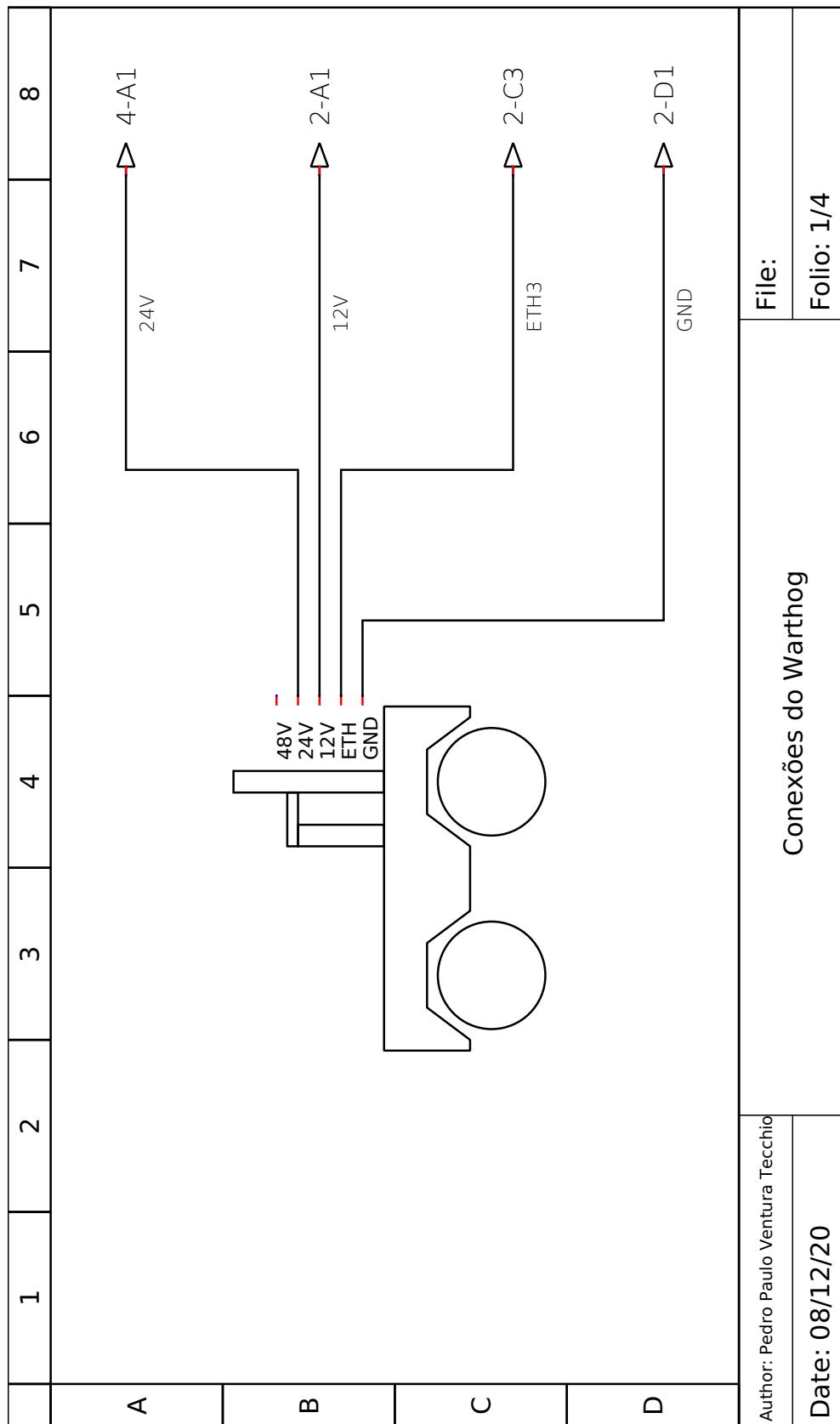


APÊNDICE B

Esquema elétrico de potência

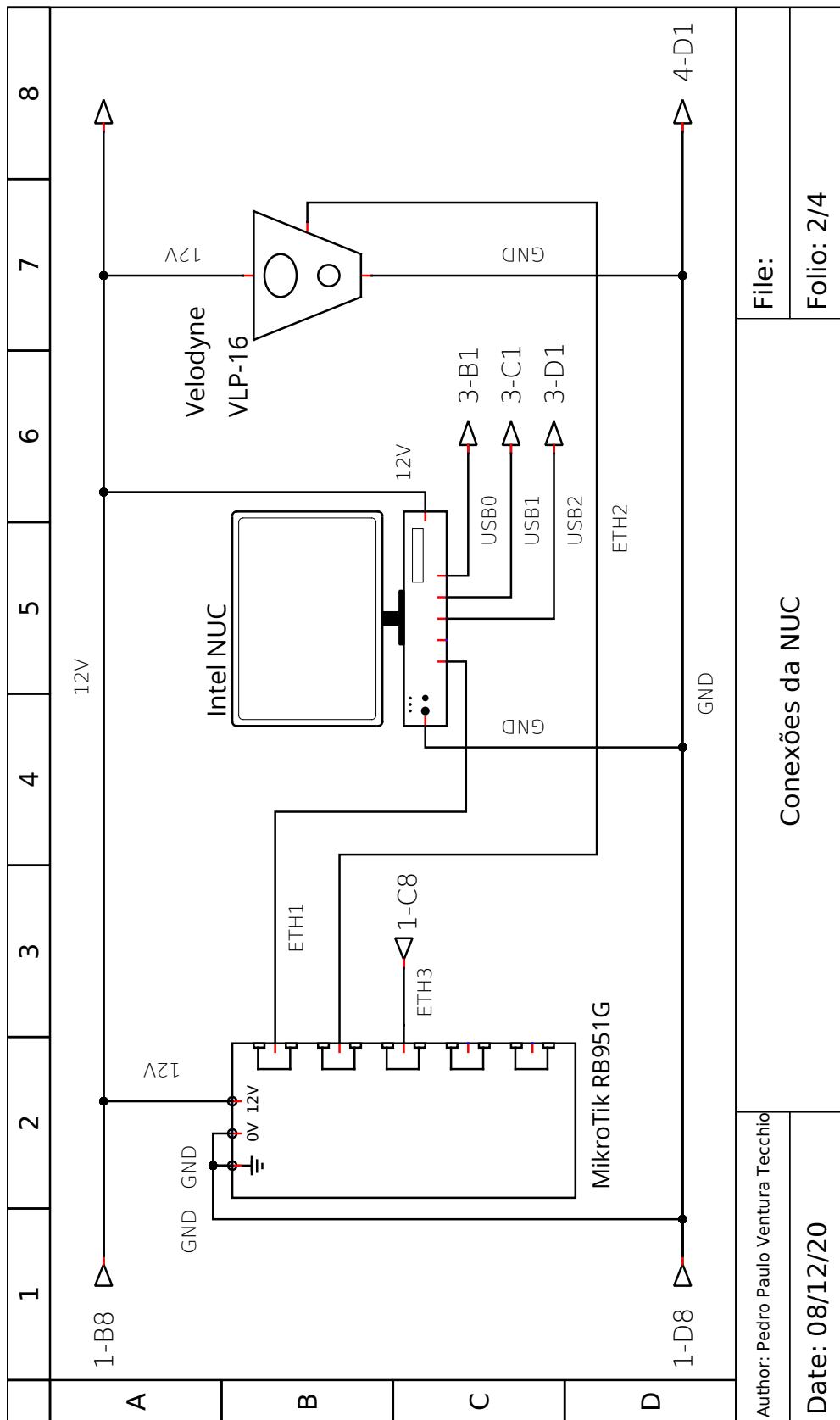
O esquema elétrico do sistema desenvolvido e testado esta disposto nas Figuras 25, 26, 27 e 28 respectivamente.

Figura 25: Esquema elétrico das conexões do Warthog.



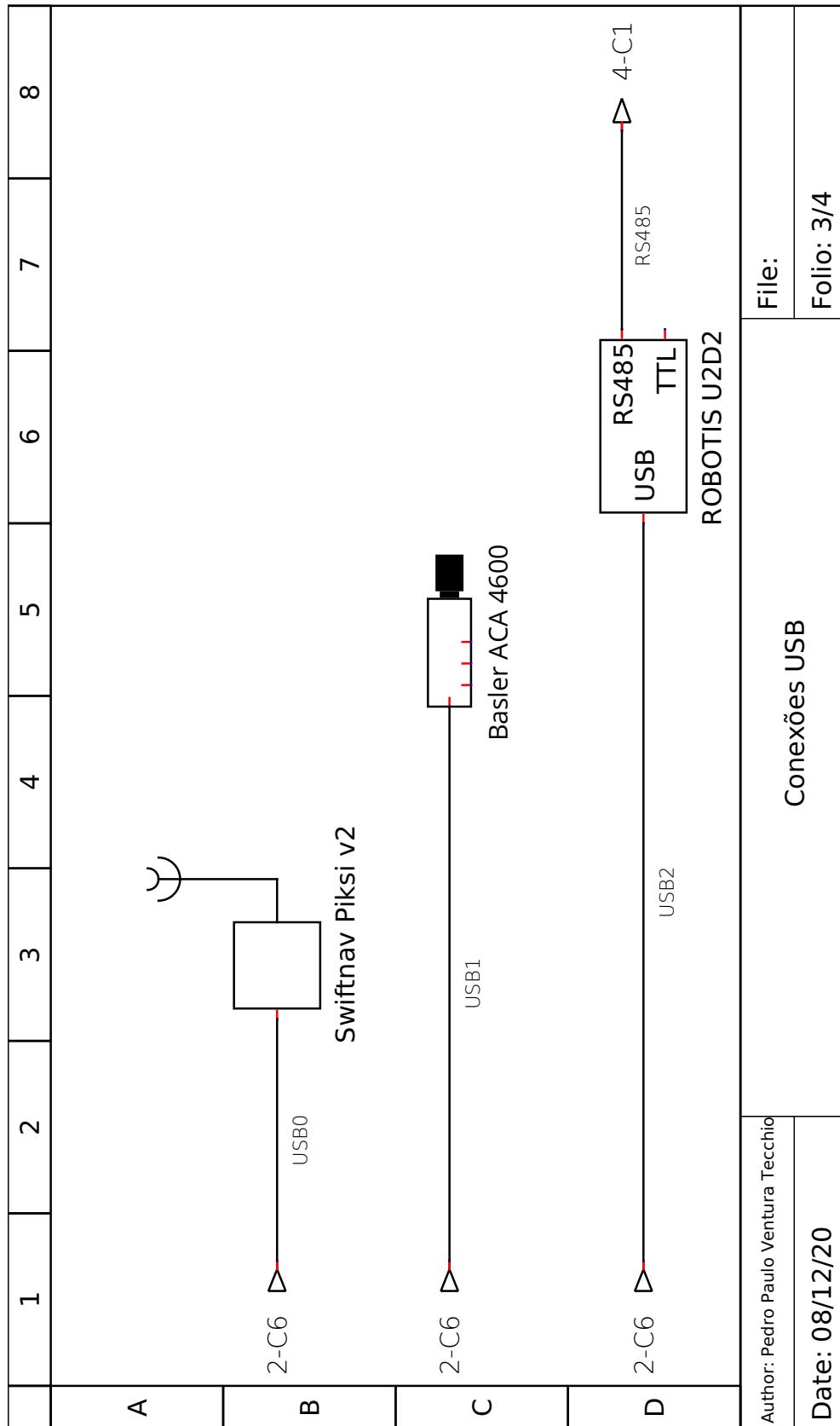
Fonte: Autores.

Figura 26: Esquema elétrico das conexões da NUC.



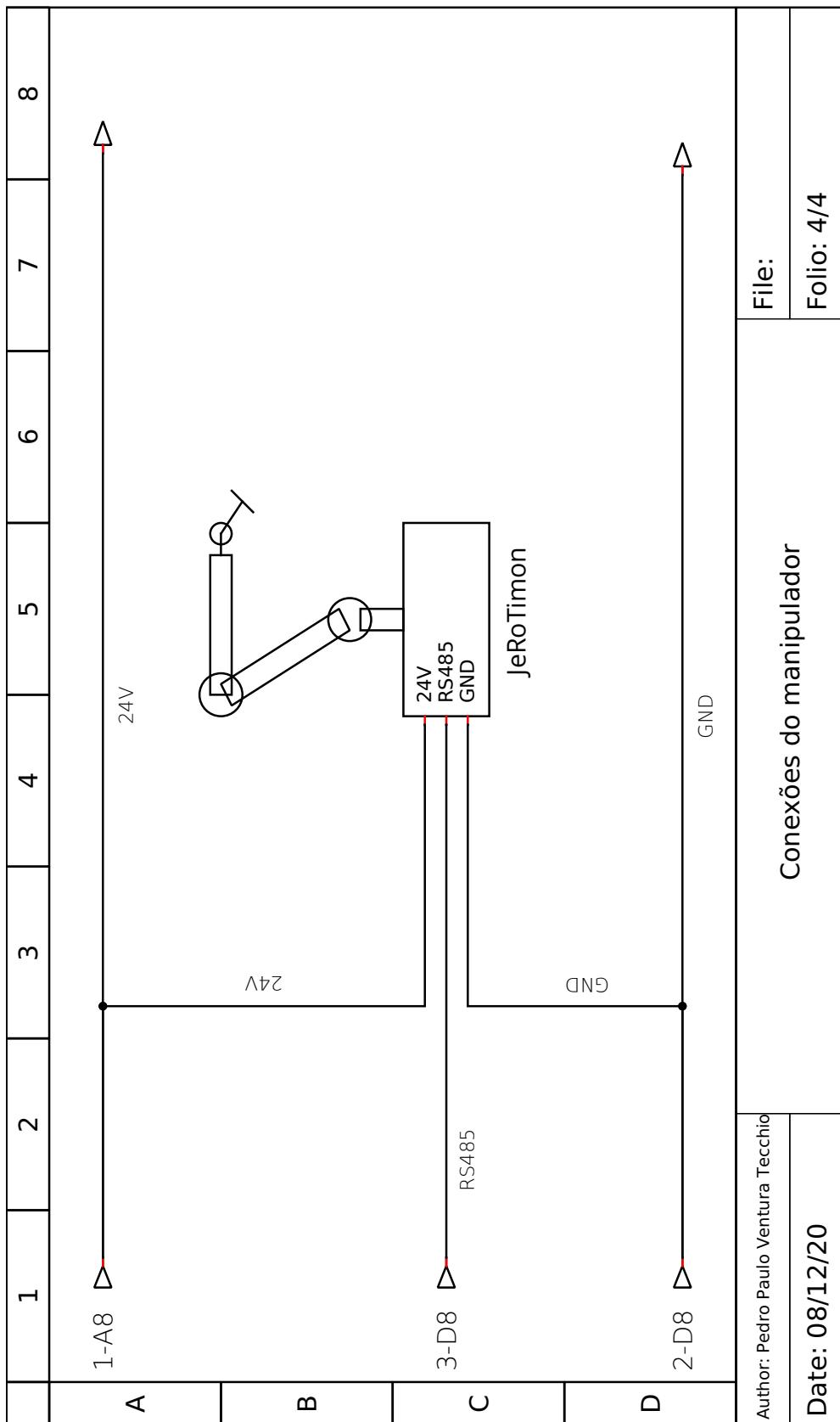
Fonte: Autores.

Figura 27: Esquema elétrico das conexões USB.



Fonte: Autores.

Figura 28: Esquema elétrico das conexões do manipulador.

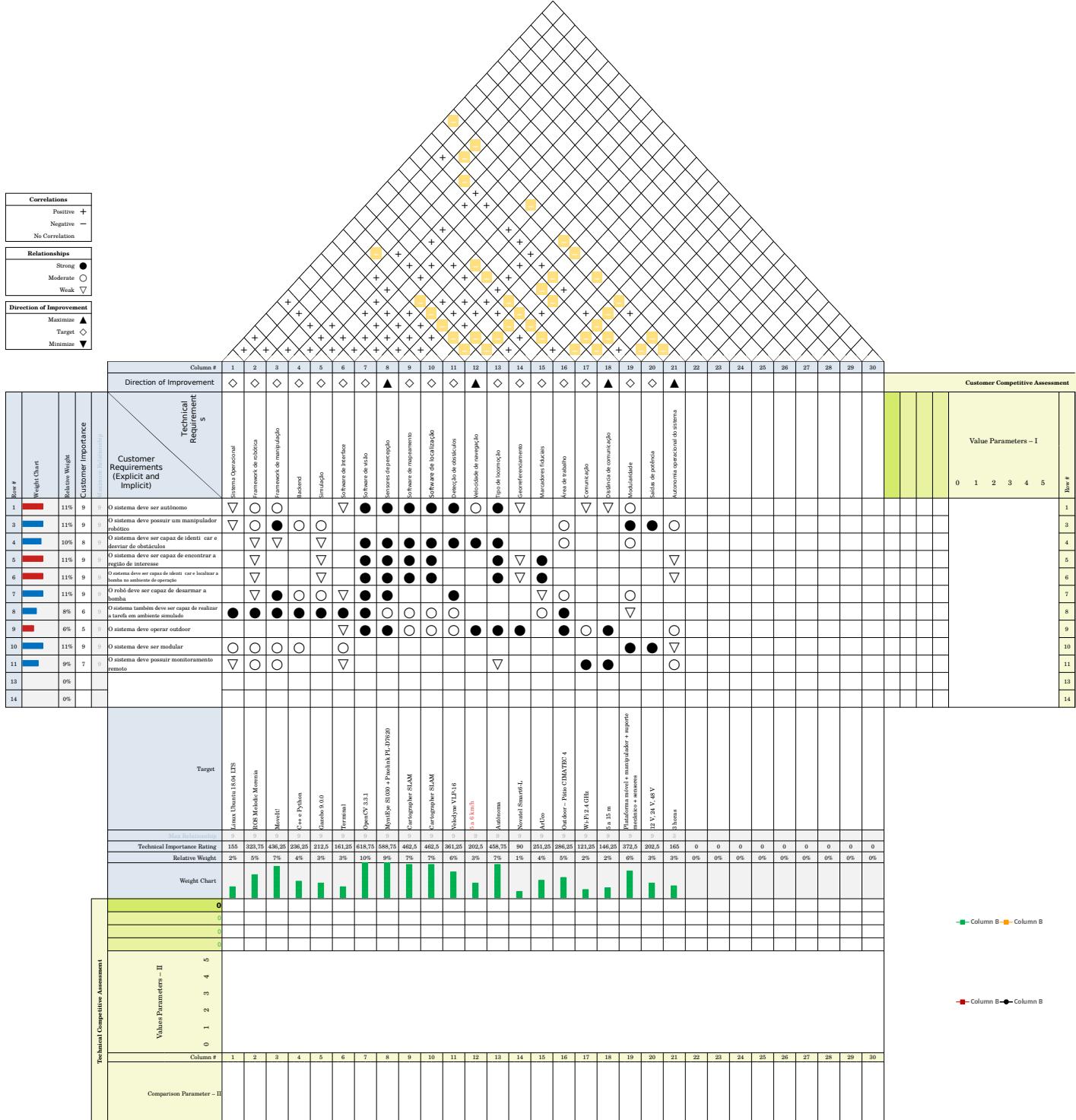


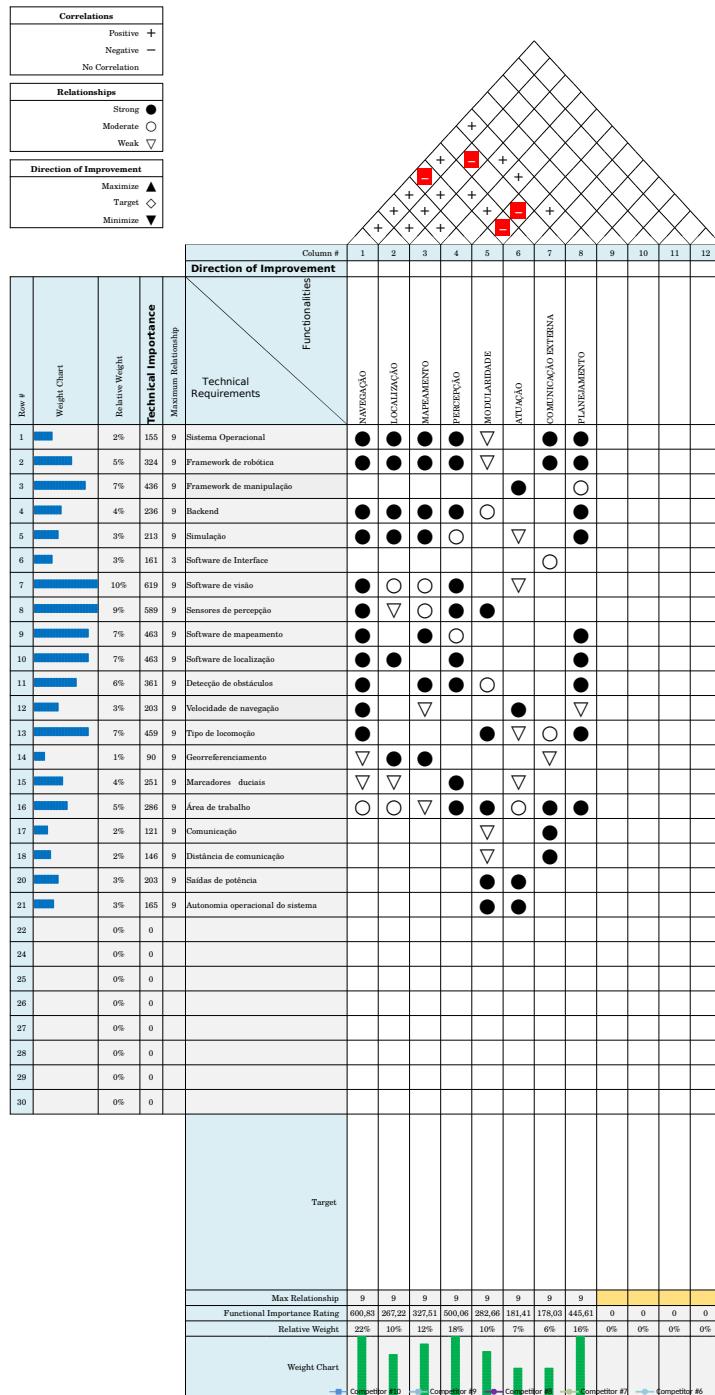
Fonte: Autores.

APÊNDICE C

Desdobramento da Função Qualidade(QFD)

Quality Function Deployment - Customer Requirements





ANEXO A

Especificação de componentes utilizados

A.1 Plataforma móvel Warthog

A ficha resumo contendo as especificações principais da plataforma móvel *Warthog* da *Clearpath Robotics* está disposta na Tabela 2. Maiores informações e desenho mecânico deste componente estão dispostos no *datasheet* anexado a seguir.

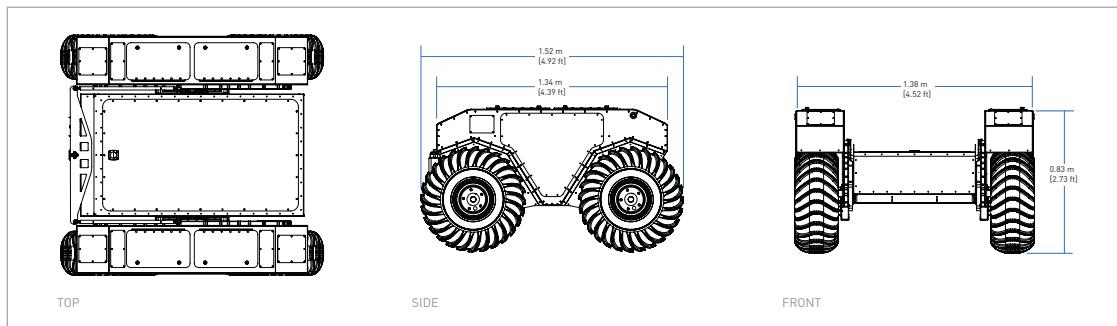
Tabela 2: Especificações da plataforma móvel *Warthog* da *Clearpath Robotics*.

Item	Especificação
Sistema operacional	Ubuntu 16.04 LTS
Versão do ROS	Kinetic
Conexões	Ethernet, USB, Controle Remoto, Wi-Fi
Carga útil	272 [kg]
Tempo de operação nominal	2,5 [h]
Bateria	105 [Ah] @ 48 [V]
Inclinação máxima	35 a 45 °
Velocidade máxima	18 [km/h]
Altura do solo	0,254 [m]
Dimensões	1,52 x 1,38 x 0,83 [m]
Massa bruta	590 [kg]

Fonte: Autoria própria, adaptado de Clearpath Robotics.

WARTHOG™

AMPHIBIOUS UNMANNED GROUND VEHICLE



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	5 V, 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

© 2016 Clearpath Robotics, Inc. All Rights Reserved. Clearpath Robotics, Warthog, and clearpathrobotics.com are trademarks of Clearpath Robotics. All other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. *Warthog is not amphibious with Quad Track System configuration.

A.2 Computador Intel NUC

A ficha resumo contendo as principais especificações do computador Intel NUC5i5RYK utilizado está disposta na Tabela 3. Maiores informações deste componente estão dispostos no *databrief* anexado a seguir.

Tabela 3: Especificações do computador Intel NUC 5i5RYK.

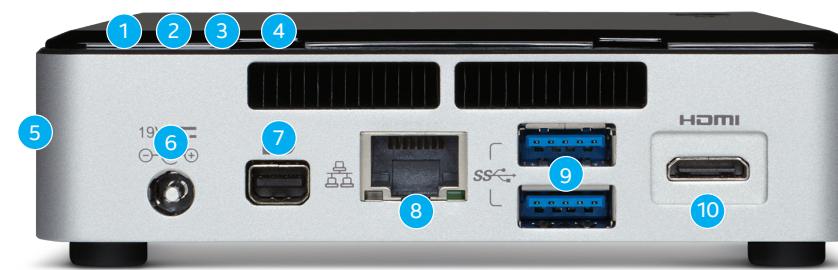
Item	Especificação
Coleção	Intel NUC Kit 5º geração
Sistema operacional	Ubuntu 18.04 LTS
Modelo da placa	NUC5i5RYK
Formato da placa	UCFF (4 x 4 [polegadas])
Processador	Intel Core i5-5250U
Processador gráfico	Intel HD Graphics 6000
Memória de sistema	2x8GB DDR4-2133 1.2V SO-DIMM
Disco de armazenamento de dados	Crucial SSD CT250MX200SSD4 250GB
Periféricos	Intel Gigabit LAN 4 USB 3.0 2 USB 2.0 Intel Dual Band Wireless-AC 8260 Bluetooth 4.1
Tensão de operação	19 [V]
Temperatura de operação	0 ~40 [°C]
Temperatura de armazenagem	-20 ~60 [°C]
Dimensões (L x A x P)	115 x 34,5 x 111 [mm]
Potência especificada da fonte	65 [W]

Fonte: Autoria própria, adaptado de Intel.

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 Audio⁵ via Headphone/Microphone jack
- 14 Consumer infrared sensor



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 Technology⁶
- Supports Intel® 64 architecture⁷

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^a 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

¹ Requires an Intel® Wireless Display enabled system, compatible adapter and TV. 1080p and Blu-Ray® or other protected content playback 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/go/widi.

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, software, and system configuration. For more information, visit <http://www.intel.com/go/turbo>

³ Requires a select Intel® processor, enabled chipset and a Solid-State Drive (SSD) or hybrid drive. Contact your system manufacturer for more information.

⁴ Requires an Intel® Ready Mode Technology-enabled system or motherboard, a genuine Intel® processor, and Windows® 7 or Windows® 8 OS. Results dependent upon hardware, applications installed, Internet connectivity, setup, and configura-

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

SYSTEM BIOS

- 64 Mb Flash EEPROM with Intel® Platform Innovation Framework for EFI Plug and Play
- Advanced configuration and power interface V3.0b, SMBIOS2.5
- Intel® Visual BIOS
- Intel® Express BIOS update support

HARDWARE MANAGEMENT FEATURES

- Processor fan speed 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 1x8 header (for replaceable lid support)
- One AUX_PWR header

AUDIO

- Intel® HD Audio⁵ 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)

ENVIRONMENT 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

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.



A.3 Switch MikroTik RB951G

A ficha resumo contendo as especificações principais do *switch* MikroTik RB951G está disposta na Tabela 4. Maiores informações e desenho mecânico deste componente estão dispostos no *datasheet* anexado a seguir.

Tabela 4: Especificações do *switch* MikroTik RB951G-2HnD.

Item	Especificação
CPU	Atheros AR9344 600MHz
Memória	128 MB DDR2
Ethernet	5 portas Gigabit
Antenas	2x2 MIMO PIF
Potência de operação	<7 [W]
Tensão de alimentação	8 - 30 [V]
Dimensões (L x A x P)	113 x 138 x 29 [mm]

Fonte: Autoria própria, adaptado de MikroTik.

]

RB951G-2HnD



The RB951G-2HnD is a wireless SOHO Gigabit AP with a new generation Atheros CPU and more processing power. It has five Gigabit Ethernet ports, one USB 2.0 port and a high power 2.4GHz 802.11b/g/n wireless AP with antennas built in.

In comparison with previous model RB751G-2HnD, it has more powerful 600Mhz CPU (instead of 400Mhz), more RAM – 128MB instead of 64MB, same form factor and price. The device is very small and will look good in any home or office, wall mounting anchor holes are provided.

Package contains RouterBOARD 951G-2HnD in a plastic case and power adapter. Specific frequency range may be limited by country regulations.

Features	RB951G-2HnD (Gigabit, USB, 2GHz, 802.11n, dual chain)
CPU	Atheros AR9344 600MHz CPU
Memory	128MB DDR2 onboard memory
Ethernet	Five independent 10/100/1000 Gigabit Ethernet ports
LEDs	Power, NAND activity, 5 Ethernet LEDs, wireless activity LED
Power options	PoE: 8-30V DC on Ether1 (Non 802.3af). Jack: 8-30V DC
Dimensions	113x138x29mm
Weight	Without packaging and PSU: 232g, full weight in package: 420g
Power consumption	Up to 7W
Operating Temp	-20C .. +50C
Operating System	MikroTik RouterOS, Level4 license
Package contains	RouterBOARD in a plastic case, power adapter
Antennas	2x2 MIMO PIF antennas, max gain 2.5dBi
RX sensitivity	802.11g: -96dBm @ 6Mbps to -80dBm @ 54Mbps 802.11n: -96dBm @ MCS0 to -78dBm @ MCS7
TX power	802.11g: 30dBm @ 6Mbps to 25dBm @ 54 Mbps 802.11n: 30dBm @ MCS0 to 23dBm @ MCS7
Modulations	OFDM: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM DSSS: DBPSK, DQPSK, CCK

A.4 Lidar Velodyne VLP-16

A ficha resumo contendo as especificações principais do *lidar* Velodyne VLP-16 está disposta na Tabela 5. Maiores informações e desenho mecânico deste componente estão dispostos no *datasheet* anexado a seguir.

Tabela 5: Especificações do *lidar* Velodyne VLP-16.

Item	Especificação
Quantidade de canais	16
Distância máxima	100 [m]
Acurácia	± 3 [cm]
Ângulo de visão vertical	+15 a -15 [°]
Resolução angular	2 [°]
Frequência de giro	5 a 20 [Hz]
Laser	903 [nm]
Conexão	Ethernet 100 Mbps
Potência de operação	8 [W]
Tensão de alimentação	9 - 18 [V]
Massa	830 [g]
Dimensões (L x A x P)	103,3 x 103,3 x 71,7 [mm]

Fonte: Autoria própria, adaptado de Velodyne Lidar.

Velodyne Lidar®

Puck™

VERSATILE REAL-TIME LIDAR SENSOR



Puck



Velodyne Lidar's Puck is a small and compact lidar that is performance and power optimized for usage across a variety of applications ranging from automotive, mapping, robotics, security, smart cities and more. The Puck is attractively priced and built on the foundations of Velodyne's leadership in lidar, enabling real-time, surround view, 3D distance and calibrated reflectivity measurements.

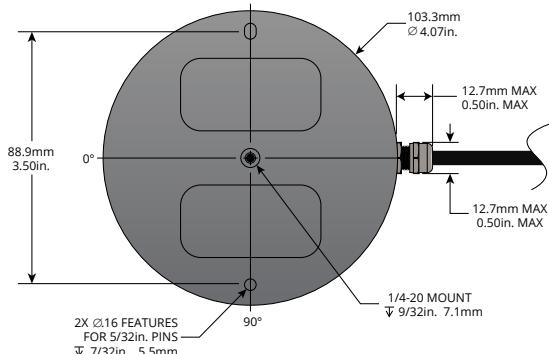
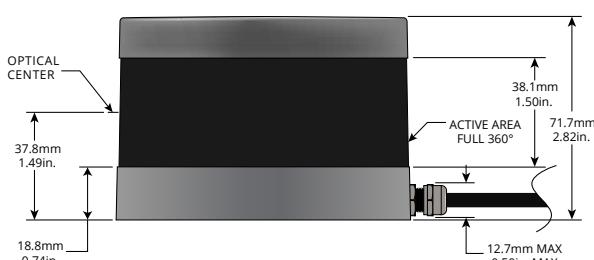
The Puck has a range of 100 m and generates up to ~600,000 points/second, across a 360° horizontal field of view and a 30° vertical field of view. It uses proven, Class 1 eye-safe 905 nm technology with substantial autonomous fleet validation, making the Puck a sensor of choice for lower speed autonomous vehicle (AV) applications. The Puck has best-in-class power, which enables operation over a wide temperature range. Its use of off-the-shelf components enables enhanced scalability and attractive volume pricing. Like other Velodyne sensors, the Puck has world-class technical support available across North America, Europe & Asia from the world's leading lidar company.



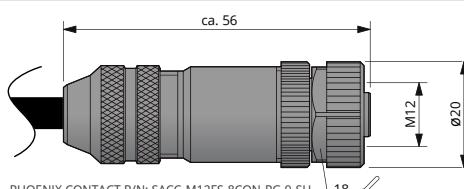
Puck at a glance

- 100 m range with compact form factor
- Proven 905 nm tech, with largest install base
- Top-of-the-line field-of-view
- Best-in-class accuracy and calibrated intensity
- Best-in-class power & temperature range
- Sensor-to-sensor interference mitigation feature
- Optional, enhanced short range detection
- Versatile, with attractive volume pricing

DIMENSIONS (Subject to change)



M12 CONNECTOR OPTION



For other connector options contact
Velodyne Sales (sales@velodyne.com)

Puck

Real-Time Lidar Sensor

The Puck provides high definition 3-dimensional information about the surrounding environment.



Specifications:	
Sensor:	<ul style="list-style-type: none">• 16 Channels• Measurement Range: 100 m• Range Accuracy: Up to ±3 cm (Typical)¹• Field of View (Vertical): +15.0° to -15.0° (30°)• Angular Resolution (Vertical): 2.0°• Field of View (Horizontal): 360°• Angular Resolution (Horizontal/Azimuth): 0.1° – 0.4°• Rotation Rate: 5 Hz – 20 Hz• Integrated Web Server for Easy Monitoring and Configuration
Laser:	<ul style="list-style-type: none">• Laser Product Classification: Class 1 Eye-safe per IEC 60825-1:2007 & 2014• Wavelength: 903 nm
Mechanical/ Electrical/ Operational	<ul style="list-style-type: none">• Power Consumption: 8 W (Typical)²• Operating Voltage: 9 V – 18 V (with Interface Box and Regulated Power Supply)• Weight: ~830 g (without Cabling and Interface Box)• Dimensions: See diagram on previous page• Environmental Protection: IP67• Operating Temperature: -10°C to +60°C³• Storage Temperature: -40°C to +105°C
Output:	<ul style="list-style-type: none">• 3D Lidar Data Points Generated:<ul style="list-style-type: none">- Single Return Mode: ~300,000 points per second- Dual Return Mode: ~600,000 points per second• 100 Mbps Ethernet Connection• UDP Packets Contain:<ul style="list-style-type: none">- Time of Flight Distance Measurement- Calibrated Reflectivity Measurement- Rotation Angles- Synchronized Time Stamps (μs resolution)• GPS: \$GPRMC and \$GPGLL NMEA Sentences from GPS Receiver (GPS not included)

63-9229 Rev-K VLP-16

For more details and ordering information, contact Velodyne Sales (sales@velodyne.com)

1. Typical accuracy refers to ambient wall test performance across most channels and may vary based on factors including but not limited to range, temperature and target reflectivity.

2. Operating power may be affected by factors including but not limited to range, reflectivity and environmental conditions.

3. Operating temperature may be affected by factors including but not limited to air flow and sun load.



CLASS 1 LASER PRODUCT

Copyright ©2019 Velodyne Lidar, Inc. Specifications are subject to change. Other trademarks or registered trademarks are property of their respective owners.

Velodyne Lidar, Inc. 5521 Hellyer Ave, San Jose, CA 95138 / lidar@velodyne.com / 408.465.2800

velodynelidar.com

A.5 GPS Swiftnav Piksi V2

A ficha resumo contendo as especificações principais do GPS Swiftnav Piksi V2 está disposta na Tabela 6. Maiores informações e desenho mecânico deste componente estão dispostos no *datasheet* anexado a seguir.

Tabela 6: Especificações do GPS Swiftnav Piksi V2.

Item	Especificação
Acurácia (RTK)	~1 [cm]
Frequência de atualização	10 [Hz]
Conexões	USB e UART
Potência de operação	500 [mW]
Tensão de alimentação	3,5 - 5,5 [V]
Massa	32 [g]
Dimensões (L x A x P)	53 x 62,5 x 9,1 [mm]

Fonte: Autoria própria, adaptado de Swiftnav.



Piksi Datasheet

Flexible, high-performance GPS receiver platform running open-source software

Features

- Centimeter-accurate relative positioning (Carrier phase RTK)
- 10 Hz position/velocity/time solutions
- Open-source software and board design
- Low power consumption - 500mW typical
- Small form factor - 53x53mm
- USB and dual UART connectivity
- External antenna input
- Full-rate raw sample pass-through over USB

Applications

- Autonomous Vehicle Guidance
- GPS/GNSS Research
- Surveying Systems
- Precision Agriculture
- Unmanned Aerial Vehicles
- Robotics
- Space Applications

Overview

Piksi™ is a low-cost, high-performance GPS receiver with Real Time Kinematics (RTK) functionality for centimeter-level relative positioning accuracy.

Its small form factor, fast position solution update rate and low power consumption make Piksi ideal for integration into autonomous vehicles and portable surveying equipment.

Piksi's open source firmware allows it to be easily customized to the particular demands of end users' applications, easing system integration and reducing host system overhead.

In addition, Piksi's use of the same open source GNSS libraries as Peregrine, Swift Navigation's GNSS post-processing software, make the combination of the two a powerful toolset for GNSS research, experimentation and prototyping at every level from raw samples to position solutions.

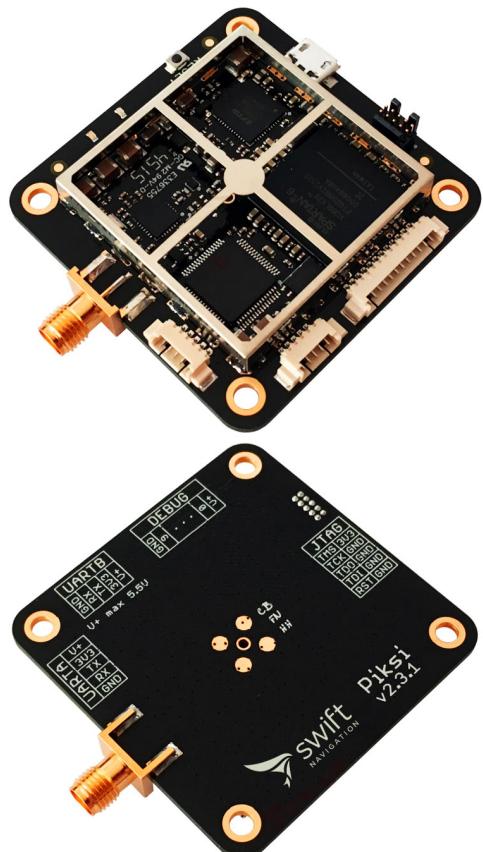


Figure 1: Piksi front and back view

With these tools, developers can quickly move from prototyping software on a desktop to running it standalone on the Piksi hardware.

A high-performance DSP on-board and our flexible Swift-NAP correlation accelerator provide Piksi with ample computing resources with which advanced receiver techniques, such as multipath mitigation, spoofing detection and carrier phase tracking can be implemented.

System Architecture

The Piksi receiver architecture consists of three main components. The RF front-end downconverts and digitizes the radio frequency signal from the antenna. The digitized signal is passed into the SwiftNAP which performs basic filtering and correlation operations on the signal stream. The SwiftNAP is controlled by a microcontroller which programs the correlation operations, collects the results and processes them all the way to position/velocity/time (PVT) solutions.

Front-end

The RF front-end consists of a Maxim MAX2769 integrated down-converter and 3-bit analog-to-digital converter operating at 16.368 MS/s. This front-end is capable of covering the L1 GPS signal bands.

SwiftNAP

The SwiftNAP consists of a Xilinx Spartan-6 FPGA that comes pre-programmed with Swift Navigation's SwiftNAP

firmware. The SwiftNAP contains correlators specialized for satellite signal tracking and acquisition. The correlators are flexible and fully programmable via a high-speed SPI register interface and are used as simple building blocks for implementing tracking loops and acquisition algorithms on the microcontroller.

While the SwiftNAP HDL is not open-source at this time, the Piksi has no restrictions against loading one's own firmware onto the on-board Spartan-6 FPGA.

Microcontroller

The on-board microcontroller is a STM32F4 with an ARM Cortex-M4 DSP core running at up to 168 MHz. This powerful processor performs all functions above the correlator level including tracking loop filters, acquisition management and navigation processing and is able to calculate PVT solutions at over 10 Hz in our default software configuration. All software running on the microcontroller is supplied open-source.

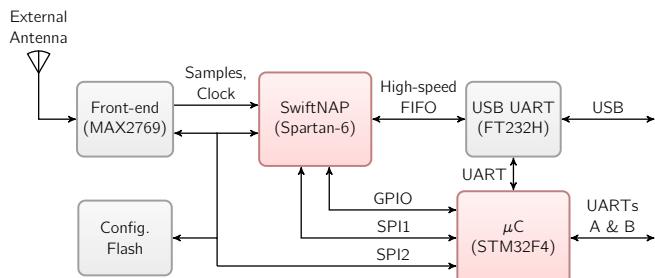


Figure 2: Piksi Block Diagram

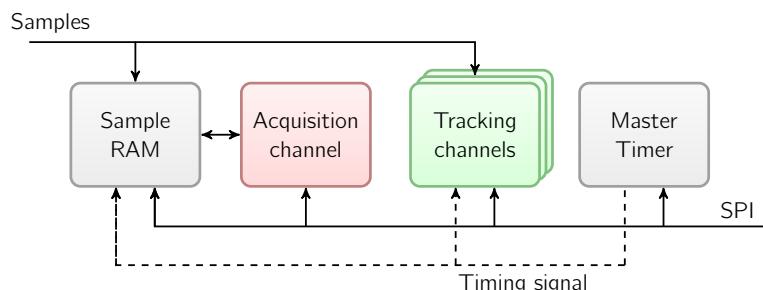
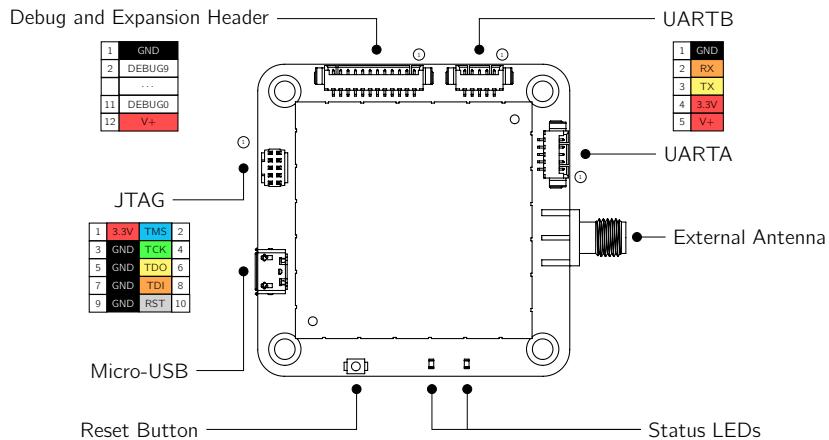


Figure 3: SwiftNAP Block Diagram

Connections



USB

A Micro-USB socket provides USB connectivity to the host. This can be configured as a USB-Serial bridge to the microcontroller (the default) or as a high-speed FIFO interface to the SwiftNAP for streaming full-rate raw IF data samples to or from the host.

This allows capture of raw IF data for processing on the host or running the Piksi from pre-recorded data or simulator output for hardware-in-the-loop testing.

UARTs A & B

Two UARTs provide high-speed 3.3V LVTTL level asynchronous serial interfaces which can be configured to transmit NMEA-0183 messages or binary navigation solution data, system status and debugging information and receive commands or differential corrections from the host or another Piksi board.

When configured in USB-Serial bridge mode, the USB interface functions identically to the two dedicated UARTs.

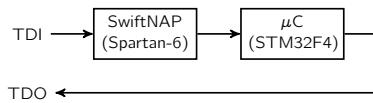
External Antenna

An external active antenna input is provided on an SMA connector and features a software switchable 3.3V bias.

JTAG

No JTAG adapter is required to develop for the Piksi as the board is supplied with a built-in bootloader.

For advanced debugging, a 0.05" pitch micro JTAG header compatible with the ARM Cortex-M standard pinout¹ is provided on the board. This allows access to the Spartan-6 FPGA and STM32F4 microcontroller JTAG interfaces.



Debug and Expansion Header

Access is provided to debugging signals from the SwiftNAP and I/O for future expansion boards and accessories. Assignment of these signals varies depending on the SwiftNAP firmware configuration.

Power

Power may be supplied to the board either over USB or through the V+ pins on the UART connectors. A 3.3V output from the on-board switching regulator is provided to power any external peripherals.

¹ARM Cortex-M Debug Connector specification, <http://bit.ly/ICb6W6>

Electrical Specifications

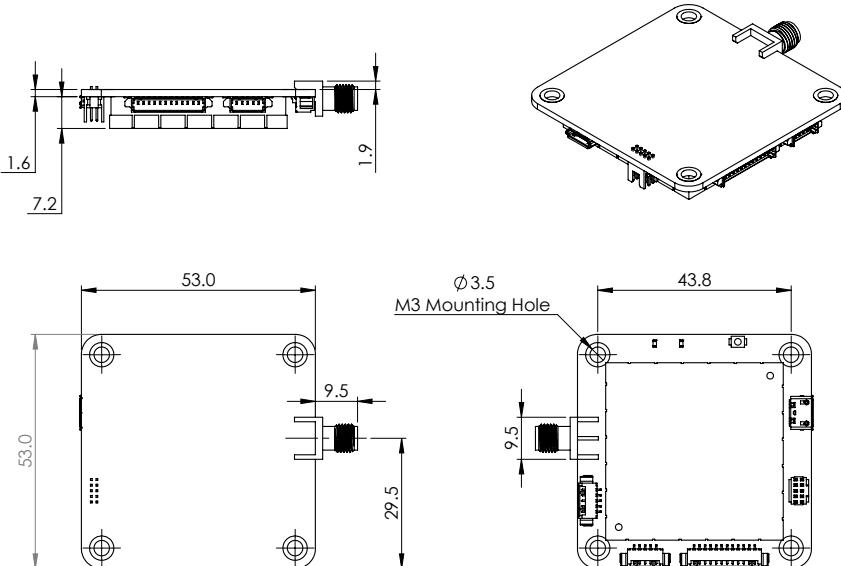
Supply voltage	3.5 – 5.5 V	Active antenna input impedance	50 Ω
Maximum voltage rating.....	5.5 V ⁽¹⁾	Active antenna bias voltage	3.3 V ⁽³⁾
Power consumption500 mW ⁽²⁾	Max. antenna bias current draw	57 mA
Max. 3.3V output current draw	500 mA		

⁽¹⁾Piksi provides no overvoltage protection and even momentary overvoltage can permanently damage the device.

⁽²⁾Typical, dependant on firmware configuration.

⁽³⁾Switchable in software

Mechanical Drawing



All dimensions are in millimeters. Drawing not to scale.

Notes

1. Mass 32g.
2. M3 mounting holes are plated through and connected internally to ground.
3. 3D CAD models are available from our website, <http://www.swiftnav.com>.

A.6 Câmera Basler ace acA4600

A ficha resumo contendo as especificações principais da câmera colorida de alta resolução Basler ace acA4600 está disposta na Tabela 7. Maiores informações e desenho mecânico deste componente estão dispostos no *datasheet* anexado a seguir.

Tabela 7: Especificações da câmera Basler acA4600-10uc.

Item	Especificação
Especificação de câmera	acA4600
Resolução	4608 × 3288 [px]
Modelo do sensor	On-Semi MT9F002
Taxa de captura (padrão)	10 [fps]
Tamanho de pixel	1,4 × 1,4 μ m
Alcance dinâmico	62,1 [dB]
Círculo máximo de imagem	Formato óptico 1/2,3"
Encaixe de lente	C-Mount
Protocolo de comunicação	USB 3.0 (5 [Gbit/s])
Porta de comunicação	USB
Tensão de operação	5 [V]
Temperatura de operação	0 ~ 50 [°C]
Massa	< 80 [g]
Dimensões (L x A x P)	29,3 x 29 x 29 [mm]
Potência necessária	~ 2,5 W a 5 V _{DC} , máximo de 2,8 W

Fonte: Autoria própria, adaptado de Basler.

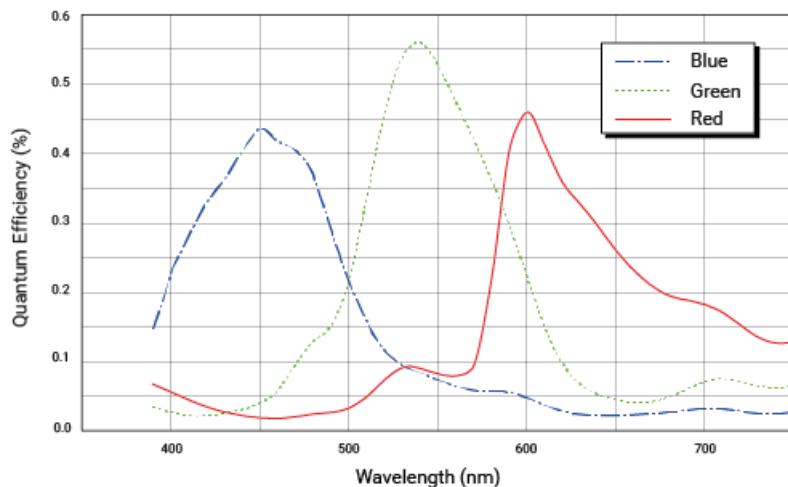
Specifications

General Specifications

Specification	acA4600-10uc
Resolution (H x V Pixels)	4608 x 3288
Sensor Type	ON Semiconductor MT9F002 Progressive scan CMOS Rolling shutter
Optical Size	1/2.3"
Effective Sensor Diagonal	8.0 mm
Pixel Size (H x V)	1.4 µm x 1.4 µm
Frame Rate (at Default Settings)	10 fps
Product Line	 ace classic
Mono / Color	Color
Image Data Interface	USB 3.0, nominal max. 5 Gbit/s (SuperSpeed)
Pixel Formats	See Pixel Format .
Synchronization	Via hardware trigger Via software trigger Via free run
Exposure Time Control	Programmable via the camera API
Camera Power Requirements	Nominal 5 VDC supplied via the camera's USB 3.0 port ≈2.5 W (typical) @ 5 VDC ≈2.8 W (max.)
I/O Lines	1 opto-coupled input line

	<p>1 opto-coupled output line 2 general purpose I/O (GPIO) lines</p>
Lens Mount	C-mount
Size (L x W x H)	29.3 mm x 29 mm x 29 mm (without lens mount or connectors) 48.2 mm x 29 mm x 29 mm (with lens mount and connectors)
Weight	<80 g
Conformity	CE (includes RoHS), UL Listed, FCC, GenICam 2.x (including PFNC 2.x and SFNC 2.x), IP30, USB3 Vision, REACH The EU Declaration of Conformity is available on the Basler website .
Software	Basler pylon Camera Software Suite (version 4.0 or higher) Available for Windows, Linux x86, Linux ARM, and OS X
Accessories	Cables for your camera model Lenses for your camera model Additional accessories for your camera model

Spectral Response



The spectral response curve excludes lens characteristics, light source characteristics, and IR cut filter characteristics.

IR Cut Filter

Color cameras are equipped with an IR cut filter. The filter is mounted in a filter holder inside the lens mount.

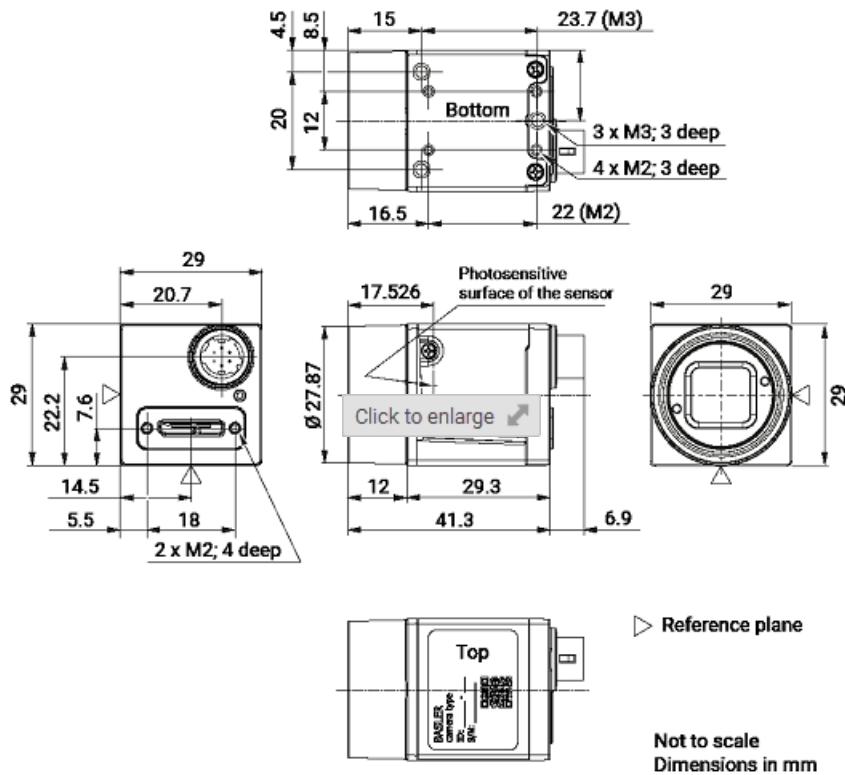
The IR cut filter has the following spectral characteristics:

Wavelength [nm]	Transmittance
450–610	$T_{\min} > 90 \%$
450–620	$T_{\text{avg}} > 93 \%$
645 ± 10	$T = 50 \%$
700–1070	$T_{\max} < 4 \%$
690–1070	$T_{\text{avg}} < 1 \%$

The filter holder can be removed. For more information, see the [ace IR Cut Filter Holder Removal Procedure](#) application note.

Mechanical Specifications

Camera Dimensions and Mounting Points



Maximum Allowed Lens Intrusion

→ See [Maximum Allowed Lens Intrusion](#).

Mounting Instructions

→ See [Mounting Instructions](#).

Stress Test Results

→ See [Stress Test Results](#).

Requirements

Environmental Requirements

Temperature and Humidity

Housing temperature during operation	0–50 °C (32–122 °F)
Humidity during operation	20–80 %, relative, non-condensing
Storage temperature	-20–80 °C (-4–176 °F)
Storage humidity	20–80 %, relative, non-condensing
Housing temperature according to UL 60950-1	max. 70 °C (158 °F)
Ambient temperature according to UL 60950-1	max. 30 °C (86 °F)

UL 60950-1 test conditions: no lens attached to camera; no heat dissipation measures; ambient temperature kept at 30 °C (86 °F).

Heat Dissipation

→ See [Providing Heat Dissipation](#).

Electrical Requirements

DANGER
Electric Shock Hazard
WARNING
Fire Hazard
NOTICE
Incorrect voltage can damage the camera.

Camera Power

You must supply camera power that complies with the Universal Serial Bus 3.0 specification.

The camera's nominal operating voltage is 5 VDC, effective on the camera's connector.

Opto-Coupled I/O Input Line

Voltage	Description
30 VDC	Absolute maximum. This voltage must never be exceeded. Doing so may damage the camera and voids the warranty.
0–24 VDC	Safe operating range.
0–1.4 VDC	Indicates a logical 0 (with inverter disabled).
>1.4–2.2 VDC	Region where the logic level transition occurs; the logical status is not defined in this region.
>2.2 VDC	Indicates a logical 1 (with inverter disabled).
<ul style="list-style-type: none">Minimum current: 5 mACurrent draw: 5–15 mA	

Opto-Coupled I/O Output Line

Voltage	Description
30 VDC	Absolute maximum. This voltage must never be exceeded. Doing so may damage the camera and voids the warranty.
3.3–24 VDC	Safe operating range.
<3.3 VDC	Unreliable I/O output.
<ul style="list-style-type: none">Leakage current: <60 μA. Actual leakage depends on operating temperature and production spread of electronic components.Maximum load current: 50 mAMinimum load current: Not specified. Consider the following:<ul style="list-style-type: none">Leakage current will have a stronger effect when load currents are low.Propagation delay of the output increases as load currents decrease.Higher-impedance circuits tend to be more susceptible to EMI.Higher currents cause higher voltage drops in long cables.	

General Purpose I/O Lines

NOTICE

Applying incorrect electrical signals to the camera's GPIO line can severely damage the camera.

Operation as Input

Voltage	Description
30 VDC	Absolute maximum. This voltage must never be exceeded. Doing so may damage the camera and voids the warranty.
0–5 VDC	Safe operating range. The minimum external pull-up voltage is 3.3 VDC.
0–0.8 VDC	Indicates a logical 0 (with inverter disabled).
>0.8–2.0 VDC	Region where the logic level transition occurs; the logical status is not defined in this region.
>2.0 VDC	Indicates a logical 1 (with inverter disabled).

- **Current draw (high-level):** <100 µA
- **Sink current:** Your application must be able to accept 2 mA sink current from the GPIO input line without exceeding 0.8 VDC.

Operation as Output

Voltage	Description
30 VDC	Absolute maximum. This voltage must never be exceeded. Doing so may damage the camera and voids the warranty.
3.3–24 VDC	Safe operating range.
<3.3 VDC	Unreliable GPIO output.

- **Internal pull-up resistor:** $\approx 2\text{ k}\Omega$, with open collector. Many applications will have to provide an additional pull-up resistor.
- **Residual voltage ("on" state):** $\approx 0.4\text{ V}$ at 50 mA and 25°C (77°F) housing temperature. Actual residual voltage depends on operating temperature, load current, and production spread of electronic components.
- **Leakage current:** <60 µA. Actual leakage depends on operating temperature and production spread of electronic components.
- **Maximum load current:** 50 mA
- **Minimum load current:** Not specified. However, consider the following:
 - Leakage current will have a stronger effect when load currents are low.
 - Propagation delay of the output increases as load currents decrease.
 - Higher-impedance circuits tend to be more susceptible to EMI.

- Higher currents cause higher voltage drops in long cables.

Circuit Diagrams

→ See [Circuit Diagrams for Basler ace Cameras](#).

Cable Requirements

USB 3.0 Cable

- Use a high-quality USB 3.0 cable with a Micro-B plug.
- To [avoid EMI](#), cables must be shielded, as specified in the USB 3.0 standard.
- Basler recommends using USB 3.0 cables from the [Basler Vision Components](#) range.

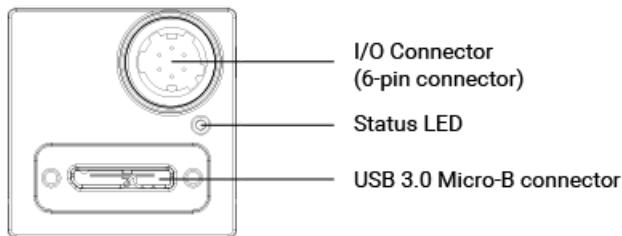
For more information about recommended USB 3.0 cables, see the [Recommended Accessories for Basler USB 3.0 Cameras](#) document.

I/O Cable

- The I/O cable must be shielded.
- The I/O cable must have a cross-section at least 0.14 mm^2 (close to AWG26).
- Use twisted pair wire cables.
- Maximum recommended cable length: 10 m
- Camera-side connector: Hirose micro plug (part number HR10A-7P-6S) or equivalent
- Close proximity to strong magnetic fields should be avoided.
- Basler recommends using I/O cables from the [Basler Vision Components](#) range:
 - [GPIO cable, 10 m](#) (yellow cable): For use with the [GPIO lines](#) of your camera. To avoid interferences due to crosstalk, the opto-coupled I/O lines are not connected.
 - [Opto-I/O cable, 10 m](#) (blue cable): For use with the [opto-coupled I/O lines](#) of your camera. To avoid interferences due to crosstalk, the GPIO lines are not connected.
 - [Opto-GPIO Y-cable, 2 x 10 m](#) (yellow-blue cable): Allows you to use the [GPIO lines](#) and the [opto-coupled I/O lines](#) simultaneously without interferences due to crosstalk. There are two separate wires to split both I/O types.

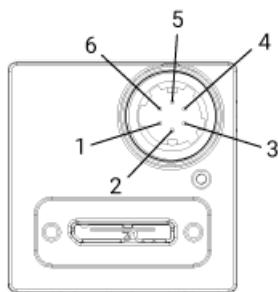
Physical Interface

Camera Connectors and Status LED



6-pin connector	Hirose micro receptacle (part number HR10A-7R-6PB) Recommended mating connector: Hirose micro plug (part number HR10A-7P-6S)
USB 3.0 Micro-B connector	Standard USB 3.0 Micro-B connector with screw lock Recommended mating connector: Standard connector with screws
Status LED	Indicates camera operation (LED lit = camera operating).

Connector Pin Numbering and Assignments



Pin	Line	Function
1	Line 3	General purpose I/O (GPIO) line
2	Line 1	Opto-coupled I/O input line
3	Line 4	General purpose I/O (GPIO) line
4	Line 2	Opto-coupled I/O output line
5	-	Ground for opto-coupled I/O lines
6	-	Ground for General Purpose I/O (GPIO) lines

Precautions

→ See [Safety Instructions for Basler ace Cameras](#).

Installation

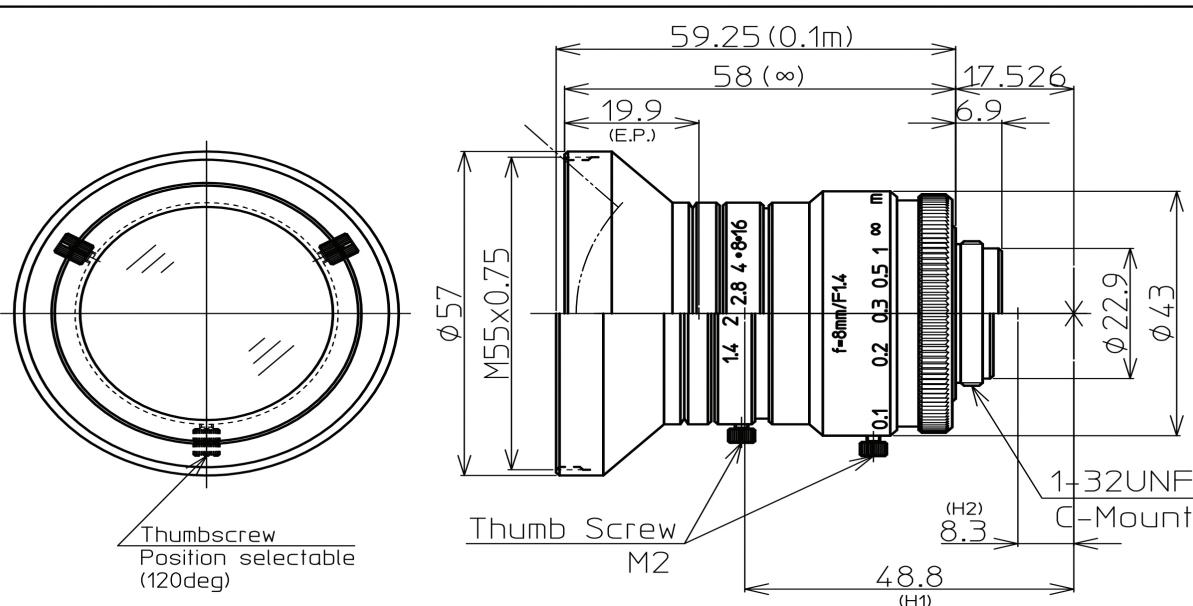
A.7 Lente Kowa LM8HC

A ficha resumo contendo as principais especificações da lente Kowa LM8HC utilizada em conjunto com a câmera fotográfica está disposta na Tabela 8. Maiores informações e desenho mecânico deste componente estão dispostos no *datasheet* anexado a seguir.

Tabela 8: Especificações da lente Kowa LM8HC para sensor de 1 polegada de diâmetro.

Item	Especificação
Comprimento focal	8 [mm]
Razão de diâmetro máxima	$F = 1 : 1,4 \sim 1,6$
Tamanho da imagem	9,6 x 12,8 [mm]
Ângulo de visão vertical	63,0 [°]
Ângulo de visão horizontal	79,4 [°]
Ângulo de visão diagonal	92,4 [°]
Distância focal mínima	0,1 [mm]
Tamanho do filtro	M55 x 0.75
Encaixe de lente	C-Mount
Temperatura de operação	-10 ~ 50 [°C]
Temperatura de armazenagem	-20 ~ 60 [°C]
Massa	205 [g]
Dimensões (L x A x P)	66,15 x 57 x 57 [mm]

Fonte: Autores, adaptado de Kowa American Corp.



1" 1.4/8mm C	1"	2/3"	1/1.8"
FOCAL LENGTH	f=8mm		
MAX. DIAMETER (RATIO)	F=1 : 1.4~16		
PICTURE SIZE	9.6x12.8mm	6.6x8.8mm	5.4x7.2mm
ANGLE	VER. ANGLE	63.0°	44.7°
	HOR. ANGLE	79.4°	58.3°
	DIA. ANGLE	92.4°	70.7°
DISTORTION (TV)	-1.2%		
SHOOTING RANGE AT	VER.	143.2mm	96.0mm
MINIMUM FOCUS	HOR.	196.0mm	130.4mm
DISTANCE	DIA.	247.0mm	166.2mm
MINIMUM FOCUS DISTANCE		0.1m	
FLANGE BACK		17.526mm in air	
BACK FOCUS		11.2mm in air	
FILTER SCREW SIZE		M55x0.75	
FRONT/REAR EFFECTIVE DIA.		FRONT φ37.4mm	REAR φ17.5mm
MOUNT		C-MOUNT	
EXIT PUPIL		-45.9mm	
TEMPERATURE RANGE		-10~+50°C	
STORAGE TEMPERATURE RANGE		-20~+60°C	
RESOLUTION CENTER/CORNER		CENTER 120lp/mm	CORNER 80lp/mm
WEIGHT		205g	

NOTE: Specifications and availability are subject to change without notice



		1/1	HR975NCN-3H
			1" F1.4 f=8mm
2015.7.30			
2014.12.25			LM8HC
2013.4.15			

A.8 Manipulador JeRoTimon

A ficha resumo contendo as especificações principais do Manipulador JeRoTimon está disposta na Tabela 9. Maiores informações e desenho mecânico deste componente estão dispostos no *datasheet* anexado a seguir.

Tabela 9: Especificações do manipulador JeRoTimon.

Item	Especificação
DOF	5
Carga útil	2 [kg]
Alcance	981 [mm]
Ângulos de operação	Junta 1: -45 a 45 [°] Junta 2: -90 a 90 [°] Junta 3: -43 a 173 [°] Junta 4: -90 a 90 [°] Junta 5: -90 a 90 [°]
Comunicação	RS-485 57.600 [bps]
Tensão de alimentação	24 [V]
Massa	6,4 [kg]

Fonte: Autoria própria.

master ▾

...

[timon_hm_manipulator](#) / README.md



migueelnery Update README.md

[History](#)

3 contributors



[Raw](#)

[Blame](#)



254 lines (203 sloc) 8.32 KB



JeRoTIMON

JeRoTIMON is a manipulator that is being designed, simulated and built in order to meet demands related to the recognition of visual markers and in response to actuate switches, keys or buttons. These buttons and markers can be viewed horizontally or vertically.



Open Source software and packages related

Software

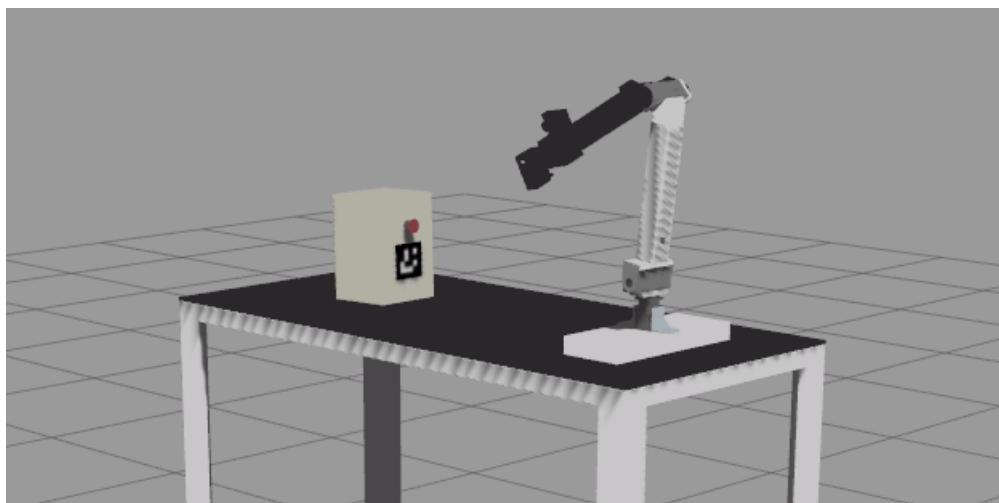
- [ROS Melodic](#)
- [MoveIt](#)

Packages

- [BIR Marker](#)
- [def_cam_teledyne_nano](#)
- [OpenCV 3](#)

User manual

Simulate JeRoTIMON



Install softwares and libraries:

- [Install ROS Melodic on Ubuntu 18.04](#)
- [Install OpenCV 3.3.1](#)
- [Install MoveIt](#)

Install ROS melodic packages

```
$ sudo apt install ros-melodic-ros-control ros-melodic-gazebo-ros-control ros-melodic-controller-manager ros-melodic-joint-trajectory-controller ros-melodic-joint-state-controller ros-melodic-position-controllers ros-melodic-trac-ik-kinematics-plugin

$ sudo apt-get install ros-melodic-moveit-visual-tools
```

Setup workspace

```
$ mkdir -p catkin_ws/src  
$ cd catkin_ws/src  
  
For simulation:  
$ git clone -b feature/simulation https://github.com/Brazilian-Institute-of-Robotics/timon_hm_manipulator.git  
For real manipulator:  
$ git clone https://github.com/Brazilian-Institute-of-Robotics/timon_hm_manipulator.git  
$ git clone -b final_settings https://github.com/Brazilian-Institute-of-Robotics/bir_marker_localization.git  
$ git clone https://github.com/ROBOTIS-GIT/open_manipulator_msgs.git  
  
$ cd ..  
  
$ catkin_make
```

Run application

Gazebo simulation

```
$ roslaunch manipulator_gazebo gazebo.launch
```

Moveit

```
$ roslaunch manipulator_gazebo moveit_demo.launch
```

Marker localization

```
$ roslaunch timon_demo bir_marker_localization.launch
```

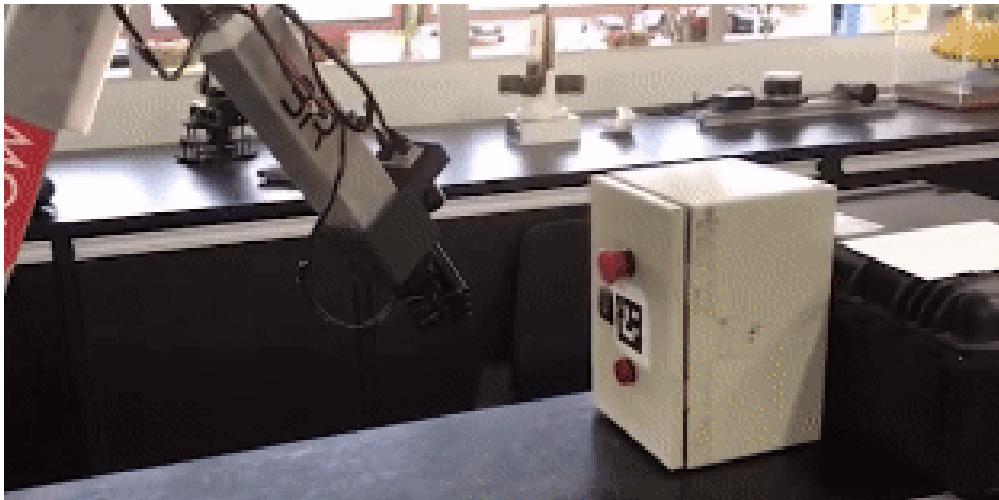
Execute mission

```
$ roslaunch timon_demo push_button_simulation.launch
```

How to change a box orientation

For change the box orientation, go to *manipulator_gazebo/launch/spawn_box.launch* and change *box_vertical.urdf.xacro* for *box_horizontal.urdf.xacro*.

Operate JeRoTIMON manipulator



Install the same software and packages than simulation and download and install the DALSA framework for Ubuntu. You need to sign up on their website to download it.

Setup workspace

```
$ mkdir -p catkin_ws/src  
$ cd catkin_ws/src  
  
$ git clone https://github.com/Brazilian-Institute-of-  
Robotics/timon_hm_manipulator.git  
$ git clone -b final_settings https://github.com/Brazilian-Institute-of-  
Robotics/bir_marker_localization.git  
$ git clone https://github.com/ROBOTIS-GIT/open_manipulator_msgs.git  
$ git clone https://github.com/ROBOTIS-GIT/dynamixel-workbench.git  
$ git clone -b refactor_code https://github.com/Brazilian-Institute-of-  
Robotics/def_cam_teledyne_nano.git
```

Copy [this package](#) to dynamixel-workbench folder.

```
$ cd ..  
$ catkin_make
```

Run application

Controllers

```
$ roslaunch timon_arm_controller dxl_controllers.launch  
  
$ roslaunch timon_arm_controller moveit.launch  
  
$ roslaunch timon_arm_controller dxl_moveit_bridge.launch
```

Camera

```
$ roslaunch def_cam_teledyne_nano camera_example.launch
```

Marker localization

```
$ roslaunch timon_demo bir_marker_localization.launch
```

Execute mission

```
$ roslaunch timon_demo push_button_real.launch
```

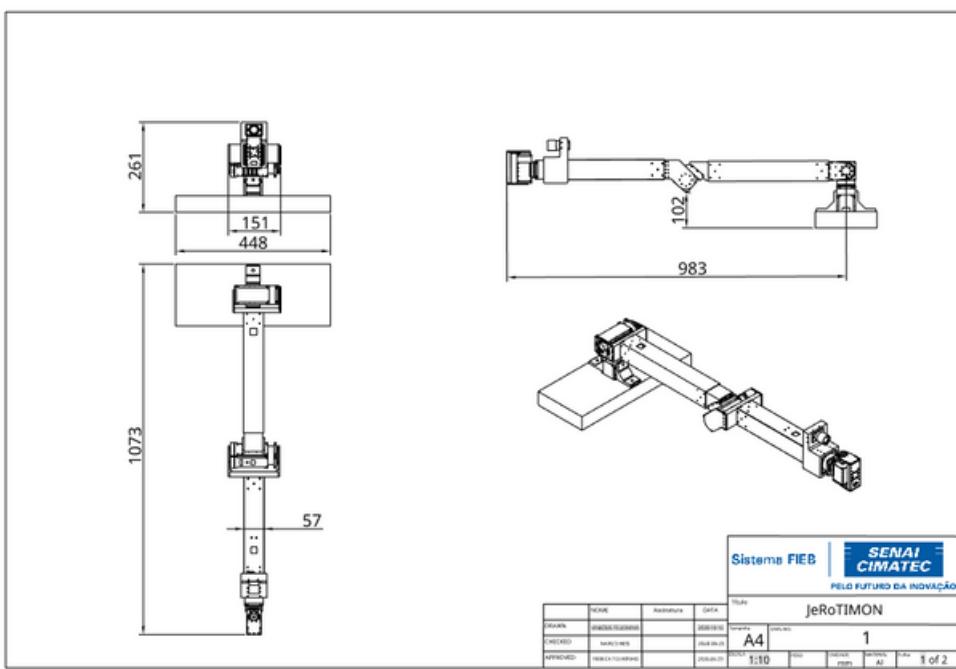
JeRoTIMON specifications

Specifications table

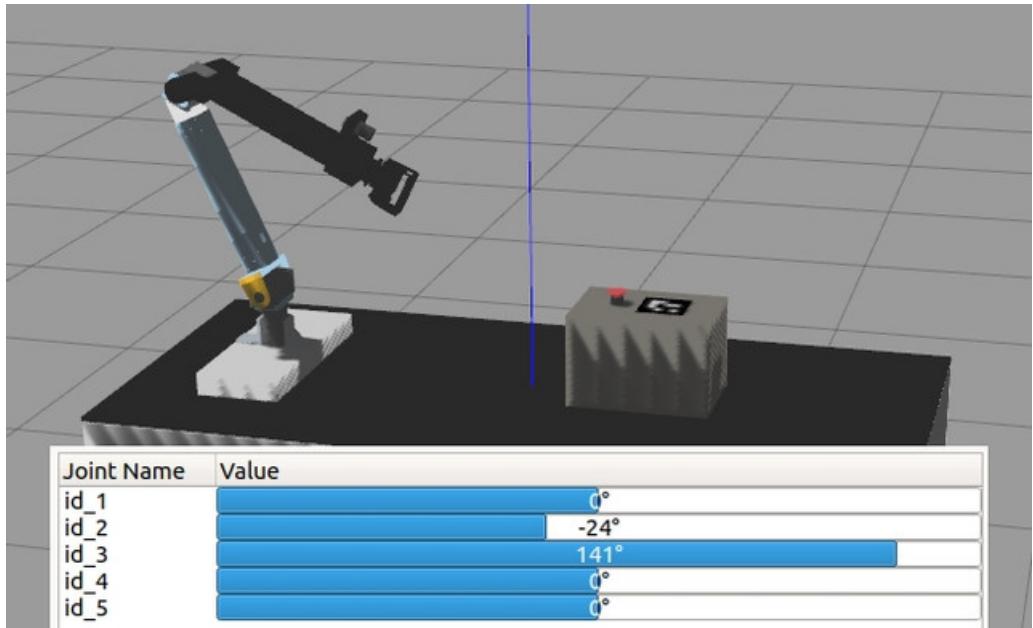
Item	JeRoTIMON
DOF	5
Payload	2 kg
Reach	981 mm
Weight (with base)	10 kg
Weight (without base)	6.4 kg
Operating voltage	24 V
Resolution	Joint 1, Joint 2, Joint 3, Joint 4: 1,003,846 pulse/rev Joint 5: 607,500 pulse/rev
Motors	Joint 1, Joint 2, Joint 3 : PH54-200-S500-R (200W) Joint 4: PH54-100-S500-R (100 W) Joint 5: PH42-020-S300-R (20 W)
Operating Range	Joint 1: -45° ~ 45° Joint 2: -90° ~ 90° Joint 3: -43° ~ 173° Joint 4: -90° ~ 90° Joint 5: -90° ~ 90°
Camera	Teledyne Genie Nano C290
Position sensor type	Homing: Absolute Encoder Control: Incremental Encoder
Communication	USB

Item	JeRoTIMON
Electrical pattern	RS485
Communication Baudrate	57,600 bps

Dimension

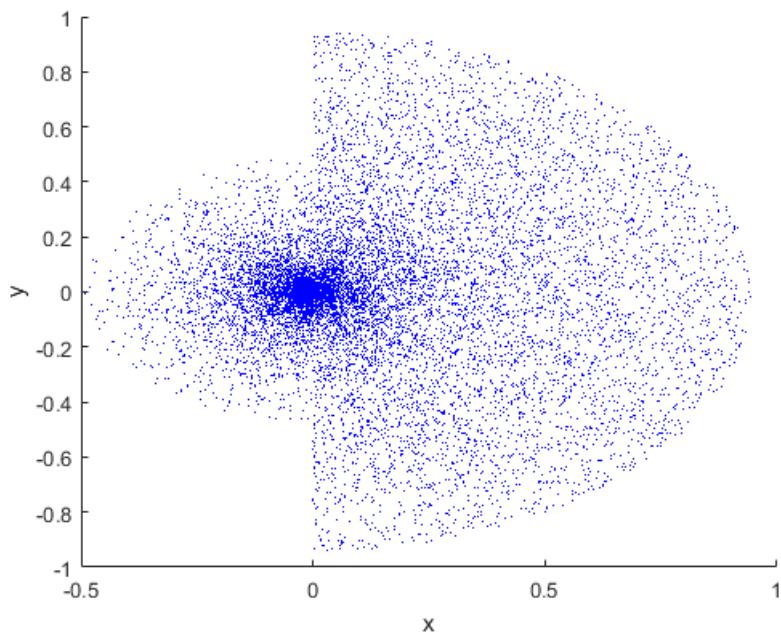


Home Position

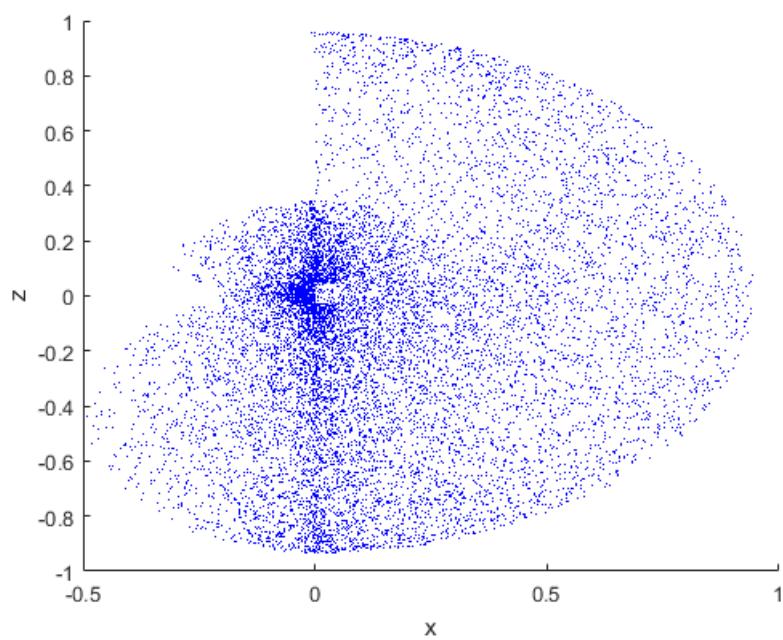


Workspace

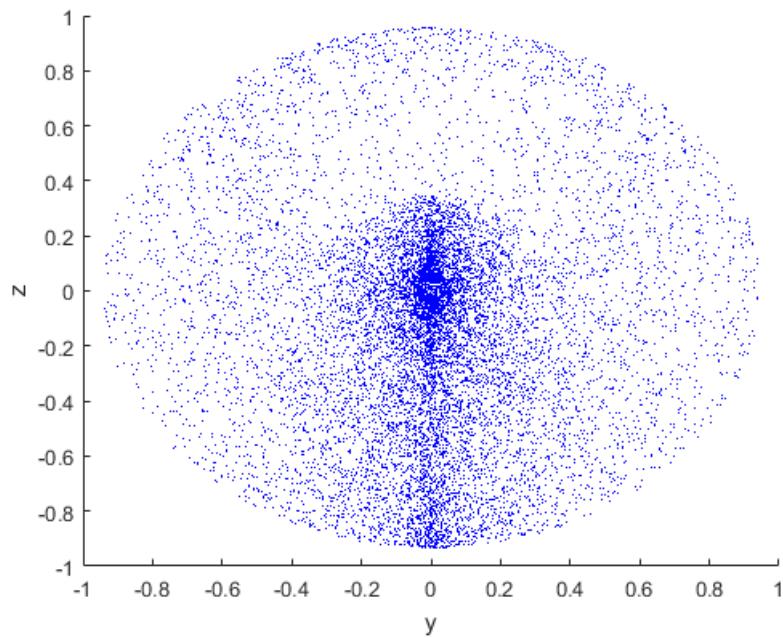
XY



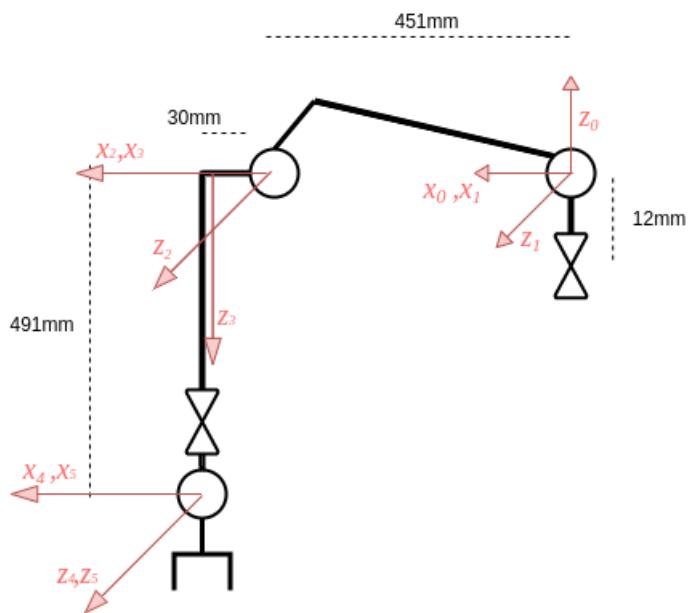
XZ



YZ



DH Configuration

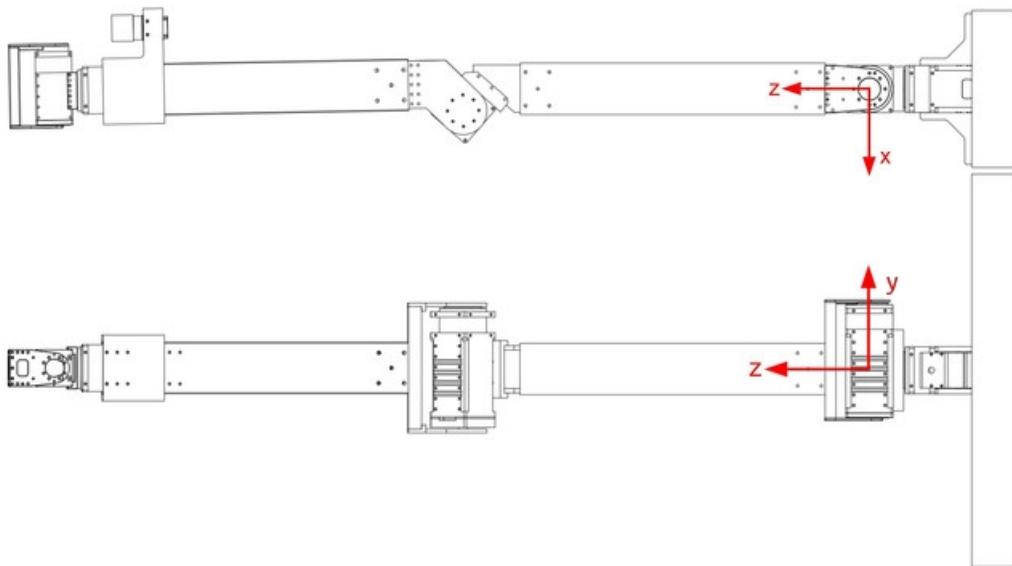


DH parameters

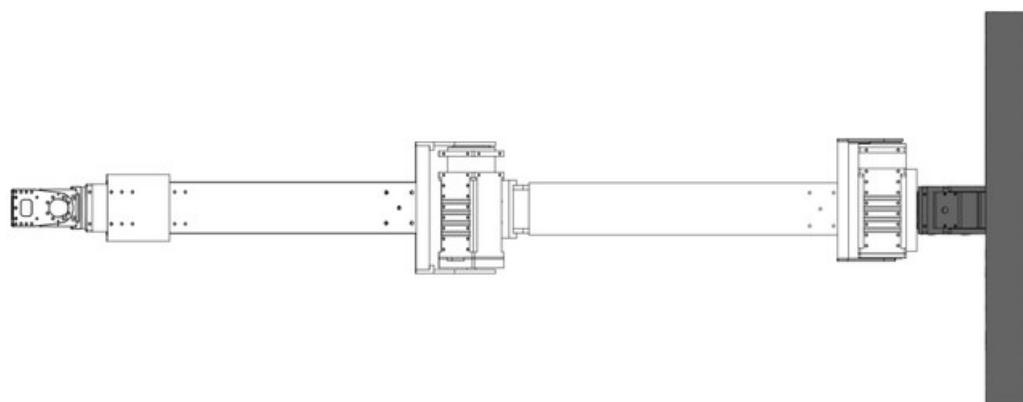
LINK	Link Length (mm)	Link Twist (rad)	Joint Offset (mm)	DXL Angle (rad)
1	0	$\pi/2$	12	0
2	452		0	$\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left(\frac{30}{451}\right)$
3	30	$-\pi/2$	0	$\frac{\pi}{4} + \tan^{-1}\left(\frac{30}{451}\right)$
4	0	$\pi/2$	491	0
5	0	0	0	0

Mass Property

Coordinate

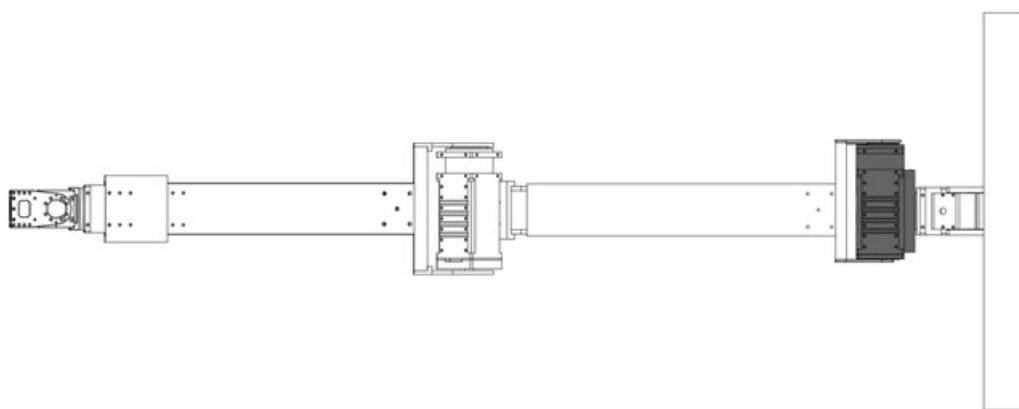


Link 0



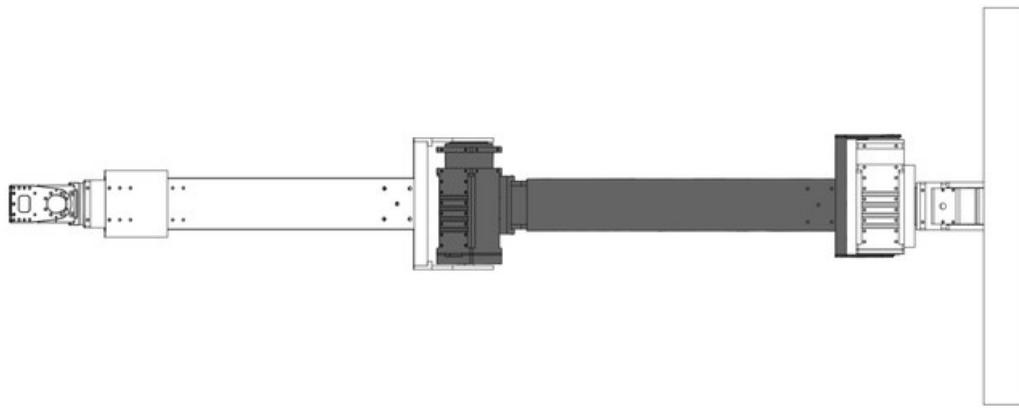
- **Mass:** 3.72384654 kg
- **Volume:** 0.00413037 m³
- **Surface area:** 0.28622123 m²
- **Center of mass:**
 - X: -0.00000147 m
 - Y: 0.00000000 m
 - Z: 0.03504069 m
- **Moments of inertia:** kg m²
 - L_{xx}: 0.01072644 L_{xy}: -9.465e-9 L_{xz}: -3.247e-8
 - L_{yx}: -9.465e-9 L_{yy}: 0.04865651 L_{yz}: 6.830e-13
 - L_{zx}: -3.247e-8 L_{zy}: 6.830e-13 L_{zz}: 0.05388213

Link 1



- **Mass:** 1.03781084 kg
- **Volume:** 0.00040169 m³
- **Surface area:** 0.05853078 m²
- **Center of mass:**
 - X: 0.00814457 m
 - Y: 4.45597047e - 8 m
 - Z: 0.16022275 m
- **Moments of inertia: kg m²**
 - Lxx: 0.0005687 Lxy: 2.602e-10 Lxz: -0.00004027
 - Lyx: 2.602e-10 Lyy: 0.00166759 Lyz: -2.222e-10
 - Lzx: -0.00004027 Lzy: -2.222e-10 Lzz: 0.00155695

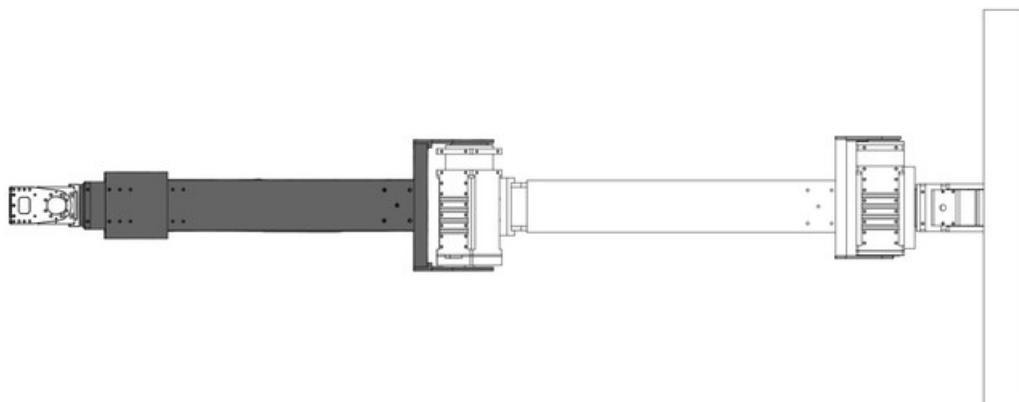
Link 2



- **Mass:** 2.05026959 kg
- **Volume:** 0.00077667 m³
- **Surface area:** 0.29790369 m²
- **Center of mass:**
 - X: 0.00294129 m
 - Y: -0.01058166 m
 - Z: 0.48960322 m

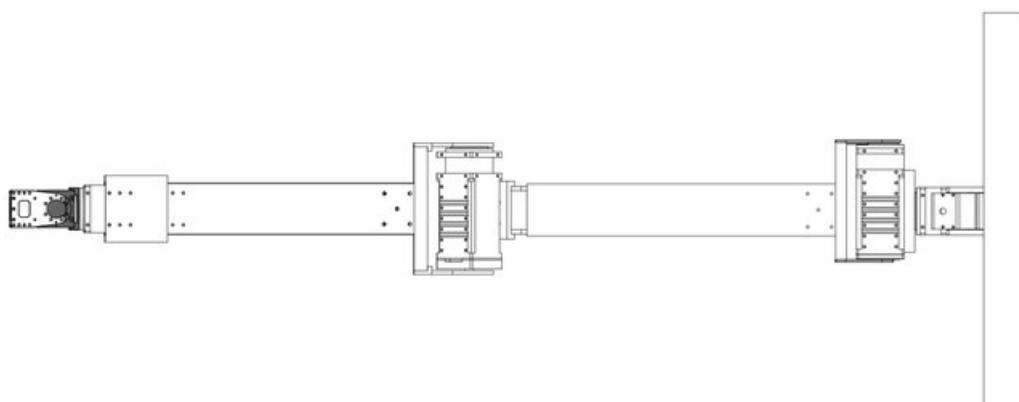
- **Moments of inertia: kg m²**
 - **Lxx:** 0.06174738 **Lxy:** -0.00003476 **Lxz:** 0.00098626
 - **Lyx:** -0.00003476 **Lyy:** 0.06319525 **Lyz:** 0.00311701
 - **Lzx:** 0.00098626 **Lzy:** 0.00311701 **Lzz:** 0.0034029

Link 3



- **Mass:** 1.83580505 kg
- **Volume:** 0.00081683 m³
- **Surface area:** 0.32055793 m²
- **Center of mass:**
 - X: 0.00257384 m
 - Y: 0.00207951 m
 - Z: 0.91287054 m
- **Moments of inertia: kg m²**
 - **Lxx:** 0.03439469 **Lxy:** -0.00000261 **Lxz:** -0.00001194
 - **Lyx:** -0.00000261 **Lyy:** 0.03489631 **Lyz:** -0.0001288
 - **Lzx:** -0.00001194 **Lzy:** -0.0001288 **Lzz:** 0.0023687

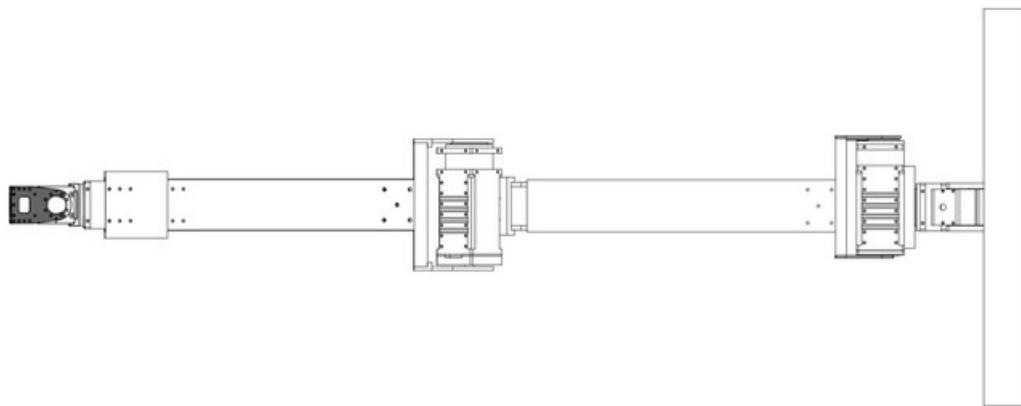
Link 4



- **Mass:** 0.39425655 kg

- **Volume:** 0.00014602 m³
- **Surface area:** 0.03018022 m²
- **Center of mass:**
 - X: 0.00257156 m
 - Y: 0.00133073 m
 - Z: 1.09673426 m
- **Moments of inertia: kg m²**
 - L_{xx}: 0.00028795 L_{xy}: 2.010e-10 L_{xz}: -8.166e-13
 - L_{yx}: 2.010e-10 L_{yy}: 0.00011981 L_{yz}: -0.00000446
 - L_{zx}: -8.166e-13 L_{zy}: -0.00000446 L_{zz}: 0.0002842

Link 5



- **Mass:** 0.08694786 kg
- **Volume:** 0.0000322 m³
- **Surface area:** 0.02435944 m²
- **Center of mass:**
 - X: 0.00257155 m
 - Y: 0.00684212 m
 - Z: 1.13578562 m
- **Moments of inertia: kg m²**
 - L_{xx}: 0.00012963 L_{xy}: -5.235e-13 L_{xz}: -9.996e-14
 - L_{yx}: -5.235e-13 L_{yy}: 0.00003703 L_{yz}: 0.00000247
 - L_{zx}: -9.996e-14 L_{zy}: 0.00000247 L_{zz}: 0.00012613

A.9 Conversor ROBOTIS U2D2 (RS485 - USB)

A ficha resumo contendo as principais especificações do conversor de sinais ROBOTIS U2D2 está disposta na Tabela 10. Maiores informações sobre sua utilização podem ser encontradas no *datasheet* anexado a seguir. O desenho mecânico deste conversor esta disposto na Figura 29.

Tabela 10: Especificações do conversor ROBOTIS U2D2 (RS485-USB).

Item	Especificação
Massa	9 [g]
Dimensões (L x A x P)	48 x 18 x 14.6 [mm]
Portas de comunicação com computador	USB
Portas de comunicação com periféricos	3 Pinos nível TTL 4 Pinos RS-485 4 Pinos UART
Taxa de transmissão	Máximo 6 [Mbps]

Fonte: Autores, adaptado de ROBOTIS.



1. Introduction

[Edit on GitHub](#)

U2D2

U2D2 is a small size USB communication converter that enables to control and operate DYNAMIXEL with PC.

2. How to Use

2. 1. PC to DYNAMIXEL

U2D2 can be connected to the USB port of the PC with the enclosed USB cable.

It supports both 3Pin TTL connector and 4Pin RS-485 connector to link up with various DYNAMIXEL's.

U2D2 does not supply power to DYNAMIXEL, therefore, an external power supply should provide power to DYNAMIXEL.

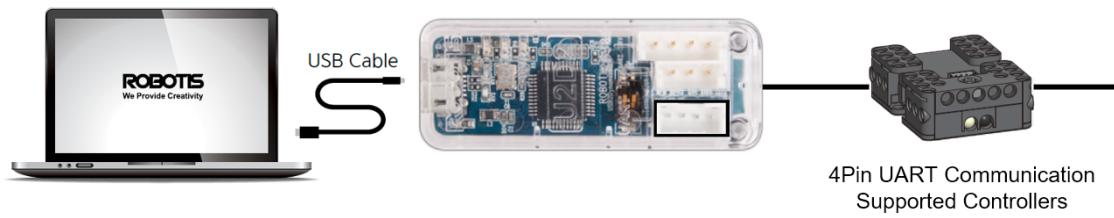
Be careful as recommended voltage for each DYNAMIXEL could be vary by model.

Please refer to e-Manual for recommended supply voltage and power connection with various power supplies.



2. 2. PC to UART

U2D2 is able to connect ROBOTIS controllers that support 4Pin UART communication such as OpenCM9.04, CM-150 and CM-200 to the PC with the enclosed USB cable.



4Pin UART Communication
Supported Controllers

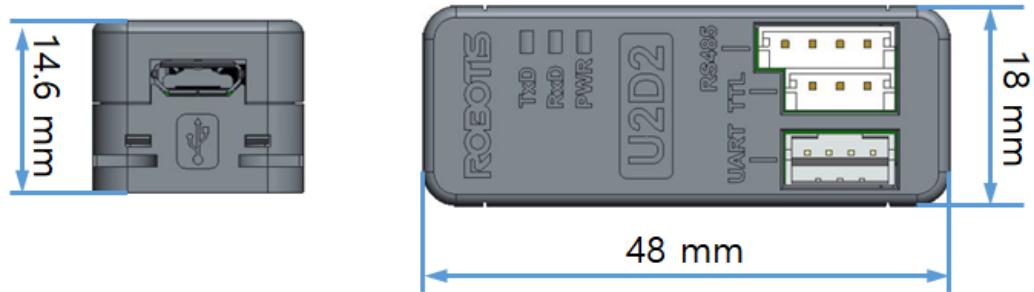


ToC

TOP

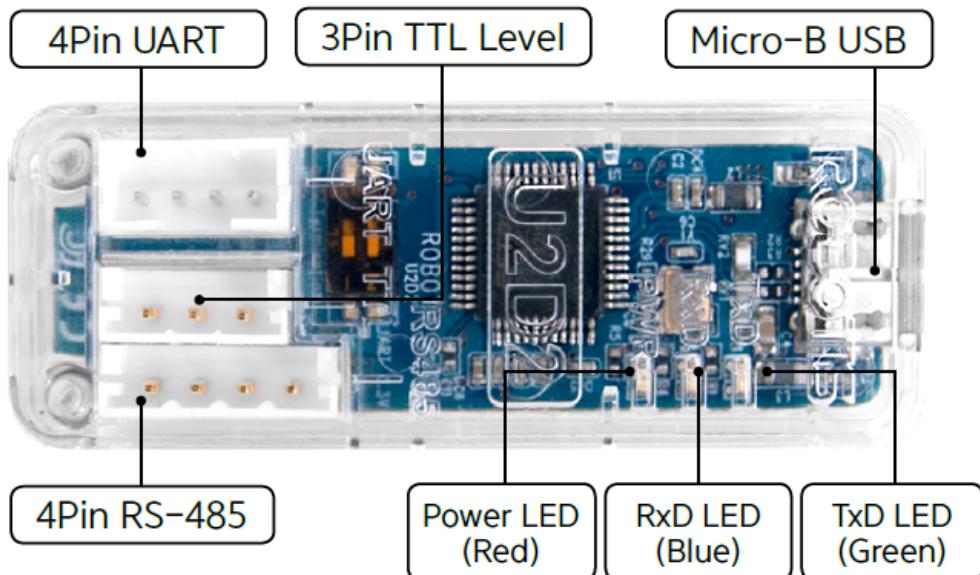
NOTE : In case of unstable communication with U2D2, check if there is a reference voltage difference in the communication. Please check PC and other devices are grounded properly. Failing to do so might cause damages on the U2D2.

3. Specifications



Item	Description
Weight	9g
Dimensions	48mm x 18mm x 14.6mm
Ports	3Pin TTL Level(TTL Communication supported DYNAMIXEL) 4Pin RS-485(RS-485 Communication supported DYNAMIXEL) 4Pin UART(Controllers that support 4Pin UART(such as CM-150 and CM-200))
Baudrate	Maximum 6Mbps

4. Layout



Ports	Description
4Pin UART	Convert USB and UART
3Pin TTL Level	Connect to DYNAMIXEL with 3Pin TTL Level Communication
4Pin RS-485	Connect to DYNAMIXEL with 4Pin RS-485 Communication
Status LED	Display status of Power supply, TxD(Data write) and RxD(Data Read)
Micro-B USB	Connect to the PC with USB cable

5. Baudrate

Reference BPS	Actual BPS	Error(%)
9,600	9,600	0.00
57,600	57,588.4823	-0.02
115,200	115,246.0984	0.04
1,000,000	1,000,000	0.00
2,000,000	2,000,000	0.00
3,000,000	3,000,000	0.00
4,000,000	4,000,000	0.00
4,500,000	4,571,428.571	1.56
6,000,000	6,000,000	0.00

NOTE : Less than 3% of the baud rate error will not affect to the UART communication.

NOTE : For the stable communication with higher baudrate, configure USB Latency value to the lower.
[USB Latency Setting](#)

6. Supply Power

U2D2 does not supply power to DYNAMIXEL, therefore, an external power supply should provide power to DYNAMIXEL as below. Before connecting DYNAMIXEL to an external power supply, please check the recommended voltage for DYNAMIXEL.



ToC

TOP

Caution for Power Supply

- For a stable power supply, it is recommended to use ROBOTIS controller or SMPS2Dynamixel.
- When connecting cable to DYNAMIXEL, please turn off the power.

6. 1. Using SMPS2Dynamixel

In order to operate DYNAMIXEL with SMPS2Dynamixel, please connect DYNAMIXEL to SMPS2Dynamixel, then connect SMPS to SMPS2Dynamixel as shown below image.

Please compare operating voltage of DYNAMIXEL with 12V 5A ROBOTIS SMPS before supplying power.



6. 2. Using ROBOTIS Controller

In order to operate DYNAMIXEL with OpenCM 485 Expansion board, please connect DYNAMIXEL to OpenCM485 Exp board, then connect battery or SMPS to the expansion board as shown below image.

Please compare operating voltage of DYNAMIXEL with battery or 12V 5A ROBOTIS SMPS before supplying power.
OpenCM485 EXP board will bypass the input power source to output power.



6. 3. Using Power Supply

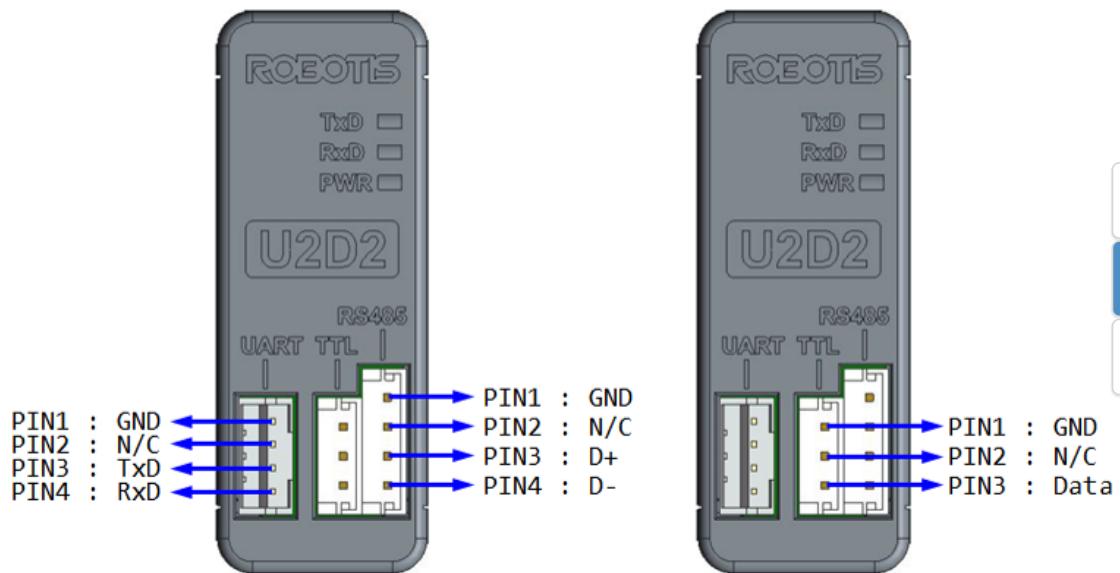
In order to operate DYNAMIXEL with Power Supply, please configure the power supply for DYNAMIXEL before connecting cable.

Please check the pinout of the cable to avoid connecting to wrong pins.

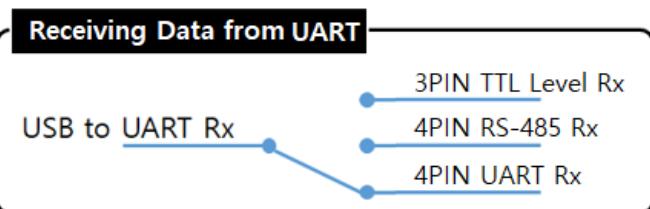
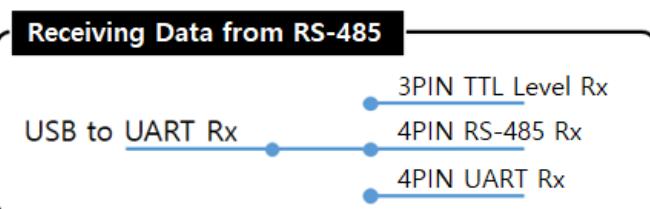
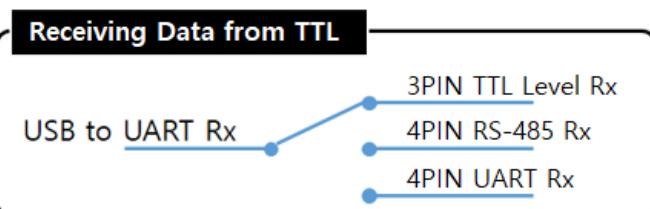
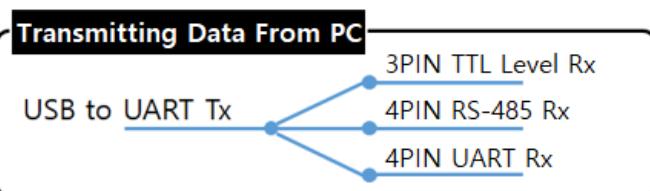
How to check whether the USB downloader(LN-101) driver is installed correctly.



7. Pinouts



8. Data Flow Control





ToC

TOP

When data is transmitted from the USB port in PC to peripheral devices(Tx), all connected device will receive an identical data.

On the other hand, when data is received from one of the peripheral devices(Rx), it will be automatically converted as USB communication and sent to the PC. During this process, received data will not be transmitted to other peripheral devices. If data from more than two peripheral devices are received, the received data can be corrupted.

Therefore, when connecting 3Pin TTL Level DYNAMIXEL and 4Pin RS-485 DYNAMIXEL at the same time, all connected DYNAMIXEL should have its unique ID in order to prevent receiving corrupt data. In addition, when using Bulk Read and Sync Read instructions that requires to receive data from multiple DYNAMIXEL's, relevant DYNAMIXEL's should be connected to the same communication channel or else the instruction will not work properly.

9. Softwares

1. RoboPlus

RoboPlus supports Windows environment to manage controllers and DYNAMIXEL's.

- R+ Task 2.0 : R+ Task 2.0 can be used when downloading Task Code to the controller.
- R+ Motion 2.0 : R+ Motion 2.0 can be used when downloading Motion file to the controller.
- R+ Manager 2.0 : R+ Manager 2.0 is used to connect controllers or DYNAMIXEL's and update firmware or test the control table..
- [ROBOTIS Homepage](#)

2. DYNMAIXEL Workbench

DYNMAIXEL Workbench supports Linux environment to test control table of DYNAMIXEL.

- [ROBOTIS GitHub](#)
- [DYNMAIXEL Workbench Manual](#)

3. DYNAMIXEL SDK

DYNAMIXEL SDK supports various programming languages such as C, C++, C#, MATLAB, LabVIEW, Python and Java in order to help developing DYNAMIXEL control software. DYNAMIXEL SDK provides a bundle of functions/methods that can be used for operating DYNAMIXEL with protocols in the form of digital packet.

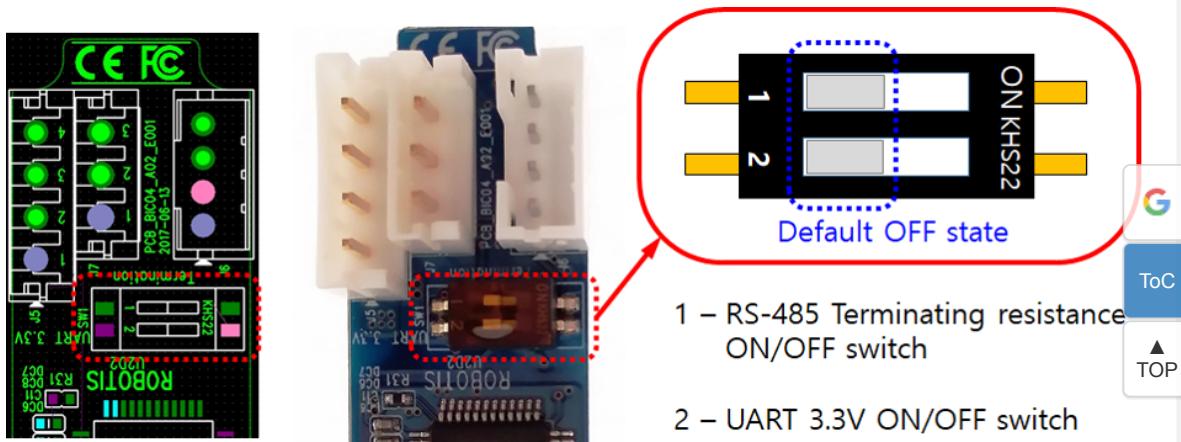
DYNAMIXEL SDK is free to download from GitHub.

- [ROBOTIS GitHub](#)
- [DYNAMIXEL SDK Manual](#)

10. Additional Features

10. 1. Internal DIP Switch

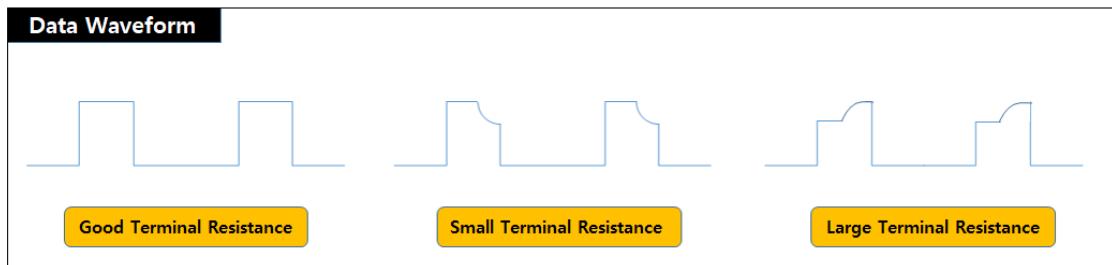
There is a two-pole switch inside of the plastic cover. This switch is set to OFF as a default. Under normal circumstances this default setting is recommended, therefore, the switch cannot be accessed without opening the case. Please open the case and set RS-485 termination resistor and UART 3.3V power switch only after thoroughly understand its usage.



10. 1. 1. RS-485 Termination Resistor(120Ω) Switch

Transmission devices are designed to have certain impedances based on design standard and signal reflection or interference can occur when impedance do not match over the transmission lines. The termination resistors at the end of transmission lines suppress such effect by adjusting impedance and allowing constant current flow. However, the termination resistor is not a mandatory, especially in a short RS-485 network with lower communication baud rate.

If communication is suffering from frequent errors, the termination resistor might be required. The regular 120Ω termination resistor will be applied on the transmission line by shifting the switch to ON. If termination resistor doesn't resolve the communication issue, the resistance value might need to be adjusted.



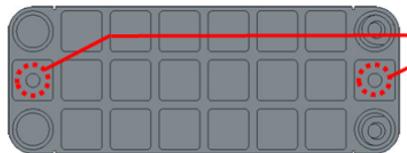
10. 1. 2. UART 3.3V Power Supply Switch

The peripheral device such as controllers that can be connected to the 4Pin UART usually have an external power source, therefore additional 3.3V power from the UART port #2 pin is not necessary.

However, when connecting BT-410 that does not have an external power source needs to be powered by the 4Pin UART port #2 pin. In this case, the UART 3.3V power switch need to be turned on.

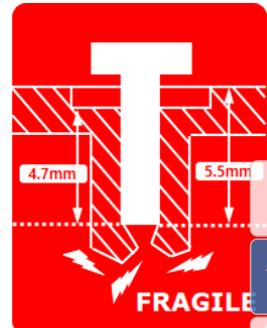
If the switch is turned on, second pin of the 4Pin UART connector will be able to supply 3.3V.

10. 2. Caution for Assembly



Mount Holes

The maximum depth of the available tap is 4.7mm. When tightening the bolts to a depth of more than 4.7mm may cause damage.



- Bolt for Mount Hole : M2 Tap bolt
- Mount Hole Depth : Valid depth 4.7mm, Depth from the surface 5.5mm

11. References

11.1. Certifications

Please inquire us for information regarding unlisted certifications.

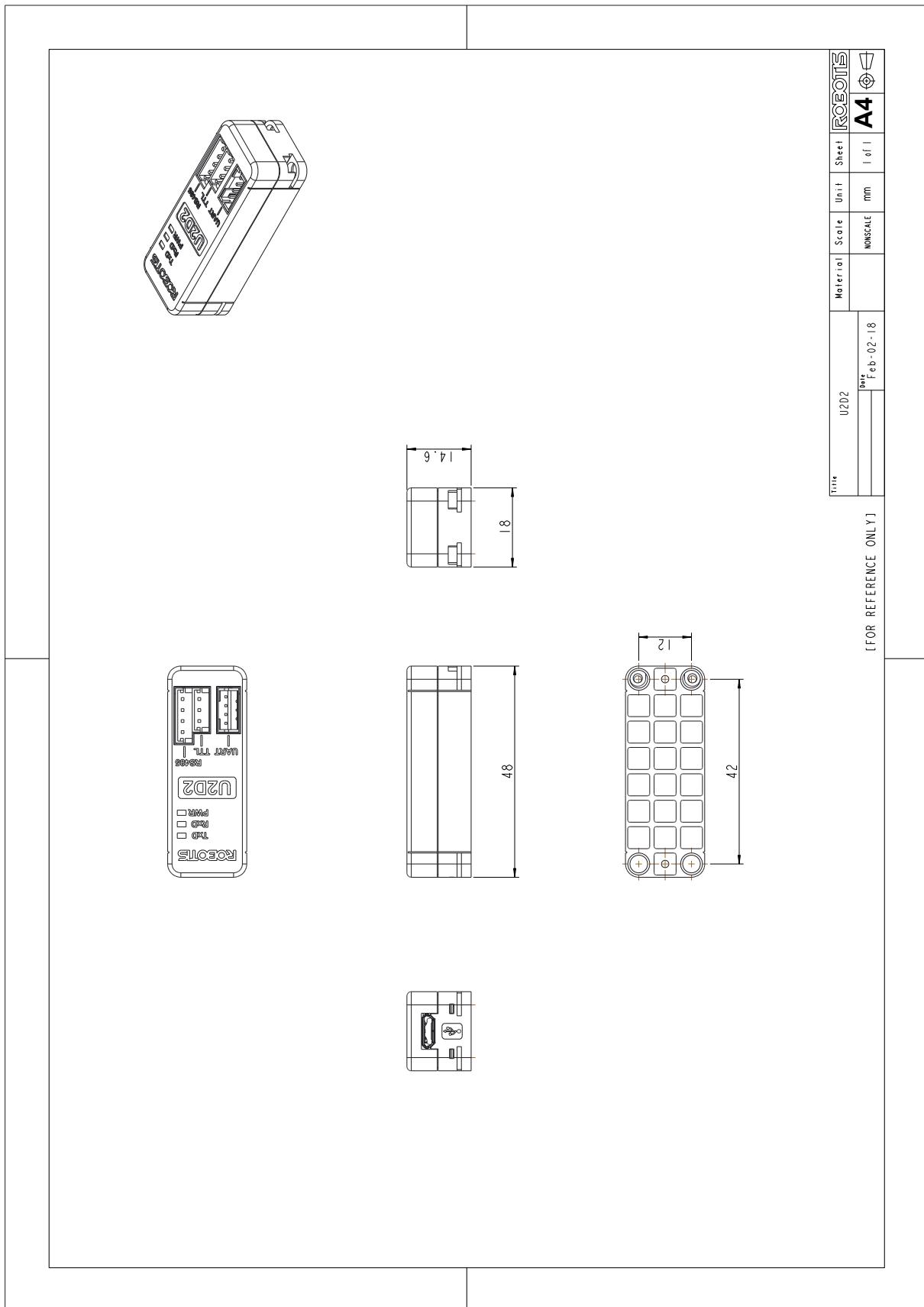
11.1.1. FCC

Note: This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class A digital device, pursuant to part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the equipment is operated in a commercial environment. This equipment generates, uses, and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instruction manual, may cause harmful interference to radio communications. Operation of this equipment in a residential area is likely to cause harmful interference in which case the user will be required to correct the interference at his own expense.

WARNING

Any changes or modifications not expressly approved by the manufacturer could void the user's authority to operate the equipment.

Figura 29: Desenho mecânico do conversor ROBOTIS U2D2 (RS485 - USB).



Fonte: ROBOTIS.