

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
TELECOMUNICAÇÕES

Lúcio Folly S. Zebendo
e
João Luiz de Amorim Pereira Neto

Aplicações de *Drones* em Redes de Computadores:
Utilização da plataforma *Raspberry Pi* como
computador de bordo.

Niterói – RJ

2022

Lúcio Folly S. Zebendo
e
João Luiz de Amorim P. Neto

Aplicações de *Drones* em Redes de Computadores: Utilização da plataforma *Raspberry Pi* como computador de bordo.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense,
como requisito parcial para obtenção do Grau de
Engenheiro de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Santos de la Vega
Coorientador - Prof. Dr. Lauro Eduardo Kozovits

Niterói – RJ
2022

A figura referente ao arquivo

FichaCatalogfica.jpg

fornecido pela Biblioteca

deverá aparecer aqui.

ATENÇÃO: Na versão impressa, essa página deverá
ficar no verso da página anterior.

Lúcio Folly S. Zebendo
e
João Luiz de Amorim P. Neto

Aplicações de *Drones* em Redes de Computadores: Utilização da plataforma *Raspberry Pi* como computador de bordo.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense,
como requisito parcial para obtenção do Grau de
Engenheiro de Telecomunicações.

Aprovada em DIA de MÊS de ANO.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre S. de la Vega - Orientador
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Lauro Eduardo Kozovits - Co-Orientador
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Alexandre S. de la Vega
INSTITUIÇÃO

Prof. Lauro Eduardo Kozovits
INSTITUIÇÃO

Niterói – RJ
2022

Resumo

Este trabalho é o fruto de um esforço conjunto entre vários discentes e docentes da UFF e iniciativa privada, todos com mútuo interesse por VANTs e suas aplicações. O projeto inicial era ideia da Equipe UFFO [Equipe UFFO,] - construir um *drone* para vigilância dos campi da UFF. O hardware a ser utilizado era um quadricóptero equipado com um sistema FPV de transmissão analógica. Posteriormente, houve-se o interesse de equipar um computador de bordo no *drone* em questão, para fazer aplicações no campo da visão computacional com processamento em tempo de voo. Para isso foi utilizado como referência o material da comunidade [Ardupilot Docs, 2021] sobre computadores de bordo [Companion Computers, 2021].

Para a escolha do computador de bordo foram levados mais em conta fatores de custo e popularidade, com isso a plataforma *Raspberry Pi* [Foundation, 2020] foi a selecionada para esse fim.

A partir da arquitetura proposta, várias aplicações além da visão computacional são possíveis. Como o computador de bordo em questão possui um sistema operacional com propósito geral baseado em *debian* [Software in the Public Interest, Inc, 2021], além de outras capacidades de Hardware como portas *GPIO* para acoplamento de sensores e atuadores e outros barramentos para conexão de periféricos, as possibilidades para esse hardware são muitas.

Com isso, a aplicação proposta nesse trabalho será a conexão desse computador de bordo à uma rede IP. Várias capacidades da plataforma *Raspberry Pi* serão exploradas nos experimentos que sucederão, além disso, serão desenvolvidas aplicações para testar o conceito de *Drones* em Redes de computadores.

Palavras-chave: Raspberry Pi. Drones. VANT. ROS. Equipe UFFO. Robótica. Ardupilot. Pixhawk

Abstract

This work is a result of a collective effort between some students and teachers from UFF and the private sector, all of them having the mutual interest in UAVs and their applications. The first idea of this project was made by UFFO Team [Equipe UFFO,] - to build a drone for surveillance of all UFF campuses. The required hardware would have been a quadcopter equipped with an analog transmission FPV system. Posteriorly, there was an interest to equip to the same drone an on-board computer, so it could provide some application in computer vision by doing real-time processing, The reference was made by studying the community files [Ardupilot Docs, 2021] about on-board computers [Companion Computers, 2021].

The on-board computer was chosen taking into account the cost and popularity, thus, the Raspberry Pi [Foundation, 2020] was selected for this purpose.

Based on the proposed architecture, countless features may be implemented by using its hardware. The on-board computer has an operating system based on debian [Software in the Public I moreover it has numerous GPIO ports that enables the communication to sensors or actuators and also other buses to connect peripherals devices. Hence, there are a plenty possibilities of addons and functionalities.

Therefore, the proposed application of this thesis will be the connection between the on-board computer to an IP network. Many possibilities of Raspberry Pi will be studied and explored in future experiments, besides that, there will be developed some applications to test the concept of drones on a computer network.

Keywords: Raspberry Pi. Drones. UAV. ROS. UFFO Team. Robotics. Ardupilot. Pixhawk

Espaço reservado para a dedicatória.

Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Alexandre pela orientação durante a nossa estadia no grupo do PET-Tele. Através, da nossa participação no grupo foi possível termos um primeiro contato com as plataformas de desenvolvimento Arduino e *Raspberry Pi* [Foundation, 2020], além de outras atividades que contribuíram para nosso desenvolvimento acadêmico e profissional. Agradecemos ao Prof. Raul pelo acolhimento na *Equipe UFFO* e pelo incentivo ao estudo e desenvolvimento de VANTs. Agradecemos ao Prof. Lauro Eduardo pelo direcionamento durante a elaboração desse projeto de TCC. Agradecemos à Equipe UFFO e especialmente ao Raphael Miranda, pelo apoio no desenvolvimento do drone quadróptero utilizado nos experimentos desse trabalho. Agradecemos à Empresa 6DDrones e especialmente ao Fabio, pelo apoio com infraestrutura e equipamentos para o desenvolvimento desse projeto. Agradecemos à comunidade Arducopter pelo grande esforço colaborativo em desenvolver varias das ferramentas utilizadas nesse projeto. Agradeço à Larissa, minha namorada, por todo apoio, carinho e incentivo durante a minha graduação. Agradecemos aos nossos familiares pela cobrança e incentivo nos estudos.

Lista de Figuras

2.1	Classificação de VANTs por tipo de pouso, aerodinâmica e quantidade de rotores.	5
2.2	Veículos suportados pelo ArduPilot.	8
2.3	Raspberry Pi Revision 2.0.	12
4.1	Conexões de hardware para Omnibus F4 Pro V3.	18
4.2	Bancada de trabalho com o drone quadricóptero.	19
4.3	Pixhawk 2 Cube Hero.	20
4.4	Conexões de hardware para a Pixhawk 2 Cube Hero.	20
4.5	Bancada de trabalho com o drone quadricóptero.	21
4.6	Software In The Loop.	21

Lista de Tabelas

2.1	Especificações técnicas do modelo Raspberry Pi Revision 2 - Element14. . .	11
2.2	Descrição dos pinos do Raspberry Pi Rev 2.0 - Element 14.	12

Sumário

Resumo	iv
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
0.1 Siglas	1
1 Introdução	2
1.1 Motivações	3
1.2 Objetivo	3
1.3 Resultados esperados	3
1.4 Trabalhos correlacionados	3
1.5 Organização do documento	4
2 Introdução teórica	5
2.1 Definições iniciais	5
2.1.1 Drones e VANTs	5
2.1.2 Classificação de VANTs	5
2.1.3 Componentes dos VANTs de Asa Rotativa	6
2.1.4 ArduPilot	7
2.1.5 UART	9
2.1.6 Telemetria	9
2.1.7 Protocolo Mavlink	9
2.1.8 Computadores de Bordo	10
2.2 Série de computadores Raspberry Pi	11
2.2.1 ROS - Robot Operative System	13
2.2.2 Django	14

	xi
2.3 Arquitetura do sistema proposto	15
3 Metodologia	16
3.1 Pesquisa	16
3.2 Objetivos do método aplicado	16
3.3 Abordagem	16
3.4 Descrição do problema	17
4 Detalhamento da solução	18
4.1 Primeiros testes com o drone quadricóptero	18
4.1.1 Diagrama de conexão dos componentes de hardware	18
4.2 Montagem do drone hexacóptero	20
4.2.1 Diagrama de conexão dos componentes de hardware	20
4.3 Ambiente de simulação	21
4.4 Arquitetura do software desenvolvido	22
4.5 Arquitetura da aplicação de rede	22
4.6 Outras arquiteturas possíveis para o sistema proposto	22
5 Resultados	23
6 Conclusão	24
7 Sugestões para trabalhos futuros	26
Referências	28
A Apêndice 1	29
A.1 Instalando o ArduPilot e MavProxy	29
A.1.1 Clonando o repositório <i>git</i> para sua máquina	29
A.1.2 Instalando as dependências e recompilando o perfil	29
A.1.3 Mudando para a <i>branch</i> do ArduCopter	29
A.1.4 Rodando SITL (<i>Software In The Loop</i>)	29
A.2 Instalando o Gazebo e o <i>plugin</i> do ArduPilot	30
A.2.1 Atualizando a lista de fontes para <i>download</i>	30
A.2.2 Instalando o <i>plugin</i> do Gazebo para comunicação com o ArduPilot .	30
A.2.3 Executando a simulação	30
A.3 Instalando o <i>ROS</i> e o configurando o <i>Catkin</i>	31
A.3.1 Atualizando a lista de fontes para <i>download</i>	31
A.3.2 Instalando o <i>ROS</i>	31
A.3.3 Configurando o ambiente	31

A.3.4	Instalando as dependências para os pacotes dos <i>ROS</i>	31
A.3.5	Configurando o <i>Catkin</i>	32
A.3.6	Instalando as dependências para o <i>Catkin</i>	32
A.3.7	Instalando as <i>MAVROS</i> e <i>MAVLink</i>	32
A.3.8	Atualizando o arquivo <i>.bachrc</i>	32
A.4	Instalando as dependências geográficas e clonando o repositório de simulação do <i>Intelligent Quads</i>	33
A.4.1	Instalando as dependências geográficas	33
A.4.2	Clonando pacote ROS de simulação do <i>Intelligent Quads</i>	33
A.5	Instalando o <i>QGround Control</i>	33
A.5.1	Alterando permissões e instalando o <i>QGround Control</i>	33

0.1 Siglas

ROS - *Robot Operating System*

VANT - Veículo aéreo não tripulado

MAVLink - *Micro Air Vehicle Communication Protocol*

UART - *Universal asynchronous receiver/transmitter*

RXD - *Receive Data*

TXD - *Transmit Data*

Capítulo 1

Introdução

Atrelado à popularização da tecnologia, o barateamento dos *drones* tornaram-os capazes de serem usados para além do âmbito militar, ganhando espaço nas indústrias cinematográficas, esportivas e do entretenimento, fora para o uso pessoal.

Somado à isso, com o barateamento e miniaturização dos componentes eletrônicos nas últimas décadas, surgiram diversas plataformas eletrônicas de prototipagem, como o Arduíno e também mini computadores como o Raspberry Pi, o que popularizou o estudo das mesmas no âmbito dos drones.

O uso de mini computadores como o Raspberry Pi já é difundido em aplicações de IOT e robótica e recentemente a comunidade do Ardupilot também explorou e documentou a utilização da plataforma como um computador de bordo, abrindo um leque de possibilidades para as atividades que um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) pode executar.

Um computador de bordo permite a utilização de um sistema operacional completo, e por consequência oferece vários benefícios, como por exemplo capacidades de conexão à rede e a utilização de diversas tecnologias que facilitam o desenvolvimento de drones inteligentes.

Dessa forma, partindo da tecnologia para a utilização de computadores de bordo em drones é possível explorar as capacidades desse sistema conectado à rede. Além disso, é inevitável a criação de sistemas capazes de realizar o gerenciamento e controle dessas aeronaves através da própria internet, o que será abordado nesse documento.

1.1 Motivações

O sentimento de interesse e empolgação pela tecnologia dos drones dos autores desse texto foram as forças primordiais para a concepção do trabalho que se segue. Tal interesse nasceu dentro da Universidade Federal Fluminense através da equipe UFFO [Equipe UFFO,], formada por discentes e docentes da universidade.

Com a experiência adquirida na confecção de um drone quadróptero simples, descobriu-se a possibilidade de acoplar a este um Raspberry Pi [Foundation, 2020] como computador de bordo da aeronave, expandindo suas capacidades.

A partir desta ideia, foram realizados estudos para buscar os métodos e tecnologias mais recentes utilizados nessa configuração de drone. Felizmente, muitas dessas tecnologias utilizadas já estavam disponíveis na documentação Open Source do Ardupilot [Ardupilot Docs, 2021] para o equipamento utilizado.

1.2 Objetivo

O primeiro objetivo deste trabalho será o estudo e planejamento da arquitetura do sistema proposto, desde o hardware a ser utilizado, as ferramentas de software e a arquitetura da aplicação que será desenvolvida.

O segundo objetivo é o desenvolvimento de uma aplicação utilizando as ferramentas e a arquitetura proposta no objetivo anterior. Além disso, o funcionamento do sistema será parcialmente validado através de um ambiente de simulação.

Por último, visa-se a construção e configuração de um drone com o sistema embarcado proposto e serão analisados os resultados obtidos.

1.3 Resultados esperados

- Criação de um ambiente de simulação para a validação dos experimentos propostos.
- Um sistema de controle e navegação para o drone via rede IP.
- Um drone capaz de realizar comunicação de dados numa rede IP.

1.4 Trabalhos correlacionados

- Artigos de Drones LTE [Lassi Sundqvist, 2015]

1.5 Organização do documento

Resumir os seguintes pontos:

1. Introdução teórica
2. Definições
3. Arquitetura Proposta
4. Metodologia

Capítulo 2

Introdução teórica

2.1 Definições iniciais

2.1.1 Drones e VANTs

Drones são sistemas aéreos automatizados que incluem tanto os VANTs - Veículos Aéreos Não Tripulados, capazes de voar por milhares de quilômetros, quanto drones pequenos que voam em locais confinados. São veículos aéreos não tripulados, automatizados ou controlados remotamente, podem carregar diversos tipos de carga e fazer vários tipos de missões.

Devido a avanços nas tecnologias envolvidas na fabricação, nos sistemas de navegação, nos sensores e sistemas de armazenamento de energia, uma grande variedade de tipos de drones surgiram nas últimas décadas.

2.1.2 Classificação de VANTs

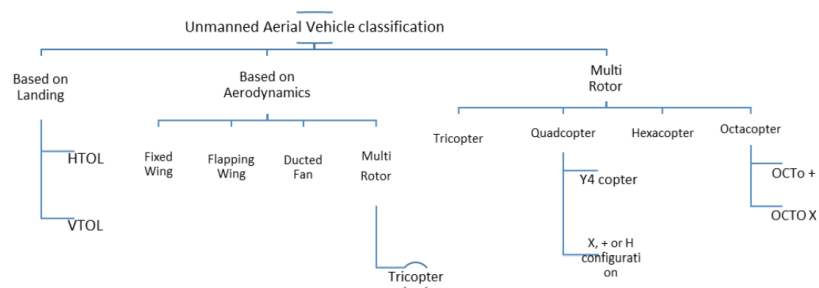


Figura 2.1: Classificação de VANTs por tipo de pouso, aerodinâmica e quantidade de rotores.

Como mostrado no organograma da figura acima 2.1, as categorizações mais comuns para os VANTs são obtidas pelos atributos "tipo de pouso", "aerodinâmica" e "quan-

tidade de rotores".

O tipo de aerodinâmica responsável pela sustentação das aeronaves no ar é bastante diversificado. Uma categoria bem comum de drones são os VANTs de asa fixa, que semelhantemente aos aviões, tiram proveito da geometria das asas e da velocidade gerada por um ou mais motores para obterem sustentação.

A classificação de aterrissagem, com a nomenclatura VTOL e HTOL diz respeito apenas aos VANTs de asa fixa visto que apenas esses tipos de VANTs tiram proveito tanto da aterrissagem vertical quanto da autonomia proveniente do voo horizontal com asas fixas.

No presente documento focaremos mais aceturadamente nos drones de asa rotativa, visto que esse tipo de drone será utilizado nos experimentos que sucederão.

2.1.3 Componentes dos VANTs de Asa Rotativa

Os componentes dos drones de asa rotativa variam conforme o tipo de missão. Alguns dos componentes principais podem ser listados abaixo:

1. Frame
2. Motores e hélices
3. Escs
4. Controladora de voo
5. Bateria e Placa distribuidora de energia

Frame

O Frame de um drone é a base estrutural na qual todos os outros componentes são fixados, ele geralmente é feito de um material leve e resistente como fibra de carbono e outros polímeros plásticos.

Bateria e Placa distribuidora de energia

A bateria é a fonte de energia do drone, geralmente são utilizadas baterias Li-Po (Lítio-Polímero) pela sua boa relação massa/desempenho energético, essas baterias possuem uma nomenclatura específica com base na quantidade de células <explicar melhor as baterias>.

Motores e hélices

Os motores do drone são os responsáveis por converter a energia elétrica proveniente das baterias em energia cinética. Geralmente os motores utilizados são motores de corrente contínua não escovados (*brushless DC*) <colocar as características físicas desse tipo de motor>. A partir da corrente elétrica fornecida ao motor ele movimenta a hélice, que devido à sua aerodinâmica gera uma força resultante para cima no drone, a qual é denominada empuxo.

Escs

Os Escs, ou Eletronic Speed Controlers são os componentes eletrônicos responsáveis por controlar a velocidade dos motores. Eles são comandados pela controladora de voo, geralmente a partir de sinais PWM <Falar sobre PWM>. Assim como o PWM é utilizado para comandar os ESCs, os ESCs utilizam essa modulação para chavear o circuito entre os motores e a bateria controlando assim a velocidade dos motores.

Controladora de Voo

A controladora de voo é um microcontrolador com software embarcado dedicado às funções básicas da aeronave. Ela possui sensores inerciais embutidos para comandar a dinâmica de voo da aeronave, além de possuir interface eletrônica com outros componentes como módulos gps, módulos receptores de rádio, módulos de telemetria entre outros. Sem a controladora de voo, seria uma tarefa humanamente impossível controlar o voo da aeronave, visto que a mesma depende de um feedback contínuo e instantâneo dos parâmetros inerciais.

2.1.4 ArduPilot

O ArduPilot é um projeto de código aberto que possui um conjunto de software destinado ao piloto automático de veículos não tripulados, os quais incluem:

- Plane - piloto automático para drones de asa fixa.
- Copter - piloto automático para drones de asa rotativa.
- Rover - piloto automático para veículos terrestres e barcos.
- Sub - piloto automático para veículos submarinos.

Além de suportar o firmware para todos esses tipos de veículos, a comunidade ArduPilot também se preocupa em desenvolver outras plataformas que auxiliam o desenvolvimento e a utilização do próprio firmware, como por exemplo:



Figura 2.2: Veículos suportados pelo ArduPilot.

- Antenna Tracker - firmware para mirar uma antena automaticamente para o veículo.
- Mission Planner - interface de estação de controle em solo escrita em C# para Windows.
- APM Planner 2.0 - interface de estação de controle específica para APM escrita em C++ usando os módulos Qt, pode ser executada em Linux, Windows e Mac.
- MAVProxy - interface de estação de controle em linha de comando ou via script.
- DroneKit - APM SDK para aplicações executadas de forma embarcada, em mobile, e/ou na nuvem.
- MinimOSD - visualização de informações de voo em tempo real no visor da interface de FPV.
- Tower - interface de estação de controle para celular.
- QGroundControl é uma interface de estação de controle alternativa escrita em C++ usando os modulos Qt.
- PX4 - firmware pixhawk para a controladora pixhawk.
- MAVLink - o protocolo para comunicação entre estação de controle, controladora de voo e alguns componentes incluindo OSD.
- UAVCAN - protocolo leve e confiável para aplicações de comunicação aeroespacial e robótica, via CAN bus.

<LISTAR CONTROLADORAS DE VOO COMPATÍVEIS COM O FIRMWARE>

2.1.5 UART

UART, que vem das palavras *universal asynchronous receive/transmit*, realiza o papel principal na comunicação serial, já que converte os dados entre série e paralelo. Há então uma conversão de paralelo-serial para os dados transmitidos, e uma outra serial-paralelo para os dados recebidos. Existe ainda um *buffer*, cujo objetivo é armazenar dados por tempo limitado em transmissões com alta taxa, sem que haja descarte de dados e consequente perda de informação. Para que não haja fluxo de transmissão caso ambas as partes estiverem prontas, em adição as características citadas, são incorporados circuitos reguladores de fluxo.

A divisão do protocolo é feita em três sub-módulos, gerador de taxa de transmissão, módulo de transmissão e módulo de recepção. O primeiro, se responsabiliza por gerar um sinal de relógio localmente, o qual deve ser muito maior que a taxa de transmissão de dados entre transmissor-receptor. O módulo receptor, por sua vez, recebe os sinais RXD e os converte para dados paralelos. Por fim, o módulo transmissor converte os bytes em bits seriais, com base no padrão de quadro utilizado, e os envia através de sinais TXD. [Laddha and Thakare, 2013]

2.1.6 Telemetria

A telemetria é uma funcionalidade indispensável nos drones mais modernos, ela permite receber informações dos sensores do drone em tempo real como altitude, velocidade, gps, temperatura, informações da quantidade de carga na bateria dentre outras. Essa transmissão de dados geralmente é feita por um módulo dedicado a isso ou então em módulos receptores de rádio que já possuem essa funcionalidade integrada.

2.1.7 Protocolo Mavlink

MAVLink é um protocolo de comunicação com drones e entre os componentes acoplados ao drone. Essa transmissão consiste no envio de um fluxo de dados, os quais são chamados de tópicos, e escritos em arquivos XML. Dentre as principais vantagens de se utilizar o MAVLink estão a sua eficiência e versatilidade. Em números, a segunda versão do MAVLink tem apenas 14 *bytes* de *overhead* no pacote de comunicação. Além disso, provê métodos de detectar perda de pacotes e dados corrompidos, e garante a autenticação dos pacotes. Outro ponto positivo é o suporte a diversas linguagens, já que o protocolo tem suporte a diferentes tipos de sistemas operacionais e microcontroladores. Por fim, apesar de menos importante para o nosso projeto, vale citar que o protocolo suporta até 255 usuários simultâneos em um mesma rede. [MAVLink,]

2.1.8 Computadores de Bordo

Computadores de bordo (ou *Companion Computers*, como são chamados na documentação do ArduPilot) podem ser utilizados para interfacear com o firmware ArduPilot numa controladora de voo através do protocolo MAVLink. Dessa forma, o computador de bordo consegue computar todos os dados MAVLink produzidos pela controladora e com estes pode fazer decisões inteligentes durante o voo.

Geralmente, no quesito de hardware para esses computadores são escolhidos mini computadores de arquitetura baseada em ARM. Os mini computadores suportados pela comunidade ArduPilot são listados abaixo:

- Arduino family
- LYCHEE (Cube Carrier Board for Raspberry Pi Compute Module)
- NVidia TX1
- NVidia TX2
- ODroid
- Raspberry Pi

Já no quesito de software, existem ferramentas, programas e sistemas operacionais específicos para computadores de bordo, tais programas conseguem computar os dados MAVLink vindos da controladora. Alguns dos softwares suportados pela comunidade ArduPilot são listados abaixo:

- APSync
- DroneKit
- FlytOS
- Maverick
- ROS
- Rpanion-server

2.2 Série de computadores Raspberry Pi

O Raspberry Pi é uma série de computadores de placa única e tamanho reduzido, que recebem a denominação SoC (*System on Chip*) [Members, 2019b] à qual são conectados os seguintes dispositivos: monitor, teclado, e mouse.

Desenvolvido no Reino Unido pela Raspberry Pi Foundation tendo, como principais objetivos, contribuir para inclusão digital, promoção de ensino básico em ciência da computação e empoderamento social. Uma alternativa de ensino com baixo custo para escolas e estudantes [Members, 2019a]. A Tabela 2.1 apresenta as especificações técnicas do modelo Raspberry Pi Revision 2 - Element 14, utilizado pelo grupo PET-Tele.

Chip	Broadcom BCM2835 SoC Full HD Processador de Aplicações Multimídia
CPU	700 Mhz ARM1176JZ-F Processador de Baixa Potência de aplicações
GPU	Dois Núcleos, VideoCore IV, Co-Processador de Multimídia
Memória	512MB SDRAM
Ethernet	Onboard 10/100 Ethernet com conector RJ-45
USB 2.0	Dois Conectores USB 2.0
Saída de Vídeo	HDMI e Composição RCA (PAL e NTSC)
Saída de Áudio	Conector 3.5 mm ou HDMI
Armazenamento	SD, MMC, SDIO Card Slot
Dimensões	8.6 cm X 5.4 cm X 1.7 cm

Tabela 2.1: Especificações técnicas do modelo Raspberry Pi Revision 2 - Element14.

Na Figura 2.3 é mostrado uma fotografia do modelo. Dentre os 25 Pinos presentes neste Raspberry, 17 podem ser usados como entradas ou saídas de uso geral, 5 como terminais comuns (GND), 2 como fontes de tensão de valor +5V e 2 como fontes de tensão de valor +3.3V.

A Tabela 2.2 reúne uma descrição de todos os pinos.



Figura 2.3: Raspberry Pi Revision 2.0.

N	Descrição	N	Descrição
1	Saída de +3.3V	14	Terminal Comum GND
2	Saída de +5V	15	GPIO22
3	GPIO2 Pull-Up I2C-SDA	16	GPIO23
4	Saída de +5V	17	3V3
5	GPIO3 Pull-Up I2C-SCE	18	GPIO24
6	Terminal Comum GND	19	GPIO10 SPI MOSI
7	GPIO4	20	Terminal Comum GND
8	GPIO14 UART TXD	21	GPIO9 SPI MISO
9	Terminal Comum GND	22	GPIO25
10	GPIO15 UART RXD	23	GPIO11 SPI CLK
11	GPIO17 UART-RTS	24	GPIO8 SPI CE0
12	GPIO18 PWM	25	Terminal Comum GND
13	GPIO27	26	GPIO7 SPI CE1

Tabela 2.2: Descrição dos pinos do Raspberry Pi Rev 2.0 - Element 14.

2.2.1 ROS - Robot Operative System

Robot Operating System (ROS or ros) is an open-source robotics middleware suite. Although ROS is not an operating system (OS) but a set of software frameworks for robot software development, it provides services designed for a heterogeneous computer cluster such as hardware abstraction, low-level device control, implementation of commonly used functionality, message-passing between processes, and package management. Running sets of ROS-based processes are represented in a graph architecture where processing takes place in nodes that may receive, post, and multiplex sensor data, control, state, planning, actuator, and other messages. Despite the importance of reactivity and low latency in robot control, ROS is not a real-time operating system (RTOS). However, it is possible to integrate ROS with real-time code.[3] The lack of support for real-time systems has been addressed in the creation of ROS 2,[4][5][6] a major revision of the ROS API which will take advantage of modern libraries and technologies for core ROS functions and add support for real-time code and embedded system hardware.

Software in the ROS Ecosystem[7] can be separated into three groups:

language-and platform-independent tools used for building and distributing ROS-based software; ROS client library implementations such as roscpp,[8] rospy,[9] and roslisp;[10] packages containing application-related code which uses one or more ROS client libraries.[11] Both the language-independent tools and the main client libraries (C++, Python, and Lisp) are released under the terms of the BSD license, and as such are open-source software and free for both commercial and research use. The majority of other packages are licensed under a variety of open-source licenses. These other packages implement commonly used functionality and applications such as hardware drivers, robot models, datatypes, planning, perception, simultaneous localization and mapping, simulation tools, and other algorithms.

The main ROS client libraries are geared toward a Unix-like system, primarily because of their dependence on large collections of open-source software dependencies. For these client libraries, Ubuntu Linux is listed as "Supported" while other variants such as Fedora Linux, macOS, and Microsoft Windows are designated "experimental" and are supported by the community.[12] The native Java ROS client library, rosjava,[13] however, does not share these limitations and has enabled ROS-based software to be written for the Android OS.[14] rosjava has also enabled ROS to be integrated into an officially supported MATLAB toolbox which can be used on Linux, macOS, and Microsoft Windows.[15] A JavaScript client library, roslibjs[16] has also been developed which enables integration of software into a ROS system via any standards-compliant web browser.

Mavros

This package provides communication driver for various autopilots with MAVLink communication protocol. Additionally it provides UDP MAVLink bridge for ground control stations (e.g. QGroundControl).

<listar os tópicos>

2.2.2 Django

Django é um *web framework* cuja intenção é tornar o desenvolvimento *web* mais veloz e fácil. Possui uma integração nativa entre banco de dados, *front-end* e *back-end*, apesar de que não seja necessária a utilização de um banco de dados. Primeiramente, podemos citar que todo o esquema do banco é feito através de códigos *python*, pela técnica de mapeamento objeto-relacional, como podemos ver no exemplo a seguir [Foundation,].

```
from django.db import models

class Reporter(models.Model):
    full_name = models.CharField(max_length=70)

    def __str__(self):
        return self.full_name

class Article(models.Model):
    pub_date = models.DateField()
    headline = models.CharField(max_length=200)
    content = models.TextField()
    reporter = models.ForeignKey(Reporter, on_delete=models.CASCADE)

    def __str__(self):
        return self.headline
```

No exemplo acima, são instanciadas duas tabelas, *Reporter* e *Article*, e suas respectivas colunas. A fim de criá-las no banco deve-se executar os comandos:

```
$ python manage.py makemigrations
$ python manage.py migrate
```

A partir do momento que os modelos estão criados, podemos registrá-los no arquivo referente ao administrador, o que possibilita a criação, alteração e remoção dos objetos

através da *interface web* criada pelo próprio Django. Para habilitar as operações citadas sobre a classe *Article*, por exemplo, basta configurar o arquivo *admin.py* tal como:

```
from django.contrib import admin

from . import models

admin.site.register(models.Article)
```

Outro ponto interessante é a possibilidade de configuração de *URLs*. Para isso, devemos criar um código de mapeamento de *URLs* dentro do arquivo *urls.py*, como exemplificado a seguir:

```
from django.urls import path

from . import views

urlpatterns = [
    path('articles/<int:year>/', views.year_archive),
    path('articles/<int:year>/<int:month>/', views.
        month_archive),
]
```

2.3 Arquitetura do sistema proposto

Com todas as tecnologias devidamente estudadas, deseja-se criar um sistema composto pelas mesmas e explorar as capacidades de tal sistema. Para isso, utilizaremos um drone com controladora de firmware ArduPilot e um computador de bordo capaz de se conectar com uma rede de computadores. O software embarcado será desenvolvido utilizando ROS e uma API será desenvolvida em Django para se comunicar com o drone via rede.

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Pesquisa

A

3.2 Objetivos do método aplicado

A metodologia aplicada possui objetivo descritivo e exploratório. Após a realização de cada etapa do projeto serão feitos experimentos para comprovar o devido funcionamento do sistema e para este serão comentadas as possibilidades de aplicações.

3.3 Abordagem

Adotar-se-á uma análise qualitativa dos resultados obtidos a partir da implementação do novo sistema, em observância aos seguintes questionamentos:

1. Com o sistema desenvolvido será possível receber dados de telemetria via rede?
2. Com o sistema desenvolvido será possível ao operador do sistema, controlar o drone remotamente?
3. O quão seguro é o sistema desenvolvido? Quais riscos de segurança estão submetidos a tal sistema?
4. pergunta avaliativa 3
5. pergunta avaliativa 4

3.4 Descrição do problema

De forma resumida, deseja-se, a partir de um drone montado com todos os seus componentes essenciais, acoplar um Raspberry Pi à controladora do mesmo para conectar o conjunto à rede de computadores e com isso expandir suas capacidades. Algumas questões surgem quanto a esse projeto, como por exemplo: Qual arquitetura de software a ser utilizada, ou seja como o software a ser desenvolvido será organizado? Qual arquitetura de rede a ser utilizada, por exemplo, par-a-par ou cliente-servidor? No quesito de comunicação na internet, na qual muitas vezes não se tem o controle da rede, como seria feita essa comunicação?

Capítulo 4

Detalhamento da solução

4.1 Primeiros testes com o drone quadricóptero

De posse de um drone quadricóptero com a controladora de voo Omnibus f4 pro, foram estabelecidos os primeiros testes de conexão entre o Raspberry Pi e o firmware ArduPilot. O diagrama de montagem do equipamento foi o seguinte:

4.1.1 Diagrama de conexão dos componentes de hardware

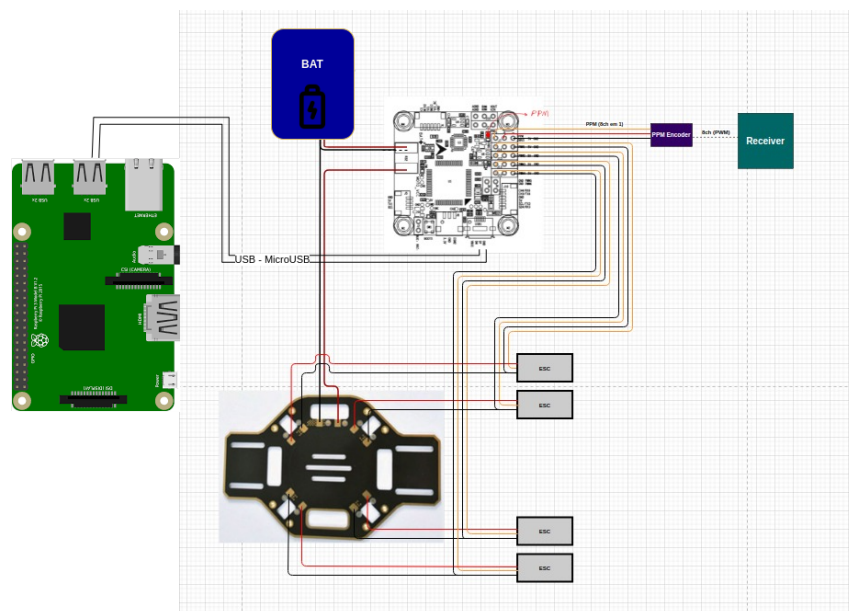


Figura 4.1: Conexões de hardware para Omnibus F4 Pro V3.

A motivação para a escolha dessa controladora foi o preço da mesma no mercado em relação às outras, valor que na época era em torno de 260 reais, enquanto que a Pixhawk custava em torno de 1000 reais. O resto dos componentes também foi escolhido com o intuito de deixar o projeto em baixo custo.

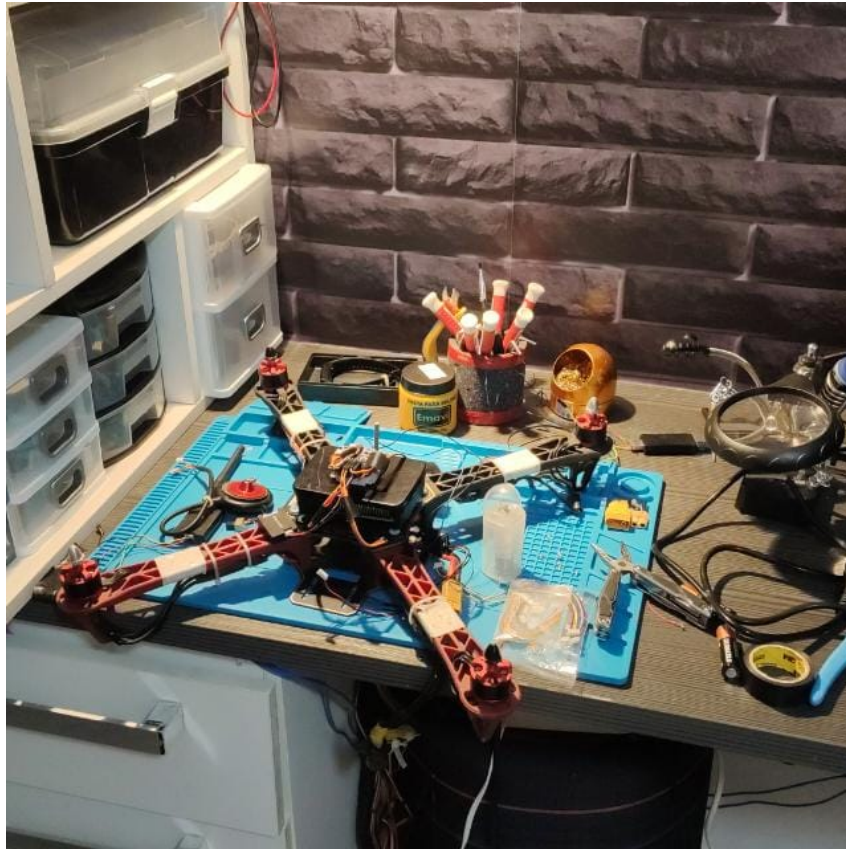


Figura 4.2: Bancada de trabalho com o drone quadricóptero.

Após a ligação dos componentes eletrônicos, o teste de conexão entre o Raspberry e a controladora foi realizado utilizando o software MavProxy no minicomputador e foi possível obter dados em tempo real da controladora através da conexão serial assim como também foi possível mandar comandos MAVLink para a controladora de voo através do terminal da aplicação.

Dessa forma, conseguiu-se comandar o drone a partir do computador de bordo e receber dados de telemetria do mesmo. Entretanto, não foi possível acoplar o módulo de GPS na controladora já que o módulo em questão não se mostrou compatível com a mesma.

As pesquisas e soluções de problemas oriundos da execução dessa etapa foram cruciais para adquirir maturidade na montagem, configuração e acoplamento dos componentes. Além disso, o conhecimento adquirido das ferramentas utilizadas para conectar o computador de bordo ao drone também foram essenciais. Entretanto, escolhemos mudar o hardware utilizado para uma configuração de drone mais convencional na comunidade ArduPilot, com a controladora Pixhawk.

4.2 Montagem do drone hexacóptero

Após os problemas obtidos no drone quadróptero com a controladora Omnibus, trocamos o hardware utilizado para um drone hexacóptero com a controladora Pixhawk Cube.



Figura 4.3: Pixhawk 2 Cube Hero.

Com isso, obtemos a seguinte conexão dos componentes:

4.2.1 Diagrama de conexão dos componentes de hardware

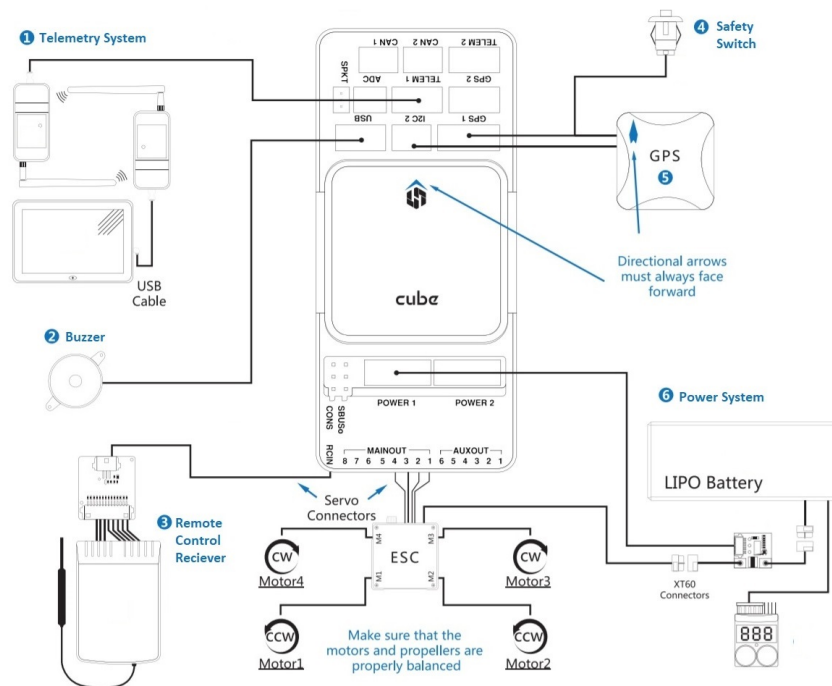


Figura 4.4: Conexões de hardware para a Pixhawk 2 Cube Hero.

<motivação da escolha desse hardware> <características desse hardware> <capacidades desse drone> <conseguir mais fotos do drone> <mostrar ligação dos componentes>



Figura 4.5: Bancada de trabalho com o drone quadricóptero.

e tudo funcionando perfeitamente> <motivação da escolha desse hardware> <características desse hardware> <capacidades desse drone>

4.3 Ambiente de simulação

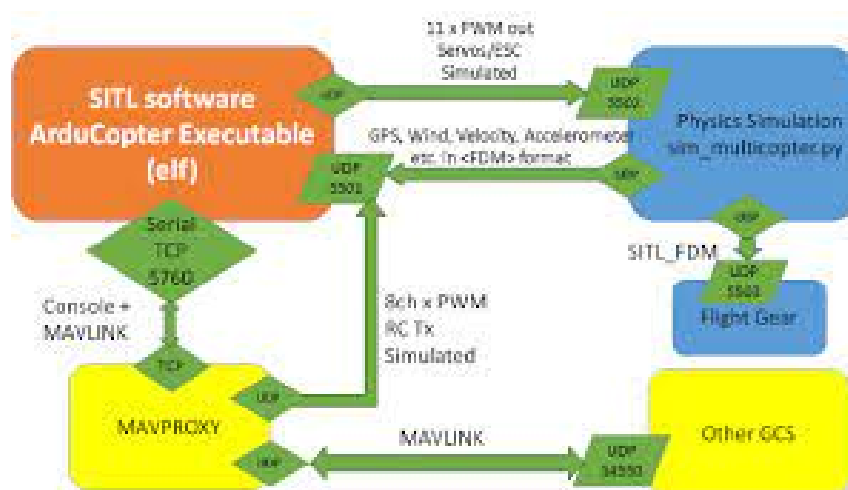


Figura 4.6: Software In The Loop.

4.4 Arquitetura do software desenvolvido

<mostrar diagrama estrutural>

1. mavros
2. iq_gnc
3. drone_telemetry_over_network
4. drone_control_over_network
5. Drone_CCS_API (Cloud Control Station)

4.5 Arquitetura da aplicação de rede

Modelo cliente servidor, no qual o raspberry e o servidor da API estão numa mesma VPN.

4.6 Outras arquiteturas possíveis para o sistema proposto

LTE e 5G.

Capítulo 5

Resultados

apresentação de resultados (numéricos e/ou gráficos) de cálculos e/ou de simulações, requeridos na especificação do trabalho.

Capítulo 6

Conclusão

Hipótese testada Se realizarmos o experimento em outro ambiente com maior capacidade para que todos possam assistir de forma homogênea atenderemos a demanda da turma, teremos um aprendizado mais efetivo e melhoria no tempo dedicado a esse experimento.

Responda as perguntas avaliativas para definir a conclusão

1. Com o sistema desenvolvido será possível ao professor usuário controlar o experimento proposto remotamente?
2. pergunta avaliativa 2
3. pergunta avaliativa 3
4. pergunta avaliativa 4

A presente monografia detalha o processo de pesquisa, projeto e construção de um sistema para atuação em uma planta didática localizada no Laboratório de Drenagem Irrigação e Saneamento [LaDISan, 2019].

Utilizando, como base, o documento **Uso de Sensores e Acesso Remoto para a Realização de Aula Prática Sobre Reservatórios de Detenção Aplicados à Drenagem urbana** [Paiva and Milhomem, 2018] e o artigo **Realização de Aula Prática Remota a Partir de Laboratório Equipado com Modelo Físico Sobre Detenção de Água de Chuva** [Paiva et al., 2018], publicado no COBENGE 2018 [ABENGE, 2020], foi desenvolvido um conjunto de melhorias e novos processos que permitem monitoramento e maior e melhor atuação do “usuário” (computador remoto localizado na sala de aula) na planta didática operando no Laboratório LaDISan [LaDISan, 2019]. O conjunto de melhorias compreende uma câmera com controle remoto, um servomotor acoplado a um registro de admissão de água, uma interface de acesso e um dispositivo Raspberry Pi operando como controlador do servomotor e computador auxiliar para o Arduino.

Os resultados foram satisfatórios no que tange aos objetivos propostos. Foram realizadas duas aulas no ano de 2019, uma no primeiro semestre letivo e outra no segundo semestre.

O sistema ainda não contempla uma solução fechada pronta para comercialização conforme foi citado no Capítulo 3. Ainda se faz necessário melhorias e correções que podem ser implementadas conforme novas demandas levantadas por alunos da disciplina e o professor Dario Sobrenome Sobrenome. As demandas podem ser implementadas pelos futuros bolsistas do grupo PET-Tele. Complementarmente a este documento existe um relatório técnico com detalhamento das etapas de construção, disponível no *website* do Grupo PET-Tele [Neto and Miranda, 2021]

Capítulo 7

Sugestões para trabalhos futuros

Tendo em mente as características do projeto apresentadas neste trabalho, podemos imaginar diversas aplicações para serem acrescentadas. Somos capazes, portanto, de listar algumas das possíveis aplicações e seus possíveis desdobramentos.

1. Melhorias na interface de controle
 - (a) Adição de novas funcionalidades
 - (b) Coleta e apresentação de mais dados do drone
2. Integração de um modem de internet móvel
 - (a) Controle e coleta de dados a qualquer distância, desde que haja sinal de internet móvel.
3. Integração de uma câmera
 - (a) Visão em tempo real do ambiente o qual o drone sobrevoa
 - (b) Adição de inteligência artificial capaz de tratar e processar imagens capturadas

Para cada uma dessas adições deve-se realizar testes de viabilidade, bem como estudos mais profundos do impacto que cada complemento teria no modelo final deste trabalho.

Portanto, geradas essas necessidades, podemos utilizar o ambiente de simulação do gazebo, junto aos módulos ROS, para prever como se comportará o sistema. Comparações a respeito do desempenho geral podem e devem ser feitas a fim de comprovar bons resultados.

Referências Bibliográficas

- [ABENGE, 2020] ABENGE (2020). **URL do COBENGE**. Disponível em: “<http://www.abenge.org.br/cobenge.php>”. Acesso em: 25/01/2021.
- [Ardupilot Docs, 2021] Ardupilot Docs (2021). **Ardupilot Docs**. Disponível em: “<http://ardupilot.org/dev/#welcome-to-the-ardupilot-development-site>”. Acesso em: 25/01/2021.
- [Companion Computers, 2021] Companion Computers (2021). **Companion Computers**. Disponível em: “<https://ardupilot.org/dev/docs/companion-computers.html>”. Acesso em: 25/01/2021.
- [Equipe UFFO,] Equipe UFFO. **Equipe UFFO**. Disponível em: “<https://uffoequipe.github.io/website/uffo/>”. Acesso em: 25/01/2021.
- [Foundation,] Foundation, D. S. **Django at a glance**. <https://docs.djangoproject.com/en/4.1/intro/overview/>. Accessed: 2022-9-25.
- [Foundation, 2020] Foundation, R. P. (2020). **URL da plataforma Raspberry Pi**. Disponível em: “<https://www.raspberrypi.org/>”. Acesso em: 25/01/2021.
- [Laddha and Thakare, 2013] Laddha, N. R. and Thakare, A. P. (2013). *a review on serial communication by uart*. Disponível em: “https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35186800/V3I1-0220-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1660489200&Signature=L1W0joCWNEXiG0JGR8xEk8ERpygEDR08dkWQxizOiYxoG~45wkWu0rH69ar14G0X01YputTpTYBY8ELUEDnj7x88wnXtNB8xu05kZo6BtKcN80pkWIA99tLMgZcYHfoIHvzsU143iLiAa~5VLWo-EHH1HCtXdcJ2lazswkgqT3CG-D0wpTfjflaGsqRzV4aKoBju3DufAqSBefW8T8dHmkUEd3hX0x2Jmi2HJcfuMCTHtFRQX4dn1CkeyjABUWE1MMXc2adpzIzhNGcU4yk3cVFV22IVutoZi2G-xfRwxRooF1AR81fIBJA3pkf0Fx8KLokzQEYpMc4S81D1NSh7A__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA”. Acesso em: 25/01/2021.
- [LaDISan, 2019] LaDISan (2019). **URL do Laboratório de Drenagem, Irrigação e Saneamento Ambiental (TER/UFF)**. Disponível em: “<http://www.uff.br/?q=s>

etor/laboratorio-de-drenagem-irrigacao-e-saneamento-ambiental-ladisan". Acesso em: 25/01/2021.

[Lassi Sundqvist, 2015] Lassi Sundqvist (2015). *cellular controlled drone experiment: evaluation of network requirements*. Disponível em: "https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/19152/master_Sundqvist_Lassi_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y". Acesso em: 25/01/2021.

[MAVLink,] MAVLink. *mavlink developer guide*. Disponível em: "<https://mavlink.io/en/>". Acesso em: 25/01/2021.

[Members, 2019a] Members, W. (2019a). **URL do termo Raspberry Pi**. Disponível em: "https://pt.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi". Acesso em: 25/01/2021.

[Members, 2019b] Members, W. (2019b). **URL do termo *System on a chip* (SoC)**. Disponível em: "<https://pt.wikipedia.org/wiki/System-on-a-chip>". Acesso em: 25/01/2021.

[Neto and Miranda, 2021] Neto, J. L. A. P. and Miranda, R. (2021). **Novas implementações para automatização e acesso remoto no sistema de reservatórios de detenção aplicados à drenagem urbana do LaDISan/TCE/UFF utilizando a plataforma Raspberry Pi**. Disponível em: "<http://www.telecom.uff.br/pet/petws/index.php?pagina=downloads/projetos>". Acesso em: 25/01/2021.

[Paiva and Milhomem, 2018] Paiva, L. M. M. and Milhomem, M. C. (2018). **Uso de sensores e acesso remoto para a realização de aula prática sobre reservatórios de detenção aplicados à drenagem urbana**. *UFF*, page 70. Disponível em: "<https://app.uff.br/riuff/handle/1/7080>".

[Paiva et al., 2018] Paiva, L. M. M., Milhomem, M. C., and de la Vega, A. S. (2018). **Realização de Aula Prática Remota a Partir de Laboratório Equipado com Modelo Físico sobre Detenção de Água de Chuva**. *COBENGE*, page 10. Disponível em: "http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/artigos/cobenge_2018/COBENGE18_00063_00001258_Aula_Remota_LaDISan_2018_07_09.pdf".

[Software in the Public Interest, Inc, 2021] Software in the Public Interest, Inc (2021). **Debian OS**. Disponível em: "<https://www.debian.org/>". Acesso em: 25/01/2021.

Apêndice A

Apêndice 1

Segue abaixo um guia de instalação completo dos *Softwares* de simulação e suas respectivas dependências para Ubuntu 20.04 LTS.

A.1 Instalando o ArduPilot e MavProxy

A.1.1 Clonando o repositório *git* para sua máquina

```
$ cd ~  
$ sudo apt install git  
$ git clone https://github.com/ArduPilot/ardupilot.git
```

A.1.2 Instalando as dependências e recompilando o perfil

```
$ cd ardupilot/Tools/environment_install/install-prereqs-  
ubuntu.sh -y  
$ . ~/.profile
```

A.1.3 Mudando para a *branch* do ArduCopter

```
$ git checkout Copter-4.0.4  
$ git submodule update --init --recursive
```

A.1.4 Rodando SITL (*Software In The Loop*)

```
$ cd ~/ardupilot/ArduCopter
$ sim_vehicle.py -w
```

A.2 Instalando o Gazebo e o *plugin* do ArduPilot

A.2.1 Atualizando a lista de fontes para *download*

```
$ sudo sh -c 'echo "deb http://packages.osrfoundation.org/
gazebo/ubuntu-stable `lsb_release -cs` main" > /etc/apt/
sources.list.d/gazebo-stable.list'
$ wget http://packages.osrfoundation.org/gazebo.key -O - |
sudo apt-key add -
$ sudo apt update
```

A.2.2 Instalando o *plugin* do Gazebo para comunicação com o ArduPilot

```
$ cd ~
$ git clone https://github.com/khancyr/ardupilot_gazebo.git
$ cd ardupilot_gazebo
$ mkdir build
$ cd build
$ cmake ..
$ make -j4
$ sudo make install
$ echo 'source /usr/share/gazebo/setup.sh' >> ~/.bashrc
$ echo 'export GAZEBO_MODEL_PATH=~/.ardupilot_gazebo/models'
>> ~/.bashrc
$ . ~/.bashrc
```

A.2.3 Executando a simulação

```
No primeiro terminal do linux rode o Gazebo:
$ gazebo --verbose ~/ardupilot_gazebo/worlds/
iris_arducopter_runway.world
```

```
No segundo terminal do linux rode o SITL:
$ cd ~/ardupilot/ArduCopter/
$ sim_vehicle.py -v ArduCopter -f gazebo-iris --console
```

A.3 Instalando o *ROS* e o configurando o *Catkin*

A.3.1 Atualizando a lista de fontes para *download*

```
$ sudo sh -c 'echo "deb http://packages.ros.org/ros/ubuntu $(  
  lsb_release -sc) main" > /etc/apt/sources.list.d/ros-  
  latest.list'  
$ sudo apt install curl  
$ curl -s https://raw.githubusercontent.com/ros/rosdistro/  
  master/ros.asc | sudo apt-key add -  
$ sudo apt update
```

A.3.2 Instalando o *ROS*

```
$ sudo apt install ros-noetic-desktop-full
```

A.3.3 Configurando o ambiente

```
$ source /opt/ros/noetic/setup.bash  
$ echo "source /opt/ros/noetic/setup.bash" >> ~/.bashrc  
$ source ~/.bashrc  
$ echo "source /opt/ros/noetic/setup.zsh" >> ~/.zshrc  
$ source ~/.zshrc
```

A.3.4 Instalando as dependências para os pacotes dos *ROS*

```
$ sudo apt install python3-rosdep python3-rosinstall python3-  
  rosinstall-generator python3-wstool build-essential  
$ sudo apt install python3-rosdep  
$ sudo rosdep init  
$ rosdep update
```

A.3.5 Configurando o *Catkin*

```
$ sudo apt-get install python3-wstool python3-rosinstall-
    generator python3-catkin-lint python3-pip python3-catkin-
    tools
$ pip3 install osrf-pycommon
$ mkdir -p ~/catkin_ws/src
$ cd ~/catkin_ws
$ catkin init
```

A.3.6 Instalando as dependências para o *Catkin*

```
$ sudo apt-get install python3-wstool python3-rosinstall-
    generator python3-catkin-lint python3-pip python3-catkin-
    tools
$ pip3 install osrf-pycommon
$ mkdir -p ~/catkin_ws/src
$ cd ~/catkin_ws
$ catkin init
```

A.3.7 Instalando as *MAVROS* e *MAVLink*

```
$ cd ~/catkin_ws
$ wstool init ~/catkin_ws/src
$ rosinstall_generator --upstream mavros | tee /tmp/mavros.
    rosinstall
$ rosinstall_generator mavlink | tee -a /tmp/mavros.
    rosinstall
$ wstool merge -t src /tmp/mavros.rosinstall
$ wstool update -t src
$ rosdep install --from-paths src --ignore-src --rosdistro '
    echo $ROS_DISTRO' -y
$ catkin build
```

A.3.8 Atualizando o arquivo *.bachrc*

```
$ echo "source ~/catkin_ws/devel/setup.bash" >> ~/.bashrc
$ source ~/.bashrc
```

A.4 Instalando as dependências geográficas e clonando o repositório de simulação do *Intelligent Quads*

A.4.1 Instalando as dependências geográficas

```
$ sudo ~/catkin_ws/src/mavros/mavros/scripts/
install_geographiclib_datasets.sh]
```

A.4.2 Clonando pacote ROS de simulação do *Intelligent Quads*

```
$ cd ~/catkin_ws/src
$ git clone https://github.com/Intelligent-Quads/iq_sim.git
$ echo "GAZEBO_MODEL_PATH=${GAZEBO_MODEL_PATH}:${HOME}/catkin_ws
  /src/iq_sim/models" >> ~/.bashrc
$ cd ~/catkin_ws
$ catkin build
$ source ~/.bashrc
```

A.5 Instalando o *QGround Control*

A.5.1 Alterando permissões e instalando o *QGround Control*

```
$ sudo usermod -a -G dialout $USER
$ sudo apt-get remove modemmanager
$ wget https://s3-us-west-2.amazonaws.com/qgroundcontrol/
  latest/QGroundControl.AppImage
$ chmod +x ./QGroundControl.AppImage
$ ./QGroundControl.AppImage
```